

## INTRODUCCION

Hace varios años escribí el libro Mineralogía recreativa. Con ese motivo recibí decenas, centenares de cartas procedentes de estudiantes, obreros y especialistas diversos. ¡Cuánta pasión viva y sincera por las piedras, su estudio e historia de su utilización vi en esas cartas! En algunas, escritas por niños, ¡se notaba tanto ardor juvenil, audacia, brío, energía...! Me entusiasmaron dichas cartas y decidí escribir un segundo libro para la juventud, para nuestra futura generación. En estos últimos años mi pensamiento ha ido a otra rama de la ciencia, mucho más difícil, mucho más abstracta, a un mundo maravilloso, al mundo de los corpúsculos pequeñísimos, de magnitud ínfima, que constituyen toda la naturaleza y el propio hombre.

Durante los últimos veinte años tomé parte en la creación de una nueva ciencia, que llamamos Geoquímica. La creamos no sobre el papel, sentados en un cómodo gabinete; esta ciencia nació a base de numerosas investigaciones precisas, experimentos, mediciones; nació en la lucha por la comprensión nueva de la vida y de la naturaleza. ¡Qué admirables eran aquellos minutos, cuando terminábamos nuevos capítulos de esta ciencia del futuro!

¿Qué puede haber de recreativo en lo que voy a contarles sobre la Geoquímica? ¿De qué trata esta ciencia? ¿Por qué la llamamos Geoquímica y no simplemente Química?, ¿Por qué escribe sobre ella, no un químico, sino un geólogo, mineralogista, cristalógrafo?

En realidad, la respuesta a esta pregunta la recibirá el lector no en el primer capítulo, no; en él se hablará de muchas cosas, pero de forma concisa. Sólo después de leer hasta el final este libro, comprenderá la profundidad y lo interesante de la Geoquímica.

Entonces dirá: "¡He aquí en qué consiste la Geoquímica, qué interesante, pero qué difícil es esta ciencia! ¡Qué poco conozco la Química, la Geología y la Mineralogía para llegar a comprenderla por completo!"

Sin embargo, merece la pena comprenderla, puesto que el futuro de la Geoquímica es mucho más importante de lo que se piensa; es la que, junto con la Física y la Química, subordinará a la voluntad del hombre las grandiosas reservas de energía y de materia existentes.

Antes de terminar esta introducción, quisiera dirigirme a los lectores con ciertos consejos sobre cómo debe leerse este libro. No basta simplemente con decir qué es necesario leer; con frecuencia es mucho más importante decir cómo hay que leer, de qué modo hay que estudiar los libros y saber, al mismo tiempo, sacar de ellos el máximo provecho. Unos libros se leen de un tirón, cuando se trata de un relato interesante que le apasiona y que no puede usted abandonar hasta haber leído las últimas páginas. Así se leen las novelas recreativas de aventuras. Otros libros hay que estudiarlos, cuando en ellos se describe una ciencia completa o cuestiones científicas aisladas; cuando se exponen sucesivamente datos científicos, se describen los fenómenos de la naturaleza, se hacen conclusiones científicas. Semejantes libros hay que leerlos profundizando en cada palabra, sin omitir ningún detalle.

Nuestro libro no es una novela seductora, ni tampoco un tratado científico. Está escrito según un plan especial. En las cuatro partes de que consta se pasa paulatinamente desde las nociones fundamentales de Física y Química a las cuestiones de la Geoquímica y su futuro. El lector poco experimentado en estas ciencias, deberá leer el libro con mucha atención, sin apresuramiento. Es posible que lea por segunda vez aquellas páginas que considere más interesantes o que su comprensión le haya sido difícil. Pero si el lector posee conocimientos de Física y Química, puede pasar por alto aquellos apartados que ya conozca. El autor ha procurado hacer de cada apartado un todo único, independiente en lo posible de las partes restantes. El libro es apto también para profundizar en los conocimientos de Química o Geología.

A los estudiantes les será muy útil leer algunos capítulos sueltos de este libro, simultáneamente con sus estudios del curso general de Química, puesto que cada uno de estos capítulos puede servirle de suplemento, ilustrando en muchos casos aquellas páginas áridas del texto de Química. Al estudiar los metaloides, paralelamente puede leer los capítulos que hablan del fósforo y del azufre. Al estudiar los metales ferrosos conviene ver los capítulos que se ocupan del hierro y el vanadio.

Al estudiar la Geología, deben emplearse asimismo los capítulos correspondientes de esta obra que tratan de importantes cuestiones químicas acerca de la distribución y difusión de los elementos en la corteza terrestre. Interés especial a este respecto presentan los capítulos que describen la corteza terrestre y principalmente la tercera parte: Historia del átomo en la naturaleza.

Los que estudian Química observarán que en la exposición que hago me ocupo únicamente de unos cuantos elementos químicos, sólo describo con algún detalle quince elementos. No he tratado de dar la característica química completa y la historia de todos los elementos del universo, de los existentes en las profundidades de la corteza terrestre, en la superficie de la Tierra y de los que ordinariamente utiliza el hombre.

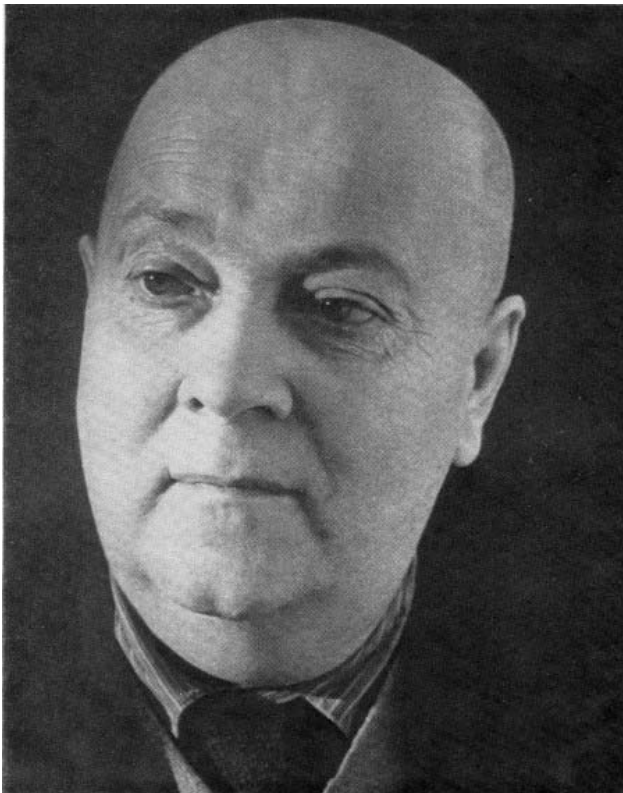
He querido sólo aclarar ciertos rasgos aislados, los más significativos, sobre el comportamiento de los elementos más corrientes y útiles cuyas complicadas transformaciones químicas se desarrollan en el seno de los procesos químicos imperceptibles y continuos que se verifican en la Tierra. Sobre cada elemento pueden escribirse muchas y largas páginas. Es posible que al lector le surja el deseo de probar a escribir la historia de algún otro elemento que no menciono. Si alguien, al ver un trozo de cromo, se interesara por conocer su origen, posibles transformaciones y el papel que desempeña en la industria, y pudiera escribir varias páginas interesantes sobre la historia de este elemento y aclarar el comportamiento de este átomo perteneciente a la familia del hierro, esto sería a mi parecer una tarea práctica utilísima.

Puedo aconsejar al lector, que al estudiar este libro, se interese por las cuestiones relacionadas con el análisis amplio de la naturaleza, que pruebe a cumplir esta tarea y continúe estas páginas que he escrito sobre los elementos más importantes que constituyen la Tierra.

## PREFACIO

En el libro "Geoquímica Recreativa", el académico Alexander Fersman expone en forma literaria los resultados de sus trabajos durante muchos años, dedicados a la creación de una nueva rama de la ciencia geológica, la Geoquímica, con objeto de mostrar, a base de su riquísima imaginación y experiencia científica, la vida química de nuestro planeta.

Con su admirable arte de popularizador explica de forma sencilla y atrayente las ideas más complicadas. El lector se convence de que la comprensión de la estructura del átomo es absolutamente necesaria para el estudio de los elementos químicos que forman la corteza terrestre.



A. E. Fersman, con la fuerza expresiva propia de un literato y la erudición de un científico consumado, describe en la segunda parte de su libro cómo fueron hallados en la naturaleza los distintos elementos químicos y da a conocer sus cualidades. Al estudiar la migración de estos elementos en la corteza terrestre y describir las condiciones de su acumulación, el autor las relaciona con la práctica, es decir, con lo necesarias que son las distintas clases de materias primas naturales para la construcción socialista. Muestra brillantemente los campos de aplicación de los elementos químicos e incluso habla de su futuro. El mismo dice que "... la idea creadora del hombre busca nuevas vías de aprovechamiento de las materias primas naturales". Pero solamente con el socialismo es posible que esta idea dirija las riquezas naturales en beneficio de toda la humanidad y para el bien de todo el mundo". Esta es la tesis que como un hilo rojo transcurre por toda la

narración.

En la tercera parte del libro se da a conocer al lector el papel que juegan los átomos en elementos como el agua y el aire, en las células vivas y en la historia de nuestro planeta. En esta parte se presta una gran atención al papel transformador del hombre, que cada vez va introduciendo más elementos químicos nuevos en los usos industriales.

En los capítulos finales del libro, bajo el título general de "Pasado y futuro de la Geoquímica", revela el autor los problemas actuales de la Geoquímica. Al mismo tiempo, A. E. Fersman nos pinta el cuadro seductor de la técnica del futuro: la conquista de las capas profundas de la tierra, el aprovechamiento del calor interno de la misma, la gasificación subterránea, la creación de las albúminas artificiales y la aplicación de la energía atómica.

Desde su primera a su última página, este libro hace que el lector recapacite sobre los admirables fenómenos que se desarrollan en la corteza terrestre, en la cual todo vive, todo cambia en el espacio y en el tiempo subordinándose a las leyes que rigen los procesos naturales.

De forma viva, comprensible y cautivadora esta obra ofrece al lector un material que abarca conocimientos extraordinariamente amplios, al mismo tiempo que lo infunde verdadera pasión por la investigación científica y fe en la fuerza creadora de la ciencia.

La "Geoquímica recreativa" es uno de esos libros que ayudan a cualquier lector, sea joven o adulto, a conocer los secretos de la naturaleza y a comprender la profunda relación que existe entre la ciencia y la práctica.

El académico Fersman es conocidísimo como eminente mineralogista, geoquímico y geógrafo, como investigador perseverante de las riquezas minerales de la URSS, viajero infatigable, brillante escritor y divulgador de las ciencias geológicas.

Alexander Fersman nació el 27 de octubre (8 de noviembre según el nuevo calendario) de 1883 en San Petersburgo. La juventud del futuro sabio transcurrió en Crimea, donde aprendió a amar la ciencia que se ocupa del estudio de las piedras. "Crimea fue mi primera Universidad", decía Fersman.

El joven, cautivado al principio por la belleza exterior de las piedras, poco a poco, comenzó a interesarse por las cuestiones relacionadas con su composición y origen.

Terminada la segunda enseñanza, continuó sus estudios en la Universidad de Moscú, donde asistió a numerosas conferencias sobre Mineralogía y tomó parte en varios trabajos dirigidos por Vladimir Vernadski.

Hasta la época de V. Vernadski, la Mineralogía se enseñaba en la Universidad de forma pobre, árida. Los mineralogistas de fines del siglo XIX se ocupaban preferentemente de la descripción de los minerales, del estudio de sus formas cristalográficas y de su sistematización.

V. Vernadski aportó a esta Mineralogía descriptiva un aliento de vida. Comenzó a estudiar los minerales como productos de reacciones químicas naturales (terrestres) y a interesarse por las condiciones en que se forman: su origen, vida y transformación en otros minerales.

Esta ya no era la Mineralogía antigua que describía con indiferencia las curiosidades de las entrañas de la Tierra. Los investigadores jóvenes vivían nuevas pasiones, nuevas ideas. No eran simples mineralogistas, sino químicos-mineralogistas. "Eso nos enseñó nuestro maestro, recordaba después A. Fersman, a relacionar la Química con la naturaleza, las hipótesis químicas con los métodos del naturalista. Era una escuela de Ciencias Naturales de nuevo tipo, basadas en datos científicos precisos sobre la vida química de la Tierra". El trabajo científico se realizaba en la Universidad, no sólo en los gabinetes y laboratorios, sino principalmente en el seno de la propia naturaleza. Cada paso en el estudio iba acompañado de excursiones y expediciones. Más de una vez las recordaba después A. Fersman. Los años pasaban. Los conocimientos iban adquiriéndose basándose en trabajo tenaz. Los jóvenes investigadores se pasaban día y noche estudiando los resultados obtenidos. A veces, durante varios días no salían del edificio universitario.

En 1907 Alexander Fersman terminó sus estudios en la Universidad de Moscú. Siendo todavía estudiante realizó y publicó 5 trabajos científicos sobre cuestiones de Cristalografía, Química y Mineralogía, bajo la dirección de V. Vernadski.

Por estos trabajos recibió la medalla de oro A. Antipov con la cual la Sociedad Mineralógica condecoraba a los jóvenes hombres de ciencia.

A los 27 años Alexander Fersman fue nombrado profesor de Mineralogía y en 1912, por primera vez en la historia de las ciencias, comenzó a dar conferencias sobre una nueva asignatura: la Geoquímica.

En sus conferencias Fersman remarcaba: "Debemos ser los químicos de la corteza terrestre. Debemos estudiar no sólo la distribución y formación de los minerales, esas combinaciones

temporalmente estables de los elementos, debemos estudiar también los propios elementos, su dislocación, sus transformaciones, su vida".

A partir de aquel año comenzó la actividad de Fersman en la Academia de Ciencias de la URSS, primero en Petersburgo, después en Moscú, sin interrumpirla hasta el final de su vida.

La Gran Revolución Socialista de Octubre creó condiciones propicias, completamente nuevas, para los trabajos de investigación científica, hasta entonces inexistentes. Ante Fersman surgieron posibilidades ilimitadas para poner de relieve todo su talento y se entregó totalmente a la resolución de cuestiones relacionadas con las tareas propuestas por el Partido Comunista y el gobierno, siguiendo las indicaciones históricas expuestas por V. I. Lenin en los artículos Las tareas inmediatas del Poder soviético<sup>1</sup> y Borrador del plan de trabajos técnico-científicos<sup>2</sup>, dedicados al estudio o investigaciones sistemáticas de las fuerzas productivas naturales del país. Como investigador profundo, dotado de gran penetración, A. Fersman fue en aquel tiempo uno de los más vehementes y persuadidos partidarios de la actividad aplicada, llamando incansablemente a los hombres de ciencia a ocuparse de los problemas de interés práctico y económico del país.

En 1919, a los 35 años de edad, A. Fersman fue elegido miembro de número de la Academia de Ciencias de la URSS y simultáneamente ocupó el cargo de director del Museo Mineralógico anexo a la Academia de Ciencias.

Al apreciar la labor creadora de Fersman, asombra la enorme variedad de sus aficiones científicas y prácticas, así como su capacidad extraordinaria de trabajo. Desarrollando los fundamentos científicos de la Geoquímica y de la Mineralogía, Fersman colocaba siempre en primer plano las investigaciones efectuadas directamente sobre el terreno. Participó en numerosas expediciones y visitó las regiones más diversas del país: la tundra de Jibini en la península de Kola, el valle floreciente de Ferganá, las arenas tórridas de Kara-Kumi y de Kyzyl-Kumi en el Asia Central, la extensa taiga de la región del Baikal y de la Transbaikalia, las vertientes forestales orientales de los Urales, Altái, Ucrania, Crimea, el Cáucaso del Norte, la Transcaucasia y otras.

Tiene un interés verdaderamente extraordinario la epopeya heroica de la exploración y estudio de la península de Kola, que Fersman inició en 1920 en Jibini y en 1930 en la tundra de Monche y que se prolongó hasta los últimos años de su vida.

Su mayor éxito fue el descubrimiento de yacimientos de apatito, de importancia mundial, y de mineral de níquel.

Como resultado de grandes trabajos, llevados a cabo por Fersman y otros especialistas, la península de Kola proporcionó al país yacimientos riquísimos de numerosos minerales valiosos. En 1929 se inició la explotación, en escala industrial, de las riquezas naturales de la península de Kola. Ese rincón del Norte lejano, hasta entonces perdido, salvaje, casi sin estudiar, se convirtió en una riquísima región industrial-minera. En la región desértica surgieron, como por encanto, nuevas ciudades: primero Jibinogorsk (Kírovsk), más tarde Monchegorsk y otras.

He aquí lo que escribe A. Fersman sobre los trabajos en la península de Kola:

"Entre todas las impresiones del pasado, entre los diversos cuadros de la naturaleza, del hombre, de la economía, el sentimiento más vivo que conservo es Jibini: una poesía épica científica completa, que durante casi veinte años embargó toda mi alma, fuerzas, energía, conquistó todo mi ser, agudizó mi voluntad, pensamiento científico, deseos, esperanzas... Solamente con perseverancia y obstinación, únicamente a base de un trabajo enorme en Jibini, pudimos conseguir resultados positivos en este país maravilloso, país que, como en las fábulas, abrió ante nosotros sus riquezas". La brillante epopeya de Jibini no ensombreció otras investigaciones de Fersman. Su energía inagotable le bastaba para todo.

En 1924 comenzaron sus trabajos en el Asia Central, y su interés por esta empresa no se aminoró hasta el fin de su vida. En 1925 emprendió un viaje audaz a la zona central de Kara-Kumi, entonces casi desconocida, e investigó los ricos yacimientos de azufre nativo allí existentes, que se convirtieron en una fortuna para la industria soviética. Con su colaboración, fue construida en esa región una fábrica, que funciona hasta la actualidad, para extraer y purificar el azufre utilizando el material nativo.

A. E. Fersman trabajó mucho y fructuosamente en la investigación del proceso pegmatítico. Desde los primeros pasos de su actividad científica independiente se dedicó a estudiar los filones de pegmatita, es decir, los focos derivados de las rocas fundidas y especialmente de las graníticas. A este estudio consagró toda su vida.

Fersman consideró los filones de pegmatita como producto de la cristalización producida al enfriarse las últimas porciones de granito fundido, el cual, impulsado por las fuerzas que sobre él presionaban, se introducía en los intersticios producidos en el propio granito o en la corteza que lo rodeaba y solidificaba formando conglomerados de granulación gruesa, cuya composición es muy parecida a la de los granitos.

Entre los cuerpos pegmatíticos se encuentran grandes cristales de diferentes minerales. En la naturaleza se conocen diversos filones de pegmatita, los cuales se diferencian entre sí tanto por su composición como por el carácter de los minerales que los forman.

En su monografía capital "Las Pegmatitas", que se publicó por primera vez en el año 1931, A. E. Fersman no sólo se ocupa del proceso de formación de las pegmatitas, sino que describe los diferentes tipos de filones pegmatíticos o indica la gran importancia que tienen los mismos como fuente de materia prima de gran valor para el desarrollo de la industria.

Desde 1934 a 1939 Fersman escribió su Geoquímica, obra fundamental en cuatro tomos, dedicada a la química de los elementos de la corteza terrestre, libro excelente por su fuerza y provisión creadora, en el que presenta, basándose en las leyes fisicoquímicas, un amplio análisis de las leyes que rigen los movimientos que experimentan los átomos en la corteza del globo terráqueo. Esta obra concedió a Fersman y, en su persona, a la Geoquímica rusa, renombre mundial.

En 1940 termina la obra Las riquezas minerales de la península de Kola. En este trabajo muestra un ejemplo brillante del modo de abordar, desde el punto de vista geoquímico, los problemas referentes a la investigación de las riquezas naturales señala el descubrimiento de varios nuevos yacimientos minerales.

El legado escrito de Fersman es enorme. Publicó cerca de 1.500 artículos, libros, extensas monografías. Además de sus trabajos sobre Cristalografía, Mineralogía, Geología, Química, Geoquímica, Geografía, Fotografía aérea, dejó también otros sobre Astronomía, Filosofía, Arte, Arqueología, Agrología, Biología, etc.

Alexander Fersman fue no sólo un sabio, era también hombre público.

Hay que remarcar especialmente la actividad de Fersman como escritor de talento, popularizador de las ciencias geológicas. El "poeta de las piedras", así le llamaba A. Tolstói.

En 1928 apareció la primera edición de la Mineralogía recreativa, más tarde traducida a muchos idiomas extranjeros, que alcanzó 25 ediciones. En 1940 se publicaron SUS Memorias sobre las piedras. Después de la muerte de A. Fersman fueron impresos "Mis viajes", "Relatos sobre las gemas preciosas" y "Geoquímica recreativa".

Todos estos libros dieron a Alexander Fersman gran popularidad entre los lectores de todas las edades.

Semejantes libros no nacen repentinamente. Son resultado de largos años de trabajo literario y experimental, en ellos se refleja toda la vida d l sabio y sus aficiones científicas. A su vez son

libros escritos por un pedagogo experimentado de talento, que tiene en alta estima la educación de la juventud científica, de nuestra futura generación. Con su palabra ardiente y apasionada de escritor y orador, A. Fersman despertó, en toda una legión de jóvenes, el cariño hacia la Mineralogía y Geología y arrastró consigo a gran número de colaboradores científicos, orientándolos hacia nuevas investigaciones y búsquedas.

Quiero particularmente remarcar su amor inmenso a la Patria, perceptible en cada uno de sus artículos y en todas sus manifestaciones. Sus publicaciones son un himno a la hazaña laboriosa, que llama a dominar, a transformar la naturaleza del país, a base de conocimientos científicos precisos.

"No queremos, decía Fersman, ser fotógrafos de la naturaleza, de la tierra y de sus riquezas.

Queremos ser investigadores, forjadores de nuevas ideas, queremos ser conquistadores de la naturaleza, luchadores por su subordinación al hombre, a su cultura, a su economía.

No queremos ser simples observadores, turistas imparciales que registran sus impresiones en el libro de notas. Queremos vivir profundamente los procesos de la naturaleza. Queremos que del estudio reflexivo de la naturaleza nazca, no sólo la idea, sino también la acción. No debemos simplemente pasearnos por los grandes espacios de nuestra Patria, debemos participar en su reorganización y crear una nueva vida".

El 20 de mayo de 1945 falleció después de una grave enfermedad.

"Infinitos o inmortales, dijo el académico D. Beliankin, son los méritos de Alexander Fersman ante la ciencia y la Patria. Por la magnitud de sus intereses científicos, conjugados con su preocupación constante en provecho y en gloria de nuestra Patria, nos recuerda a nuestros inmortales Lomonósov y Mendeléev. No en vano estos nombres eran tan sagrados para él".

Académico D. Scherbakov.

---

<sup>1</sup> V. I. Lenin. Obras escogidas. t. V, pág. 147, Editorial Cartago, Buenos, Aires, 1965

<sup>2</sup> V. I. Lenin. Obras escogidas, t. V. pág. 191, ídem

Prefacio

Introducción

### **PRIMERA PARTE. EL ATOMO**

1. ¿De qué se ocupa la Geoquímica?
2. El mundo de lo invisible. El átomo y el elemento químico
3. Los átomos que nos circundan
4. Nacimiento y comportamiento del átomo en el universo
5. Cómo Mendeléev descubrió su ley
6. El sistema periódico de los elementos de D. I. Mendeléev en nuestros días.
7. Importancia del sistema periódico de los elementos de Mendeléev en la Geoquímica
8. El átomo se desintegra. Uranio y radio
9. El átomo y el tiempo

### **SEGUNDA PARTE. LOS ELEMENTOS GEOQUÍMICOS EN LA NATURALEZA**

10. El silicio, fundamento de la corteza terrestre
11. El carbono, base de todo lo vivo
12. El fósforo, elemento de la vida y del pensamiento
13. El azufre, propulsor de la industria química
14. El calcio, símbolo de firmeza
15. El potasio, fundamento de la vida de las plantas
16. El hierro y la edad de hierro
17. El estroncio, metal de las luces rojas
18. El estaño, metal de los botes de conserva
19. El yodo, elemento que se halla en todas partes
20. El flúor, elemento que todo lo corroe
21. El aluminio, metal del siglo XX
22. El berilio, metal del futuro
23. El vanadio, fundamento del automóvil
24. El oro, rey de los metales
25. Elementos raros dispersos

### **TERCERA PARTE. HISTORIA DEL ATOMO EN LA NATURALEZA**

26. Los meteoritos, emisarios del universo
27. Los átomos en la profundidad de la Tierra
28. Historia de los átomos en la historia de la Tierra
29. Los átomos en el elemento aéreo
30. Los átomos en el agua
31. Los átomos en la superficie terrestre. Desde el Artico hasta los subtrópicos
32. Los átomos en la célula viva
33. Los átomos en la historia de la humanidad

### **CUARTA PARTE. PASADO Y FUTURO DE LA GEOQUIMICA**

34. De la historia de las ideas geoquímicas
35. ¿Cómo fue dada su denominación a los elementos químicos y a los minerales?
36. La Química y la Geoquímica en nuestros días
37. Viaje fantástico por la Tabla de Mendeléev
38. Las conquistas del futuro
39. Final del libro

### **APENDICE**

40. El geoquímico en el campo
41. Notas breves sobre los elementos químicos
42. Aclaraciones a algunos términos y nombres que aparecen en el texto



## INTRODUCCION

Hace varios años escribí el libro Mineralogía recreativa. Con ese motivo recibí decenas, centenares de cartas procedentes de estudiantes, obreros y especialistas diversos. ¡Cuánta pasión viva y sincera por las piedras, su estudio e historia de su utilización vi en esas cartas! En algunas, escritas por niños, ¡se notaba tanto ardor juvenil, audacia, brío, energía...! Me entusiasmaron dichas cartas y decidí escribir un segundo libro para la juventud, para nuestra futura generación. En estos últimos años mi pensamiento ha ido a otra rama de la ciencia, mucho más difícil, mucho más abstracta, a un mundo maravilloso, al mundo de los corpúsculos pequeñísimos, de magnitud ínfima, que constituyen toda la naturaleza y el propio hombre.

Durante los últimos veinte años tomé parte en la creación de una nueva ciencia, que llamamos Geoquímica. La creamos no sobre el papel, sentados en un cómodo gabinete; esta ciencia nació a base de numerosas investigaciones precisas, experimentos, mediciones; nació en la lucha por la comprensión nueva de la vida y de la naturaleza. ¡Qué admirables eran aquellos minutos, cuando terminábamos nuevos capítulos de esta ciencia del futuro!

¿Qué puede haber de recreativo en lo que voy a contarles sobre la Geoquímica? ¿De qué trata esta ciencia? ¿Por qué la llamamos Geoquímica y no simplemente Química?, ¿Por qué escribe sobre ella, no un químico, sino un geólogo, mineralogista, cristalógrafo?

En realidad, la respuesta a esta pregunta la recibirá el lector no en el primer capítulo, no; en él se hablará de muchas cosas, pero de forma concisa. Sólo después de leer hasta el final este libro, comprenderá la profundidad y lo interesante de la Geoquímica.

Entonces dirá: "¡He aquí en qué consiste la Geoquímica, qué interesante, pero qué difícil es esta ciencia! ¡Qué poco conozco la Química, la Geología y la Mineralogía para llegar a comprenderla por completo!"

Sin embargo, merece la pena comprenderla, puesto que el futuro de la Geoquímica es mucho más importante de lo que se piensa; es la que, junto con la Física y la Química, subordinará a la voluntad del hombre las grandiosas reservas de energía y de materia existentes.

Antes de terminar esta introducción, quisiera dirigirme a los lectores con ciertos consejos sobre cómo debe leerse este libro. No basta simplemente con decir qué es necesario leer; con frecuencia es mucho más importante decir cómo hay que leer, de qué modo hay que estudiar los libros y saber, al mismo tiempo, sacar de ellos el máximo provecho. Unos libros se leen de un tirón, cuando se trata de un relato interesante que le apasiona y que no puede usted abandonar hasta haber leído las últimas páginas. Así se leen las novelas recreativas de aventuras. Otros libros hay que estudiarlos, cuando en ellos se describe una ciencia completa o cuestiones científicas aisladas; cuando se exponen sucesivamente datos científicos, se describen los fenómenos de la naturaleza, se hacen conclusiones científicas. Semejantes libros hay que leerlos profundizando en cada palabra, sin omitir ningún detalle.

Nuestro libro no es una novela seductora, ni tampoco un tratado científico. Está escrito según un plan especial. En las cuatro partes de que consta se pasa paulatinamente desde las nociones fundamentales de Física y Química a las cuestiones de la Geoquímica y su futuro. El lector poco experimentado en estas ciencias, deberá leer el libro con mucha atención, sin apresuramiento. Es posible que lea por segunda vez aquellas páginas que considere más interesantes o que su comprensión le haya sido difícil. Pero si el lector posee conocimientos de Física y Química, puede pasar por alto aquellos apartados que ya conozca. El autor ha procurado hacer de cada apartado un todo único, independiente en lo posible de las partes restantes. El libro es apto también para profundizar en los conocimientos de Química o Geología.

A los estudiantes les será muy útil leer algunos capítulos sueltos de este libro, simultáneamente con sus estudios del curso general de Química, puesto que cada uno de estos capítulos puede servirle de suplemento, ilustrando en muchos casos aquellas páginas áridas del texto de Química. Al estudiar los metaloides, paralelamente puede leer los capítulos que hablan del fósforo y del azufre. Al estudiar los metales ferrosos conviene ver los capítulos que se ocupan del hierro y el vanadio.

Al estudiar la Geología, deben emplearse asimismo los capítulos correspondientes de esta obra que tratan de importantes cuestiones químicas acerca de la distribución y difusión de los elementos en la corteza terrestre. Interés especial a este respecto presentan los capítulos que describen la corteza terrestre y principalmente la tercera parte: Historia del átomo en la naturaleza.

Los que estudian Química observarán que en la exposición que hago me ocupo únicamente de unos cuantos elementos químicos, sólo describo con algún detalle quince elementos. No he tratado de dar la característica química completa y la historia de todos los elementos del universo, de los existentes en las profundidades de la corteza terrestre, en la superficie de la Tierra y de los que ordinariamente utiliza el hombre.

He querido sólo aclarar ciertos rasgos aislados, los más significativos, sobre el comportamiento de los elementos más corrientes y útiles cuyas complicadas transformaciones químicas se desarrollan en el seno de los procesos químicos imperceptibles y continuos que se verifican en la Tierra. Sobre cada elemento pueden escribirse muchas y largas páginas. Es posible que al lector le surja el deseo de probar a escribir la historia de algún otro elemento que no menciono. Si alguien, al ver un trozo de cromo, se interesara por conocer su origen, posibles transformaciones y el papel que desempeña en la industria, y pudiera escribir varias páginas interesantes sobre la historia de este elemento y aclarar el comportamiento de este átomo perteneciente a la familia del hierro, esto sería a mi parecer una tarea práctica utilísima.

Puedo aconsejar al lector, que al estudiar este libro, se interese por las cuestiones relacionadas con el análisis amplio de la naturaleza, que pruebe a cumplir esta tarea y continúe estas páginas que he escrito sobre los elementos más importantes que constituyen la Tierra.

## Capítulo I

### ¿DE QUE SE OCUPA LA GEOQUIMICA?

¿De qué se ocupa la Geoquímica? Esta es la primera pregunta a la que hay que contestar para llegar a comprender todo lo que vamos a exponer en nuestro libro.

Sabemos de qué trata la Geología; esta ciencia estudia la Tierra, la corteza terrestre, su historia, sus transformaciones, cómo se forman las montañas, ríos y mares, cómo surgen los volcanes y lavas y cómo crecen lentamente los sedimentos de limo y arena en el fondo de los océanos.

Para todos está claro que la Mineralogía estudia los diferentes minerales.

En mi libro Mineralogía recreativa escribía: "El mineral es una combinación de elementos químicos que se origina por vía natural, sin la intervención del hombre. Es una especie de edificio construido de ladrillitos determinados en cantidades variables, pero no se trata de un montón desordenado de esos ladrillitos, sino que constituye precisamente una obra edificada según leyes definidas de la naturaleza. Se comprende perfectamente que con ladrillitos idénticos, tomados en igual cantidad, pueden construirse distintos edificios. Exactamente igual, un mismo mineral puede existir en la naturaleza en las formas más diversas, a pesar de que su composición química sea la misma.

Contamos con cerca de cien especies de estos ladrillitos, de los cuales está constituida toda la naturaleza que nos rodea.

Estos elementos químicos pueden ser gases: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno; metales: sodio, magnesio, hierro, mercurio, oro y otras sustancias, como silicio, cloro, bromo, etc.



Las combinaciones de los elementos, en proporciones diferentes, constituyen lo que llamamos minerales. Por ejemplo, el cloro y el sodio forman la sal común; la unión del oxígeno, en doble cantidad, con el silicio origina la sílice o cuarzo, y así sucesivamente.

... Así, de las diversas combinaciones de elementos químicos están formados tres mil minerales distintos existentes en la tierra (cuarzo, sal, feldespato, etc.). La agregación de partículas minerales forma lo que llamamos rocas (por ejemplo: granito, caliza, basalto, arena, etc.).

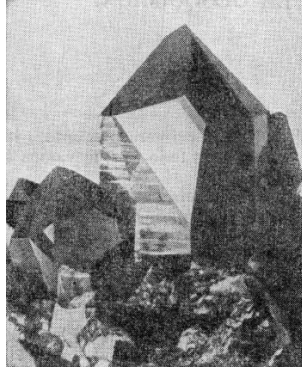
La ciencia que estudia los minerales se denomina Mineralogía; la que describe las rocas, Petrografía, y la que estudia los propios ladrillitos y sus "peregrinaciones" por la naturaleza, Geoquímica..."

La Geoquímica es una ciencia todavía joven, que se ha destacado durante los últimos decenios. Su misión consiste en seguir y aclarar el destino y el comportamiento en la Tierra de los elementos químicos constituyentes de la naturaleza que nos rodea. Si se distribuyen estos elementos en un orden determinado forman la admirable tabla de Mendeléev.

En Geoquímica, la unidad fundamental de investigación es el elemento químico y su átomo.

En cada casilla del sistema de Mendeléev, por lo general, se halla un elemento químico, un átomo, y cada casilla tiene su número de orden correspondiente. El número primero corresponde al elemento más ligero, el hidrógeno. El elemento químico de mayor peso, con número de orden 92, se denomina uranio y es 238 veces más pesado que el hidrógeno. (Aquí no se mencionan aquellos elementos transuránicos que fueron obtenidos por vía artificial y más tarde hallados en la naturaleza, si bien es verdad, en cantidades ínfimas (*Red.*).

Las dimensiones de los átomos son extraordinariamente pequeñas. Si los imaginamos en forma de bolitas, el diámetro del átomo será una diezmillonésima de milímetro. Pero los átomos no se parecen en absoluto a bolitas macizas, sino que constituyen sistemas complejos, compuestos de un núcleo a cuyo alrededor gira un número determinado, distinto para los diferentes tipos de átomos, de partículas eléctricas, llamadas electrones.



*Figura 1.1 Cristales de cuarzo ahumado en el feldespató*

En los diversos tipos de átomos, de elementos químicos, el número de electrones es distinto. Debido a esto, los átomos se diferencian por sus propiedades químicas. Cuando los átomos intercambian sus electrones forman combinaciones, las moléculas.

En la tabla de Mendeléev se definen varias familias naturales de elementos, que se encuentran juntos, no sólo en la tabla, sino también en la propia naturaleza.

La grandeza del sistema de Mendeléev consiste precisamente en que no se trata de un esquema teórico, sino que representa a expresión de las relaciones mutuas naturales existentes entre elementos aislados, que son las que definen su semejanza, diferencia, dislocación y formas de migración en la tierra. En una palabra, la tabla de Mendeléev es, al mismo tiempo, una tabla geoquímica, que, como brújula precisa y segura, ayuda a los geoquímicos en sus trabajos de exploración. Nuevas ideas se engendran donde el pensamiento del hombre de ciencia trata de aplicar la ley de Mendeléev al análisis de los fenómenos naturales.



Pero, ¿en qué consiste la Geoquímica? ¿Qué representa esta nueva ciencia que durante los últimos años ha apasionado a tan gran número de jóvenes investigadores?

Como su denominación indica, la Geoquímica estudia los procesos químicos que se desarrollan en la Tierra.

Los elementos químicos, a modo de unidades naturales independientes, se trasladan, "viajan", se combinan; en una palabra, migran por la corteza terrestre. El estudio de las leyes que rigen las combinaciones de los elementos y de los minerales, verificadas a diferentes presiones y temperaturas en las diversas zonas de la corteza terrestre, constituye los problemas de que se ocupa de investigar la Geoquímica moderna.



Algunos elementos químicos (por ejemplo: el escandio, el hafnio) no son capaces de formar acumulaciones y, a veces, se hallan tan dispersos en la naturaleza, que su porcentaje en la composición de las rocas no pasa de una cienmillonésima.

Tales elementos podríamos denominarlos ultradispersos y procedemos a su extracción de los minerales que los contienen únicamente en el caso de que posean un valor especial para los trabajos prácticos.

Actualmente, suponemos que en cada metro cúbico de cualquier roca podríamos encontrar todos los elementos de la tabla de Mendeléev, si los métodos analíticos de que disponemos fueran lo suficiente precisos para descubrir su presencia. No hay que olvidar que, en la historia de la ciencia, los métodos nuevos tienen todavía más importancia que las nuevas teorías.



*Figura 1.2 Estructuras cristalinas de los elementos químicos dispuestos en las casillas correspondientes de la tabla de Mendeléev. La colocación de las bolitas, muestra cómo se distribuyen los átomos en el cuerpo sólido simple. En primer plano, a la izquierda, se ve el esquema de la distribución de los átomos de silicio y da oxígeno en el cuarzo. (Exposición en el Museo del Instituto de Minas de Leningrado.)*

Otros elementos (por ejemplo: el plomo, el hierro), por el contrario, durante su proceso constante de desplazamiento, experimentan una especie de paros y forman combinaciones capaces de acumularse con facilidad, de conservarse largo tiempo y originan, independientemente de los cambios complejos que se verifican en la corteza terrestre en el transcurso de su transformación geológica, grandes concentraciones y son perfectamente accesibles para su utilización industrial.



*Figura 1.3 Desfiladero "Levi Talgar" en Zailiiski Alatau, RSS de Kazajia*

La Geoquímica estudia las leyes de la distribución y migración de los elementos químicos no sólo en el conjunto de la Tierra y del Universo; los estudia en condiciones geológicas definidas en regiones determinadas del país, como, por ejemplo, en el Cáucaso, en los Urales, marcando al mismo tiempo el camino a seguir para la búsqueda y exploración de yacimientos minerales. De esta forma, las directrices teóricas fundamentales de la Geoquímica moderna se enlazan cada vez más con los problemas de carácter práctico.

Basándose en ciertas leyes generales, la Geoquímica trata de mostrar dónde puede existir cualquier elemento químico, dónde y en qué condiciones pueden esperarse acumulaciones de los mismos, por ejemplo, de vanadio o de wolframio; qué metales pueden "de buen grado" encontrarse juntos, por ejemplo, el bario y el potasio; cuáles "huyen" uno del otro, como el telurio y el tantalio.



*Figura 1.4 Un joven geoquímico investiga los afloramientos de la cuenca de Kar-Shor, RSS de Turkmenia*

La Geoquímica estudia el comportamiento de cada elemento, pero, para poder juzgar este comportamiento, esta ciencia debe conocer a la perfección las propiedades de los elementos, sus particularidades específicas, sus tendencias a combinarse con otros elementos o, por el contrario, a separarse de ellos.

El geoquímico se convierte, por consiguiente, en un “buscador-explorador”, indica aquellos lugares de la corteza terrestre donde puede haber minerales de hierro y de manganeso, explica cómo entre las serpentinas pueden hallarse Nacimientos de platino y aclara el por qué; orienta a los geólogos en la búsqueda de arsénico y antimonio en las formaciones rocosas recientes y en las cordilleras montañosas y predice el fracaso, si se intenta buscar estos metales en aquellos lugares donde no existen condiciones propicias para su concentración.

Pero todo esto es posible cuando se ha estudiado a fondo el "comportamiento" del elemento en cuestión, de la misma forma que, cuando se conoce detalladamente el comportamiento de una persona determinada en la vida, pueden considerarse todas sus acciones, así como también puede predecirse su conducta en diferentes circunstancias.

¡He aquí en qué consiste la significación práctica importantísima que posee esta nueva ciencia! Por consiguiente, la Geoquímica marcha íntimamente ligada a las ciencias geológicas y químicas.

\* \* \* \*

No quiero sobrecargarles a Uds. con multitud de hechos, cálculos, ejemplos... ni tampoco trato de enseñarles toda la sabiduría de la Geoquímica. No, deseo únicamente que se interesen, se apasionen por esta nueva ciencia, nacida hace relativamente pocos años, con objeto de que Uds. mismos se convenzan al leer estos capítulos y conozcan las “peregrinaciones” que efectúan los elementos por el mundo, y vean que ante la Geoquímica, a pesar de ser una ciencia nueva, se abren amplísimas perspectivas en el futuro y que este futuro debe ser conquistado.

En el mundo de las ideas científicas, como siempre en la vida, el progreso y la verdad no triunfan de repente; hay que luchar para conseguirlos, movilizar todas las fuerzas, se requiere poseer aspiraciones concretas claramente orientadas, energía, gran confianza en la justeza de su causa y firme convicción en la victoria.

Triunfa no la idea abstracta, infructuosa, inactiva, sino la idea combativo, ardiente por nuevas búsquedas, la idea que vaya íntimamente ligada a la propia vida y a sus problemas.

Los químicos que se ocupan del estudio de la corteza terrestre disponen en nuestro país de un campo de acción inmenso para la investigación.

Necesitamos todavía una cantidad enorme de hechos; los necesitamos, según palabras del sabio ruso Iván Pávlov, lo mismo que el aire hace falta para sostener las alas de los pájaros.

Pero el pájaro, como el aeroplano, se sostiene en el aire, no sólo debido a las masas aéreas, sino, y principalmente, gracias a su movimiento de avance y de ascensión.

Precisamente estos movimientos de avance y de ascensión son los que mantienen a toda ciencia: ésta se apoya en el trabajo tenaz y creador, en el ardor de las búsquedas audaces, ligados simultáneamente con un análisis frío y sensato de los éxitos obtenidos.

En la industria aún no se utilizan todos los elementos químicos, hay que trabajar todavía mucho y con perseverancia para conseguir que todos los elementos de la tabla de Mendeléev lleguen a emplearse eficazmente en provecho de la humanidad laboriosa.



**Capítulo II****EL MUNDO DE LO INVISIBLE. EL ÁTOMO Y EL ELEMENTO QUIMICO**

Deme la mano, lector. Voy a conducirlo al mundo de las magnitudes pequeñísimas que en la vida ordinaria no percibimos. He aquí un laboratorio para efectuar aumentos y disminuciones. Entremos en él. Nos están ya esperando. Esta persona, vestida con traje de trabajo, aunque todavía no es anciana y su aspecto es de lo más corriente, es, sin embargo, un inventor eminente. Escuchémosle.

"Entren en la cabina, el material de que está construida es transparente para los rayos de cualquier longitud de onda, incluso para los rayos cósmicos de mínima longitud de onda. Si se gira la palanca a la derecha, nuestro tamaño comienza a disminuir. El proceso de empequeñecimiento no es muy agradable, se verifica proporcionalmente siguiendo las indicaciones del cronómetro, cada cuatro minutos nuestro tamaño disminuye mil veces. Al cabo de cuatro minutos nos detenemos, salimos de la Cabina y vemos el mundo que nos circunda como si lo observáramos a través del mejor microscopio. Después volvemos a la cabina y probamos a disminuir nuestras dimensiones en mil veces más".

Giramos la palanca y nuestra estatura decrece, adquiriendo el tamaño de una hormiga... Ahora percibimos los sonidos de modo distinto, debido a que nuestro órgano del oído ya no reacciona ante las ondas aéreas... Sólo ciertos ruidos, zumbidos, chasquidos y el murmullo suave llegan hasta nuestro sentido. Pero nuestra capacidad de visión se conserva, puesto que en la naturaleza existen los rayos X con longitud de onda mil veces menores que los luminosos. El aspecto externo de los objetos ha cambiado de forma inesperada: la mayoría de los cuerpos son ahora transparentes e incluso los metales se han convertido en cuerpos con colores vivos, semejantes a cristales coloreados. . . Por el contrario, el cristal, la resina, el ámbar han oscurecido y se parecen a los metales.

Vemos las células de las plantas, repletas de jugo pulsatorio y de granitos de almidón. Si deseamos podemos introducir la mano en los estomas de las hojas. En la sangre observamos cómo nadan los glóbulos sanguíneos del tamaño de un kopek, las bacterias de la tuberculosis tienen la forma de clavos doblados sin cabeza... Las bacterias del cólera son como habas diminutas con un rabito que se agita rápidamente... Las moléculas no se ven todavía, solamente una vibración continua de las paredes y ligeras punzadas en el rostro debidas al aire, como si soplara viento polvoriento de frente, nos anuncian que estamos ya próximos al límite de divisibilidad de la materia...

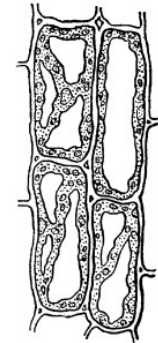
Regresamos de nuevo a la cabina y desplazamos la palanca una división más. Todo se oscurece, nuestra cabina comienza a trepidar como si ocurriera un terremoto.

Cuando volvimos en sí, la cabina seguía trepidando, daba la sensación como si a nuestro alrededor se hubiera desencadenado una tormenta de granizo. Notábamos que algo así como guisantes nos golpeaba constantemente. Podría pensarse que disparaban contra nosotros mil ametralladoras...

Inesperadamente nuestro guía comenzó a decir:

"De la cabina no se puede salir. Nuestras dimensiones han disminuido un millón de veces y nuestra estatura se mide ahora en milésimas de milímetro, mide nada más que un micrón y medio.

El espesor de nuestros cabellos ahora es igual a una cienmillonésima de centímetro. Esta magnitud se llama angstrom y se emplea para medir las moléculas y los átomos. El diámetro de





las moléculas de los gases componentes del aire es aproximadamente de un angstrom. Estas moléculas se mueven con enorme velocidad y bombardean nuestra cabina.

Al salir la primera vez de la cabina notamos ya que el aire nos azotaba la cara como si fuera arena: se debía a la influencia de moléculas aisladas. Ahora somos mucho más pequeños y el movimiento de las moléculas es peligrosísimo para nosotros, lo mismo que si a una persona le dispararan con arena.

Miren a través de la ventana y verán partículas de polvo de un micrón de diámetro, o sea, casi tan grandes como nosotros mismos. ¡Cómo danzan en todas direcciones al golpear contra ellas, de modo desigual, los torbellinos moleculares! Desgraciadamente, no podemos observarlos.

Se mueven a velocidad rapidísima... Pero, ya es hora de regresar. Las ondas ultracortas, gracias a las cuales vemos las moléculas, son perniciosas para nuestra vista".

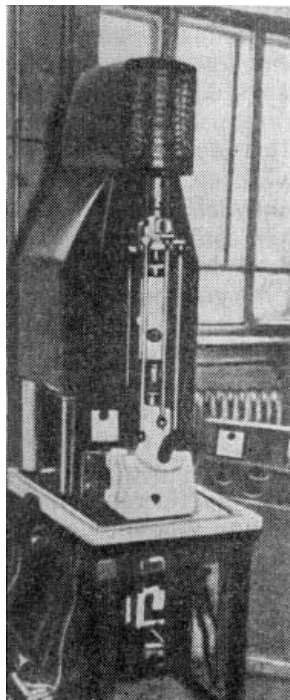
Dichas estas palabras, nuestro guía giró la palanca en sentido contrario...

Nuestro viaje, naturalmente, es sólo fruto de nuestra imaginación. Pero el cuadro que acabamos de exponer se aproxima mucho a la realidad.

La experiencia muestra que cualquiera que sea el método analítico que empleamos, llegamos siempre, como resultado del análisis de cuerpos complejos, hasta ciertas sustancias simples que, por vía química, no pueden ser divididas en otras partes componentes más sencillas.

A estos cuerpos simples indivisibles, que constituyen todos los cuerpos existentes en la naturaleza, los llamamos elementos químicos.

El hombre, en contacto continuo con los cuerpos circundantes de la naturaleza, vivos y muertos, líquidos, sólidos y gaseosos, llegó a una de sus generalizaciones más importantes: a la concepción de la sustancia, de la materia. ¿Qué propiedades posee esta materia? ¿Cuál es su estructura? He aquí la cuestión que debe plantearse todo el que se dedica al estudio de la naturaleza.



*Figura 2.2 Microscopio electrónico, que amplifica hasta 500.000 veces. El objeto que se observa es iluminado por un chorro de electrones. Las lentes consisten en potentes electroimanes.*

La primera impresión que recibimos, como resultado de la observación directa, es la continuidad aparente de la sustancia. Pero esta impresión es simplemente la ilusión de nuestros sentidos. Con ayuda del microscopio, con frecuencia descubrimos la existencia de poros en la sustancia, o sea, la existencia de huecos diminutos, imperceptibles a simple vista.

Incluso para sustancias como el agua, el alcohol y otros líquidos, así como los gases, que en principio no deben tener poros, tenemos que reconocer la existencia de intersticios entre sus partículas constituyentes, pues, en caso contrario, sería incomprensible por qué estas sustancias se comprimen al presionarlas y se dilatan al calentarlas.

La materia tiene siempre estructura granulada. Los granitos más pequeños de sustancia fueron denominados átomos y moléculas. En el agua líquida, por ejemplo, se ha demostrado que las moléculas ocupan aproximadamente sólo la tercera o cuarta parte del volumen total. El resto lo constituyen los poros.

Sabemos que al aproximarse los átomos surgen entre ellos fuerzas de repulsión y los átomos no pueden unirse íntimamente unos con otros. Alrededor de cada átomo puede describirse una "esfera de impenetrabilidad" en cuyo interior, en condiciones ordinarias, no puede infiltrarse otra materia. Por tanto, los átomos, junto con esta esfera, pueden ser considerados como bolitas elásticas impenetrables. Cada elemento posee una esfera impenetrable determinada, cuyo radio se expresa en unidades angstrom. Por ejemplo, dicho radio en el carbono es de 0,16 angstrom, en el silicio, de 0,42, esto es, de magnitud pequeña; en el hierro es de 0,74, en el calcio, de 0,99, es decir, de magnitud media. En el oxígeno su magnitud es de 1,32, o sea, grande. (Véase la Figura 7.2, en el que están representados los elementos en forma de circulitos de tamaño proporcional a las dimensiones de los radios de sus esferas.)

Si colocamos las bolitas en un espacio cualquiera, por ejemplo, en un cajón, la distribución desordenada de las mismas ocupará un volumen mayor que en el caso de que esta distribución se haga ordenadamente. La distribución que ocupa el volumen mínimo se llama el empaquetamiento más compacto. Este empaquetamiento es fácil de conseguir, por ejemplo, haciendo el experimento siguiente. Tomemos varias decenas de bolitas de acero (de cojinete), coloquémoslas en un plato y golpeemos éste ligeramente. En virtud de que todas las bolitas tenderán a dirigirse hacia el centro del plato, se apretarán unas contra otras y quedarán rápidamente dispuestas en filas, formando entre sí ángulos de  $60^\circ$ . Por el contorno exterior se distribuirán según los lados de un hexágono regular. Este será, considerado en el plano, el empaquetamiento más compacto para bolitas de idéntica dimensión.

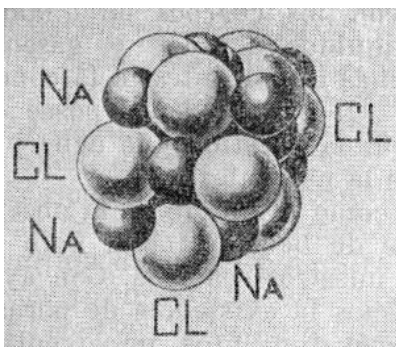


Figura 2.3 Modelo de estructura de la sal gema  
 $NaCl$

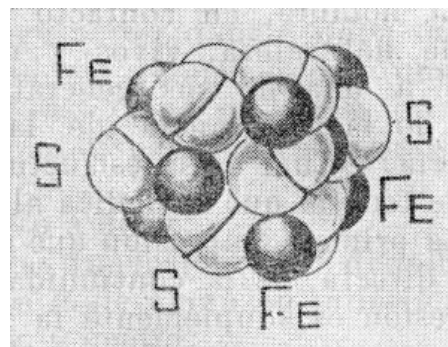


Figura 2.4 Modelo de estructura de la pirita  
 $FeS$

De este modo, se distribuyen, por ejemplo, los átomos de muchos metales: cobre, oro, etc.

Si las bolitas no son iguales, por ejemplo, de dos tamaños distintos, por lo general sucede que las bolitas más grandes (por ejemplo, el cloro en los cristales de sal común) forman el empaquetamiento más compacto y los átomos pequeños se distribuyen ocupando los intervalos que quedan entre las bolitas grandes.

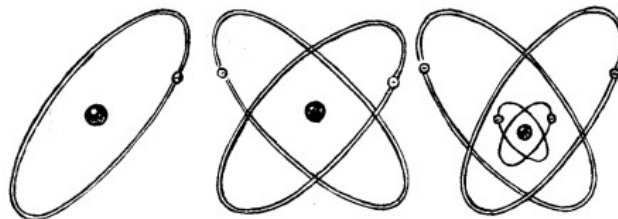
De este modo, en la sal común o en el mineral halita (NaCl), cada átomo de sodio está rodeado de seis átomos de cloro y cada átomo de cloro de seis de sodio. En estas condiciones, la magnitud de las fuerzas de atracción entre los iones de sodio y de cloro tiene el valor máximo.

En resumen, los cuerpos que nos rodean, independientemente del grado de complejidad o simplicidad que posean, están formados por la combinación de partículas ínfimas o átomos, imperceptibles a simple vista, de la misma manera que un edificio grande y bonito está construido de ladrillitos pequeños aislados.

Esta hipótesis data de tiempos remotos y el concepto de "átomo" (del griego "indivisible") lo empleaban ya los filósofos materialistas griegos Leucipo y Demócrito, 600-400 años antes de nuestra era. Según la concepción moderna, cuyos fundamentos fueron establecidos en el siglo XIX, el elemento químico en estado libre, en forma de cuerpo simple, está integrado por el conjunto de átomos homogéneos, ulteriormente indivisibles, por lo menos sin llegar a perder las particularidades propias que caracterizan a la sustancia dada.

Los átomos de un mismo elemento químico tienen idéntica estructura y poseen una masa, o peso atómico, característico para cada uno.

A comienzos de nuestro siglo, los hombres de ciencia consideraban que en la Tierra debían existir 92 elementos distintos, lo que significa, 92 tipos diferentes de átomos. En la actualidad, de estos 92 elementos químicos se han conseguido encontrar, a partir de los recursos naturales, 90 elementos y ' consecuentemente, 90 tipos de átomos. Sin embargo, no dudamos que los elementos todavía no descubiertos existen también. Todos los cuerpos que conocemos en la naturaleza, están constituidos por combinaciones de estos 92 tipos de átomos.



*Figura 2.5 Estructura de los átomos de hidrógeno, helio y berilio. Los círculos representan las órbitas de los electrones. Los núcleos de los átomos se hallan en el centro*

El más pesado de todos los elementos conocidos hasta los últimos tiempos es el uranio, al que corresponde el número 92.

En los últimos años, al estudiar la desintegración de los elementos uránicos, se han descubierto elementos todavía más pesados, llamados transuránicos:

- N°93, neptunio;
- N°94, plutonio;
- N°95, americio;
- N°96, curio;
- N°97, berkelio;
- N°98, californio;

- N°99, einstenio;
- N°100, fermio;
- N°101, mendelevio;
- N°102, nobelio;
- N°103, laurencio y
- N°104, curchatovio.

No sería extraño que existieran átomos todavía más pesados. Pero todos ellos son muy inestables, se encuentran en la naturaleza en cantidades pequeñísimas, por tanto, al investigar la composición de los cuerpos naturales de la tierra, podemos considerar, sin gran error, que todos ellos están formados por 92 elementos.

Los átomos de un mismo elemento, así como los átomos de elementos diferentes, al unirse unos con otros en distintas proporciones, pueden formar moléculas de sustancias diversas. Al combinarse entre sí los átomos y las moléculas constituyen toda la diversidad de cuerpos existentes en la naturaleza. El número de átomos y moléculas debe ser muy grande. Por ejemplo, si tomamos 18 gramos de agua, lo que se llama molécula-gramo, el número de moléculas que la integran es de  $6,06 \times 10^{23}$ .

Este número es enorme, miles de veces mayor que el número de granos de centeno y de trigo cosechados en el globo terráqueo durante todo el período de existencia de la vida vegetal.

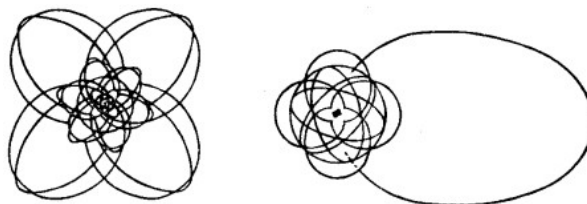
Para hacerse una idea aproximada de las dimensiones de las moléculas, comparémoslas con los organismos vivos más pequeños, las bacterias, visibles sólo a través de un microscopio que amplifique alrededor de mil veces. La dimensión de las bacterias más pequeñas es de dos



diezmilésimas de milímetro. Son mil veces mayores que las moléculas de agua, lo que significa que en la bacteria más minúscula hay más de dos mil millones de átomos.

¡La cadena formada por las moléculas de agua, contenidas en tres gotas de este líquido, puede extenderse desde la Tierra hasta el Sol y en sentido contrario, casi seis veces, puesto que esta distancia tiene una longitud total de 9.400.000.000 de kilómetros!

Al principio se consideraba al átomo como partícula pequeñísima e indivisible. Sin embargo, al estudiarlo con más atención, y a medida que se perfeccionaban y precisaban nuestros métodos de investigación, el átomo resultó poseer una estructura muy compleja. La naturaleza del átomo se manifestó, por primera vez, de forma evidente, cuando el hombre conoció los fenómenos de la radiactividad y comenzó a investigarlos.



*Figura 2.6 Estructura de los átomos de sodio y de criptón*

En el centro de cada átomo se halla el núcleo, cuyo diámetro es unas cien mil veces más pequeño que el diámetro del átomo. El núcleo del átomo contiene prácticamente toda la masa del mismo. El núcleo posee carga eléctrica positiva, cuya magnitud va creciendo al pasar de los elementos químicos ligeros a los pesados. Alrededor de este núcleo cargado positivamente,

giran los electrones, en número igual al de cargas positivas del núcleo, debido a lo cual, en conjunto, el átomo es neutro desde el punto de vista eléctrico.

Los núcleos de los átomos de todos los elementos químicos están constituidos por la agregación de dos clases de partículas elementales: el protón, o núcleo del átomo de hidrógeno, y el neutrón, partícula de masa casi exactamente igual a la del protón, pero privada de carga eléctrica. Los protones y neutrones están fuertemente ligados entre sí, en virtud de lo cual los núcleos atómicos resisten cualquier reacción química y acción física, manteniéndose invariables y estables.

Estabilidad extraordinaria presenta la combinación formada por dos protones y dos neutrones, lo que constituye el átomo de helio. Los núcleos de este elemento son tan estables que se conservan invariables en los átomos de los elementos pesados y son despedidos, en forma de partículas alfa, durante la desintegración radiactiva de los núcleos de dichos elementos.

Las propiedades químicas de los elementos dependen de la estructura y propiedades de la capa electrónica externa de los átomos, de su capacidad de ceder o aceptar electrones. La estructura del núcleo atómico casi no influye en las propiedades químicas del átomo. Por consiguiente, los átomos que poseen un mismo número de electrones en su capa cortical, incluso si son diferentes las estructuras de sus núcleos, sus masas y pesos atómicos, presentan idénticas propiedades químicas y forman grupos afines de átomos, como por ejemplo, el grupo del cloro, bromo, yodo y otros.

En las figuras se muestran los modelos esquemáticos de estructuras de varios átomos, en los que puede verse cómo van complicándose las órbitas electrónicas a medida que crece el peso atómico.



**Capítulo III****LOS ATOMOS QUE NOS CIRCUNDAN**

Examine las tres fotos que insertamos en este capítulo.

La vista del lago entre montañas, rodeado de rocas calizas, la superficie azul plana y tranquila del agua, las manchas verdes oscura de árboles solitarios... y todo el paisaje iluminado por el sol meridional.

La fábrica metalúrgica, envuelta en humo y vapor, enrojecida por el fuego; trenes cargados con mineral, carbón, fundente y ladrillos se dirigen a ella, llevándose después cientos de toneladas de carriles, techos, lingotes y laminados con destino a los nuevos centros industriales.

El automóvil brilla el barniz de sus guardabarros, ronca el motor, suenan dulcemente las canciones del receptor de radio. Este coche está construido de miles de piezas montadas en la larga cadena de la fábrica y recorrer cientos de miles de kilómetros no supone para él gran esfuerzo.

Observo estos tres cuadros y dígame sinceramente qué piensa usted al contemplarlos, qué le parece en ellos más interesante, qué desearía usted preguntar.

Adivino su pensamiento y sus preguntas. Usted vive en el siglo de la técnica y la industria, su interés se concentra donde la máquina produce la fuerza y la fuerza crea la máquina.

Pero yo quiero referirme a otras cosas, para que contemplen estos cuadros con otros ojos, en otros aspectos. Escuchen.

\* \* \* \*

"¡Cuántos admirables problemas científicos de carácter geológico oculta este lago! me diría el geólogo. ¿Cómo se formó esta enorme y profunda depresión del terreno, quién encerró estas aguas azules entre esas peñas abruptas de las cordilleras tadjikas? Desde la cima de las montañas hasta el fondo del lago hay de dos a tres mil metros; ¿qué fuerzas poderosas fueron capaces de elevar y aplastar los estratos rocosos?"

"¡Qué calizas maravillosas forman las rocas y las montañas! exclamaría el mineralogista. ¡Qué cantidad de decenas y cientos de miles de años deben haber transcurrido para llegar a acumularse en el fondo de los océanos sedimentos tan grandes de fango, conchas, cáscaras, caparazones y para que se comprimieran convirtiéndose en rocas calizas compactas, casi en mármol! Tome usted una lupa corriente, que amplía 10 veces, y, aún así, distinguirá con dificultad los cristales aislados y brillantes del espato calizo constituyentes de la roca".



Figura 3.1 Lago en las montañas de Tadjikistán

“¡Qué blancura y pureza la de esta caliza! diría el químico técnico. Esta es una materia prima espléndida para la industria del cemento y para su conversión en cal, esto es carbonato cálcico casi puro, o sea, la combinación de átomos de calcio, oxígeno y moléculas de anhídrido carbónico. Observe usted cómo lo disuelvo en un ácido débil; el calcio se disuelve y el anhídrido carbónico se desprende con efervescencia”.

"Pero se pueden hacer experimentos más precisos todavía, diría el geoquímico. Utilizando un espectroscopio, puede demostrarse que en esta caliza hay, además, otros átomos: estroncio y bario, aluminio y silicio. Si efectuamos un análisis ultrapreciso y probamos a determinar los elementos más escasos, cuyo porcentaje en la roca es menor de una millonésima, podremos descubrir la presencia de zinc y plomo.



Pero no crea que se trata de una propiedad especial de nuestra caliza: incluso en el mármol más puro que puede haber en el mundo, los químicos experimentados calculan la existencia de 35 átomos diferentes.

Actualmente nos inclinamos incluso a pensar que en cada metro cúbico de piedra - granito o basalto, caliza o arcilla - pueden hallarse todos los elementos de la tabla de Mendeléev, únicamente que algunos de ellos se encuentran en cantidad pequeñísima: un billón de veces menor que la de calcio y oxígeno”.

El geólogo, mineralogista, químico y geoquímico nos seducirán de tal forma con sus palabras que, en lugar de la simple caliza grisácea, llegaremos a creer que nos encontramos ante una piedra misteriosa. Quisiera ahondar más profundamente en su naturaleza y descifrar el enigma de su existencia, de su origen.

\* \* \* \*

Ocupémonos ahora de la fábrica. ¡Qué edificios tan raros, extraordinarios por su tamaño y forma! Torres-columnas gigantes, llenas de mineral, de carbón y de piedra. A estas torres llegan tubos de enormes dimensiones, que suministran aire comprimido y caliente. ¿Con qué objeto? ¿Para qué se funde el metal en el interior, arde el carbón y se inflaman las nubes densas de gases incandescentes al salir a la atmósfera?

Seguramente se sorprenderá si le digo que esto es un laboratorio de átomos. Los átomos de hierro, en el mineral, están fuertemente unidos con otras bolitas de mayor tamaño, con los átomos

de oxígeno, que impiden a los átomos de hierro agruparse y formar el metal pesado forjado, el hierro... El mineral no posee, en absoluto, las propiedades de este metal, a pesar de que contiene el 70% del mismo. Por tanto, es necesario expulsar al oxígeno. Pero, ¿eso no es tan fácil de conseguir!



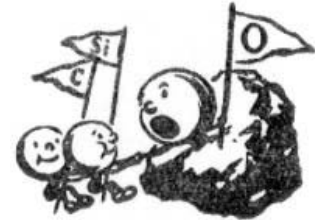
Recuerde, lector, el cuento ruso, cómo la hermanita Aliónushka tuvo necesidad de elegir y extraer de un montón de granos todas las partículas de arena; cómo llamó a sus amigas, las hormigas, para que le ayudaran en esta labor, y cómo las hormigas cumplieron con éxito la complicada tarea.

¡Pero, entonces, se trataba de granos de arena, cuyo diámetro es un millón de veces mayor que el de los átomos de oxígeno! "Tarea difícil, sí, y poco probable de cumplir", diría usted. Efectivamente, mucho trabajo y energía humanas se han requerido para resolver este rompecabezas.

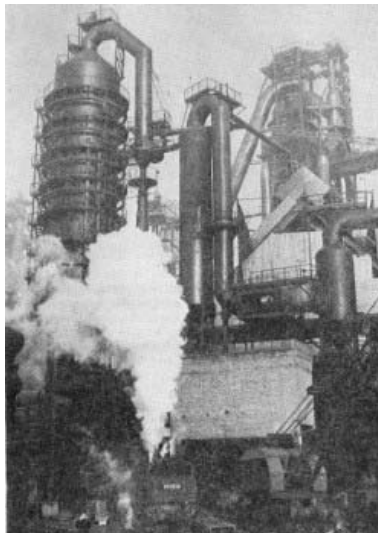
¡Sin embargo, está resuelto!

Para ello, el genio humano llamó en su auxilio, no a las hormigas, sino a los átomos de otros cuerpos químicos y, en alianza con los elementos de la naturaleza, el fuego y el viento, obligó a dichos átomos a desembarazar al hierro del oxígeno y elevar a este último, junto con el aire caliente, hasta la superficie de la masa fundida que hierve en el interior del horno.

¿Qué átomos-amigos son los que vencen al oxígeno? Son dos, el silicio y el carbono. Ambos se apoderan del oxígeno con más fuerza que el hierro y forman con él edificios estables. Ambos se ayudan mutuamente. El carbono, cuando arde, se combina con el oxígeno y en este proceso se desarrolla una temperatura enorme. Pero él sólo no es suficiente, pues el mineral sólido de hierro es muy refractario, pesado, y los átomos de carbono no pueden penetrar en el interior de los trozos compactos de mineral.



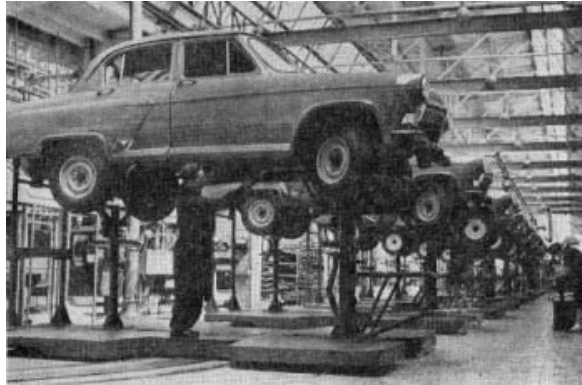
En su ayuda viene el silicio, elemento activo, pequeño de tamaño y origina escorias fusibles, disuelve al mineral, le quita el oxígeno y se lo entrega al carbono. Parte de este último se disuelve en el hierro y le transmite movilidad y facilidad de fusión.



*Figura 3.2 Fábrica metalúrgica*



En este momento intervienen los elementos de la naturaleza: el fuego incrementó la movilidad de la masa fundida; todas las sustancias ligeras, junto con los gases, suben a la superficie; las pesadas descienden y... se verifica el milagro. Los átomos se han separado, el hierro, con cierta cantidad de carbono disuelto, se acumula en la parte baja del horno, las escorias, livianas, que se han llevado todo el oxígeno contenido en el mineral, nadan en la superficie del metal fundido y pueden ser extraídas y vertidas allí donde indique la mano del maestro- operador...



*Figura 3.3 En el taller de montaje de la fábrica de automóviles de Gorki*

¡Cuántos conocimientos es necesario acumular!; qué sutilmente es preciso comprender el carácter y los caprichos de cada átomo, para poder, en escalas colosales, seleccionarlos correctamente, de acuerdo con nuestros deseos.

\* \* \* \*

Examinemos ahora la tercera fotografía, un automóvil moderno. Constituye también una combinación de átomos, elegidos convenientemente para un fin único: obtener un coche incansable, potente, silencioso y rápido.

¡Miles de piezas, de 65 tipos diferentes de átomos, y no menos de 100 clases de metal: he aquí, lo que es el automóvil moderno! En él hay mucho hierro, pero hierro, cuyas propiedades han sido modificadas de numerosos modos distintos: aleación de hierro con 4% de carbono, fundición de hierro, de la cual está hecho el bloque del motor. Si se reduce el contenido de carbono obtenemos acero duro y elástico.

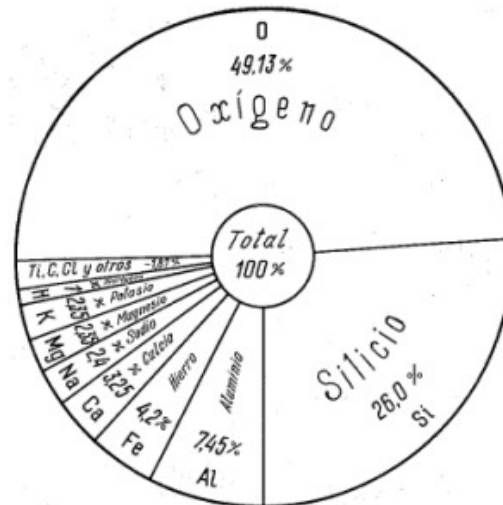


Figura 3.4 Porcentaje, en peso, de los elementos constituyentes de la corteza terrestre (hasta 16 kilómetros de profundidad)

Si se adicionan otros átomos, parecidos a los de hierro, por ejemplo, manganeso, níquel, cobalto, molibdeno, el acero adquiere mayor elasticidad, resistencia al desgaste, tenacidad. Si añadimos vanadio, el acero se hace flexible como una vara y se emplea para fabricar los dispositivos de suspensión.

El segundo lugar en el coche lo ocupa, no el cobre como antes, sino el aluminio. De este elemento se construyen los émbolos y manivelas, distintas piezas con formas decorativas, revestimientos diversos, pletinas de perfil vario, etc. Lo que puede hacerse ligero, todo es de aluminio o de sus aleaciones con cobre, silicio, zinc, magnesio...

Porcelana de alta calidad para las bujías, barnices que no temen las lluvias y el frío, tejido y cobre para los cables, plomo y azufre en los acumuladores... Y basta, pues si no, no quedará un solo elemento que no vaya en el coche... Estos elementos, combinándose entre sí, forman unas 250 sustancias y materiales distintos, que, de forma directa o indirecta, se utilizan en la industria del automóvil.

Hay que remarcar, que aquí el hombre actúa en contra de los procesos naturales, los deshace, los subordina a su voluntad. ¿Es que el aluminio se halla en la naturaleza en estado libre? Esto no ocurre y no ocurriría jamás, aunque la Tierra existiese todavía miles de millones de años.

El hombre, al conocer y comprender las propiedades de los elementos, utilizó estos conocimientos para desplazar los elementos según su conveniencia. Se hallan muy difundidos en la tierra, en primer lugar, los elementos ligeros: cinco de ellos, oxígeno, silicio, aluminio, hierro y calcio, constituyen el 90,03% de la corteza terrestre. Si agregamos siete más, sodio, potasio, magnesio, hidrógeno, titanio, carbono y cloro, estos 12 elementos forman el 99,29%. A todos los demás elementos les corresponde apenas el 0,7% en peso<sup>1</sup>. Pero al hombre no le conviene tal distribución y busca tenazmente los elementos poco difundidos, extrayéndolos de la tierra, a veces con dificultades increíbles, estudia sus propiedades por todos los medios posibles y los emplea allí donde su aplicación es más necesaria y racional. ¡He aquí por qué en la construcción del automóvil se utiliza el níquel, del cual hay en la naturaleza 0,02%; cobalto, 0,001%; molibdeno, menos de una milésima por ciento e, incluso, platino, doce milmillonésimas por ciento!

¡Los átomos se hallan en todas partes y su dueño es el hombre! El los toma con mano imperiosa, los mezcla, los que no le interesan, los desecha, los que le sirven, los combina, aunque se trate de

elementos que jamás se encuentran juntos en la naturaleza. Si el lago de las montañas de Tadjikistán es la glorificación de las grandes fuerzas, capaces de elevar las rocas y de originar profundas depresiones del terreno, en cambio, la fábrica y el automóvil, son la sinfonía industrial acerca del poderío del genio humano, acerca de sus trabajos y conocimiento.

---

<sup>1</sup> Durante los últimos años, gracias al empleo de métodos de investigación más modernos, estas cifras han sufrido cierta variación, aunque insignificante. (*Red.*)

**Capítulo IV****NACIMIENTO Y COMPORTAMIENTO DEL ÁTOMO EN EL UNIVERSO**

Me acude a la memoria una tarde serena, admirable de Crimea. Parece como si toda la naturaleza se hubiera dormido y nada turbase la superficie del mar en calma. Incluso las estrellas no parpadeaban en el negro cielo meridional y brillaban con rayos resplandecientes. Se apagó la vida a nuestro alrededor y semejaba que el mundo hubiese cesado en su movimiento y se encerrase en el eterno silencio de las noches del sur.

¡Pero cuán lejos está todo esto de la realidad y qué engañosos son el silencio y la quietud de la naturaleza que nos circunda!

Basta con aproximarse al radioreceptor y comenzar a girar lentamente la manecilla para ver que todo el mundo está penetrado de miríadas de ondas electromagnéticas portadoras de sonidos. Mensurables bien en algunos metros, bien en miles de kilómetros, las ondas impetuosas del mundo etéreo se alzan hasta la altura de las capas ozónicas y se precipitan nuevamente hacia la tierra. Superponiéndose unas a otras, estas ondas llenan el mundo entero con vibraciones imperceptibles para nuestro oído.

Y las estrellas, que parecen tan inmutables en la bóveda celeste se mueven en el espacio sideral con velocidades vertiginosas de ciento y miles de kilómetros por segundo. Una estrella-sol se precipita a un lado de la galaxia, arrastrando consigo torrentes enteros de cuerpo que no alcanza nuestra vista; otras dan vueltas a un ritmo todavía más rápido, originando enormes nebulosas; otras se alejan a las zonas desconocidas del Universo.

A velocidades de miles de kilómetros por segundo se mueven los vapores de sustancias incandescentes en la atmósfera de las estrellas y en unos cuantos minutos crecen inmensas columnas de gases de miles de kilómetros de altura, formando en el disco solar fúlgidas protuberancias.

Hierve la sustancia fundida en las desmesuradas profundidades de las estrellas lejanas. La temperatura alcanza en ellas decenas de millones de grados; partículas sueltas se desprenden unas de otras, se fisionan los núcleos atómicos, torbellinos de electrones se precipitan hacia las capas superiores de las atmósferas estelares y potentes tempestades electromagnéticas,

atravesando millares y miles de millones de kilómetros, llegan hasta la Tierra, turbando la tranquilidad de la atmósfera. Todo el Cosmos está saturado de vibraciones. Este concepto lo expuso de manera admirable un gran sabio de su tiempo Lucrecio Caro cerca de cien años antes de nuestra era:

Lucrecio



*A los cuerpos primarios, desde luego,  
Ninguna quietud se otorga en el vacío inabarcable.  
Por el contrario: atosigados por movimientos sin descanso  
En parte saltan a lo lejos, chocando unos con otros,  
En parte se dispersan sólo a pequeña distancia.*

La Tierra vive también su vida. Su superficie tranquila, silenciosa al parecer, está en realidad llena de actividad. Millones de diminutas bacterias pueblan cada centímetro cúbico de terreno. El microscopio, ampliando los límites de la investigación, descubre nuevos mundos con más diminutos seres vivos, los virus en movimiento constante, y se discute si considerarlos como seres vivos o como moléculas raras de la naturaleza muerta.

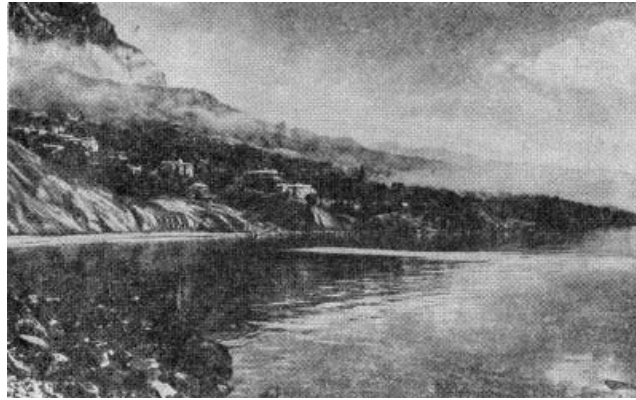


Figura 4.1 Una tarde en Crimea. La costa de Alupka

Eternamente se desplazan las moléculas en los movimientos térmicos del mar, y el análisis científico demuestra que en el agua del mar cada oscilación efectúa largos y complejos recorridos a velocidades que se miden en kilómetros por minuto.

Eternamente se verifica el intercambio de átomos entre el aire y la tierra. Desde lo profundo de la Tierra se evaporan al aire los átomos de helio, la velocidad de su movimiento es tan grande que contrarrestan la fuerza de la gravedad y marchan al espacio interplanetario.

Los átomos activos del oxígeno del aire penetran en el organismo. Las moléculas de anhídrido carbónico son captadas por las plantas, creando el cielo permanente del carbono, y en las entrañas de la Tierra, tratando de escapar a la superficie, hierven aún masas fundidas en ignición de rocas pesadas.

Ante nosotros tenemos un cristal duro, tranquilo, transparente y puro. Podría pensarse que los átomos sueltos de la sustancia se distribuyen en los nudos de una retícula estable de forma invariable. Pero esto sólo parece: en realidad los átomos se hallan en constante movimiento, girando alrededor de sus puntos de equilibrio, intercambiando constantemente sus electrones, bien los libres, como en los átomos de metal, bien los que están unidos, y se mueven repetidamente por órbitas de configuración compleja.

Todo vive alrededor de nosotros. El cuadro de la tarde serena de Crimea es falso. Cuanto más la ciencia va dominando la naturaleza, tanto más amplio se 'descubre ante ella el panorama real de todos los movimientos de la sustancia del mundo que nos rodea. Y cuando a la ciencia le fue posible medir los movimientos en millonésimas de segundo, cuando con sus "manos" roentgenológicas ella mide millonésimas de centímetro con tal precisión como no puede medir nuestra vista, cuando aprendió a ampliar las imágenes de la naturaleza en 200 y 300 mil veces e hizo asequibles al ojo humano, no sólo los virus microscópicos, sino también las moléculas aisladas de sustancia, se comprendió que en el mundo no hay nada en reposo, hay solamente un caos de movimientos constantes que buscan su equilibrio temporal.

En tiempos remotos, antes del florecimiento de la antigua Grecia, en las islas del Asia Menor vivió el admirable filósofo Heráclito. Él supo penetrar en las profundidades del Universo con su inteligencia perspicaz y fueron dichas por él unas palabras que Herzen calificó como las palabras más geniales en la historia de la humanidad.

Heráclito dijo: "Panta rey", "Todo fluye", y colocó en la base de su sistema universal la idea del movimiento perpetuo. Con esta idea pasó el hombre todas las épocas de su historia. Basándose en ella, Lucrecio Caro creó su filosofía en el famoso poema sobre la naturaleza de las cosas y la historia del mundo. Basándose en ella, con extraordinaria clarividencia edificó su física el genial sabio ruso M. Lomonósov, diciendo que cada punto en la naturaleza tiene tres movimientos: de

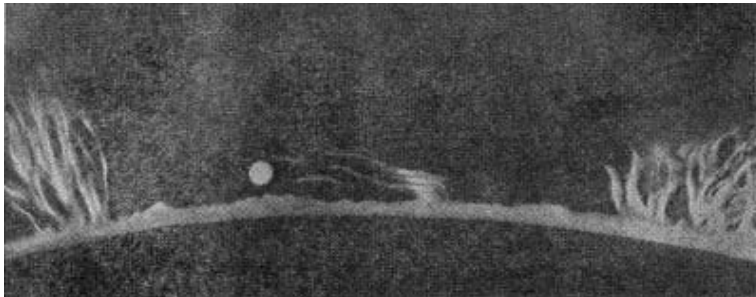


Heráclito

avance, de rotación y de oscilación. Y en la actualidad, cuando los nuevos éxitos de la ciencia corroboran esta vieja concepción filosófica, debemos mirar con nuevos ojos al mundo que nos circunda y a las leyes de la substancia.

Las leyes de la distribución de los átomos son para nosotros leyes sobre los movimientos infinitamente complejos a diferentes velocidades, en distintas direcciones y escalas diversas, que determinan la variedad del mundo que nos rodea, toda la diversidad de átomos sueltos que se agitan en él. Comenzamos ahora a comprender de una manera nueva el espacio universal que nos circunda.

Las dimensiones del Universo estelar, accesibles para nuestra observación, son colosales. No se pueden medir en kilómetros, ésta es una unidad excesivamente pequeña. Incluso la distancia entre el Sol y la Tierra, que es de 150 millones de kilómetros y la recorre la luz en ocho minutos y un tercio, a pesar de que cada segundo puede dar la vuelta alrededor de nuestro globo siete veces y media, resulta también una unidad pequeña. Los hombres de ciencia han inventado una unidad especial, el "año de luz", o sea, la distancia que recorre la luz en un año. Los mejores telescopios pueden distinguir estrellas cuya luz llega hasta nosotros al cabo de millones de años...

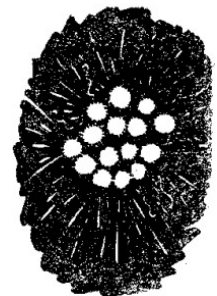


*Figura 4.2 Protuberancias en el Sol durante el eclipse del 28 de mayo de 1900. El círculo blanco muestra las dimensiones de la Tierra en la misma escala. Su diámetro es de 12.750 kilómetros.*

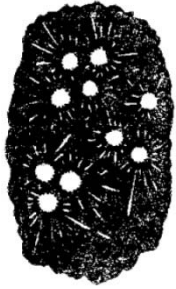
¡Verdaderamente el Cosmos no tiene límites! Para nosotros sus límites se determinan sólo por el grado de perfección de nuestros telescopios...

El cúmulo de materia estelar en el espacio universal forma en algunos lugares condensaciones, se origina lo que denominamos mundo visible. Mundos semejantes hay aproximadamente cien mil millones. En cada uno de ellos hay cerca de cien mil millones de estrellas y en cada estrella un uno seguido de 57 ceros de protones y neutrones (del orden de  $10^{56}$ ), es decir, de las partículas pequeñísimas que constituyen todo el mundo, sin contar las partículas menores aún de electricidad, los electrones cargados negativamente.

En el espacio universal el elemento más abundante es el hidrógeno. Conocemos un gran número de nebulosas cósmicas en cuya composición entra casi exclusivamente el hidrógeno. Los átomos de hidrógeno se reúnen influidos por la gravitación universal, empujados por fuerzas especiales interatómicas, cuyo estudio sólo se inicia aún. Se originan enormes ovillos, en los que la cantidad de átomos integrantes constituye un número del orden de 56 cifras: aparece la estrella. Pero las dimensiones del universo son infinitamente grandes comparadas con el volumen de los átomos formados. Sabemos que en mayor parte del espacio universal se encuentra realmente vacío, correspondiendo a cada metro cúbico sólo de 10 a 100 partículas, átomos de substancia, lo que supone un enrarecimiento que es 10" veces menor que la presión normal de la atmósfera sobre la tierra. De estos espacios enrarecidos del universo podemos llegar hasta condensaciones nunca vistas, provocadas por las presiones



existentes en las profundidades de las estrellas, donde miles de millones de atmósferas se conjugan con temperaturas de decenas o cientos de millones de grados.

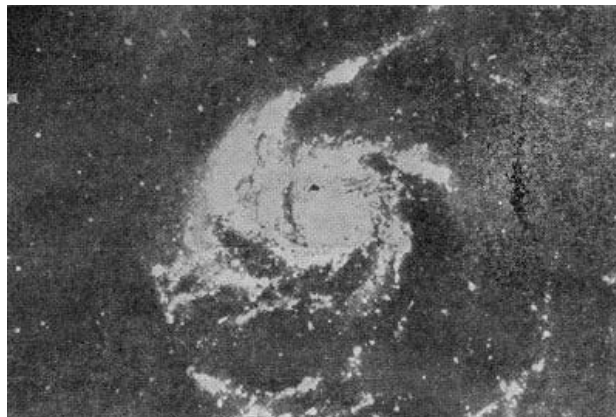


Precisamente allí se encuentra el laboratorio natural, donde surgen a partir del hidrógeno átomos nuevos, más pesados, y en primer lugar de helio.

En las estrellas que iluminan con deslumbradora luz blanca como, por ejemplo, el célebre satélite de Sirius, la substancia es tan compacta que su peso es mil veces mayor que el del oro y platino. Para nosotros es difícil hasta imaginar qué clase de sustancia es ésta y cuáles son sus propiedades.

Por una parte, tenemos espacios interplanetarios infinitos surcados por átomos aislados que se desplazan libremente. Aquí, dialécticamente se conjuga el reposo universal con el movimiento impetuoso, aquí reinan temperaturas próximas al cero absoluto.

Por otra parte, tenemos las zonas nucleares de las estrellas en las que millones de grados se acompañan por presiones de miles de millones de atmósferas, donde los átomos, venciendo la repulsión de los electrones, se congregan en una masa compacta de substancias nunca vistas en la Tierra. En estas condiciones se verifica la evolución de los elementos químicos, tanto más pesados y compactos, cuanto mayor sea la masa de la estrella y más elevadas la presión y temperatura de sus regiones internas.



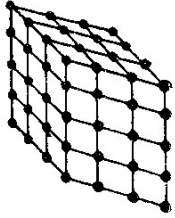
*Figura 4.3 Nebulosa M-101 en la constelación de la Osa Mayor*

El elemento químico originado, es el primer eslabón de la lucha contra el caos. A partir de protones y electrones libres, sometidos a presiones y temperaturas fantásticas, pueden formarse núcleos más pesados.

De esta forma van apareciendo por distintos lugares edificios diversos, a los que llamamos elementos químicos. Unos de ellos más pesados, más saturados de energía, otros ligeros, que constan sólo de varios protones y neutrones. Estos elementos más ligeros son arrastrados en corrientes a la periferia de las estrellas, a su atmósfera, o se unen formando enormes nebulosas. Otros, dotados de menor movilidad, quedan en la superficie de los cuerpos incandescentes o fundidos.

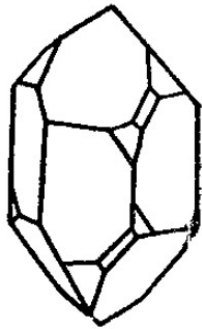
Radiaciones intensísimas destruyen ciertos edificios y erigen otros. Unos elementos se desintegran, otros se crean de nuevo hasta que los átomos ya formados caigan allí, donde no existan fuerzas potentes, capaces de destruir sus átomos estables. Y entonces comienza la historia de la "peregrinación" de átomos aislados en el universo. Unos llenan los espacios interplanetarios, como, por ejemplo, los átomos de calcio y de sodio, que volando libremente surcan todo el espacio universal. Otros, más pesados, más estables, se acumulan en ciertas partes

de las nebulosas. Las temperaturas descienden, los campos eléctricos de los átomos se conjugan unos con otros, se forman moléculas de combinaciones químicas simples: carburos, hidrocarburos, partículas de acetileno, ciertas formas de cuerpos desconocidos en la Tierra que descubren los astrofísicos durante sus observaciones de las superficies incandescentes de las



estrellas lejanas como producto primario de las combinaciones de átomos. De ellas, de estas moléculas simples libres, se van originando paulatinamente sistemas más y más complicados. En condiciones de bajas temperaturas, fuera de los campos de destrucción y las profundidades cósmicas, se origina el segundo eslabón de la estructuración mundial, el cristal. El cristal es un edificio admirable, donde los átomos se distribuyen en un orden determinado como los cubitos en una caja. El nacimiento del cristal es la etapa siguiente en la salida de

la materia del caos. Para la formación de un centímetro cúbico de sustancia cristalina se unen entre sí un número de átomos expresado por la unidad seguida de 22 ceros. Aparecen nuevas propiedades, las propiedades del cristal. Reinan ya no las leyes que seguían aquellos ovillos electromagnéticos de los cuales se formaron, no las leyes enigmáticas aún de la energía de los núcleos, sino las nuevas leyes de la sustancia, las leyes químicas.



No llevaré más adelante la descripción de este cuadro. He querido únicamente mostrar que conocemos poco el mundo que nos rodea y que éste es extraordinariamente complejo, que su quietud es sólo aparente, que todo él se encuentra lleno de movimiento; en el torbellino de los movimientos nace en el mundo la sustancia, tal como nosotros la conocemos aquí, en la tierra, tal como la vemos en las rocas duras de la naturaleza que nos circunda. Mucho de lo que he relatado ha sido ya demostrado por la ciencia actual, pero todavía queda mucho enigmático en nuestra figuración de cómo nacen del caos universal, primero el átomo y después el cristal.

¡De qué manera admirable fue descrito este panorama por Lucrecio Caro, hace dos mil años! Recordemos algunas líneas de su poema:

Fue sólo el caos y una tempestad furiosa,  
 El comienzo de todo, de cuyo desorden deslavazado  
 Todos los intervalos, caminos, conjunciones, peso, golpes,  
 Choques y movimientos enervaron, provocando una batalla,  
 Ya que por fuerza de la diversidad en sus formas y figuras...  
 No todos pudieron coexistir tranquilos  
 Ni construir un movimiento armonizado,  
 Por lo que diversas partes se pusieron en diversión,  
 Los semejantes se unieron a sus semejantes determinando el mundo,  
 Cuyos miembros se separaron y dividieron en grandes partes.

Por consiguiente, no hay reposo en la naturaleza: todo cambia, aunque con velocidad distinta. Cambia la piedra, símbolo de solidez, pues los átomos que la constituyen están en movimiento perpetuo. A nosotros nos parece estable e inmóvil solamente porque no percibimos este movimiento, cuyo resultado se hace sensible después de largo tiempo en tanto que nosotros mismos cambiamos incomparablemente más rápido.



Durante mucho tiempo se consideró que sólo el átomo es inalterable, indivisible e indiferente a los cambios constantes de la naturaleza. Pero no, los átomos también obedecen al tiempo. Parte de ellos, que llamamos radiactivos, se transforman rápidamente; otros lo hacen con más lentitud... Además, sabemos ahora que los átomos también evolucionan, se crean en el tórrido calor de las estrellas, se desarrollan, mueren...

Y en la imaginación humana tenemos el reflejo de ese mismo eterno movimiento y desarrollo: al principio incomprensión, caos, desorden.

Empero comienzan a aclararse los tipos de enlace de todas las partes del mundo, los movimientos resultan verificarse de acuerdo a leyes definidas; aparece el cuadro constructivo del universo único... Así es el mundo, así nos lo descubre la ciencia actual.



## Capítulo V COMO MENDELEEV DESCUBRIO SU LEY

En el antiguo edificio del laboratorio químico de la Universidad de Petersburgo, sentado a su mesa de trabajo, se encontraba el joven, pero ya renombrado profesor Dmitri Ivánovich Mendeléev. Acababa de obtener la cátedra de Química general de la Universidad y preparaba las conferencias para los alumnos. El objetivo que perseguía era hallar la forma más cómoda y clara para explicar las leyes químicas, para describir la historia de los elementos y meditaba con obstinación sobre el modo de desarrollar mejor su exposición. ¿Cómo relacionar entre sí las narraciones sobre el potasio, sodio y litio, sobre el hierro, manganeso y níquel? Mendeléev ya presentía la existencia de ciertos, pero todavía no claros, enlaces entre los diferentes elementos químicos.

Con objeto de hallar el orden más adecuado, tomó varias tarjetas y escribió en ellas con caracteres grandes la denominación de los elementos, su peso atómico y algunas de sus propiedades más importantes. Seguidamente, las fue colocando sobre la mesa, agrupando los elementos según sus propiedades, de la misma forma que nuestras abuelas distribuían las cartas de la baraja cuando hacían solitarios por las noches.

Y hete aquí, que el profesor observó una regularidad interesantísima. Al colocar todos los elementos, ordenándolos según su peso atómico creciente, resultó que, a excepción de poquísimos casos, las propiedades semejantes de los elementos se repetían después de períodos determinados. Entonces dispuso las tarjetas siguientes debajo de la primera fila, fue formando una segunda línea y, después de colocar siete elementos más, comenzó con la tercera fila.

En esta fila tuvo que incluir diecisiete elementos, para conseguir que los átomos de propiedades análogas quedaran unos debajo de otros. Pero no todos coincidían bien. Hubo necesidad de dejar vacíos algunos lugares. Después, colocó nuevamente diecisiete tarjetas y obtuvo la fila siguiente. Luego la tarea se complicó, pues varios átomos "no estaban conformes" en ningún sitio; sin embargo, la repetición periódica de las propiedades se marcaba claramente.

De este modo, todos los elementos conocidos por Mendeléev quedaron distribuidos en forma de tabla especial. Todos ellos, con raras excepciones, se sucedían uno al otro en líneas horizontales, siguiendo el orden creciente de sus pesos atómicos. Los elementos semejantes quedaban encuadrados en varias columnas verticales.

En marzo de 1869, Mendeléev envió a la Sociedad Físicoquímica de San Petersburgo el primer informe sobre su ley. Después, previendo la importancia trascendental de su descubrimiento, comenzó a trabajar tenazmente sobre este problema, precisando y corrigiendo su tabla. Rápidamente se convenció de que en la tabla existían lugares vacíos.



"Para estos lugares vacíos, situados a continuación del silicio, boro y aluminio, serán descubiertas nuevas sustancias", dijo. Esta predicción enseguida se confirmó y las casillas vacías de la tabla fueron ocupadas por elementos recién descubiertos, que recibieron las denominaciones de galio, germanio y escandio.

De esta forma, el químico ruso D. Mendeléev realizó uno de los más importantes descubrimientos en la historia de la Química. En aquel tiempo se conocían nada más que 62 elementos. Los pesos atómicos eran determinados sin gran precisión, algunas veces con bastante inexactitud. Sus propiedades estaban insuficientemente estudiadas. Fue necesario saber compenetrarse con la naturaleza de cada elemento, profundizar en su estudio, comprender las

analogías existentes entre unos y otros elementos, adivinar la ruta de sus "peregrinaciones", su "amistad" o "enemistad" en la propia tierra.

Mendeléev consiguió recopilar todos los materiales existentes hasta él sobre la Química de la Tierra y los estudió conjuntamente.

El enlace entre los elementos, aunque en forma todavía algo oscura e incompleta, fue señalado antes de él por otros sabios.

Pero la mayoría de los sabios de aquel tiempo consideraba absurda la hipótesis sobre la afinidad o parentesco entre los elementos. Así, por ejemplo, cuando el químico inglés J. A. Newlands, uno de los combatientes por la libertad de Italia en las tropas de Garibaldi, presentó para su publicación un trabajo relativo a la repetición de las propiedades de algunos elementos al crecer

13 Al 26,97	14 Si 28,06
12 ? ?	22 Ti 47,90
39 Y	40 Zr

el peso atómico, dicho trabajo fue rechazado por la Sociedad Química y uno de sus miembros dijo en tono de burla que Newlands podría haber hecho una conclusión, todavía más interesante, si hubiera distribuido todos los elementos en orden alfabético de sus denominaciones.

Pero todo esto eran simples detalles. Hacía falta trabajar todavía mucho. Se requería trazar un plan único, establecer una ley fundamental de carácter universal y demostrar con hechos que dicha ley actúa en todos los casos, que

las propiedades de cada elemento dependen de esta ley, se subordinan a ella, se deducen de ella.

Para ello era necesario poseer una intuición genial y habilidad para poner de relieve lo común en las contradicciones, dedicarse con perseverancia a la investigación de hechos concretos. Esta enorme tarea la realizó D. Mendeléev.

Mendeléev presentó de forma tan evidente, precisa y sencilla el enlace mutuo existente entre todos los átomos de la naturaleza, que nadie fue capaz de rebatir su sistema. Se halló la ordenación debida. Verdad es que todavía seguían siendo enigmáticos los enlaces que ligaban los elementos entre sí, pero su ordenación era tan evidente, que permitió a Mendeléev anunciar una nueva ley de la naturaleza, la ley periódica de los elementos químicos.

Han transcurrido más de cien años. Mendeléev dedicó casi cuarenta años al estudio de esta ley, indagando en su laboratorio los misterios más profundos de la Química.



*D. I. Mendeléev en el año 1869*

En la Cámara de Pesas y Medidas, que él dirigía, investigó y comprobó, utilizando los métodos más precisos, las diferentes propiedades de los metales, encontrando cada vez más y más confirmaciones de su descubrimiento.

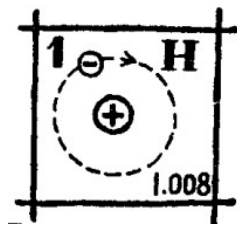
Viajó por los Urales, estudiando sus riquezas; consagró muchos años a las cuestiones referentes al petróleo y su origen. En todas partes, en el laboratorio y en la naturaleza, vio a cada paso la confirmación de su ley periódica. Tanto en los estudios teóricos e investigaciones, como en la industria, dicha ley se convirtió en 'la brújula dirigente que, lo mismo que guía a los navegantes en el mar, orientaba a los sabios y a los investigadores prácticos en sus búsquedas.

Hasta la misma muerte, Mendeléev, sin cesar, perfeccionó, corrigió y profundizó su pequeña tabla del año 1869. Centenares de químicos, siguiendo su ruta genial, descubrieron nuevos elementos, nuevas combinaciones, descifrando paulatinamente el profundo sentido interno de la Tabla de Mendeléev.

En la actualidad esta Tabla tiene un aspecto completamente distinto.

Resulta que la Tabla de Mendeléev constituye un manual excelente para el estudio de las leyes que rigen la estructura de los espectros atómicos. Al estudiar los espectros de los elementos y distribuirlos en el orden de la Tabla de Mendeléev, el joven físico inglés Enrique Moseley descubrió inesperadamente, en 1913, una nueva ley y estableció la importancia que tiene el número de orden en la Tabla.

Demostró que lo más importante en el elemento es la carga del núcleo central, que coincide exactamente con el número de orden del elemento. En el hidrógeno es igual a la unidad, en el helio, dos, y, por ejemplo, en el zinc es igual a 30, en el uranio, a 92. Además, este número expresa la cantidad de electrones ligados al núcleo por la influencia de estas cargas y que giran a su alrededor por distintas órbitas,



En todos los átomos, el número de electrones que rodean al núcleo es igual al número de orden del elemento en cuestión. Los electrones están dispuestos de forma determinada alrededor del núcleo, formando capas aisladas. La primera, la más próxima al núcleo, llamada capa K, tiene 1 electrón en el hidrógeno y 2 electrones en los demás elementos. La segunda, denominada capa L, tiene en la mayoría de los átomos 8 electrones. La capa M puede contener hasta 18 electrones, la capa N, hasta 32.

Las propiedades químicas de los átomos, las define, principalmente, la constitución de la capa electrónica más externa o cortical. Esta capa adquiere gran estabilidad, cuando la cantidad de electrones que la integra es igual a 8. Los átomos que poseen en la capa cortical uno o dos electrones, pueden cederlos con facilidad, convirtiéndose en iones. Por ejemplo, el sodio, potasio, rubidio tienen en su capa externa un electrón. Estos átomos pueden ceder dicho electrón fácilmente y se transforman en iones monovalentes, cargados positivamente. En este caso, la capa electrónica siguiente se convierte en cortical. Ella contiene precisamente 8 electrones, lo que garantiza la estabilidad del átomo-ion formado.

Los átomos de calcio, bario y demás metales alcalino-térreos tienen dos electrones externos y cuando los pierden se convierten en iones bivalentes positivos estables. Los átomos de bromo, cloro y demás elementos halógenos tienen siete electrones en la capa cortical. Estos átomos, por el contrario, aceptan ávidamente los electrones de las capas corticales de otros átomos y al completar su capa externa hasta ocho electrones, se transforman en iones negativos estables. En los átomos que poseen en sus capas externas tres, cuatro y cinco electrones, la tendencia a formar iones, durante las reacciones químicas, se manifiesta con menor intensidad.

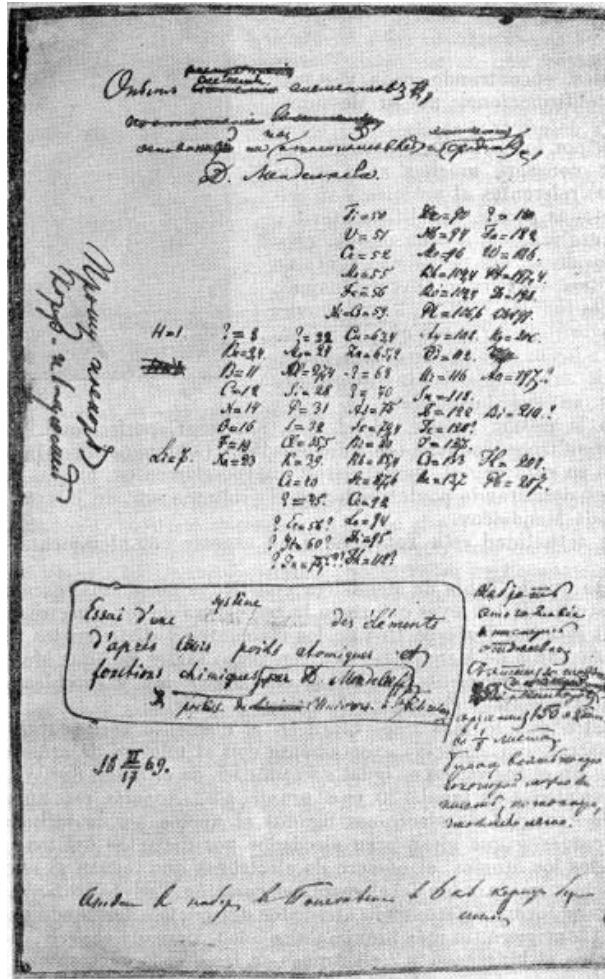


Figura 5.2 Sistema periódico de los elementos. Primera tabla, presentada por D. I. Mendeléev en 1869

El peso del átomo y su grado de dispersión en la naturaleza, dependen de la constitución del núcleo. Las propiedades químicas del elemento y su espectro dependen del número de electrones y son muy semejantes en aquellos átomos en los que la estructura de la capa electrónica cortical es análoga. Este es el secreto del átomo. Desde el momento en que fue descubierto, los químicos y físicos, los geoquímicos y astrónomos, personal técnico, todos comprendieron que la ley periódica de Mendeléev constituye una de las leyes más importantes de la naturaleza.

La ley periódica de los elementos químicos es una ley fundamental de la naturaleza

**Capítulo VI****EL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE MENDELÉEV EN NUESTROS DIAS**

Los investigadores propusieron muchos y diversos procedimientos para explicar con la mayor claridad y exactitud posibles los rasgos característicos de la Tabla de Mendeléev. Observe en los dibujos adjuntos, cómo fue representada esquemáticamente la gran ley de Mendeléev en distintos tiempos: bien en forma de filas y columnas, bien a modo de espiral enrollada en el plano, bien como un conjunto de arcos y líneas entrelazados.

Más adelante volveremos a ocuparnos de la tentativa de representar la Tabla en forma de espiral grandiosa, pero ahora vamos a examinarla tal como la presenta la ciencia actual.

Intentemos estudiar esta Tabla y tratemos de comprender su significado profundo.

Primeramente, observamos numerosas casillas, dispuestas en siete filas horizontales y divididas por líneas verticales, formando diez y ocho columnas o grupos, como les llaman los químicos.

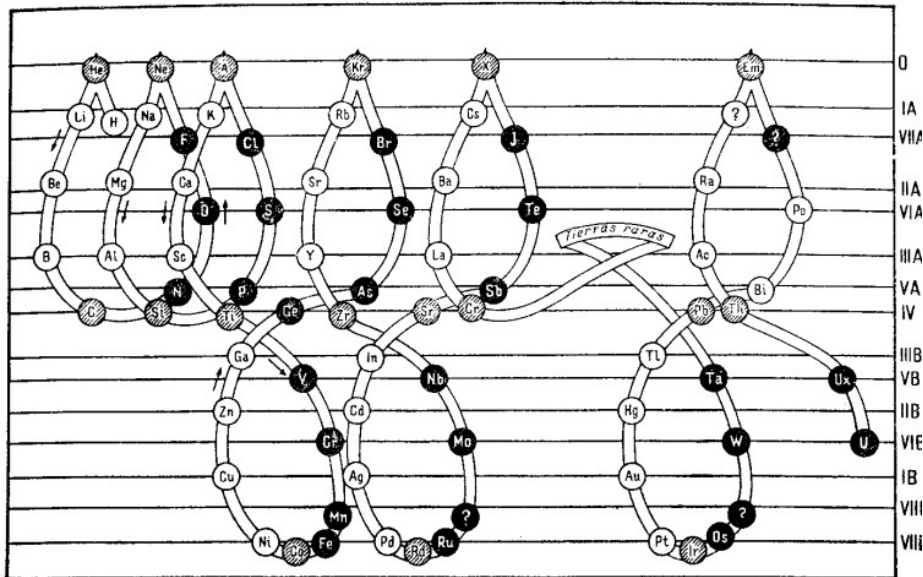
Hay que hacer notar, que en la mayoría de los libros de texto, la Tabla se representa en forma algo distinta (las filas como si fueran dobles), sin embargo, a nosotros nos es más cómodo examinarla como acabamos de decir.

En la primera fila hay sólo 2 elementos, hidrógeno (H) y helio (He); la segunda y tercera tienen 8 elementos cada una; la cuarta, quinta y sexta tienen 18 elementos cada una. Las casillas correspondientes a estas seis filas deberían estar ocupadas por 72 elementos, sin embargo, resulta que entre las casillas N°57 y N°72 están incluidos 14 elementos semejantes al lantano, denominados lantánidos. Finalmente, la última fila tiene, por lo visto, 32 casillas, como la anterior, pero están ocupadas sólo cierto número de ellas.



Es difícil imaginarse que pueda existir cualquier elemento, dispuesto delante de la primera casilla, ocupada por el hidrógeno, puesto que el núcleo de este elemento, protón y neutrón, son los ladrillitos fundamentales de que están constituidos los núcleos de todos los demás átomos. No hay duda de que el hidrógeno debe ocupar el primer puesto en la Tabla de Mendeléev. Mucho más complicada es esta cuestión a final de la tabla. El último puesto, lo ocupó, durante largo tiempo, el metal uranio.

Sin embargo, después de varios experimentos fueron obtenidos los elementos transuránicos. Por consiguiente, con el uranio no termina la Tabla de Mendeléev. Después de él, fueron ocupadas, por los nuevos elementos descubiertos, doce casillas más: neptunio (N°93), plutonio (N°94), americio (N°95), curio (N°96), berkelio (N°97), californio (N°98), einstenio (N°99), fermio (N°100) y mendelevio (N°101), nobelio (N°102), laurencio (N°103) y kurchatovio (N°104).

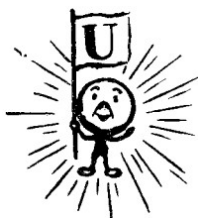


*Representación esquemática del sistema periódico de D. I. Mendeléev, propuesta por Soddy, en 1914. Las líneas horizontales constituyen las filas de elementos con propiedades químicas análogas. Los grandes períodos en forma de ochos. En los círculos blancos se hallan los metales, en los negros, los metaloides. Los círculos grises están ocupados por los elementos neutros (gases nobles y los elementos que forman óxidos anfóteros)*

Como vemos por las cifras colocadas en la parte superior de cada casilla, todas ellas están numeradas. Los números van en orden creciente desde el 1 hasta el 104. Estos números se llaman números de orden de los elementos químicos y están relacionados con la cantidad de partículas eléctricas, contenidas en los elementos. Por tanto, constituyen una propiedad primordial e imprescindible de cada casilla, de cada elemento.

Por ejemplo, el número 30 de la casilla ocupada por el metal zinc con peso atómico 65,38, significa, por una parte el número de orden de la casilla y, por otro lado, indica que el átomo de zinc está constituido por el núcleo y treinta partículas eléctricas, que giran a su alrededor, llamadas electrones.

En vano trataron los químicos de encontrar en la naturaleza los elementos N°43, N°61, N°85 y N°87, analizaron diversos minerales y sales, buscaron en el espectroscopio posibles nuevas líneas. Muchas veces se equivocaron, publicaron en revistas artículos sensacionales sobre el descubrimiento de elementos, pero, en realidad, estos cuatro elementos no fueron hallados ni en la Tierra, ni en los astros celestes. Actualmente, sin embargo, se ha conseguido su preparación por vía artificial.

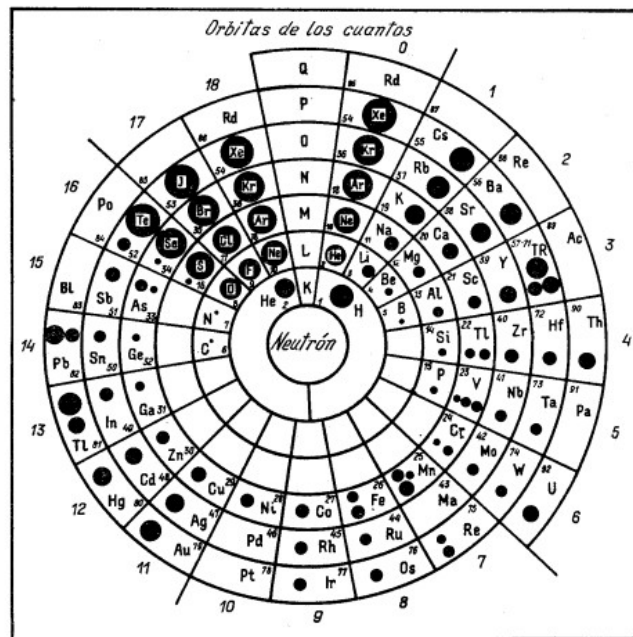


Uno de ellos, el No 43, por sus propiedades debía ser parecido al manganeso. Mendeléev lo llamó eka-manganeso.

En la actualidad este elemento ha sido sintetizado y se denomina tecnecio. El segundo, dispuesto debajo del yodo, se designa con el N°85. Debe tener propiedades fantásticas, debe ser todavía más volátil que el yodo. Mendeléev lo llamó eka-yodo. También ha sido sintetizado y se denomina astatino o astato.

El tercer elemento, largo tiempo enigmático, posee en la tabla el N°87. El propio Mendeléev predijo su existencia y lo llamó eka-cesio. Fue sintetizado y recibió el nombre de francio.

Finalmente, el cuarto elemento que no fue hallado ni en la Tierra ni en las estrellas, es el N°61. Es uno de los metales de las tierras raras. Ha sido sintetizado y se denomina prometio. Ahora, la Tabla de los elementos está mucho más completa que en los tiempos en que Mendeléev estudió el cuadro complejo de la naturaleza y escribió el primer proyecto de su Tabla. Como ya dijimos, cada casilla numerada la ocupa un elemento. No obstante, los físicos han demostrado que en realidad esta cuestión es más complicada de lo que parece. Por ejemplo, a la casilla N°17, de acuerdo con las propiedades químicas, le corresponde un solo átomo, el gas cloro, con un núcleo pequeño y diez y siete electrones que lo rodean por todos los lados. Sin embargo, los físicos opinan que hay dos cloros: uno más ligero, otro más pesado. Pero debido a que la proporción de ambos es siempre la misma, el peso medio es invariablemente igual a 35,46. He aquí otro ejemplo. Ya sabemos que la casilla N°30 está ocupada por el zinc. En ese caso, los físicos también demuestran que existen seis tipos diferentes de zinc, unos más pesados, otros más ligeros. De esta forma resulta, que a pesar de que cada casilla contiene un solo elemento químico con propiedades naturales definidas, existen varias clases de un mismo elemento o "isótopos". En ciertos casos uno solo, en otros incluso diez. Naturalmente, este fenómeno interesó de forma extraordinaria a los geoquímicos. ¿Por qué estos isótopos se hallan siempre en la naturaleza en cantidades perfectamente determinadas, por qué en unos casos no abunda más el isótopo pesado y en otros el más ligero? Los químicos se dedicaron con toda energía a la comprobación de este hecho. Tomaron para el análisis muestras de sales de procedencia diversa: sal común del mar, de lagos diferentes, sal gema, sal del Africa Central. Extrajeron de cada muestra el gas cloro e inesperadamente obtuvieron para el peso atómico resultados idénticos. Investigaron incluso el cloro contenido en las piedras que caen del cielo y en ellas la composición del gas cloro resultó ser completamente análoga. En todos los ensayos, lo que nosotros llamamos peso atómico no varió en ningún caso, cualquiera que fuera la procedencia del elemento dado.



*Sistema periódico de los elementos de D. I. Mendeléev en forma de círculos-espaciales. El diámetro de los círculos representa las dimensiones de los átomos y los iones. (Propuesto por Y. Bilibin en el año 1945)*

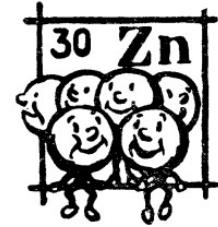


Pero el triunfo de los químicos no duró mucho. Otros investigadores probaron en el laboratorio a separar estos isótopos pesados y ligeros. Después de someter al gas cloro a largas y complicadas destilaciones se llegó a obtener un gas compuesto de átomos de cloro más ligero y otro con los más pesados. Desde el punto de vista químico, ambos átomos de cloro son completamente iguales, pero sus pesos son distintos. Este descubrimiento de los isótopos complicó toda la Tabla de Mendeléev. Antes esto parecía sencillo: 92 casillas y en cada casilla un



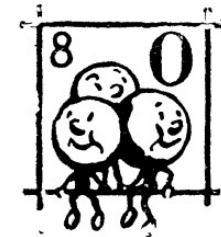
elemento químico. El número de la casilla indica el número de electrones que rodean al núcleo. ¡Todo tan simple, evidente, preciso! ¡Y de pronto resulta que todo no es así!

En lugar de un oxígeno, resultaron ser TRES y sus pesos 15, 16 y 18. Pero lo más maravilloso fue que de hidrógeno también existen TRES clases de átomos: uno con peso igual a 1, otro, 2, y el tercero, 3. El segundo recibió la denominación de deuterio. Químicamente, se comporta como el hidrógeno ordinario, pero ponderalmente es dos veces más pesado. En las grandes fábricas donde se descompone el agua por medio de la corriente eléctrica, se consiguió obtener deuterio puro y, a partir de él, un agua especial en la que el



hidrógeno ligero está reemplazado por el pesado. Resultó que el agua pesada poseía propiedades particulares: actúa intensamente sobre las células vivas, a menudo destruye la vida, seres vivos. En una palabra, "se comporta" de modo especial.

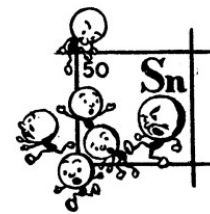
Después de tal éxito de los químicos, los geoquímicos se ocuparon de este problema, relacionándolo con los cuerpos naturales. Si se consiguió separar en las retortas las diferentes clases de átomos de hidrógeno, seguramente, que esto se realiza también en la naturaleza. Únicamente, en la naturaleza todos los procesos químicos se verifican con tanta agitación, con tanta frecuencia cambian las condiciones naturales de los magmas fundidos, en las profundidades y en la superficie de la Tierra, que es poco probable esperar acumulaciones de los isótopos puros obtenidos en las fábricas y laboratorios. Efectivamente, el agua de mar y de los océanos contiene un poco más de agua pesada que la de río o de lluvia. El contenido de agua pesada es todavía mayor en algunos minerales. Fue descubierto un nuevo mundo completo, inaccesible antes al mineralogista y al geoquímico.



En la naturaleza, la diferencia entre estas combinaciones es tan insignificante, que se requiere el empleo de métodos muy precisos de análisis químico y físico para poder descubrirla.

Cuando se estudian las piedras, el agua y la tierra en la naturaleza que nos rodea, las magnitudes del grado de millonésimas e, incluso, de milésimas de gramo y de centímetro pasan desapercibidas. para el mineralogista y el geoquímico. Inclusive, podemos olvidar que existen tres oxígenos, seis clases de zinc, que hay dos potasios; la diferencia entre ellos es tan insignificante y, digamos con sinceridad, son todavía tan groseros nuestros métodos de investigación.

Sólo los químicos y los físicos, debido a la precisión de sus investigaciones, consiguieron aislar los isótopos diferentes contenidos en un mismo elemento. No hay duda de que cuando se estudie



la naturaleza, aplicando métodos más precisos, serán descubiertas las leyes fundamentales de la Geoquímica, cuya existencia todavía no sospechamos.

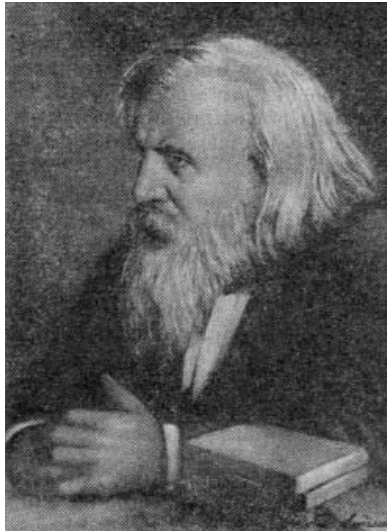
Podemos por ahora olvidarnos de los isótopos. Para nosotros cada casilla de la Tabla de Mendeléev está ocupada por un elemento químico determinado e invariable. En la casilla N°50, para nosotros, hay un solo metal, el estaño, siempre y en todas partes el mismo, de comportamiento químico idéntico en todas las reacciones; se encuentra en la naturaleza formando cristales iguales y, cualquiera que sea su procedencia, su peso atómico es siempre 118,7.

La Tabla de Mendeléev no sufrió perjuicio alguno con este grandioso descubrimiento de los isótopos, únicamente, se complicó en algunos pequeños detalles; pero a pesar de ello, siguió siendo el cuadro evidente, sencillo y preciso de la naturaleza, tal, como nos lo pintó el propio Mendeléev previendo genialmente su enorme importancia.

Penetremos más profundamente en esta tabla y veamos la gran importancia que tiene para los investigadores de la naturaleza, los mineralogistas y geoquímicos.

Primero examinaremos cada columna de arriba a abajo. He aquí la primera: litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, francio. Son todos los metales que llamamos alcalinos. A excepción del francio, obtenido artificialmente, los demás se encuentran juntos en la naturaleza. Conocemos bien sus compuestos: de sodio, la sal común, que utilizamos constantemente; de potasio el salitre, con el que se preparan fuegos artificiales.

Después siguen los metales alcalinos poco abundantes, que actualmente se emplean en los aparatos eléctricos complicados. Pero a pesar de presentar ciertas diferencias, todos ellos, químicamente son muy parecidos.



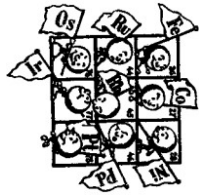
*Figura 6.3 D. I. Mendeléev. Retrato pintado por su esposa A. I. Mendeléeva*

He aquí la segunda columna vertical, en ella están incluidos los metales alcalino-térreos, comenzando por el más ligero, el berilio, y terminando por el célebre radio. Ellos también se asemejan unos a otros y forman, como si dijéramos, una familia única.

Después, va la tercera columna: boro, aluminio, escandio, itrio, la casilla con los quince metales de las tierras raras y, finalmente, el actinio. De ellos, sólo conocemos bien los dos primeros, el boro y el aluminio, debido al gran papel que desempeñan ambos en la naturaleza. El primero entra en la composición del ácido bórico y del bórax, que se utiliza en la soldadura. El segundo se encuentra en la nefelina, feldespato, corindón, bauxita, de él se fabrican numerosos artículos

metálicos, cacerolas, cucharas, etc. Este grupo es bastante complejo. El aluminio puede considerarse como verdadero metal, sin embargo, el boro se parece más bien a un metaloide, pues forma sales con los metales típicos (por ejemplo, en el bórax).

Pasemos a la cuarta columna: carbono, silicio, titanio, circonio, hafnio y torio. Los dos primeros son elementos importantísimos de la naturaleza: el carbono forma toda la masa de la naturaleza



viva, interviene en la composición de las calizas. Sobre el silicio, usted leerá, más adelante, un capítulo especial dedicado a este elemento.

Después siguen la quinta, sexta y séptima columnas. Estos son todos metales especiales que se valoran altamente en la metalurgia del hierro y que se adicionan al acero para mejorar sus propiedades.

A continuación vemos la admirable parte central de la Tabla, las columnas octava, novena y décima. Su particularidad más curiosa consiste en que los metales vecinos son extraordinariamente parecidos. El hierro, cobalto y níquel se asemejan mucho uno al otro y en la naturaleza se encuentran siempre juntos. Es muy difícil separarlos, incluso, empleando procedimientos químicos de análisis. No menos parecidos entre sí son los metales platínicos ligeros, rutenio, radio, paladio y los metales platínicos pesados, osmio, iridio y platino.

A partir del centro siguen cuatro columnas verticales ocupadas por los metales pesados: cobre, zinc, estaño, plomo... Todos muy conocidos en nuestra vida.

Después, va la columna decimoquinta. Comienza por el gas nitrógeno, le sigue el fósforo volátil y el arsénico, el antimonio semimetálico y termina con el bismuto, metal bastante típico. Esta columna viene como a marcar el paso brusco a la parte siguiente de la Tabla de Mendeléev, puesto que en ella ya no vemos metales con su brillo característico y otras propiedades bien conocidas para nosotros. Aquí hallamos sustancias, que los químicos denominaron metaloides: gases, líquidos o, simplemente, no metales sólidos.



Es muy característica la columna decimosexta: oxígeno, azufre, selenio, telurio y el todavía enigmático polonio. Después la columna decimoséptima, las sustancias volátiles, primero gases: hidrógeno, flúor y cloro; después líquidos: bromo y, finalmente, sólidos, pero también volátiles, los cristales de yodo. A los elementos de este grupo (excepto al hidrógeno, los químicos les llamaron halógenos, pues forman sales con los álcalis. Esto es lo que significa su denominación en griego: "halógeno" quiere decir "engendrador de sales". Por fin, he aquí, la última columna, la decimooctava. Estos son los gases raros o

nobles, que no se combinan con nada e impregnan toda la corteza terrestre, todos los minerales, todo lo que nos circunda en la naturaleza. Comienza por el gas del sol, el helio ligero, y termina con el notable gas radón, cuyos átomos viven sólo varios días.



**Capítulo VII****IMPORTANCIA DEL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE MENDELÉEV EN LA GEOQUÍMICA**

¿De qué forma se distribuyen los elementos químicos en la Tierra y en todo lo que nos rodea en la naturaleza? He aquí una cuestión importantísima para el hombre, desde los tiempos más remotos.

La cuestión surgía espontáneamente, a cada paso, debido a las exigencias cotidianas de la vida. El hombre primitivo necesitaba materiales para los instrumentos de labor y de caza, y comenzó a preparar utensilios rudimentarios de sílice dura o de nefrita (substancia de dureza semejante, pero más resistente).

Por tanto, se comprende que la búsqueda de minerales útiles se iniciara muchos milenios antes de nuestra era, en cuanto el hombre primitivo comenzó a interesarse por el brillo del oro en las arenas de los ríos, por la belleza o peso de diversas piedras y rocas que le llamaron la atención. De esa forma el hombre comenzó a conocer, y, más tarde, a extraer y preparar el cobre, estaño, oro y, finalmente, el hierro. Poco a poco, íbanse acumulando observaciones y experiencia. En el Egipto antiguo se conocían ya las regiones más adecuadas para buscar el cobre y los minerales de cobalto, utilizables en la obtención de colorantes azules; después se empleó el hierro para preparar el ocre pardo; la arcilla para las estatuas y la turquesa azul celeste para los escarabajos sagrados.

Paulatinamente, fueron aclarándose las simples leyes de la naturaleza. Resultó que ciertos metales se hallan, con frecuencia, juntos: por ejemplo, el estaño, cobre y zinc; en su tiempo esto indujo al hombre a descubrir su aleación: el bronce. En otros lugares se encontraban juntos el oro y las piedras preciosas; en otros, la arcilla y los feldespatos, a base de los cuales se obtiene porcelana y loza.

Así fueron descubriéndose, poco a poco, las leyes fundamentales de la Geoquímica. Los alquimistas de la edad media, en el silencio enigmático de sus laboratorios, intentaron obtener oro y la piedra filosofar, y realizaron una gran labor de recopilación de hechos naturales.

Los alquimistas sabían entonces perfectamente que ciertos metales "se quieren" unos a los otros y se hallan juntos en la naturaleza. Por ejemplo, los cristales brillantes de galena van asociados, en las vetas de la Tierra, a la blenda de zinc; la plata sigue al oro; el cobre se encuentra con frecuencia junto con el arsénico.

Cuando en Europa se desarrolló la ingeniería minera, las leyes que rigen los procesos geoquímicos adquirieron mayor evidencia y precisión.

Los principios fundamentales de la nueva ciencia, Geoquímica, nacieron en los profundos yacimientos de Sajonia, de Suecia y en los montes de los Cárpatos, poniéndose en claro qué clase de substancias se hallan juntas en la naturaleza, en qué condiciones y con arreglo a qué leyes se formaron las acumulaciones de unos u otros elementos en ciertos lugares, así como su dispersión en otros.



Estas eran las cuestiones que preocupaban más a la ingeniería minera. Era necesario saber descubrir lugares de la tierra donde existieron grandes concentraciones de metales de interés industrial, como hierro, oro, etc.

En la actualidad, están muy bien definidas las leyes que explican la presencia conjunta de elementos y su comportamiento y pueden ser aplicadas para el descubrimiento de yacimientos de minerales útiles.

Sabemos perfectamente, incluso en nuestra vida cotidiana que ciertos elementos naturales, como nitrógeno, oxígeno y los gases nobles, se encuentran con preferencia en la atmósfera. También

sabemos que en los lagos de agua salada y en las minas salinas, se hallan juntos las sales de cloro, bromo y yodo, combinadas con los metales potasio, sodio, magnesio y calcio.

En los granitos, esas rocas lustrosas cristalinas originadas por solidificación de los magmas fundidos, se encuentran elementos químicos determinados. Estos elementos entran en la composición de las piedras preciosas, constituidas por átomos de boro, berilio, litio y flúor. En dichas rocas existen también acumulaciones de metales raros e importantes: wolframio, niobio, tantalio.

### TABLA DEL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE D. I. MENDELEEV

con indicaciones del papel geoquímico de éstos

*El punto de arriba a la izq:  
elementos de granito*

*El punto de abajo a la izq:  
elementos pesados, ricos en hierro y magnesio de rocas*

*El punto de arriba a la derecha:  
elementos de la superficie de la tierra, del aire y del agua*

*El punto de abajo a la derecha:  
elementos de filones*

3	4	5	6													1	2		
Li	Be	B	C													H	He		
11	12	13	14													7	8	9	10
Na	Mg	Al	Si													N	O	F	Ne
																15	16	17	18
																P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	90	91	92														
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U														

ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu

ELEMENTOS TRANS-URANIOS	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw	Ku

En contraposición a los granitos, en las rocas basálticas pesadas, surgidas de las entrañas de la tierra, se hallan juntos minerales de cromo, níquel, cobre, hierro y platino. En los complejos y ramificados sistemas de vetas minerales, que divergen elevándose hacia la superficie terrestre, procedentes de potentes focos de magma fundido, el explorador minero encuentra zinc y plomo, oro y plata, arsénico y mercurio.

Cuanto mayor es el desarrollo de la ciencia, tanto más se precisan y definen las leyes, cuyo significado fue difícil comprender durante largo tiempo.

A propósito, examinaremos nuevamente la Tabla de Mendeléev. ¿Acaso no podemos emplearla nosotros, buscadores de metales y piedras, como brújula orientadora, de la misma forma que lo hacen los químicos en sus investigaciones?

La parte central de la Tabla de Mendeléev está ocupada por nueve metales: hierro, cobalto, níquel y los seis metales del grupo del platino. Sabemos que sus yacimientos se encuentran en las

profundidades lejanas de las entrañas de la Tierra. La erosión pone al desnudo estas rocas verdes profundas, portadoras de hierro y platino, cuando las altas cordilleras montañosas han sido socavadas por las aguas paulatinamente, en el transcurso de millones de años, hasta convertirse casi en llanuras, como ocurrió en los Urales.

Como pueden ustedes observar, estos elementos no son sólo la base de nuestras cordilleras, sino que ocupan también el lugar central en la Tabla de Mendeléev.

Prestemos atención a los metales, llamados pesados, que ocupan una parte grande, dispuesta a la derecha, del níquel y platino. Estos son el cobre, zinc, plata, oro, plomo, bismuto, mercurio y arsénico. ¿Es que no acabamos de decir que estos metales se hallan siempre juntos en la naturaleza? El minero los busca en las vetas minerales que atraviesan la corteza terrestre.



Desplacémonos hacia la izquierda a partir del centro de la Tabla. Un campo semejante se observa también en esta parte. La componen los metales, perfectamente conocidos por nosotros, que forman las piedras preciosas: combinaciones de los metales berilio y litio. Estos son los elementos raros y

ultrarraros, que se acumulan en los últimos restos de los macizos rocosos en las pegmatitas potentes de cuerpos graníticos.

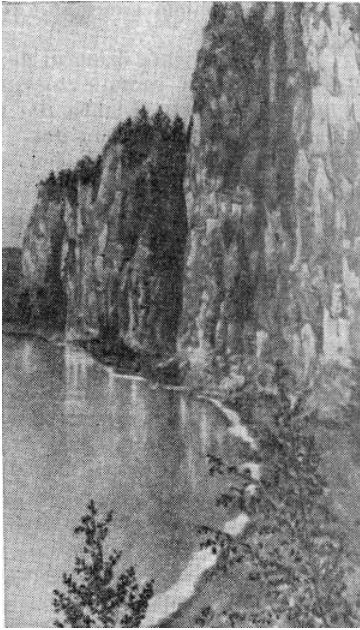
Desplacémonos en la Tabla hacia la izquierda y hacia la derecha. No olvidemos que sus largas filas se cierran y que los grupos extremos, izquierdo y derecho, se tocan, formando una espiral común. Aquí vemos elementos bien conocidos existentes en los yacimientos salinos: lagos salinos, mares, océanos, potentes acumulaciones de sal gema. Estos son los elementos que forman las sales de cloro, bromo, yodo, sodio, potasio y calcio.

Examinemos atentamente la parte superior del lado extremo derecho de la Tabla. En ella vemos los elementos fundamentales integrantes del aire atmosférico: nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, helio y demás gases nobles; en el ángulo extremo superior izquierdo se hallan el litio, berilio y boro. ¿Es que no nos recuerdan estos elementos las partes volátiles de los macizos graníticos, donde se forman las bellas piedras preciosas, las turmalinas verdes y rosas, las esmeraldas brillantes de color verde y las cuncitas violáceas? Como pueden ustedes ver, la Tabla de Mendeléev nos muestra los elementos agrupados del mismo modo que se encuentran en la naturaleza, y puede ser utilizada como brújula para orientarnos en la búsqueda de metales útiles. Como ejemplo confirmativo de las regularidades mencionadas, recordemos los importantes yacimientos minerales de la cordillera de los Urales.

La cordillera de los Urales podemos imaginárnosla como una enorme Tabla de Mendeléev, dispuesta perpendicularmente a los estratos rocosos. El eje de la cordillera, y de la Tabla, pasa por las rocas verdes pesadas de los yacimientos de platino. Los grupos extremos se hallan en el cinturón salino del notable Solikamsk y en las regiones del Emba.

¿No es ésta una confirmación prodigiosa de las ideas más profundas y abstractas? Pienso, y ustedes mismos ya lo habrán adivinado, que en la Tabla de Mendeléev, los elementos no están distribuidos casualmente, sino colocados de acuerdo con la semejanza de sus propiedades. Cuanto más se parecen unos elementos a los otros, tanto más próximos se encuentran en la Tabla de Mendeléev.

Exactamente igual ocurre en la naturaleza. En nuestros mapas geológicos, los signos distintivos, indicadores de los diferentes yacimientos minerales no están diseminados al azar. Tampoco es casualidad que se hallen juntos en la naturaleza el osmio, iridio y platino o el arsénico y antimonio.



*Figura 7.1 A las en la orilla del río Chusovaia (región de Sverdlovsk)*

Las mismas leyes que definen la semejanza y afinidad química de los átomos, son las que determinan el comportamiento de los elementos en las entrañas de la tierra. ¡La Tabla de Mendeléev es, en realidad, el arma más importante con cuyo auxilio el hombre descubre las riquezas del subsuelo, busca y encuentra los metales útiles y crea, a base de ellos, su economía e industria!

Trasladémonos al pasado remoto de los Urales. Desde las zonas profundas van ascendiendo los pesados magmas fundidos, formados por rocas oscuras, negras, verdes, ricas en magnesio y hierro.

Durante su marcha ascendente se incorporan los minerales de cromo, titanio, cobalto y níquel, los metales del grupo del platino: rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio y platino.

Así comenzó la primera etapa de la historia de los Urales, de esa larga y profunda cadena de rocas duníticas y serpentínicas que constituyen el casco central de dicha cordillera, que se extiende al norte hasta las islas del Artico y se entierra en el sur bajo las estepas del Kazajstán. Esto, en la Tabla de Mendeléev, constituye su parte central.

En el proceso de separación experimentado por las masas fundidas, se desprenden las substancias volátiles más ligeras, y en el conjunto complejo de rocas, de las cuales están formados en la actualidad los Urales, cristalizan, al finalizar su actividad volcánica, granitos claros en las zonas profundas. Este granito de color gris, lo conocen perfectamente todos los uralenses, sobre todo los habitantes de la vertiente oriental de los Urales. Conglomerados de cuarzo puro penetran, en forma de filones blancos, en el granito; las ramificaciones de potentes vetas pegmatíticas se embuten en sus partes externas, infiltrándose también en las rocas laterales. Durante esos procesos, se verifica la acumulación de elementos volátiles: boro, flúor, litio, berilio, tierras raras y se forman las gemas preciosas de los Urales y los minerales de los metales raros.

En el sistema periódico de Mendeléev, esto está representado en la parte izquierda de la Tabla. Tanto en aquel tiempo, como más tarde, las soluciones calientes fueron elevándose hacia la superficie, llevando consigo las combinaciones fusibles, móviles, fácilmente solubles de zinc, plomo, cobre, antimonio y arsénico, que a su vez arrastraron también en su masa al oro y a la plata.

Por la vertiente oriental de los Urales, a modo de larga cadena, se extienden estos yacimientos minerales, formando grandes concentraciones de estructura lenticular o, bien, filones ramificados y conjuntos arborescentes de los mismos.

En la Tabla de Mendeléev, esto constituye la parte derecha ocupada por los elementos minerales. Al terminar la actividad volcánica, cesaron las presiones internas, que elevaron las cordilleras de los Urales, desplazándolas desde oriente a occidente, dando salida, aquí y allí, a las rocas volcánicas y al agua caliente de las vetas subterráneas.

Comenzó un largo período de destrucción. Durante cientos de millones de años se destruyeron paulatinamente los montes Urales, las rocas sufrieron los efectos de la erosión de las aguas. Todo lo que era poco o difícilmente soluble, no se movió del sitio, lo restante se disolvió, fue arrastrado por las aguas, pasando a los mares y lagos. Estas sustancias se acumularon, principalmente, en el gran mar de Perm, que bañaba la parte occidental de los Urales. El mar fue secándose, se formaron golfos, lagos, estuarios y las sales se depositaron en el fondo.

Así es como se acumularon las sales de sodio, potasio, magnesio, cloro, bromo, boro y rubidio.

En la Tabla de Mendeléev, estos elementos ocupan las casillas superiores de la izquierda.

Y allí, donde se encontraban las cimas montañosas de los Urales, quedó únicamente todo lo que no se subordinó a la acción química del agua.

Durante el clima tropical del período mesozoico, en el transcurso de decenas de millones de años, se consolidó la corteza terrestre al ir depositándose las rocas destruidas. El hierro, níquel, cromo y cobalto, al acumularse en dicha corteza, originaron los ricos yacimientos de hematitas pardas, que constituyen la base de la industria del níquel en el sur de los Urales.



En las regiones de desintegración de los granitos, se concentraron los placeres o depósitos cuarcíferos, en los que se acumularon oro, wolframio, piedras preciosas, conservándose y concentrándose en forma de aluviones y arenas.

De esta forma, gradualmente, iban muriendo los Urales, cubriéndose bajo la capa de terreno formada. Sólo de tiempo en tiempo era invadido por las aguas procedentes del oriente, que bañaban y erosionaban las colinas cubiertas de maleza, arrastrando nuevamente las aguas los minerales de manganeso y de hierro, depositándolos en las orillas.

La Tabla de Mendeléev quedó sepultada bajo la taigá de los Urales polares, bajo las estepas de Kazajstán. ¡Fue necesario que llegara el hombre nuevo, soviético, dotado de una técnica nueva, de vanguardia, para quitar la corteza antigua de la gran cordillera de los Urales, para descubrir allí, poco a poco, los diversos elementos componentes de la Tabla de Mendeléev, y hacer accesibles para la industria todas las riquezas ocultas en estas cadenas grandiosas de montañas!



**Capítulo VIII****EL ÁTOMO SE DESINTEGRA. URANIO Y RADIO**

Como vimos en los capítulos precedentes, la base para el estudio de la Geoquímica es el átomo, lo que en griego significa "indivisible". Toda la naturaleza que nos rodea está constituida por las combinaciones de ciento y cuatro tipos de átomos, que corresponden a ciento y cuatro elementos diferentes.



¿En qué consiste esta pequeñísima e indivisible partícula de sustancia? ¿Es en realidad "indivisible"? ¿Existen, efectivamente, ciento y cuatro tipos de átomos independientes unos de otros y no presentan unidad alguna en lo que respecta a su constitución? El concepto de átomo, como bolita materialmente indivisible, constituyó el fundamento de la Química y de la Física. La "indivisibilidad" del átomo explicaba por completo las propiedades físicas y químicas de la sustancia y, por ello, los físicos y químicos, a pesar de que sospechaban la existencia de una estructura atómica compleja, no pusieron gran interés en descubrirla. Solamente, cuando el físico francés Enrique Becquerel, en 1896, descubrió la propiedad, hasta entonces desconocida, que posee el uranio de emitir ciertos rayos invisibles, y cuando los esposos Curie descubrieron un nuevo elemento, el radio, en el que este fenómeno se manifestaba con mucha más intensidad, se llegó a la conclusión de que el átomo debía tener una estructura muy compleja. Actualmente, después de los magníficos trabajos de Marie Curie-Sklodowska, de los esposos Joliot-Curie, de Rutherford, Rozhdéstvenski, Bohr y otros, la estructura del átomo se ha puesto en claro con suficiente detalle. No sólo sabemos de qué partículas elementales consta el átomo, conocemos también sus dimensiones, peso, distribución mutua, así como las fuerzas que las unen.

Ya dijimos, que el átomo de cada elemento químico, a pesar de sus ínfimas dimensiones (su diámetro es igual a una cienmillonésima de centímetro), constituye un conjunto extraordinariamente complejo, de estructura semejante a nuestro sistema solar.



El átomo consta del núcleo (su diámetro es cien mil veces menor que el diámetro del átomo y equivale a una milmillonésima parte de centímetro); toda la masa del átomo está prácticamente concentrada en el núcleo.

El núcleo está cargado positivamente. La cantidad de cargas positivas que posee el núcleo crece a medida que se pasa de los átomos de los elementos químicos ligeros a los pesados y su número es igual al número de orden de la casilla ocupada por el elemento en cuestión en la Tabla periódica.

Alrededor del núcleo, a distintas distancias, giran los electrones. El número de electrones es igual al número de cargas positivas del núcleo, puesto que el átomo, considerado en su conjunto, es neutro desde el punto de vista eléctrico. Los núcleos atómicos de todos los elementos químicos están constituidos por dos partículas elementales: el protón, o núcleo del átomo de hidrógeno, y el neutrón. El protón posee masa determinada, casi igual a la del átomo de hidrógeno y tiene una carga eléctrica positiva. El neutrón es una partícula material, de masa idéntica al protón, pero privada de carga eléctrica.

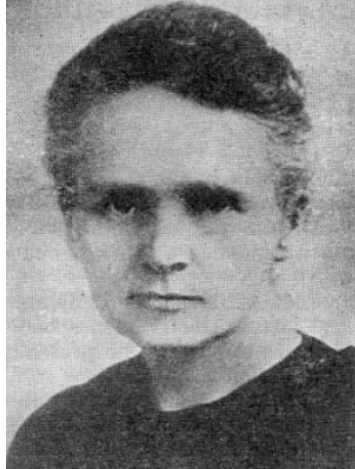


Figura 8.1 Marie Curie-Sklodowska

En los núcleos atómicos, los protones y neutrones están tan fuertemente unidos entre sí que, en todas las reacciones presentan gran estabilidad y quedan siempre invariables.

Si en el sistema periódico de Mendeléev, vamos pasando gradualmente desde los elementos químicos más ligeros a los más pesados, observaremos que los núcleos correspondientes a los átomos de los elementos ligeros están formados, aproximadamente, por el mismo número de protones y neutrones (esto es fácil de ver, pues, al principio de la Tabla periódica, el peso atómico de los elementos es numéricamente igual o aproximado al doble del número de orden del elemento).

Al llegar a los elementos químicos más pesados, el número de neutrones contenidos en los núcleos atómicos, comienza a superar al de protones. Al final, el exceso de neutrones, con relación al número de protones, es considerable y los núcleos de estos elementos se hacen inestables. Empezando desde el número de orden 81, junto con los átomos estables de los diferentes elementos, aparecen también otros inestables. Los núcleos atómicos de los elementos inestables, se descomponen espontáneamente, desprendiendo grandes cantidades de energía y se transforman en núcleos atómicos de otros elementos químicos.

A partir del número de orden 86, todos los núcleos atómicos son inestables y los elementos correspondientes, radiactivos.



Radiactividad es la propiedad de los átomos de descomponerse espontáneamente, convirtiéndose en átomos de otros elementos, con desprendimiento de enormes cantidades de energía, en forma de radiaciones de diverso género. Estas radiaciones se han conseguido dividir en tres grupos.

**Primer grupo.** Los rayos alfa (rayos  $\alpha$ ) o corriente de partículas materiales proyectadas a gran velocidad, con doble carga eléctrica positiva. Las partículas alfa tienen una masa cuatro veces mayor que la del átomo de hidrógeno. Han sido identificadas como los núcleos de los átomos de helio.

**Segundo grupo.** Los rayos beta (rayos  $\beta$ ) o corriente de electrones, lanzados a velocidades enormes. Cada electrón posee una carga eléctrica negativa, la mínima existente, y su masa es 1.840 veces menor que la del átomo de hidrógeno.



**Tercer grupo.** Lo constituyen los rayos gamma (rayos  $\gamma$ ), semejantes a los rayos X, pero con longitud de onda todavía más corta.

Si colocamos en un tubito de vidrio, aproximadamente, un gramo de sal de radio, lo cerramos a la lámpara y lo observamos, podremos descubrir todos los fenómenos principales que acompañan al proceso de desintegración radiactiva.

Utilizando un dispositivo especial para medir pequeñas diferencias de temperatura, veremos, sin ninguna dificultad, que la temperatura del tubito con sal de uranio es algo mayor que la del medio circundante.

Da la sensación, como si en el interior de la sal de radio hubiera oculto un dispositivo calorífico en continuo funcionamiento. Basándose en este experimento, puede hacerse una importante conclusión: durante la desintegración radiactiva, o lo que es lo mismo, durante el proceso de destrucción de núcleos atómicos, se verifica un desprendimiento ininterrumpido de grandes cantidades de energía. La experiencia demuestra que 1 gramo de radio, al desintegrarse, emite en una hora 140 calorías pequeñas. En el caso de su conversión total en plomo (para lo cual se requiere cerca de veinte mil años) se desprenden 2,9 millones de calorías grandes, o sea, tanta energía calorífica como se obtiene durante la combustión de media tonelada de hulla.



Tomemos un tubito con radio y, por medio de una pequeña bomba, aspiremos el aire contenido en su interior, trasvasándolo con cuidado a otro tubito en el que previamente se ha hecho el vacío. Cerremos el tubo a la lámpara. Resulta que, en la oscuridad, este segundo tubo emite luz verdoso-azulada, exactamente igual que el tubito con sal de radio.

Esta radiactividad secundaria es debida a la aparición de una nueva substancia radiactiva, producida por el radio. Dicha substancia es gaseosa y se la denominó radón (Rn).

La cantidad de radón contenida en el tubo, aumenta constantemente en el transcurso de cuarenta días, después de lo cual se mantiene invariable, puesto que la velocidad de desintegración del radón se equilibra con su velocidad de formación. La radiactividad puede también descubrirse acercando el tubito a un electroscopio cargado. La emisión radiactiva ioniza el aire, lo hace conductor de la electricidad y descarga el electroscopio.

Si observamos, día tras día, la influencia que ejerce el tubito con radón sobre el electroscopio cargado, veremos que, conforme pasa el tiempo, esta acción se va debilitando. Al cabo de 3,8 días, la intensidad con que actúa disminuye hasta la mitad de su valor inicial y, después de 40 días, el electroscopio no sufre la menor variación al aproximar el tubito.



En cambio, si hacemos pasar a través del tubito, después de transcurrido este período de 40 días, una descarga eléctrica y observamos en un espectroscopio la iluminación del gas, provocada por la descarga, veremos la aparición del espectro correspondiente a un nuevo gas, que antes no existía en el tubito. Este nuevo gas es el helio. Finalmente, si después de muchos años de conservación, sacamos con cuidado la sal de radio del tubito de vidrio y, utilizando métodos sensibles de análisis, investigamos la presencia de otros elementos químicos en la superficie de las paredes internas del tubo, descubriremos que en el tubito vacío existe plomo metálico en cantidades insignificantes.

Como resultado de la desintegración de sus átomos, de cada gramo de radio metálico se forman en un año  $4,00 \times 10^{-4}$  gramos de plomo con masa atómica 206, y 172 milímetros cúbicos de helio gaseoso.

De ese modo, durante la desintegración radiactiva del radio, van obteniéndose, uno tras otro, nuevos elementos radiactivos; hasta que por fin se forma plomo inactivo. En este momento cesa la transformación. El propio radio es solo un eslabón intermedio en la larga cadena de productos de transformación del uranio.

La serie de elementos, obtenidos como resultado de la desintegración de los elementos radiactivos, se denomina serie radiactiva.

Todos los núcleos de cada elemento radiactivo son inestables y tienen idéntica probabilidad de desintegrarse en un período determinado de tiempo. Por tanto, una muestra de sustancia radiactiva suficientemente grande, que contenga muchos millones de átomos, se desintegra siempre a una velocidad constante, independiente de las acciones físicas y químicas que sobre ella puedan ejercerse.

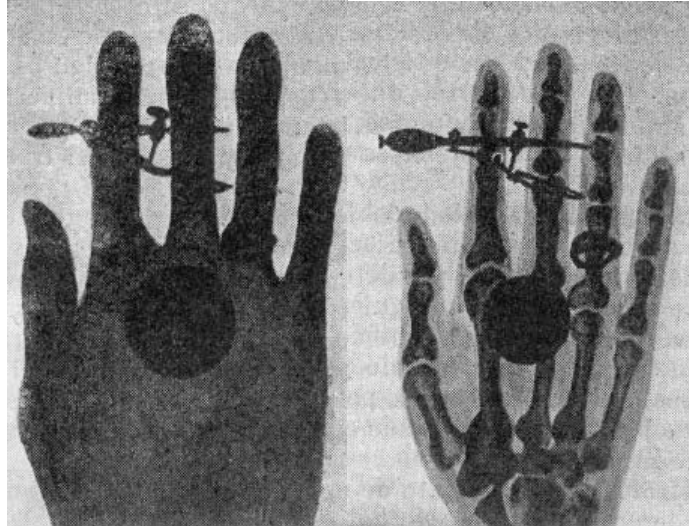


Se ha demostrado que la acción de diferentes agentes físicos externos sobre una sustancia radiactiva, desde la temperatura del helio líquido (próxima al cero absoluto) hasta la temperatura de varios miles de grados, presión de miles de atmósferas y descargas eléctricas de alta tensión, no influye en absoluto en el proceso de su desintegración.

La velocidad con que la sustancia radiactiva se desintegra o transforma, ordinariamente, se expresa por medio del período de semidesintegración  $T$ , o sea, el tiempo necesario para que se desintegre la mitad del total de átomos iniciales. Esta magnitud es característica y constante para cada clase de átomos inestables, o sea, para cada elemento radiactivo dado.

Los períodos de semidesintegración de los elementos radiactivos, poseen un margen muy amplio que oscila, desde fracciones de segundo para los núcleos atómicos más inestables, hasta miles de millones de años para los ligeramente inestables, como, por ejemplo, el uranio y el torio. Con frecuencia, el núcleo recién formado, de modo semejante a su “progenitor” radiactivo, es también inestable, desde el punto de vista radiactivo, y se desintegra ulteriormente hasta que, después de varias generaciones sucesivas, se convierte en un núcleo estable.

En la actualidad se conocen tres series o familias radiactivas, a saber: serie del uranio-radio, que comienza con el isótopo del uranio de masa atómica 238; serie del uranio-actinio, que empieza por otro isótopo del uranio con masa 235, y la serie del torio. Los productos finales estables, no desintegrables ulteriormente, de cada una de estas series, originados después de diez a doce transformaciones sucesivas, son los núcleos atómicos de los isótopos del plomo con masas respectivas 206, 207, 208.



*Figura 8.2 Dos fotografías de la mano de una persona. La de la izquierda está impresionada bajo la acción de los rayos emitidos por el radio; la de la derecha por medio de los rayos X. Los metales son opacos*

Además del plomo, productos finales estables de cada una de las series indicadas son las partículas alfa privadas de energía cinética y carga eléctrica, o sea, átomos de helio.

Durante el proceso de desintegración radiactiva de los átomos de uranio, torio y radio que se verifica sin interrupción en la tierra, se desprende constantemente calor.

Si se calcula la cantidad de calor emitida por los elementos citados durante su desintegración radiactiva, resulta, inesperadamente para nosotros, que desde hace mucho tiempo empleamos este calor, puesto que debido a él el globo terráqueo se calienta sensiblemente.

Exactamente igual, resulta que el gas helio, utilizable para llenar los dirigibles y aeróstatos, se obtiene a base de la desintegración radiactiva de los átomos de uranio, torio y radio contenidos en la tierra. Se ha calculado que en la tierra, de esta forma, durante todo el período de su existencia, se han formado enormes cantidades de helio, centenares de millones de metros cúbicos de este gas.

El continuo proceso de desintegración de los átomos de uranio, torio y radio contenidos en la tierra nos interesa no sólo como fuente de suministro constante de calor, sino también como fuente de producción de reservas industriales de elementos químicos y como mecanismo natural de relojería, como cronómetro, por medio del cual podemos determinar la edad de las diversas formaciones rocosas e incluso, de la propia Tierra como cuerpo sólido.

¿De qué modo los átomos de uranio, torio y radio y su desintegración pueden utilizarse como relojes para calcular el tiempo geológico?



Veamos cómo. Sabemos que la velocidad con que se desarrolla el proceso de desintegración de los átomos radiactivos no depende en absoluto de las acciones químicas o físicas y se mantiene siempre rigurosamente constante. Por otra parte, durante la desintegración radiactiva, se forman átomos de helio y plomo, completamente estables e invariables, cuya cantidad va acumulándose cada vez más y más con el transcurso del tiempo.

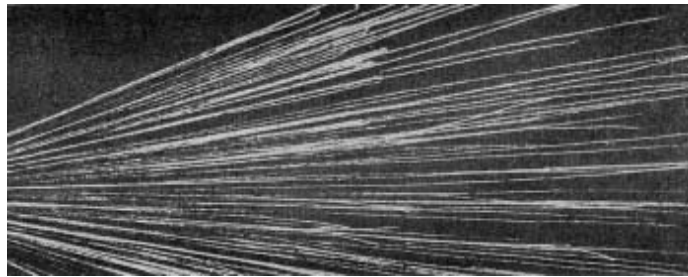
Conociendo la cantidad de helio y plomo, originada en un año durante la desintegración radiactiva de los átomos contenidos en un gramo de torio o de uranio, y determinada la cantidad de uranio y torio existente en un mineral cualquiera, así como la de helio

y plomo contenido en dicho mineral, podremos obtener, basándonos en la relación del helio con respecto al uranio y torio, por una parte, y la del plomo con respecto al uranio y torio, por otra parte, el tiempo, expresado en años, que ha transcurrido desde el momento en que se formó el mineral en cuestión.

En efecto, en el momento de su formación, el mineral contenía sólo átomos de uranio y torio. No había átomos de helio y plomo. Después, en virtud de la desintegración de los átomos de uranio y torio, comenzaron a aparecer y acumularse progresivamente los átomos de helio y plomo.

Semejante mineral, que contiene átomos de uranio y torio, puede compararse a un reloj de arena, cuyo funcionamiento, seguramente, todos conocen. Sin embargo, voy a recordarles cómo está construido este tipo de reloj. Consta de dos recipientes (ampolletas) que se comunican entre sí; en uno de ellos se echa arena fina en cantidad determinada. En el momento en que se "pone en marcha", se fija la posición del reloj y se deja que la arena, por la acción de la gravedad, vaya cayendo del recipiente superior al inferior.

Ordinariamente, la cantidad de arena que se echa en el recipiente superior, se calcula de forma que pase totalmente al inferior en un intervalo de tiempo determinado, por ejemplo 10 minutos, 15 minutos. Los relojes de arena se emplean corrientemente para calcular períodos constantes de tiempo. No obstante, pueden utilizarse para medir intervalos de tiempo cualesquiera. Para ello es necesario, o bien, pesar la cantidad de arena, o bien, graduar los recipientes en partes de idéntica capacidad y medir el volumen de la arena caída. Debido a que la arena, bajo la acción de la gravedad, va cayendo a una velocidad determinada, puede medirse el volumen o el peso de arena que pasa del recipiente superior al inferior durante un minuto y por el volumen de arena obtenido calcular los minutos transcurridos desde el momento en que ha comenzado a funcionar el reloj.



*Figura 8.3 Desintegración de núcleos de nitrógeno por la acción de partículas alfa. Se desprenden protones con largas trayectorias*

Algo semejante ocurre con el mineral de uranio y torio. Puede compararse con el recipiente superior que contiene una cantidad determinada de arena, sólo que el papel de los granos sueltos de arena, lo cumplen los átomos de uranio y torio. Estos átomos también se transforman a una velocidad determinada en átomos de helio y plomo y, lo mismo que en el reloj de arena, los átomos de helio y plomo, procedentes de la desintegración radiactiva, van acumulándose en proporción directa al tiempo transcurrido hasta nuestros días desde el momento en que se formó el mineral radiactivo.

La cantidad de uranio que ha quedado inalterable se determina por análisis directo; la de átomos de uranio y torio desintegrados se calcula por el número de átomos de helio y plomo originados. Estos datos permiten hallar la proporción entre la cantidad de uranio y la de helio y plomo formada y, por consiguiente, calcular el tiempo que duró el proceso de desintegración. Así es como los hombres de ciencia han llegado a determinar que



en la tierra existen minerales, cuya formación se verificó más de tres mil y medio millones de años atrás. De ese modo, sabemos actualmente que nuestra Tierra es vieja, viejísimo, y su edad es superior a tres mil y medio millones de años.

Como resumen de este capítulo, desearía explicarles otro fenómeno descubierto recientemente, al que seguramente le corresponde jugar un gran papel en la vida de la humanidad. Vimos anteriormente que en los núcleos atómicos de elementos pesados, comenzando por el número de orden 81 del sistema periódico de Mendeléev, junto con variedades estables, hay también inestables; o sea, dotadas de propiedades radiactivas. El núcleo atómico se hace inestable si se altera grandemente cierta proporción constante y determinada entre los protones y neutrones. Cuanto mayor sea el exceso de neutrones en el núcleo, tanto más crece la inestabilidad de este último.



En cuanto los hombres de ciencia observaron esta propiedad de los núcleos de los elementos químicos, rápidamente descubrieron el medio de variar, por vía artificial, la relación entre los protones y neutrones en el núcleo y, de esta forma, transformar según su deseo las variedades estables de núcleos atómicos en inestables, o sea, obtener artificialmente elementos químicos radiactivos. ¿Cómo puede hacerse esto?

Para ello hay que encontrar un proyectil adecuado, cuyas dimensiones no superen a las del núcleo atómico, comunicarle una energía muy grande e impactar con él al núcleo atómico.

Tales proyectiles de dimensiones atómicas y dotados de intensa energía son las partículas alfa, emitidas por las sustancias radiactivas. Fueron las primeras que emplearon los hombres de ciencia para destruir artificialmente el núcleo atómico. Por primera vez, esto lo consiguió el conocido físico inglés Ernesto Rutherford, que en el año 1919 al bombardear con partículas alfa los núcleos de nitrógeno, descubrió que dicho elemento despidió protones.

Quince años después, en 1934, los sabios franceses Irene Joliot Curie y Federico Joliot, al investigar la acción de las partículas alfa, procedentes del elemento polonio, sobre el aluminio, descubrieron que este elemento, no sólo emite rayos, en cuya composición intervienen los neutrones, sino que dicha emisión radiactiva continúa, durante cierto tiempo, despidiendo rayos beta, incluso después de cesar el bombardeo del aluminio con las partículas alfa.

Por medio del análisis químico, los esposos Joliot-Curie establecieron que la radiactividad obtenida artificialmente es debida, no al aluminio, sino a los átomos de fósforo formados a base de los átomos de aluminio, bajo la influencia de las partículas alfa.

De esta manera fueron obtenidos los primeros elementos radiactivos artificiales y fue descubierto el fenómeno de la radiactividad artificial. Inmediatamente después de este descubrimiento comenzaron a ensayarse diversos métodos para obtener por vía artificial elementos radiactivos; para el ataque de los núcleos atómicos, en lugar de partículas alfa, se emplearon los neutrones, que penetran en el núcleo mucho más fácilmente que las partículas alfa, puesto que éstas van cargadas positivamente y, por consiguiente, son repulsadas por el núcleo al aproximarse al átomo.

En los núcleos atómicos de los elementos químicos pesados, estas fuerzas de repulsión son tan grandes, que la energía de las partículas alfa no es suficiente para vencerlas y no pueden llegar hasta el núcleo.

Los neutrones, en virtud de que constituyen partículas desprovistas de carga eléctrica, no son rechazados por los núcleos y penetran en ellos con facilidad. Efectivamente, bombardeando con



neutrones, se ha conseguido obtener por vía artificial los diferentes núcleos atómicos radiactivos inestables correspondientes a todos los elementos químicos.

En 1939, al bombardear con neutrones lentos el elemento químico más pesado, el uranio, se descubrió que los núcleos atómicos de este elemento se desintegran de forma distinta a como se conocía hasta entonces, y el núcleo atómico se fisiona en dos mitades aproximadamente iguales. Estas mitades son variedades inestables de núcleos correspondientes a los átomos de elementos químicos ya conocidos por nosotros, situados en la parte central de la Tabla de Mendeléev. Un año después, en 1940, los jóvenes físicos soviéticos K. Petrzhak y G. Fliórov descubrieron que esta nueva forma de desintegración, o sea, nueva forma de radiactividad del uranio, se verifica también en la naturaleza, pero con mucha menos frecuencia que la desintegración.



*Figura 8.4 Destrucción del átomo de uranio por medio de neutrones lentos*

Si a base de la desintegración radiactiva ordinaria se desintegran la mitad de todos los átomos existentes de uranio durante 4.500 millones de años, por medio de la fisión de los átomos por la mitad, el período de ' semidesintegración es igual a 44 billones de años; por consiguiente, este segundo tipo de desintegración, se realiza con una frecuencia diez millones de veces menor; pero, en cambio, va acompañado de un desprendimiento de energía muchísimo mayor que la desintegración radiactiva corriente.

Durante este nuevo tipo de radiactividad del uranio, como demostraron los científicos en 1946, se forman también ciertos núcleos atómicos estables de elementos, que se acumulan de modo constante en la naturaleza, paralelamente con la formación de núcleos inestables susceptibles de desintegración ulterior.

Así, pues, si durante la desintegración radiactiva ordinaria, se forman y acumulan de modo constante átomos de helio, al verificarse el nuevo tipo de desintegración del uranio, se forman y acumulan paulatinamente átomos de xenón y de criptón.

Por medio del bombardeo de los isótopos del uranio, se consiguió, obtener varios elementos nuevos, llamados transuranios, con números atómicos 93-104. Todos ellos hallaron su puesto respectivo en la Tabla de Mendeléev.

Pero lo más interesante consiste en que este nuevo tipo de desintegración fue posible dirigirlo, acelerándolo o retardándolo conforme a nuestros deseos. Si se acelera intensamente este proceso y provocamos de este modo la desintegración instantánea de los átomos contenidos en un kilogramo de metal uranio, se desprenderá una cantidad tan enorme de energía y calor, semejante



a la que se obtiene durante la combustión de 2.000 toneladas de carbón, y se producirá una explosión de potencia colosal.

Después de la explosión, los fragmentos originados buscan nuevas formas de equilibrio, hasta que no se liberen del exceso de energía y no se conviertan en átomos más estables de otros metales.

Lo admirable de este descubrimiento es que la técnica humana no sólo puede provocar estas reacciones con liberación de cantidades fantásticas de energía, sino que puede influir sobre la intensidad de su desarrollo, transformar las reacciones violentas en desprendimientos continuos, más lentos y más tranquilos, de poderosa energía durante meses y años enteros. Aquella brillante idea sobre la energía intraatómica, que acababa de germinar en la mente de Pedro Curie a fines de la última década del siglo pasado, al descubrir junto con su esposa, el radio, idea que se atrevieron a emitir en el umbral del nuevo siglo sólo unos cuantos hombres de ciencia, se ha convertido actualmente en una realidad.

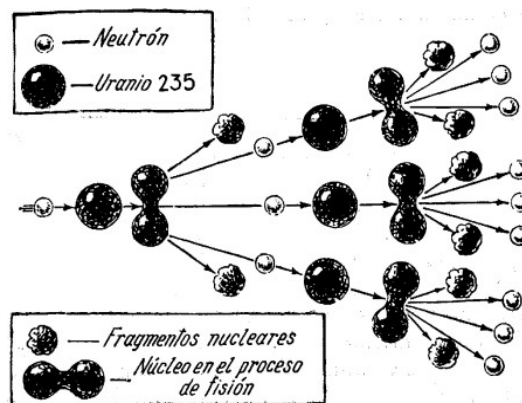


Figura 8.5 Esquema de la reacción en cadena, autopropagable, en los núcleos atómicos del uranio 235

Cuando en 1903, los hombres de ciencia describieron el cuadro del futuro feliz de la humanidad, poseedora de reservas ilimitadas de energía necesarias para su vida, esta idea parecía entonces sólo bella fantasía y no encontró su confirmación ni en los hechos reales de la naturaleza ni en las conquistas de la ciencia de aquel tiempo. Sólo actualmente esta ilusión va transformándose en realidad.

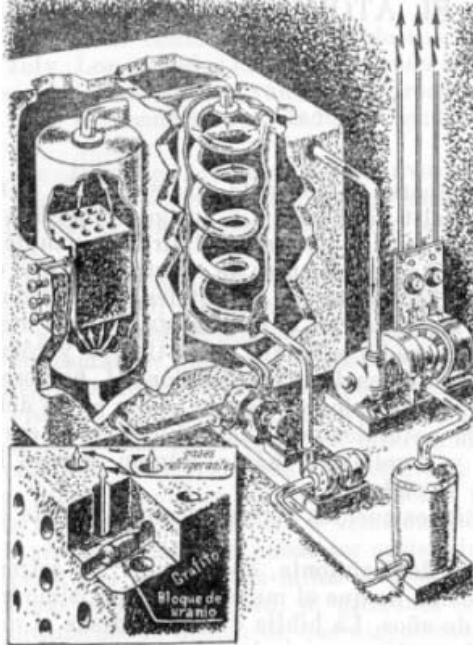
No es extraño que el metal uranio se haya convertido, a partir de estos últimos años, en objetivo de extraordinaria atención para todos los países. Antes constituía simplemente el residuo de la industria del radio. Las empresas productoras de radio en Bélgica, Canadá, EE UU y otros países buscaron las formas de utilización de dicho metal. Pero, no se le encontró empleo adecuado, se valoraba a bajos precios y se utilizaba a ínfimo coste para el colorido de porcelanas, azulejos y para obtener cristales verdes baratos.

Pero en los últimos años, esta situación ha cambiado radicalmente. El uranio ha adquirido, en varios países, un interés enorme y no el radio, sino el propio metal uranio ha sido objeto de numerosas búsquedas e investigaciones.

Aunque sea necesario mucho trabajo y enorme esfuerzo para conocer a fondo este problema, o incluso, siendo esta energía, por ahora, más cara que la obtenida en las calderas de vapor, en cambio, ¡qué posibilidades tan inmensas se abren ante la humanidad con el empleo de estos motores prácticamente eternos!

El hombre tiene en sus manos una nueva forma de energía, más poderosa que todas las conocidas hasta ahora.

En la actualidad, los hombres de ciencia de todo el mundo trabajan intensamente para llegar a dominar lo antes posible esta nueva y potente fuerza.



*Figura 8.6 "Pila de uranio". Así se denomina la instalación en la que se verifica la reacción nuclear en cadena del uranio 235. En la parte inferior vemos el bloque perforado de grafito (agente moderador de la reacción), en el que se introducen las barras de uranio. La "pila" va envuelta con una capa de sustancia reflectora de neutrones.*

Cuando llegue el día en que la energía atómica sea una cosa corriente, dispondremos de electrocentrales portátiles alojables en maletas, motores de varios caballos de potencia y dimensiones no mayores que un reloj de bolsillo, motores-cohetes con reserva de energía para varios años, aviones capaces de volar meses enteros sin aterrizar.

Se aproxima el siglo de la subordinación de la energía atómica, siglo del poderío nunca visto del hombre.

Y a la luz de estas nuevas ideas sobre la constitución del átomo, la ley periódica de D. I. Mendeléev no ha perdido su significado e importancia.

Por el contrario, continúa siendo la estrella orientadora para conocer los fenómenos intraatómicos y para establecer los enlaces químicos existentes entre los átomos. El estudio de la estructura atómica ha demostrado que la ley de Mendeléev no es una simple ley de la Química sino una de las leyes más importantes de la naturaleza.

**Capítulo IX****EL ÁTOMO Y EL TIEMPO**

Es difícil imaginarse un concepto más simple y, al mismo tiempo, más complejo que el tiempo. Un antiguo proverbio finlandés dice que "no existe nada en el mundo más admirable, complejo e invencible que el tiempo". Cuatro siglos antes de nuestra era, uno de los filósofos más notables de la edad antigua, Aristóteles, escribió que entre todo lo desconocido que nos rodea en la naturaleza, lo más desconocido es el tiempo, puesto que nadie sabe qué es el tiempo y cómo gobernarlo.

En las primeras etapas de la civilización, al hombre le preocupaba ya la idea sobre el principio del tiempo, sobre el fin del mundo, sobre cuándo se creó la naturaleza en que vivimos, cuál era la edad de la Tierra, planetas y estrellas, y cuánto tiempo seguirá iluminando todavía el Sol en el cielo.

Según los antiguos cuentos persas, el mundo existe desde hace sólo doce mil años.

Los astrólogos de Babilonia, observando los astros celestes, llegaron a la conclusión de que el mundo es antiquísimo y que tiene más de dos millones de años. La Biblia dice que, desde el momento en que en seis días y seis noches se creó el mundo por la voluntad de Dios, no han transcurrido más de seis mil años.

Durante muchos milenios, hombres eminentes continuaron ocupándose sobre los problemas referentes al tiempo y las fábulas antiguas y fantasías de los astrólogos fueron remplazándose por métodos precisos para determinar la edad de nuestro planeta.

El primero que intentó determinar la edad de la Tierra fue el astrólogo Galileo en 1715. Después lord Kelvin en 1862, calculó la edad de la Tierra, basándose en la teoría sobre su enfriamiento y consolidación, y obtuvo la cifra, grandiosa para aquel tiempo, de cuarenta millones de años.

Luego aparecieron los métodos geológicos. En Suiza, Inglaterra, Suecia, Rusia y América, se trató de calcular el tiempo que necesitó nuestra Tierra para llegar a formar los estratos grandiosos de rocas sedimentarias, cuyo espesor total supera cien kilómetros.

Resultó que los ríos arrastran consigo cada año no menos de diez millones de toneladas de sustancias procedentes de los continentes, lo que supone que nuestra tierra firme pierde cada 25 mil años, por término medio, una capa de terreno de un metro de espesor. De esta forma, estudiando la actividad de las aguas y glaciares, los procesos sedimentarios en la Tierra y los océanos, y las arcillas glaciares estrías, los geólogos llegaron a la conclusión de que la historia de la corteza terrestre no puede limitarse a cuarenta millones de años. En 1899, el geofísico inglés Joly determinó que la edad de nuestra Tierra es de trescientos millones de años.

Pero estos cálculos no fueron del agrado de los físicos ni de los químicos, ni incluso de los geólogos.

La destrucción de los continentes no se efectuó tan correctamente como pensaba Joly. Los períodos de sedimentación fueron reemplazados por explosiones violentas de los volcanes, terremotos, elevación de las cordilleras. Los sedimentos acumulados se fundían, eran erosionados por las aguas.

El cálculo de Joly no satisfizo a los investigadores precisos, que deseaban encontrar un verdadero reloj, utilizable para determinar el tiempo del pasado, para determinar la edad de la corteza terrestre.

En ayuda de los geólogos vinieron los químicos y físicos. Ellos encontraron por fin el reloj constante y eterno, construido no por un maestro relojero, sin muelles y espirales que le comuniquen movimiento; y que no tiene necesidad de que se le dé cuerda. Ese reloj resultó ser el átomo desintegrable de los elementos radiactivos.

Ya hemos visto en el capítulo anterior, que todo el mundo está lleno de átomos en estado permanente de destrucción y que en este proceso imperceptible, pero grandioso, se desintegran los átomos de uranio y torio, radio y polonio, actinio y muchas decenas de otros elementos. Esta destrucción se verifica a velocidad constante y, como hemos indicado anteriormente, no puede ser acelerada o retardada, ni aplicando temperaturas elevadas de miles de grados, ni temperaturas bajísimas próximas al cero absoluto, ni presiones enormes. Ninguno de los medios ordinarios de acción de que disponemos son capaces de modificar este riguroso e inalterable proceso de desintegración, que experimentan cierto número de elementos en la naturaleza.

Es verdad que la técnica moderna ha sabido encontrar medios poderosos, a base de los cuales se consigue destruir y crear átomos. Pero en la naturaleza, estas condiciones no existen y la velocidad invariable de desintegración de los elementos pesados, se conserva sin alteración alguna durante millones y millares de millones de años. Siempre y en todas partes, en el universo que nos circunda, se desintegran los átomos de uranio, radio, torio, formándose al mismo tiempo cantidades determinadas de gas helio y átomos estables inactivos de plomo. Estos dos elementos naturales, helio y plomo, constituyen la base del nuevo reloj. De este modo, por primera vez en la historia de la humanidad, ¡se consiguió medir el tiempo, utilizando un standard universal de carácter eterno!

¡Qué maravilloso cuadro y al mismo tiempo, qué difícil de comprender! Varios centenares de átomos distintos llenan el universo con sus sistemas complejos electromagnéticos. Al emitir energía, se transforman a saltos, pasando de una forma a otra. Algunos de esos sistemas, los recién formados, tienen vitalidad y se conservan con tenacidad; evidentemente, la gran longitud de sus períodos de transformación, los hace inaccesibles para nosotros. Otros existen miles de millones de años, desprendiendo energía lentamente y pasando a través de series complejas de desintegración. Los terceros viven años, días, horas. La vida de otros, se mide en segundos y fracciones de segundo...

Subordinándose a las leyes de transformación de los sistemas atómicos, los elementos van llenando la naturaleza, pero el tiempo regula las leyes de su distribución cuantitativa, el tiempo los disemina por el espacio universal, creando la complejidad de mundos de nuestra Tierra y la vida cósmica del Universo.

Lentamente, se verifican los procesos del Universo: mueren los átomos pesados muy inestables; otros se desintegran bajo la acción de las partículas alfa; se forman los terceros, los ladrillitos más estables del Universo; se acumulan gradualmente los productos finales de desintegración, los elementos no radiactivos.

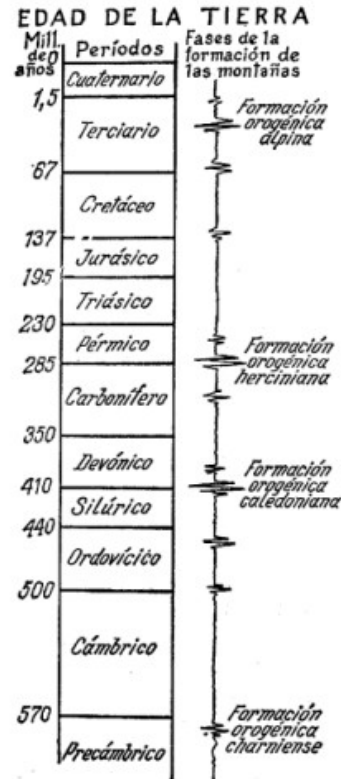


Figura 9.1 Edad de la Tierra

Se ha establecido que en el Sol predominan elementos estables, resistentes a la acción de las partículas alfa. El 90 % de la corteza terrestre está formada por elementos con números de electrones par o múltiple de cuatro, o sea, precisamente los elementos que presentan mayor estabilidad ante la actividad destructiva de los rayos gamma y cósmicos. Los más estables, de estructura simple y compacta, constituyen nuestro mundo inorgánico. Otros, menos estables (como potasio y rubidio), intervienen en los procesos vitales, ayudando, con su propia destrucción, al organismo a luchar por la vida. Los muy inestables (radón y radio), destruyen esta vida, desintegrándose. En unos sistemas estelares, el proceso de desintegración se halla en pleno desarrollo; esto ocurre en nuestro sistema solar; en otros, en las nebulosas estelares, el proceso se encuentra en período de iniciación, en otros, en los cuerpos celestes oscuros apagados, los procesos de desintegración van extinguiéndose con lentitud eterna. El tiempo determina la composición, naturaleza y combinaciones de los elementos en el transcurso de la historia del Cosmos.

Los físicos y químicos han calculado que en el transcurso de 100 millones de años, 1.000 gramos de metal uranio dan 13 gramos de plomo y 2 gramos de helio.

Al cabo de 2.000 millones de años, la cantidad de plomo será de 225 gramos, o sea, se transformará en plomo la cuarta parte de todo el uranio. La cantidad de átomos de helio volátil acumulada será ya de 35 gramos. Pero el proceso continúa y, después de 4.000 millones de años, el plomo obtenido será casi 400 gramos, la cantidad de helio alcanzará 60 gramos, y del uranio inicial quedará sólo la mitad, 500 gramos.



*Figura 9.2 "Reloj" para medir la edad de la Tierra. Si admitimos convencionalmente que la duración de la historia de la Tierra, desde el comienzo de la antigua era arcaica hasta nuestros días, es de 24 horas y disminuimos proporcionalmente la duración de todas las eras (calculada por el método radiactivo), - en nuestro reloj, el período precámbrico dura 17 horas; el paleozoico, 4 horas, el mesozoico, 2 horas, y el cenozoico, 1 hora. El hombre aparece cinco minutos antes de la media noche*

Continuemos este razonamiento. Tomemos, no 4.000 millones, sino cien mil millones de años. En este caso, casi todo el uranio se habrá desintegrado, convirtiéndose en plomo y helio. En la tierra casi no quedará uranio, y en su lugar, se diseminarán por toda la naturaleza los átomos pesados de plomo y en la atmósfera aumentará la proporción de gas del sol, el helio. Fundándose en esos datos, durante los últimos años, los geoquímicos y geofísicos han construido una escala del cómputo, calculado en años, de la evolución geológica del globo terrestre. Este nuevo reloj ha establecido que la edad de nuestro planeta es seguramente mayor de 4.5 mil millones de años, o sea, que aproximadamente, 5 mil millones de años es el tiempo que nos separa del momento de la historia cósmica en que se formaron los planetas de nuestro Sistema solar y la Tierra. ¡ Más de 3,6 mil millones de años han transcurrido desde la aparición de la corteza sólida de la Tierra, o sea, el segundo e importantísimo momento en la historia de la Tierra, el comienzo de su historia geológica. Han pasado, como mínimo, 2.000 millones de años desde el momento en que se engendró la vida. Aproximadamente, 500 millones de años antes de nuestros días, se inició el proceso de deposición de las notables arcillas azules del período cámbrico, que se encuentran en los alrededores de Leningrado. En el transcurso de la primera época, lo que constituye las tres cuartas partes de toda la historia geológica de la Tierra, las masas fundidas surgieron muchas veces a la superficie, procedentes de las profundidades, violando el reposo de la primera capa sólida de la Tierra, todavía delgada. Estas masas fundidas se esparcían por la superficie, impregnándola con su aliento y disoluciones calientes, arrugándola y elevándola en forma de cordilleras. En la actualidad, los geoquímicos y geólogos han señalado qué cordilleras son antiguas (por ejemplo, en Carelia, los Belomorides, en el Canadá, los granitos del Estado de Manitoba). La edad de estas cordilleras es casi de 1.900.000.000 años<sup>1</sup>, ya se han encontrado las rocas más antiguas, la edad de las cuales llega a 3.600.000.000 años.

Después comenzó la larga historia de desarrollo impetuoso del mundo orgánico. En el esquema de la página 74 vemos el período tan largo de tiempo que duró el proceso de sedimentación en las diferentes épocas geológicas.

Unos 500 millones de años antes de nuestra época, las cordilleras de Caledonia se alzaron en el norte de Europa; 200-300 millones de años atrás, se formaron las cordilleras de los Urales y de Tian-Shan. Durante 25-50 millones de años se efectuó la formación de los Alpes; se extinguieron los últimos paroxismos de los volcanes del Cáucaso, se llevaron las cimas montañosas del Himalaya.

Después, sigue el período prehistórico. Un millón de años marcan el comienzo de las épocas glaciales; 800 mil años, la aparición por primera vez del hombre; 25 mil años, el fin de la última época glacial; 10.000-8.000 años, el nacimiento de las culturas egipcia y babilónica; casi dos mil años, el principio de nuestra era. Transcurrirán todavía muchos años, antes de que los sabios lleguen a verificar la exactitud de las indicaciones de su admirable reloj. Pero el método ya existe, que es lo principal. Uno de los enigmas del tiempo ya está descifrado y no hay duda de que pronto llegará el día en que el geoquímico sabrá leer en cada muestra de roca o piedra su edad y determinar con precisión el número de años transcurridos, desde el momento de su formación.

¡Químico! Hemos dejado de creer en la inalterabilidad de tus átomos; todo se mueve, todo se transforma, todo se destruye y se crea de nuevo; unos mueren, otros nacen; así transcurre la historia de los procesos químicos del mundo a través de los tiempos. Pero, incluso la muerte del átomo, el hombre ha sabido convertirla en un arma para conocer el mundo y ha hecho de ella el patrón del tiempo.

---

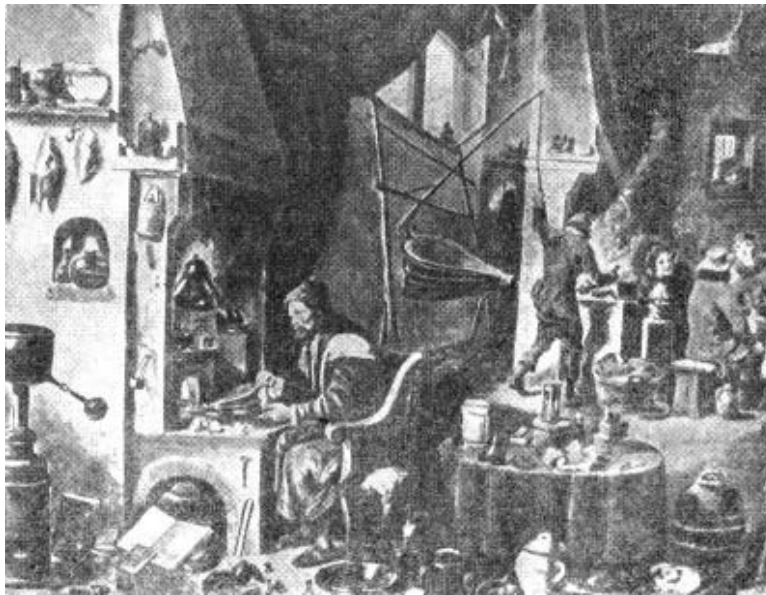
<sup>1</sup> Algunos autores norteamericanos estiman que la edad de los granitos de Manitoba es de 3.100 millones de años; sin embargo, los hombres de ciencia soviéticos consideran que estos datos son exagerados. (N. de la Red.)

**Capítulo XII****EL FOSFORO, ELEMENTO DE LA VIDA Y DEL PENSAMIENTO**

Con objeto de comprender mejor la historia de este admirable elemento de la naturaleza, voy a citarles dos relatos. Uno se refiere a los tiempos lejanos de fines del siglo XVII, el otro a nuestros días. Luego, trataré de hacer deducciones y describir la historia legendaria del fósforo, sin el cual no puede existir ni la vida ni la facultad de pensar.

\* \* \* \*

Un sótano oscuro, iluminado débilmente por una ventana con reja dispuesta en la parte alta. Un horno con braseros y fuelle grande de herrería, voluminosas retortas, densas humaredas que se extienden por la habitación... En las paredes, inscripciones diversas, sentencias árabes, pentágramas, cálculos astronómicos, un cuadro del cielo estrellado y los astros celestes. Por las mesas, en el suelo, infolios antiguos con encuadernaciones gruesas de piel, llenos de signos enigmáticos. En el suelo, repartidos por la habitación, se ven grandes copas para triturar sales, montones de arena, huesos humanos, recipientes con agua "viva", gotas relucientes de mercurio sobre la mesa, vasos finos de Cristal, retortas, disoluciones amarillas, pardas, rojas y verdes.



*Figura 12.1 Alquimista de la Edad Media en su laboratorio*

En el centro de este laboratorio antiquísimo, se alza la figura de un alquimista de pelo canoso, encerrado en sus cavilaciones y aislado por muchos años del mundo exterior. Busca la forma de transformar el mercurio en oro, de utilizar la fuerza misteriosa de la combustión para obtener un metal a partir de otro.

De mil modos diferentes disuelve polvos y huesos humanos, evapora orina de diversos animales y personas, busca la piedra filosofar que convierte los viejos en jóvenes, que le ayude a obtener el oro valioso a partir de metales simples.



En este ambiente misterioso y complejo, resolvían sus problemas los alquimistas del siglo XVII. Sin embargo, sus intentos de obtener el oro del mercurio o de extraer de los huesos la piedra filosofar, fueron infructuosos. Pasaban los años, los experimentos no tenían éxito. Cada vez era mayor el misterio con que los alquimistas cercaban sus laboratorios, ocultando recetas y libros enormes con sus anotaciones.

Pero en 1669, un alquimista, que trabajaba en Hamburgo, tuvo más suerte. Tratando de encontrar la piedra preciosa, tomó orina fresca, la evaporó hasta secarla y calcinó el residuo negro obtenido. Al principio lo calentó con cuidado, luego con más intensidad y en la parte superior del tubo comenzó a depositarse una sustancia blanca de aspecto céreo que, con gran sorpresa para el alquimista, emitía luz.

Hennig Brand, así se llamaba este alquimista, durante largo tiempo mantuvo en secreto su descubrimiento. Los intentos de otros alquimistas de penetrar en su laboratorio fueron inútiles. Gentes poderosas venían a Hamburgo con el propósito de comprar este secreto. El descubrimiento produjo una impresión fantástica, los cerebros más eminentes del siglo XVII se interesaron por él, pensando que había sido descubierta la piedra filosofar. La piedra obtenida emitía a la temperatura ordinaria una iluminación suave; se le llamó "fuego frío" y a la propia sustancia "fósforo" (que en griego significa "portador de luz").

Roberto Boyle, uno de los químicos ingleses más notables, y Leibniz, filósofo del siglo XVII, se interesaron enormemente por el descubrimiento de Brand. Poco tiempo después, un discípulo y ayudante de Boyle, consiguió en Londres tan admirables resultados que llegó, incluso, a escribir un anuncio en el periódico:

*"Gankviz, químico, reside en Londres, calle tal, prepara diversas clases de medicamentos. Además, pone en conocimiento de todo aquel que le interese, que únicamente él, en la capital de Inglaterra, puede preparar fósforo de distintas clases a tres libras esterlinas la onza".*

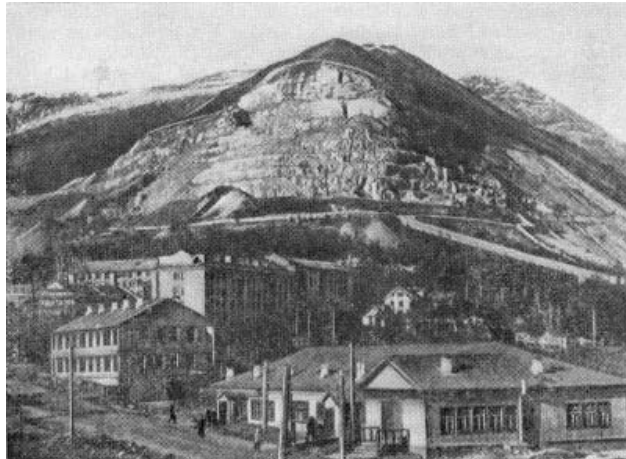
No obstante, hasta 1737, la obtención del fósforo continuó siendo un secreto de los alquimistas. Todos sus intentos de utilizar este elemento maravilloso fueron infructuosos. Convencidos de que habían descubierto la piedra filosofar, trataban de transformar, con ayuda del fósforo blanco luminiscente, los metales corrientes en oro. Pero sus intentos siempre fracasaban. La piedra filosofar no revelaba las propiedades enigmáticas que se le atribuía y lo único que recibían los investigadores era algún que otro susto debido a las explosiones que acontecían de vez en cuando durante sus experimentos. El fósforo continuaba siendo una sustancia misteriosa y no se le encontraba aplicación adecuada. Hubo necesidad de que transcurrieran cerca de dos siglos hasta que el químico Liebig, en su modesto laboratorio, descubrió un secreto más, la importancia del fósforo y del ácido fosfórico en la vida de las plantas. Se puso en claro que los compuestos de fósforo constituyen la base de la vida en los campos de cultivo; y en este laboratorio fue expuesta por primera vez la idea de que para elevar el rendimiento de las cosechas es preciso diseminar por los campos los compuestos de "fuego frío".



Liebig

Conocemos la desconfianza con que fueron acogidas estas palabras de Liebig. Su propósito de introducir en la agricultura el fertilizante de salitre no tuvo éxito y la carga de sales traída en barco desde América del Sur fue arrojada al mar en vista de que nadie deseaba comprarla. Durante mucho tiempo se consideró como fantasía inadmisibles la posibilidad de emplear las sales de "fuego frío" para elevar la cosecha de centeno y trigo, para incrementar el desarrollo de los tallos de la apreciada planta fibrosa, el lino. Nuevamente debían

transcurrir años de trabajo científico perseverante, antes de que el fósforo se convirtiera en uno de los elementos químicos más importantes en la agricultura.



*Figura 12.2 Vista general de un yacimiento de apatito (1940)*

El segundo relato se refiere al año 1939. En la parte septentrional de la URSS, en las vertientes cubiertas de nieve de las cordilleras montañosas, se efectúa la extracción en gran escala de una piedra de color verde claro, el apatito, mineral de gran utilidad y valor. Su producción anual es enorme, compite con la de fosforita que se extrae en las costas del mar Mediterráneo, en África o en Florida. El apatito se envía a grandes fábricas para su concentración, donde se tritura el mineral, se separa la mena de la ganga y demás componentes inútiles, y se obtiene un polvo blanco, limpio y blando que se disgrega con facilidad, muy parecido a la harina. Luego, el producto concentrado se carga en vagones y decenas de trenes lo transportan desde las regiones transpolares a las fábricas de Leningrado, Moscú, Odesa, Vinnitsa, Donbás, Perm y Kúibishev para tratarlo con ácido sulfúrico y convertirlo en una nueva substancia, el fosfato soluble, polvo blanco utilizable como fertilizante. Millones de toneladas de estos compuestos de fósforo son diseminados por máquinas agrícolas especiales en los campos de cultivo, duplicando la cosecha de lino, aumentando la proporción de sacarosa en la remolacha azucarera, multiplicando el número de cápsulas en la planta de algodón, elevando la fecundidad de los cultivos de huerta.



Los insignificantes átomos de fósforo esparcidos por el terreno van a parar al trigo, verduras, a numerosos productos que empleamos para nuestra alimentación. Los cálculos muestran que en cada pedazo de pan de 100 gramos de peso que nos comemos, hay hasta  $1 \times 10^{22}$  átomos de fósforo, o sea, una cifra colosal difícil de expresar en el lenguaje ordinario.

Hemos hablado de un yacimiento importante de sales fosfóricas, de apatito, en las montañas de Jibini. Pero, aun teniendo en cuenta la grandiosidad de la producción de las minas de la península de Kola, ellas por sí solas no están en condiciones de abastecer de fósforo todos los campos del inmenso país, puesto que surge el problema del transporte. La cantidad de vagones de concentrado de apatito que llegan a Siberia, Kazajstán y Asia Central no es suficiente. En ayuda del apatito polar vienen los yacimientos recién explorados. La fosforita se produce intensamente en muchos lugares de la parte europea de la Unión Soviética. Yacimientos no menos importantes de este mineral se conocen actualmente en Siberia y Asia Central. En diversas regiones continúa la búsqueda y exploración de nuevos yacimientos. Los depósitos naturales existentes de fosforita

permiten obtener decenas de millones de toneladas de fertilizantes fosfóricos, que aportan su fuerza vivificante a los campos del país, saturando con sus átomos creadores de vida los granos de las espigas y los tallos de las plantas.

Hemos descrito dos episodios de la historia del fósforo: su descubrimiento y su utilización actual. Más de diez millones de toneladas de abonos fosfóricos se producen anualmente en todo el mundo; de ellas dos millones de toneladas de fósforo se diseminan por los campos de cultivo. El fósforo no sólo se emplea como fertilizante. La importancia de esta sustancia va creciendo de año en año. En la actualidad, se utiliza este "fuego frío", como mínimo, en 120 ramas de la industria.

Antes de todo, el fósforo es la sustancia básica de la vida y del pensamiento. El contenido de fósforo en los huesos determina el crecimiento y desarrollo normal de las células de la médula ósea y, en resumidas cuentas, es el que implica solidez a los organismos vivos. El contenido elevado de fósforo en la sustancia medular demuestra el papel importantísimo que desempeña para el trabajo funcional del cerebro. La falta de alimentación fosfórica conduce al debilitamiento de todo el organismo. No en vano existe gran número de medicamentos y preparados farmacéuticos a partir de fósforo, destinados a restablecer a los enfermos débiles o convalecientes.



El fósforo le necesitan, no sólo el hombre, sino también las plantas y animales en grandes cantidades. Hemos aprendido a abonar con fertilizantes fosfóricos, no sólo la tierra, sino también el mar. En las bahías cerradas y en los golfos, la fertilización del agua del mar con fósforo, acrecienta considerablemente la multiplicación y crecimiento de algas diminutas y otros organismos microscópicos, lo que conduce a una reproducción intensa de los peces. En los últimos tiempos, el fósforo ha adquirido suma importancia en la preparación de diversos productos alimenticios, especialmente, para las aguas minerales. Aguas minerales de alta calidad se obtienen con ayuda del ácido fosfórico. Con sales de los ácidos fosfóricos, sobre todo las de manganeso y hierro, se fabrican excelentes materiales de recubrimiento, dotados de gran estabilidad. Los mejores artículos de acero inoxidable se obtienen recubriéndolos con sales fosfóricas. Las superficies de los aviones pueden hacerse inoxidables empleando revestimientos fosfóricos. El "fuego frío" del fósforo en otros tiempos ha creado una de las ramas más importantes de la industria, la fabricación de cerillas. Nuestros jóvenes lectores no conocen las cerillas de fósforo que se usaban antes de ser inventadas las cerillas actuales. Recuerdo todavía, de los años de mi niñez, las cerillas con cabeza roja basado en fósforo que se encendían frotándolas en cualquier objeto. Sobre todo nos gustaba mucho encenderlas raspándolas en la suela de los zapatos. Sin embargo, las cualidades peligrosas del fósforo obligaron a orientar otro tipo de cerillas como las que usamos actualmente.



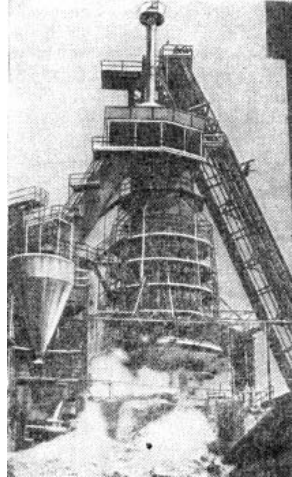


Figura 12.3 Alto horno para la sublimación del fósforo

La aplicación del fósforo en las cerillas sugirió la idea de aplicar esta sustancia, no para el fuego frío, sino para la niebla fría. Al arder el fósforo se forma en la atmósfera ácido fosfórico que tiene la propiedad de mantenerse prolongadamente en el aire en forma de niebla. La técnica de guerra aprovecha esta propiedad del ácido fosfórico para producir cortinas fumígenas. Las bombas incendiarias contienen considerable cantidad de fósforo. Las bombas de fósforo, propagadoras de niebla blanca fría, son uno de los medios ofensivos y de destrucción empleados en la guerra moderna. No vamos a hablar de las formas químicas complejas por las cuales pasa el fósforo en la naturaleza, desde las profundas masas fundidas, pasando por las finas agujas de apatito y terminando por los filtros vivientes, por los microorganismos, que se apoderan del fósforo de las disoluciones débiles del agua del mar.

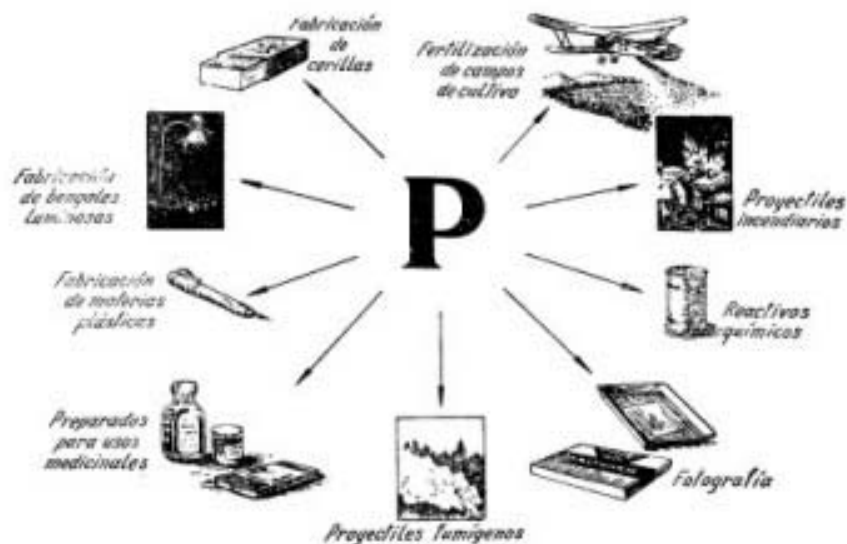


Figura 12.4 Aplicaciones del fósforo en diversas industrias

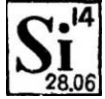
La historia de la migración del fósforo en la corteza terrestre tiene extraordinario interés. El destino del fósforo está íntimamente ligado a los procesos complejos de la vida y la muerte. El

fósforo se acumula donde muere la vida orgánica y donde tiene lugar la muerte en masa de animales, en los puntos de enlace de las corrientes marítimas, donde se forman los cementerios submarinos. El fósforo se concentra en la tierra de dos formas: bien en los yacimientos profundos de apatito, procedentes de los magmas fundidos calientes, bien en los restos de las partes óseas de los animales. El ciclo de transformación que experimenta el fósforo en la naturaleza es complicadísimo. Eslabones aislados de su "peregrinación" han sido descubiertos por los químicos, geoquímicos y técnicos. Su pasado se pierde en las entrarías de la Tierra. Su futuro está en la industria mundial, en las complicadas formas de progreso técnico.

## Capítulo X

### EL SILICIO, FUNDAMENTO DE LA CORTEZA TERRESTRE

#### Elemento silicio y mineral sílice



En una de las baladas del poeta ruso del siglo XVIII Zhukovski se cuenta cómo cierto extranjero, al arribar a Amsterdam, preguntaba a los transeúntes a quién pertenecían las tiendas, casas, embarcaciones y haciendas, y todas sus preguntas recibían la misma contestación: "Ik kann niet verstaan". "¡Qué hombre más rico!", pensaba el extranjero, envidiándole y sin adivinar que esto significaba en holandés, "no comprendo".

Esta historia me acude a la memoria siempre que se habla del cuarzo. Me muestran los objetos más diversos: una bola transparente, que brilla en los rayos del sol como agua fría de manantial, el bello y abigarrado dibujo del ágata, el vivo y rico juego de colores del ópalo, la arena pura en la orilla del mar, un filamento de cuarzo fundido fino como la seda o utensilios termoestables, elaborados de este material, pedazos amontonados de cristal de roca con sus lindas facetas, el fantástico jaspe de dibujo misterioso, un árbol petrificado convertido en sílice, la punta de flecha groseramente elaborada del hombre primitivo; y a cualquiera de mis preguntas se contesta: todo esto está constituido de cuarzo y minerales similares a él por su composición. Todo esto es una misma combinación química de los elementos silicio y oxígeno.

El silicio tiene el símbolo químico convencional *Si*. Es, después del oxígeno, el elemento más difundido en la naturaleza. No se encuentra jamás en estado libre, sino que siempre forma la combinación con el oxígeno:  $\text{SiO}_2$ , que se denomina sílice, ácido silícico o bien óxido de silicio. Por la palabra "silicio" frecuentemente recordamos, antes que nada, la sílice o pedernal, que muchos conocen bien aún desde la infancia: piedra dura que da chispas al chocar con el acero, empleada por el hombre primitivo para obtener fuego y, más tarde, para encender la pólvora en los fusiles de pedernal. Sin embargo, el mineral sílice no es el silicio de los químicos, sino una, y no la más importante, de sus combinaciones. El silicio es un notable elemento químico, cuyos átomos se hallan ampliamente difundidos a nuestro alrededor, en la naturaleza y en la técnica.

#### Silicio y sílice

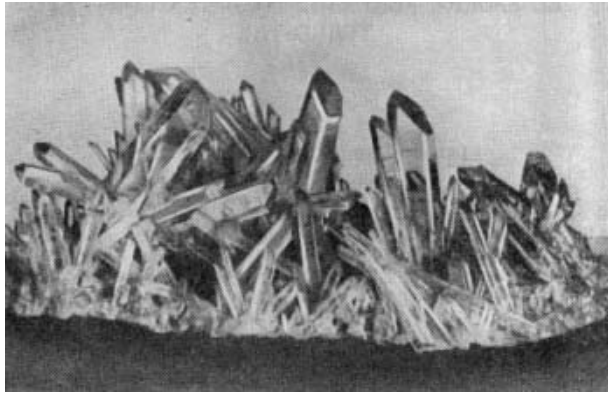


En el granito hay un 80% de sílice, o sea, un 40% del elemento silicio. Sus compuestos entran en la composición de la mayoría de las rocas duras. El pórfido del Mausoleo de Lenin en la Plaza Roja, los bellos granitos de la fachada del hotel "Moscú" y las refulgentes manchas azul-marino de labradorita en los fundamentos de las casas de la calle Dzerzhinski en Moscú, en una palabra, todas las rocas duras y consistentes de la tierra contienen más de un tercio de silicio.

El silicio es el componente principal de la arcilla común. De él se forma en lo fundamental la arena de las riberas fluviales, los asperones y las pizarras. Por esto, no es extraño que cerca del 30% del peso de toda nuestra corteza terrestre esté constituido por este elemento y que, hasta una profundidad de 16 kilómetros, cerca del 65% corresponde a su principal combinación con el oxígeno, que los químicos denominan sílice,  $\text{SiO}_2$ , y que nosotros llamamos más que nada cuarzo. Se conocen más de doscientas variedades de la sílice natural y más de cien denominaciones emplean los mineralogistas y geólogos al enumerar las distintas clases de este importantísimo mineral.

Nosotros hablamos del óxido de silicio cuando nombramos la sílice, el cuarzo y el cristal de roca; hablamos de él, extasiándonos ante la hermosura de la avioletada amatista, el ópalo abigarrado, la roja cornalina, el ónice negro o el calcedonio de color gris. A él se refieren las bellas modalidades

del jaspe, la piedra de afilar y la simple arena. Las denominaciones más diversas se dan a sus distintas variedades y, posiblemente, se necesita toda una ciencia para poder estudiar las numerosas combinaciones de este admirable elemento.



*Figura 10.1 Drusa de cristal de roca, la variedad más pura y transparente del cuarzo*

Pero en la naturaleza hay un número todavía mayor de combinaciones en las que nuestra sílice o ácido silícico se asocia con óxidos de otros metales. En este caso se obtienen miles de nuevas especies de minerales, denominados silicatos.

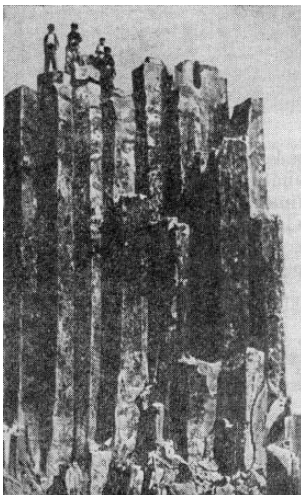
El hombre los emplea en la técnica y la construcción; sus principales variedades, la arcilla y el feldespato, se utilizan para obtener vidrio, porcelana y loza, fundiendo el cristal para ventanas y el cristal de roca para vasos, creando la fuerza magna de la técnica de la construcción: el hormigón, sólido como una coraza, uno de los materiales básicos para el asiento de nuevas autopistas, puentes y armazones de hormigón armado de las fábricas, teatros, casas, etc.



¿Qué puede compararse, en manos del hombre, por su solidez y variedad de propiedades con la sílice y sus combinaciones?

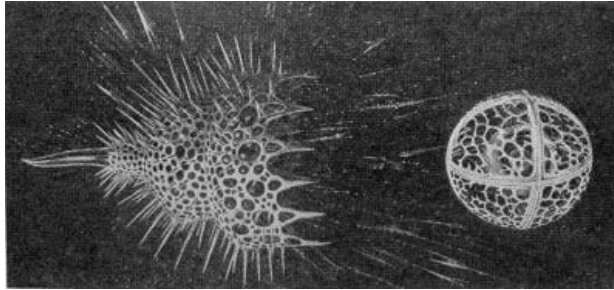
### **El silicio en los animales y las plantas**

Antes de que el ingenio del hombre aprendiese a utilizar el óxido de silicio en su técnica, la naturaleza ya lo empleaba ampliamente en la vida de las plantas y los animales.



*Figura 10.2 Columnas naturales de basalto (aislación de rocas volcánicas). Región de Bovno, RSS de Ucrania*

Allí donde hizo falta construir un tallo fuerte, una sólida paja de espiga, se concentraba un contenido elevado de sílice; y nosotros sabemos la gran cantidad que de él existe en la ceniza de la paja y, sobre todo, en los tallos consistentes de plantas como la "cola de caballo", que crecieron en las lejanas épocas geológicas de la formación del carbón de piedra, estirándose desde las depresiones pantanosas hasta alturas de decenas de metros, tal como hoy, abundantes de silicio, se elevan hacia el cielo los troncos de bambú en los jardines de Sujumi o Batumi.



*Figura 10.3 Radiolarios. De los orificios en su bello esqueleto silíceo sobresalen numerosos pseudópodos radiales de materia viva*

En estas plantas, la naturaleza supo coordinar la ley de estabilidad mecánica con la solidez del propio material.

Pero la firmeza del tallo tiene una enorme importancia práctica no sólo para las espigas de los cereales, para no dejar que el trigal se tumbe bajo los golpes del viento o la lluvia, sino también para otras suertes de plantas.

Cada día se transportan en avión flores y plantas decorativas; y para que estas flores no se ajen y sus tallos se mantengan firmes, es necesario abonar en abundancia el terreno en que crecen con sales fácilmente solubles de silicio. Las plantas asimilan la sílice con el agua y sus tallos adquieren dureza y solidez.

Y no sólo para los tallos de las plantas es precisa la firmeza del silicio y sus combinaciones. Las plantas más diminutas, las algas diatomeas, construyen su esqueleto de sílice. Sabemos ahora que en 1 centímetro cúbico de roca, formada a base de los caparazones de estas algas, hay cerca de 5.090.000 de estos pequeños organismos.

Pero son sobre todo admirables las construcciones en que los animales emplean la sílice para formar su esqueleto. En diferentes épocas del desarrollo de la vida, los animales resolvieron de modo distinto esta cuestión de la solidez. En unos casos defendían su cuerpo por fuera con conchas calcáreas, en otros construían estas conchas con fosfato de calcio, otras veces, en lugar de caparazón, el fundamento del animal lo formaba un esqueleto consistente, constituido por los más diversos y sólidos materiales. Eran éstos, bien fosfatos de calcio, análogos a las sustancias de que se forman nuestros huesos, o bien finas agujas de calado, de sulfatos de bario y estroncio; finalmente, algunos grupos de animales utilizaron el duro pedernal para construir con él su edificio. Así construyeron los radiolarios sus delicados y peculiares esqueletos de finas espículas silíceas.

Algunas esponjas también hacen sus partes duras con espículas silíceas.

De cientos de modos distintos se ingenia la naturaleza para emplear la sílice, creando con ella un apoyo fuerte para las células blandas y mutables.

### **¿Por qué las combinaciones del silicio son tan consistentes?**



Los hombres de ciencia intentaron los últimos años comprender ¿dónde radica el secreto de la asombrosa solidez que transmite el silicio a los esqueletos de animales y vegetales, a millares de rocas y minerales, a las más finas labores de la técnica y la industria?

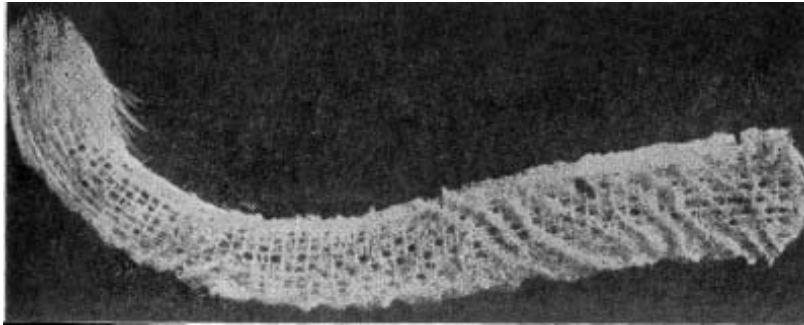


Figura 10.4 Esqueleto silíceo de una esponja "vítrea". Longitud, cerca de 50 cm

Cuando los ojos de los roentgenólogos penetraron en el fondo de estas combinaciones silíceas, se descubrieron cuadros admirables que aclararon la causa de su firmeza y el enigma de su estructura.

Resulta que el silicio se encuentra en ellas en forma de pequeñísimos átomos dotados de carga eléctrica, iones de ínfima magnitud, dos veces y media menores que una cienmillonésima de centímetro. Estas pequeñas bonitas cargadas eléctricamente se unen a otras análogas de mayores dimensiones, también cargadas, de oxígeno. Como resultado, alrededor de cada una de ellas se aprietan estrechamente cuatro bolitas de oxígeno, tocándose unas a otras, y se obtiene una figura geométrica determinada, que llamamos tetraedro.

Estos tetraedros se unen entre sí según leyes diversas y de ellos crecen edificaciones grandes y complicadas, muy difíciles de aplastar o doblar y en las que es muy difícil arrancar los átomos de oxígeno del átomo central de silicio.

La ciencia actual ha aclarado que son posibles miles de tales combinaciones entre tetraedros. A veces se intercalan entre ellos otras partículas cargadas; en algunos casos nuestros tetraedros se reúnen en forma de alineaciones y capas aisladas, constituyendo la arcilla y el talco; pero siempre y por doquier la base de su estructura es una asociación de tetraedros.

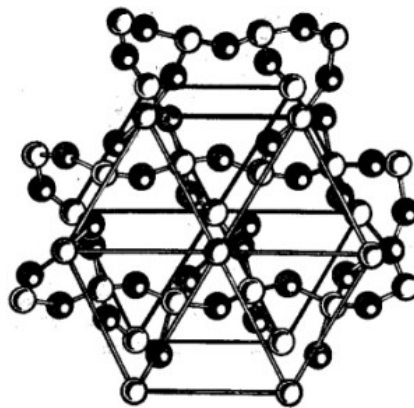


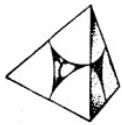
Figura 10.5 Distribución de los átomos de silicio (círculos blancos) y de oxígeno (círculos negros) en el cristal de cuarzo. Los átomos de oxígeno se unen siempre a dos átomos de silicio. Estructura de carcasa.

Y de manera análoga a como en la Química Orgánica el carbono y el hidrógeno forman cientos de miles de combinaciones, en la Química Inorgánica el silicio y el oxígeno originan miles de construcciones, cuya compleja estructura interna ha sido descubierta por los rayos Roentgen. La sílice no sólo es difícil de destruir, por medios mecánicos, no sólo es tan dura que no puede cortarse con un cuchillo de acero afilado; químicamente también es muy estable, ya que ningún ácido, a excepción del fluorhídrico, la ataca ni la disuelve, y sólo los álcalis fuertes la disuelven débilmente <sup>1</sup>, transformándola en nuevas combinaciones. Se funde con mucha dificultad y sólo a 1600 – 1700°C comienza a pasar al estado líquido.

De este modo, no es sorprendente que la sílice y sus numerosas combinaciones sean la base de la naturaleza inorgánica. En nuestro tiempo ha surgido toda una ciencia sobre la Química del silicio y todos los caminos de la Geología, Mineralogía, Técnica y Construcción se entrelazan a cada paso con la historia de este elemento.

### Historia del silicio en la corteza terrestre

Examinemos ahora, a base de algunos ejemplos aislados, el destino que cumple el silicio en la corteza terrestre. Junto con los metales, forma la base de los magmas fundidos en las zonas profundas de la corteza terrestre.



Cuando esta masa magmática fundida se enfría en las profundidades, forma rocas cristalinas: granito, gabro; o se derrama por la superficie en forma de torrentes de lava, en forma de basalto y otras rocas, originándose complejas combinaciones de sílice: los silicatos. Si existe un exceso de silicio aparece el cuarzo puro.

He aquí los pequeños cristales de cuarzo en los pórfidos graníticos o los espesos cristales de roca ahumados en las vetas pegmatíticas, las cuales constituyen los últimos restos de los procesos de fusión que tuvieron lugar en las entrañas de la Tierra. Cociendo con cuidado un trocito de "topacio ahumado" <sup>2</sup> o calentándole hasta 300-400', se obtiene "topacio dorado" que pasa al tallado para convertirse en alfileres de pecho y cuentas para collares.



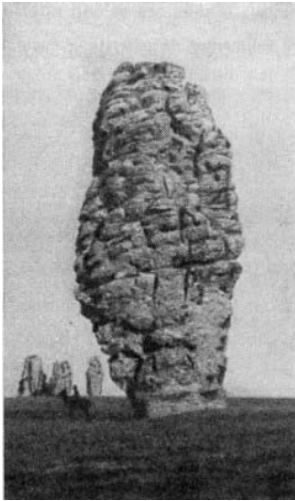
He aquí unas vetas repletas de cuarzo blanco. Sabemos que algunas de ellas se extienden centenares de kilómetros. Grandiosas vetas de cuarzo se elevan como faros en las laderas de los Urales. Hay allí, a lo largo de cientos de kilómetros, vetas con huecos llenos de cristal de roca transparente. Estas son aquellas variedades transparentes del cuarzo sobre las que escribió el filósofo griego Aristóteles, dándoles la denominación de "cristal" y atribuyendo el origen del cristal de roca al hielo petrificado. Este es el cristal de roca que ya en el siglo XVI I se extraía de los "sótanos" naturales de los Alpes suizos, su cantidad en determinados lugares alcanzó hasta 500 toneladas, es decir, 30 vagones, cargados de cristal de roca.

Algunos cristales poseen a veces proporciones grandiosas. En Madagascar fue hallado un trozo de cristal de roca de 8 metros de circunferencia. Los japoneses tallaron con cristal de roca de Birmania una esfera enorme, de más de un metro de diámetro, que pesaba cerca de tonelada y media.

Otra variedad de la sílice, absolutamente distinta por su aspecto exterior a aquella de que hace poco hablábamos, se separa de la lava derretida cuando los vapores calientes, saturados de sílice, depositan en ciertas vetas o huecos gaseosos masas enormes de nódulos y geodas silíceas. Y cuando comienza la destrucción de las rocas, convirtiéndose en masas arcillosas disgregadas, se separan de ellas enormes bolas de hasta 1 metro de diámetro.

En el Estado de Oregón, en los EE.UU., se les conoce con el nombre de "huevos gigantes". Se parten en pedazos y, después, se cortan en Placas delgadas que se emplean para la obtención, de

los magníficos ágatas laminares, materia prima para la fabricación de "rubíes" de reloj y de otros instrumentos de precisión, prismas de balanzas y morteros para los laboratorios químicos.



*Figura 10.6 Restos de filones de cuarzo conservados como las partes más consistentes de la corteza terrestre frente a la acción destructora del viento y otros agentes atmosféricos. Altura: 30 metros.*

A veces, aún después de terminar la actividad volcánica, debido a la existencia de masas eruptivas en estado de enfriamiento, la sílice emerge en surtidores termales a la superficie de la tierra. Tal es, por ejemplo, el origen de los sedimentos de "ópalo innoble" depositados por los géisers en Islandia y en el Parque Nacional de Yellowstone, en los EE.UU.

Observemos la arena, blanca como la nieve, de las costas del Báltico Y los mares del Norte, los millones de kilómetros cuadrados de desiertos arenosos del Asia Central y Kazajstán; la arena es precisamente la que determina la naturaleza de las costas marítimas y de los desiertos; polvo de cuarzo, bien recubierto con la patina rojiza de los óxidos de hierro, bien con predominio de sílex negro o blanco puro, lavado por las ondas marinas.



He aquí elegantes artículos de cristal de roca. El habilidoso artífice chino, con ayuda de distintos rascadores y polvos de esmeril, creó fantásticos objetos de cristal de cuarzo. ¿Cuántas decenas de años empleó en tallar un jarrito de cristal de roca, en hacer un monstruoso dragón o modelar un pequeño frasquito para el aceite de rosas?

He aquí una lámina de ágata, coloreada con tonos diversos. El hombre ingenioso aprendió a teñirla impregnándola con distintas soluciones, y del ágata gris y opalino obtiene láminas lisas y brillantes, vivamente coloreadas.

Ante nosotros un cuadro aún más admirable: antiguos bosques enteros de árboles petrificados en Arizona; pétreos troncos de pura sílice, de ágata, en las regiones occidentales de Ucrania y también entre los estratos de los depósitos sedimentarios de Perm en la vertiente occidental de los Urales meridionales.

He aquí la piedra tornasolada, centelleante, que recuerda el "fuego" del ojo de gato o de tigre. He aquí cristales enigmáticos en cuyo interior, "como una visión", parecen transparentarse otros cristales del propio cuarzo. Y las afiladas agujas rojo-amarillentas del mineral rutilo, que atraviesan interiormente en distintas direcciones los cristales de roca: las "flechas de amor". He aquí un fino fieltro dorado: "cabellos de Venus". Y una maravillosa piedra, hueca por dentro, casi del todo llena de agua: el agua tornasoles, reflejando todos los colores del arco iris, en el interior de la cáscara silícica.

He aquí un cuerpo tubular de estructura extraordinariamente sinuosa; esto es el resultado de la acción del rayo sobre la arena de cuarzo, figuritas derretidas, "flechas del cielo" o "flechas del

trueno", como les llama con frecuencia el pueblo. Y piedras procedentes del cielo, peculiares meteoritos, ricos en sílice, de vidrio verde o pardo, se encuentran en ciertos lugares del enorme cinturón que se extiende a través de Australia, Indochina y Filipinas.



*Figura 10.7 Los sedimentos de geiserita, ópalo "innoble", forman terrazas de toba silicea*

¡Cuántas controversias surgieron acerca de estas enigmáticas formaciones! Unos las consideraban como restos del vidrio fundido por el hombre antiguo; otros pensaban que eran partículas derretidas del polvo terrestre; otros las creían producto de la fundición de las arenas, cuando cayeron sobre ellas masas de hierro meteórico; pero la mayoría de los científicos opinan que son verdaderas partículas de otros mundos.



*Figura 10.8 Arena marina de diminutos granos cristalinos de cuarzo. La más pura va a la preparación de vidrio de cuarzo*

### **La sílice y el cuarzo en la historia de la civilización y la técnica**

He intentado en las páginas anteriores dibujar ante el lector la complicada historia del cuarzo, la sílice y sus combinaciones. Empezando por las masas fundidas hirvientes y acabando por la fría superficie de la Tierra, comenzando en las regiones cósmicas y acabando en la arena, en todas partes nos encontramos con el silicio y la sílice; en todas partes aparece el cuarzo, como uno de los minerales más notable y difundidos del mundo.

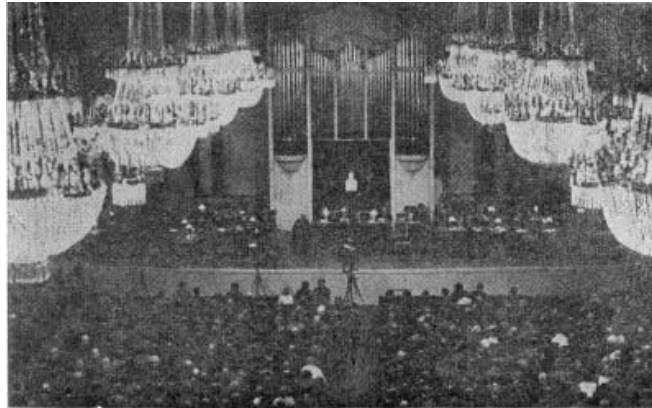
Podría dar fin con esto a la historia del cuarzo, si no fuera porque deseo relatarles, además, la enorme significación que tuvo el cuarzo en la historia de la civilización y la técnica. No en vano el hombre primitivo hizo sus primeras armas de pedernal o de jaspe. No en



vano los primeros adornos en las antiquísimas construcciones de Egipto, en las ruinas de la época de la civilización sumeria de Mesopotamia, fueron hechos precisamente de cuarzo.



No en balde, doce siglos antes de nuestra era, aprendieron en Oriente a fundir la arena con sosa y obtener vidrio. El cristal de roca encontró la más amplia aplicación entre los persas, árabes, indios y egipcios; y poseemos datos de que la elaboración del cuarzo existía ya hace cinco mil quinientos años. En el transcurso de muchos siglos los antiguos griegos consideraron el cristal de roca como hielo petrificado, convertido en piedra por la voluntad de fuerzas divinas.



*Figura 10.9 Arañas de cristal de roca en la Filarmónica de Leningrado*

Existen muchas historias fantásticas acerca de este mineral. En las leyendas bíblicas se le concedía un significado inmenso. En la construcción del célebre templo de Salomón, en Jerusalén, este mineral representó un papel enorme bajo denominaciones distintas: ágata, amatista, calcedonio, ónice, etc.

A mediados del siglo XV se creó la primera industria para la elaboración de esta piedra. Aprendieron a cortar, pulir, colorear y emplearla extensamente como adorno. Pero esto fueron intentos aislados, artesanos, que no poseían carácter masivo, hasta tanto que la nueva técnica no planteó exigencias más amplias. En la actualidad el cristal de roca se utiliza en gran escala en la industria y la radiotecnia, donde, con ayuda de las láminas de piezo-cuarzo, se captan las ondas ultrasonoras, transformándolas en vibraciones eléctricas. El cristal de roca se convirtió en una de las principales materias primas de nuestra industria.

Y en lugar de la flauta tallada de cristal de roca (Museo del Arte, en Viena) y el samovar transparente (La Armería, en Moscú), vinieron las pequeñas láminas de cuarzo para la radio, que facilitan el progreso de uno de los mayores descubrimientos de la humanidad: la transmisión de ondas electromagnéticas a grandes distancias.

Pero pronto el cuarzo, cristal de roca puro, va a ser hecho por los químicos. En grandes balones llenos de vidrio líquido, a altas temperaturas y bajo grandes presiones, crecerán aplicados sobre finos alambres de plata, cristales de cuarzo, puras y pequeñas láminas para la radio y, tal vez, para los cristales de nuestras ventanas y nuestra vajilla.

Y los vivificadores rayos ultravioletas del sol, que son retenidos por el cristal corriente, penetrarán en nuestra habitación.

Aparecerá vajilla de cuarzo fundido y se podrán sumergir, sin temor alguno, en agua fría las tazas de cuarzo caldeadas en el fogón. De finísimos hilos de cuarzo, tan delgados que es necesario juntar quinientos para obtener el grosor de una cerilla, serán hilados delicadísimos tejidos, y la

sílice será, no sólo el material constitutivo del esqueleto de los diminutos radiolarios, sino que también la empleará el hombre para sus vestidos; ella "vestirá" al hombre con sus agujas y sus hilos...



*Figura 10.10 ¡Todo está hecho de cristal de cuarzo!*

El cristal de roca se ha convertido en el fundamento de la nueva técnica; no sólo lo utiliza el geoquímico como termómetro para determinar las temperaturas de los procesos terráqueos<sup>3</sup>; no sólo el físico establece con ayuda del cuarzo la longitud de las ondas electromagnéticas; el cuarzo abre nuevas y seductoras perspectivas a diversas ramas de la industria. Y pronto penetrará en todos los menesteres de nuestra vida.



Cuanto más tenazmente dominen los químicos y los físicos los átomos de silicio, tanto más pronto escribirán en la historia de la Ciencia y la Técnica, así como en la historia de la Tierra misma, una de las páginas más admirables. A esto ya se ha dado comienzo. Los científicos han creado polímeros semiorgánicos (siliconas), en los que el silicio ha venido a sustituir al carbono en los compuestos orgánicos, los cuales resisten con facilidad las altas temperaturas. Estos compuestos se utilizan en los lubricantes para motores rápidos y en calidad de materiales aislantes. En las naves cósmicas y en los cohetes dirigidos a otros planetas se han instalado pilas solares fabricadas de silicio superpuro.

<sup>1</sup> La sílice se funde fácilmente mezclándola con sosa. En este proceso el anhídrido carbónico de la sosa se desprende con gran intensidad y se forma una bola transparente de silicato sódico, soluble en agua. Por esto lo denominamos "cristal soluble".

<sup>2</sup> Este nombre no es exacto, pues el "topacio ahumado" es simplemente cuarzo,  $\text{SiO}_2$  y no verdadero topacio, cuya composición es más compleja; en ella entran silicio, aluminio, flúor y oxígeno,  $\text{Al}_2\text{F}_2(\text{SiO}_4)$

<sup>3</sup> Si el cristal de roca se cristaliza a temperatura superior a  $573^\circ\text{C}$ , se obtienen cristales de aspecto peculiar, en forma de pirámides hexagonales. Si la cristalización se verifica a temperaturas inferiores a  $573^\circ\text{C}$ , sus cristales son distintos, tienen forma alargada longitudinalmente, a manera de prisma hexagonal.

**Capítulo XI****EL CARBONO, BASE DE TODO LO VIVO**

¿Quién no conoce el precioso diamante reluciendo con todos los colores del arco iris, el grafito gris negruzco o, finalmente, un trozo negro de carbón? Todo esto son sólo formas distintas con que se encuentra en la naturaleza un mismo elemento químico, el carbono.

La cantidad relativa de carbono existente en la Tierra no es muy elevada: constituye el uno por ciento del peso de la corteza terrestre. Sin embargo, el papel que desempeña en la Química de la Tierra es enorme: sin él, no es posible la vida.

En total, la corteza terrestre contiene 4.584.200.000 millones de toneladas de carbono. He aquí, cómo está distribuido el carbono en las diversas partes de la corteza terrestre:

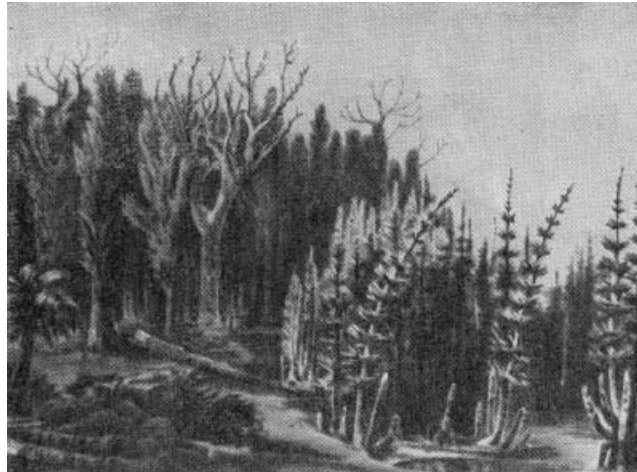
	Millones de toneladas
En la substancia viva	700 000
En el terreno	400 000
En la turba	1 200 000
En los lignitos	2 100 000
En la hulla	3 200 000
En la antracita	600 000
En las rocas de sedimentación	4 576 000 000

A esto hay que añadir 2.200.000 millones de toneladas en la atmósfera y 184.000.000 millones de toneladas en el agua de los océanos.

Veamos la historia del carbono, elemento del que está constituida la materia viva, a cuyo estudio está consagrada toda una rama de la Química. ¡Cuánto hay de enigmático y confuso en las "peregrinaciones" que experimenta este elemento en la corteza terrestre!

En las primeras etapas de su existencia, asequibles a nuestro estudio, nos encontramos con este elemento en los magmas fundidos. Bien en forma de láminas o aglomeraciones esféricas de grafito, bien en forma de cristales de valioso diamante, entra en la composición de diferentes rocas, estancadas en las profundidades de la Tierra y en las vetas de masas derretidas. Pero la parte principal de ese elemento escapa de los macizos ígneos solidificados, ya como hidrocarburos y carburos volátiles, que ascienden por las vetas formando concentraciones de grafito (por ejemplo, en la isla de Ceilán), ya uniéndose al oxígeno en forma de gas carbónico que tiende a elevarse hacia la superficie.

Sabemos que en las zonas profundas, el omnipotente ácido silícico no da posibilidad a este gas de formar sales. En efecto, no se conoce ni un solo mineral importante de origen eruptivo que contenga anhídrido carbónico. En cambio, estas mismas rocas lo retienen mecánicamente en sus huecos internos, tal como se retenían las soluciones de sales de cloro, y en estas oclusiones de gas se acumula una cantidad de anhídrido carbónico 5 ó 6 veces mayor que la que interviene en la composición de la atmósfera.



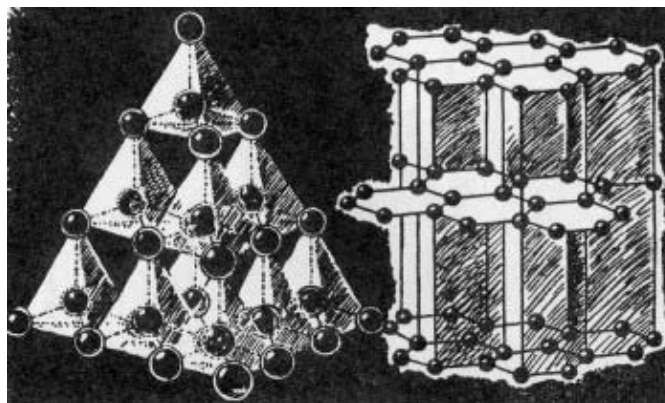
*Figura 11.1 Vegetación del período carbonífero, originaria de la hulla*

En las regiones de los volcanes, tanto en actividad, como extinguidos ya hace mucho tiempo, incluso en el período terciario, este gas escapa, violentamente a la atmósfera, ora reuniéndose en forma de chorros gaseosos junto con otras combinaciones volátiles, ora mezclado con el agua, formando las aguas minerales carbónicas.

El hombre utiliza estas aguas para fines medicinales y construye, junto a sus yacimientos, sanatorios y balnearios, como, por ejemplo, en el Cáucaso. El grado de sobresaturación de anhídrido carbónico es tan intenso, que surgen a la superficie numerosas burbujas, dando la impresión de que hierve el agua.

En los Urales, no hay semejantes manantiales de aguas termales carbónicas. La Geoquímica explica la composición diferente de las aguas del Cáucaso y de los Urales, por el hecho de que los Urales se formaron muchísimo antes que las montañas del Cáucaso y, por tanto, en ellos, durante el período orogénico, las rocas subterráneas y las aguas ligadas a éstas no se habían enfriado totalmente.

En el Cáucaso, a profundidades considerables bajo las montañas, todavía se conserva el foco de calor. Las rocas con contenido de anhídrido carbónico (cretas y calizas), situadas junto a este foco se descomponen parcialmente por la acción del calor y desprenden el anhídrido carbónico. Este gas, junto con el agua mineral, asciende por las fisuras del terreno.



*Figura 11.2 Cristales de diamante y grafito*



El diamante y el grafito constan de átomos de carbono, pero dichos átomos se distribuyen en estos minerales de modo distinto. En el diamante (dibujo izquierdo), cada átomo está rodeado de cuatro átomos de carbono equidistantes (en forma de tetraedro). En el grafito, los átomos están dispuestos por capas, el enlace de los átomos entre las capas que los contienen es débil.

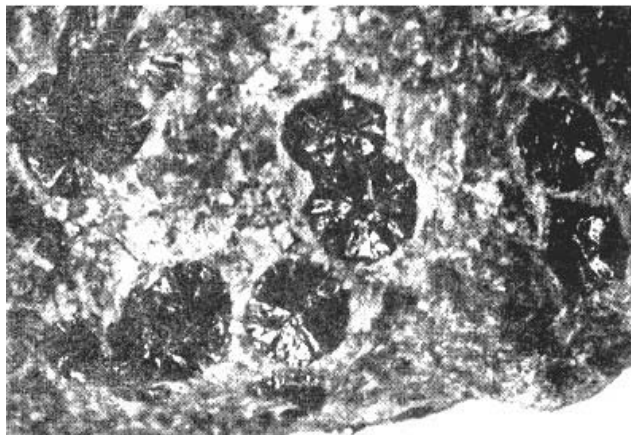
Se conocen casos en los que las corrientes subterráneas de anhídrido carbónico son muy potentes y emergen a tan alta presión que en la superficie, junto a los orificios de salida, se forman, debido a su rápida evaporación, niebla y "nieve" carbónicas. Este anhídrido carbónico sólido, procedente de los surtidores naturales, se emplea a veces para fines técnicos, como hielo seco.

Hubo períodos en la historia de la corteza terrestre, cuando se intensificaba la actividad volcánica, durante las cuales eran arrojadas a la atmósfera cantidades colosales de anhídrido carbónico; hubo también momentos cuando se desarrollaba majestuosamente la vegetación tropical y de nuevo se restituía el carbono en escalas grandiosas a su estado nativo. Ante esos procesos de la tierra, palidece la función del hombre en su actividad industrial y fabril.



Cantidades enormes de anhídrido carbónico son expulsadas por los volcanes activos, por ejemplo, el Vesubio, el Etna, el Katmai en Alaska y otros. La masa fundamental de los gases despedidos por los volcanes está formada por anhídrido carbónico.

El anhídrido carbónico, como factor potente de las transformaciones químicas, comienza su acción destructiva en la superficie terrestre; aquí, al contrario que en las profundidades, es él y no el ácido silícico, el que se mantiene en posición dominante: él destruye las rocas eruptivas, extrae los metales, se combina con el calcio y el magnesio, se acumula en forma de calizas y dolomitas. Sus sales se concentran en cantidades colosales en las aguas de los depósitos acuáticos, de él construyen los organismos sus conchas y los corales sus potentes colonias.



*Figura 11.3 Cristales estrellados de grafito, incrustados en una roca eruptiva. Montes del Ilmén, Urales Meridionales*

Es difícil apreciar en su debido grado la importancia de estas lentas transformaciones del carbono en la superficie terrestre, puesto que influyen no sólo en el régimen climatológico de la misma, sino que condicionan los cambios verificados en el desarrollo de todo el mundo orgánico.

Imagínense, por un momento, qué aspecto tendría la Tierra sin el carbono. Ello significaría que no habría hojas verdes, ni árboles, ni hierba. Tampoco existirían los animales. Sólo peñas desnudas de rocas diversas sobresaldrían entre las arenas sin vida y los desiertos silenciosos. No existirían ni mármol, ni caliza, que tanto embellecen con su color blanco nuestros paisajes. No

habría ni carbón, ni petróleo. Sin el anhídrido carbónico, el clima de la tierra sería más severo y frío, puesto que su presencia en la atmósfera favorece la absorción de la energía luminosa del sol. Las aguas tampoco tendrían vida.

Las propiedades químicas del carbono son muy particulares. Es el único elemento capaz de originar, en número ilimitado, combinaciones diversas con el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos químicos. Muchas de estas combinaciones carbonadas u orgánicas, a su vez, forman sustancias variadísimas: proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas y otros compuestos que intervienen en la composición de los tejidos y células de los organismos vivos. Su propia denominación, "combinaciones orgánicas", indica que el primer conocimiento que tuvo de ellas el hombre, fue al extraerlas de los tejidos de las plantas y de los animales, por ejemplo, el azúcar, almidón... Después, aprendió a preparar por vía artificial muchos otros compuestos.

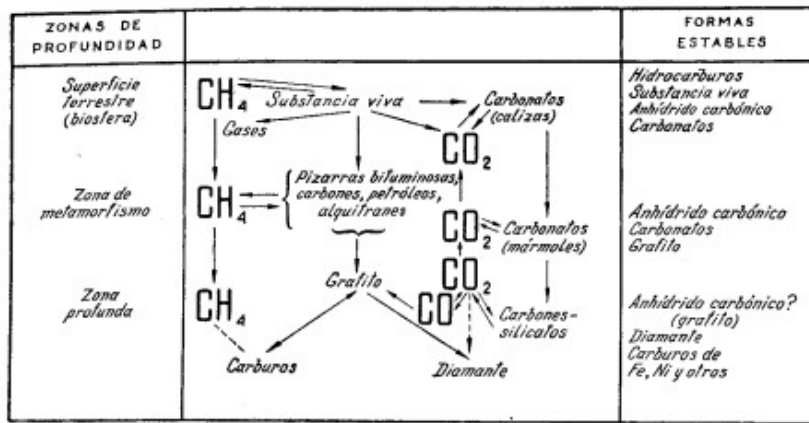


Figura 11.4 Ciclo geoquímico del carbono

Actualmente la Química Orgánica, ciencia que se ocupa del carbono y sus compuestos, su síntesis y análisis, calcula que el número de combinaciones orgánicas es superior a un millón. Comparándolas con las sustancias inorgánicas veremos que el número de estas últimas, preparadas en los laboratorios, excede de decenas de miles, y las de origen natural, los minerales, son menos de tres mil.

La cantidad de compuestos orgánicos conocidos es tan grande, que, actualmente, nos vemos obligados a emplear denominaciones cada vez más largas y complejas para designarlos. Por ejemplo, la denominación completa del conocido medicamento atebriña es:

*metoxiclorodietilaminometilbutilaminoacridina.*

Debido a esta propiedad del carbono de formar numerosísimas combinaciones, surgió toda la riqueza y variedad de tipos de plantas y animales, cuyo número alcanza, como mínimo, varios millones.

Pero esto no quiere decir que el carbono sea la masa fundamental que constituye los organismos vivos o, como se dice en Geoquímica, la sustancia viva. En ellos hay un 10% de carbono; la cantidad de agua, es mucho mayor, el 80%; lo restante está constituido por otros elementos químicos.

En virtud de la facultad que poseen los organismos de nutrirse, desarrollarse y multiplicarse, durante el proceso de la vida, pasan enormes masas de carbono a través de la sustancia viva. Ustedes habrán visto muchas veces cómo en la superficie de los estanques, al llegar la primavera, comienza a crecer una película verde de algas y otras plantas acuáticas; cómo



estas algas durante el verano alcanzan su máximo desarrollo, y cómo en otoño adquieren color pardusco y van cayendo al fondo del estanque, formando un sedimento cenagoso, rico en materias orgánicas. De estos sedimentos, como veremos más adelante, se originan los carbones y limos vegetales o "sapropelas", de los que puede obtenerse bencina sintética.

Los animales, al respirar, exhalan mucho anhídrido carbónico.



En las personas, por ejemplo, la superficie de todas las vesículas respiratorias es de unos 50 metros cuadrados y cada 24 horas, el hombre exhala, por término medio, 1,3 kilogramos de anhídrido carbónico.

Así pues toda la humanidad envía anualmente a la atmósfera terrestre cerca de mil millones de toneladas de dicho gas.

Finalmente, una reserva todavía mayor de anhídrido carbónico se encuentra bajo la tierra en estado de combinación, en forma de calizas, creta, mármol y otros minerales, acumulados en capas potentes de cientos e, incluso, de miles de metros de espesor. Si toda esta cantidad de anhídrido carbónico, que contienen en forma de carbonato calcio y magnesio, pudieran devolverla a la atmósfera, la proporción de dicho gas en el aire sería 25 mil veces mayor.

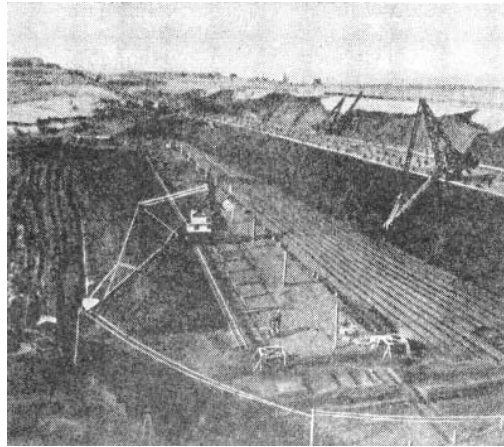
El anhídrido carbónico existente en la atmósfera, se disuelve parcialmente en el agua de los océanos, Del agua y del aire es absorbido por los organismos vegetales. A medida que disminuye su cantidad en el agua del océano, nuevas porciones procedentes del aire vienen a remplazarlo. El océano, en toda su extensa superficie, actúa a modo de bomba grandiosa, aspirando y reteniendo el anhídrido carbónico.

En el cielo de transformación de la sustancia viva, la incorporación primaria de anhídrido carbónico, la efectúan las plantas. Precisamente, las hojas de las plantas verdes, cuando disponen de suficiente luz, toman el anhídrido carbónico y lo convierten en compuestos orgánicos complejos. Este proceso se llama fotosíntesis y se verifica bajo la influencia de la luz y de la sustancia verde de las plantas, la clorofila. La importancia capital de los procesos fotosintéticos en la naturaleza fue señalada por primera vez por el genial sabio ruso Klíment Arkádievich Timiriázev, quien estudió ulteriormente estos procesos con todo detalle. A través de las plantas pasan anualmente grandes cantidades del anhídrido carbónico existente en la atmósfera. Pero esta disminución de su proporción en la atmósfera es equilibrada por el anhídrido carbónico desprendido por los depósitos acuáticos y los organismos vivos.

Como resultado de la fotosíntesis se forman masas enormes de sustancia orgánica: los tejidos de las plantas. Las plantas sirven de alimento a los animales, asegurando su existencia y desarrollo. Si a esto se añade que el petróleo y carbón se forman a base de los organismos muertos, se comprenderá perfectamente la importancia que para la Geoquímica tiene el proceso de absorción del anhídrido carbónico por las plantas. No existe reacción alguna más importante, por su efecto geoquímico, que la fotosíntesis de las plantas.

Como ya dijimos, el ciclo de transformación del carbono no termina con la formación de compuestos orgánicos, a partir del anhídrido carbónico en las plantas, y después en los animales. Los organismos mueren. Sus cuerpos y tejidos se acumulan en grandes cantidades en el fondo de los estanques, lagos, mares y depósitos de turba. Estos restos de organismos sufren la acción del agua y diversos procesos de fermentación y putrefacción. Las bacterias cambian radicalmente la composición de los tejidos de los organismos. Sólo se conserva invariable la celulosa, la lignina de las plantas.





*Figura 11.5 Explotación a cielo abierto de un yacimiento de lignito*

Los restos orgánicos van cubriéndose de espesa capa de arena y arcilla.

Después, bajo la influencia del calor, presión y complicados procesos químicos, se va formando lentamente la hulla o el petróleo, según sea la naturaleza de estos restos y las condiciones de conservación.

El carbono orgánico sólido, originado durante el proceso de descomposición de las plantas, se encuentra en la naturaleza en tres formas: antracita, hulla y lignito.

La antracita es la más rica en carbono. Su estructura, vista al microscopio, confirma la naturaleza y el origen vegetal de la hulla y de los lignitos. Estos carbones son de estructura estratiforme y en ciertos lugares de las capas pueden descubrirse, incluso a simple vista, las huellas de hojas, esporas y semillas. Cada trocito de carbón constituye una parte del carbono que en su tiempo, en forma de anhídrido carbónico, fue absorbido por las células vivas de la planta con el concurso de la energía solar y de la clorofila.

"Rayo solar capturado", así llaman a la hulla. En efecto, en cada trocito pequeño se conserva el rayo solar capturado por la planta, convertido primero en tejido vegetal complejo y, después, transformado gradualmente durante el lento proceso de descomposición. El calor que desprende al quemarse se utiliza en las calderas de las fábricas y barcos marítimos, su energía pone en movimiento máquinas colosales. La producción de las minas de carbón determina el desarrollo gigante de la industria actual.

Si en la formación del carbón intervinieron principalmente las células de los tejidos vegetales, una sustancia orgánica líquida, como el petróleo, se formó de otros organismos elementales y de sus esporas; por consiguiente, este líquido combustible, de más valor todavía que el carbón, es también una especie de "rayo solar capturado". Los barcos veloces actuales, la aviación, el transporte, marchan basado en petróleo destilado en forma de kerosene o bencina. A partir de ciertas clases de hulla se aprendió a obtener artificialmente bencina, pero los carbones adecuados para este fin no son muy abundantes, el rendimiento en productos líquidos es pequeño y la calidad de la bencina artificial obtenida es inferior a la de origen natural. Para extraer el petróleo, el hombre perfora pozos de gran profundidad (a veces alcanza más de cuatro kilómetros), sacando de las entrañas de la tierra este líquido precioso.



Estos pozos funcionan varios años. Para las operaciones de perforación, se dispone en la superficie de la tierra una instalación complicada, una torre de 37 a 43 metros de altura. El bosque de torres perforadoras de las explotaciones petrolíferas, observado desde lejos, tiene aspecto muy impresionante. Explotaciones petrolíferas hay en el Cáucaso, en las vertientes

occidentales de los Urales (Bashkiria), en el Asia Central y en Sajalín. También existen yacimientos importantes de petróleo en Irán, Irak y otros países del globo terráqueo.

De este modo, el carbono surge de nuevo a la superficie de la tierra.

Los hombres no sólo queman el petróleo y el gas natural, que le acompaña. El desarrollo impetuoso de la Química dio lugar a su amplia utilización para la obtención de la valiosa materia prima necesaria para elaborar el caprón, el nilón, los diferentes plásticos, resinas y muchos otros productos que en nuestros días le hacen falta al hombre.

Con objeto de obtener calor, el hombre lo transforma todo de nuevo en anhídrido carbónico y agua.

Así luchan entre sí los agentes de diverso género y distinta significación, bien oxidando el carbono, bien transformándolo en su estado nativo.

Pero, como ya dijimos, en la naturaleza existen además del carbón otras dos variedades interesantes del carbono puro: el diamante y el grafito. ¡Cuán distinto es el diamante precioso con resplandor de fuego del simple grafito gris, con el cual escribimos! La diferencia de las propiedades de los cuerpos, la interpretamos siempre por la diferencia de su composición. Sin



embargo, en el caso dado las diferentes propiedades se explican por la distinta distribución de los átomos en los cristales.

En el cristal de diamante, los átomos están muy próximos uno al otro, de forma compacta. A esto se debe su elevado peso específico, gran dureza (que supera la de todos los demás minerales), así como un índice de refracción extraordinariamente

alto.

El diamante puede formarse de las masas rocosas en estado fundido, sólo a base de grandes presiones, que alcancen 30 y, quizás hasta 60 mil atmósferas.

Tales presiones existen únicamente en profundidades de 60 a 100 kilómetros de la superficie terrestre. Por tanto, es raro que las rocas consolidadas a semejante profundidad puedan surgir a la superficie, lo que explica por qué el diamante se halla a nuestro alcance con tanta escasez.

Debido a su dureza e irisado, se valora altamente como piedra preciosa de primera calidad. El diamante tallado y pulido se llama brillante.

Desde tiempos remotos son célebres los diamantes de India, extraídos en diversos placeres de este país. Después, fueron descubiertos placeres diamantíferos en Brasil (1727), en Africa (1867) y en la Unión Soviética. En la actualidad, la mayor parte de diamantes se extrae de los yacimientos africanos, descubiertos en el valle del río Vaal, afluente de la orilla derecha del río Orange.

Primero se extraían de los yacimientos arcillosos de origen fluvial, pero pronto se descubrió que se encuentran diamantes también en la arcilla azul existente en las colinas de pendiente suave a lo lejos de los ríos. Se comenzó la explotación y tratamiento de esta arcilla, se inició, "la fiebre de diamante". Terrenos de arcilla azul de área de 3×3 metros se vendían a precios fabulosos; se cavaban fosos de enorme profundidad. En los fosos, la gente hormigueaba buscando y extrayendo las rocas, se tendían cables para el transporte de la arcilla preciosa por ferrocarril aéreo.



*Figura 11.6 Bosque de torres perforadoras en las explotaciones petrolíferas de Bakú*

Sin embargo, la arcilla ya a profundidades no muy grandes desapareció y, en su lugar, aparecieron las duras rocas verdes de kimberlita. También contenían diamantes, pero su extracción se dificultó extraordinariamente y los pequeños propietarios se vieron obligados a renunciar a esta empresa que exigía tanto dinero y trabajo. Después de cierto período de inactividad, una sociedad accionista con gran capital empezó de nuevo los trabajos de extracción, pero empleando ya la técnica minera.

La masa rocosa diamantífera se prolonga en la tierra a profundidades inaccesibles. De ella están llenos los canales formados durante las explosiones volcánicas.

Se conocen quince embudos formados por explosiones eruptivas. El mayor de ellos tiene 350 metros de diámetro, los restantes de 30 a 100 metros.

En la kimberlita, los diamantes están incrustados en forma de granitos muy pequeños con peso inferior a 100 miligramos (o sea, medio quilate). Pero, a veces, se han encontrado también piedras de gran tamaño. Durante mucho tiempo, el diamante Excélsior de 972 quilates o 194 gramos se consideraba como el más grande. En 1906 se descubrió otro todavía más grande, denominado Cullinan, de 3.025 quilates o 605 gramos. Las piedras de más de 10 quilates son poco abundantes y se valoran a alto precio. Los brillantes más notables pesan de 40 a 200 quilates. Los diamantes corrientes diminutos, se estipulan igualmente a precios elevados, puesto que tienen aplicación en la industria como material abrasivo en las herramientas de taladrar y en las fresas para perforación de rocas. Las piedras bastante grandes se emplean en los tornos de estirado, destinados a la fabricación de filamentos de wolframio para lámparas eléctricas.

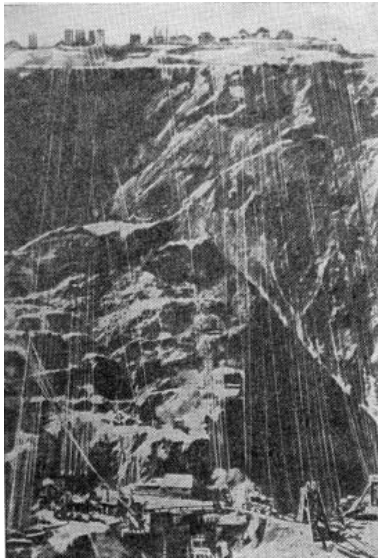
La industria soviética ha asimilado durante los últimos años la fabricación de diamantes artificiales, los cuales encuentran un amplio campo de aplicación industrial.

El grafito es también carbono, pero, ¡qué distinto por sus propiedades del diamante!

Sus átomos están algo separados unos de otros y dispuestos en un plano. Es un mineral blando, con brillo metálico, opaco, se divide fácilmente en hojas sueltas y deja huellas en el papel al frotarlo. Se combina con dificultad con el oxígeno y puede resistir temperatura muy elevadas y emplearse como material termoestable.

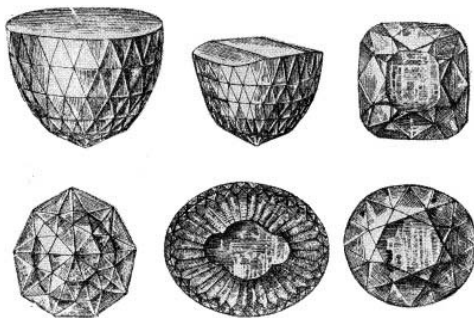
Existen dos explicaciones acerca de su origen. Se formó, bien debido a la descomposición del anhídrido carbónico, desprendido de los magmas al originarse las rocas eruptivas, bien al modificarse el carbón de piedra. Un yacimiento notable, correspondiente al primer tipo, se encuentra en Siberia. En la sienita nefelínica, roca ígnea de origen volcánico, se hallan lentes grafito muy puro. En la cuenca del Yeniseí yacen estratos enormes de grafito que se formó de la hulla y contiene abundantes cenizas.

El grafito lo empleamos cada día cuando escribimos con lápiz. Para la fabricación de lápices, se mezcla el grafito con arcilla purificada; de la proporción de ambos componentes depende la dureza del lápiz: para los lápices duros se toma poca arcilla, para los blandos, mayor cantidad.



*Figura 11.7 Trabajos al aire libre en los fosos diamantíferos situados en los alrededores de Kimberley (año 1880). Se ven numerosos cables para elevar el mineral perteneciente a los propietarios de pequeños sectores.*

Después, se prensa la masa, se le da forma de barritas y se pegan a la madera. Pero en la industria de lápices se utiliza sólo el 5% del grafito que se produce. La masa principal se gasta en la construcción de crisoles refractarios para la fabricación de aceros especiales de alta calidad, en los electrodos para hornos eléctricos, en la lubricación de piezas sometidas a fricción en los mecanismos pesados (por ejemplo, trenes de laminado). Pulverizado, el grafito se emplea para espolvorear las cajas de arcilla utilizables en el moldeado de piezas metálicas de máquinas diversas.



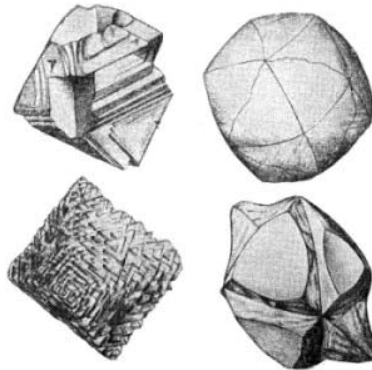
*Figura 11.8 Los brillantes de mayor tamaño del mundo; (fila superior) "Gran mogol", antes de ser tallado pesaba 780 quilates; "Orlov", peso 194 quilates; "Regente", 137 quilates; (fila inferior) "Florentino", 140 quilates; tallado antiguo y nuevo de brillante "Koinor" (186-106 quilates)*

El grafito se utiliza también en las centrales atómicas de electricidad como moderador de los neutrones.

Nos queda solamente recordar la suerte del anhídrido carbónico, que se conservó en los estratos de la tierra en forma de caliza, creta y mármol. Ante todo, ¿cómo se formaron estos minerales? Esta pregunta es fácil de contestar. Basta con examinar al microscopio una pequeña cantidad de creta en polvo. Veremos un mundo entero de organismos fósiles de tamaño microscópico: multitud de circulitos, palitos y cristalitos, formando a menudo dibujos finos y bonitos. Son los restos de los esqueletos calizos de organismos microscópicos, los



rizópodos. Algunas especies se encuentran todavía en los mares templados. En la composición de los esqueletos de los rizópodos entra el carbonato cálcico.



*Figura 11.9 Formas originales de diamantes naturales, dibujados por Fersman en 1911*

Al morir estos organismos, las masas de esqueletos formaron la roca. Pero no sólo organismos inferiores microscópicos toman parte en la formación de las rocas, intervienen también los esqueletos de otros muchos animales y plantas marítimas que contienen carbonato cálcico. Sus esqueletos también se descubren en las calizas.

Los hombres de ciencia, al identificar los restos de los organismos, determinan la antigüedad de las calizas.



Investigaciones geoquímicas modernas permiten establecer las leyes que definen la relación existente entre el carbón y el petróleo y la cantidad total de calizas en todo el globo terrestre.

Por consiguiente, de modo aproximado, puede determinarse, por la abundancia de rocas calizas, la cantidad de carbón y petróleo formada en cada época geológica. La importancia de tales conclusiones geoquímicas es grandísima, incluso si los cálculos prácticos resultan algo inexactos.

Muchas calizas antiquísimas, sometidas a altas presiones, se convierten en mármoles, desapareciendo en ellas todo indicio de vida orgánica. El anhídrido carbónico, acumulado en su masa durante millones de años, queda paralizado y no toma parte en el ciclo de transformación del carbono. Sólo en el caso de que surjan, en algún lugar próximo, procesos orogénicos y volcánicos, pueden, bajo la influencia del calor, liberar el anhídrido carbónico y comenzar un nuevo ciclo.

De este modo, en el ciclo eterno de procesos químicos que se verifican en la Tierra, la propia naturaleza mantiene el equilibrio.

El impetuoso desarrollo de la Química ha dado lugar al empleo en gran escala de los gases naturales, uno de cuyos compuestos más importantes es el carbono. El gas natural no es solamente un combustible para cocina, sino también una materia prima muy preciada para la industria química, de la cual se obtiene caprón, nilón, diversos plásticos y otros muchos productos.

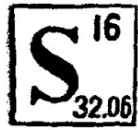
Investigando la cantidad de carbono radiactivo que contienen los distintos restos fosilizados, los arqueólogos pueden calcular con gran precisión la edad que tienen aquellos.





**Capítulo XIII****EL AZUFRE, PROPULSOR DE LA INDUSTRIA QUIMICA**

El azufre es uno de los primeros elementos químicos conocidos por el hombre. Encontrándose en numerosos lugares de las costas del mar Mediterráneo, no pudo dejar de llamar la atención de los pueblos antiguos: griegos y romanos. Las erupciones volcánicas arrastraban consigo, invariablemente, enormes cantidades de azufre; y el olor del gas sulfuroso y el ácido sulfhídrico se consideraban síntomas de la actividad del dios subterráneo Vulcano. Los limpios y transparentes cristales de azufre en los grandes yacimientos de Sicilia fueron ya advertidos muchos siglos antes de nuestra era. De manera especial llamó la atención la capacidad que tiene esta piedra de desprender gases tóxicos. Precisamente esta propiedad singular fue la causa de que el azufre se considerase en aquel tiempo uno de los elementos fundamentales del mundo.



Por esto no es sorprendente que el azufre jugase un papel tan excepcional en las ideas de los antiguos naturalistas y especialmente de los alquimistas, en la descripción de los procesos de actividad volcánica o de formación de cordilleras y vetas rocosas.

El azufre, como creían los alquimistas, poseía al mismo tiempo la propiedad enigmática de producir nuevas sustancias al arder, por lo cual se le consideraba como el componente que faltaba para la piedra filosofal, que tan infructuosamente trataban de hallar para poder obtener oro artificial.

La noción del extraordinario papel que desempeña el azufre en la naturaleza fue expuesta maravillosamente en el célebre tratado del sabio ruso Lomonósov Sobre las capas terrestres, del año 1763. Citamos algunos fragmentos:



*"Juzgando cuán abundante es el fuego subterráneo, enseguida se orienta el pensamiento al conocimiento de la materia que aquél contiene. . ."*

*"¿Qué hay mejor para arder que el azufre? ¿Qué hay más insuperable para mantener y alimentar el fuego?" ... "¿Qué materia combustible sale en mayor abundancia de las entrañas de la Tierra?"*

*"Pues no sólo del incansable erupcionar de las fogosas mandíbulas de las montañas, y en los ardientes surtidores que hierven en la tierra, y del seco respirar subterráneo, se recoge gran cantidad; no hay ni una roca, no hay casi ninguna piedra que, por el roce de unas con otras, no desprenda olor a azufre y no declare con ello su presencia... Gran cantidad de azufre al arder en el seno de la Tierra y extender el aire pesado por los abismos, aprieta la tierra de encima, la levanta y, por lados distintos, con distintas cantidades de movimiento, produce diversos tipos de sacudidas y rompe antes que nada en aquellos lugares donde encuentra menor resistencia, dispara al aire las partes ligeras de la superficie terrestre destruida que, al caer, ocupan los terrenos próximos, otros, debido a su grandor, vencen a las llamas con su peso y derrumbándose, crean las montañas. Hemos visto, oyentes, enorme cantidad de fuego en las entrañas de la Tierra, y la abundancia de azufre necesaria para su alimentación, suficiente para sacudir la tierra y producir transformaciones grandiosas catastróficas pero útiles también; aterradoras, pero portadoras de goce".*

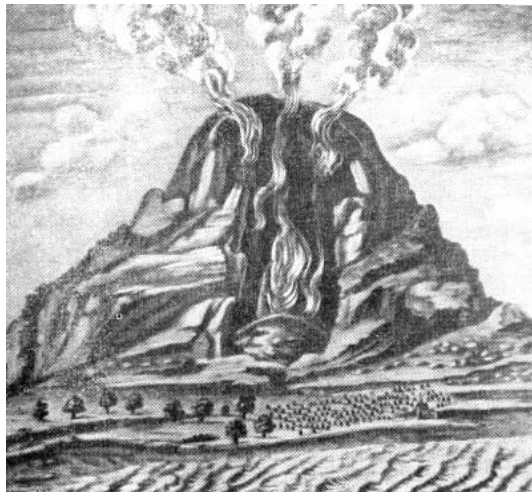
En efecto, las profundidades del seno terrestre contienen una cantidad considerable de azufre y al enfriarse desprenden numerosas combinaciones volátiles de diversos metales unidos al azufre, arsénico, cloro, bromo y yodo.

Sobre este particular podemos juzgar, no sólo por el olor específico de las emanaciones de los volcanes, las sofocantes solfataras del sur de Italia, o las nubes de gas sulfuroso de las erupciones de Kamchatka, el azufre es arrastrado también en forma de disolución, acumulándose en las fisuras y formando vetas rocosas.



*Figura 13.1 Fundición del azufre en la Edad Media*

Junto con el arsénico y el antimonio, sus amigos y compañeros de viaje en estos fluidos calientes y volátiles, forma aquellos minerales de los que el hombre, desde los tiempos más remotos, extrae zinc, plomo, plata y oro.

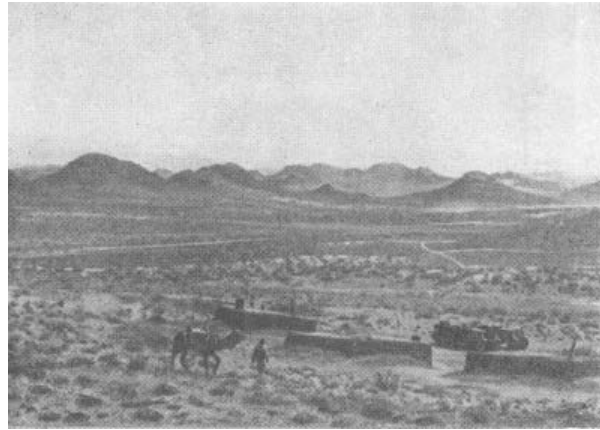


*Figura 13.2 Grabado antiguo. El Vesubio*

Pero en la superficie terrestre, estas rocas oscuras, opacas, lustrosas, polimetálicas y diversos géneros de minerales brillantes y piritas, sufren la acción del oxígeno del aire y del agua. Estos últimos actúan sobre los compuestos azufrados y forman nuevas combinaciones; el azufre, al oxidarse, se convierte en gas sulfuroso. Conocemos este gas por el olor de las cerillas de azufre. Cuando reacciona con el agua da ácido sulfúrico y ácido sulfuroso.

De manera análoga, el azufre y sus productos se desprenden durante el proceso de oxidación de las piritas, destruyen las rocas circundantes y, uniéndose a elementos más estables, dan origen al yeso y otros minerales. Hay que decir que el ácido sulfúrico que se forma en los yacimientos de pirita y, también, en los lugares donde se extrae el azufre nativo, posee propiedades destructivas. Recordemos las minas de Mednogorsk en los Urales del sur, donde la cantidad de ácido sulfúrico desprendido durante la oxidación de las piritas es tan grande que no queda posibilidad alguna de

protegerse contra su acción tóxica y la ropa de los trabajadores ocupados en estas minas, se deteriora con extrema rapidez, debido a los efectos corrosivos de dicho ácido.



*Figura 13.3 Cúmulos azufrados en Kara-Kumi. RSS de Turkmenia*



Trabajando en las arenas del Kara-Kumi (RSS de Turkmenia), nosotros no conocíamos esta propiedad de los yacimientos sulfurosos. Y cuando nuestros ejemplares de minerales de azufre, cuidadosamente envueltos en papel, llegaron a Leningrado, resultó que el papel estaba completamente corroído, de las etiquetas quedaban sólo algunos fragmentes, y en ciertos sitios se estropearon incluso hasta los cajones. Al culpable de estas desgracias, el ácido sulfúrico natural, hubo que clasificarlo como un nuevo mineral líquido independiente.



*Figura 13.4 Dunas de polvo de yeso*

El mineral de Kara-Kumi se distingue por estar compuesto de una mezcla de arena y azufre. Para separar el azufre puro, el ingeniero químico soviético P. Vólkov propuso un procedimiento original. En una caldera, que funciona a gran presión, se coloca el mineral desmenuzado, se echa agua, se cierra la caldera herméticamente y se hace pasar una corriente intensa de vapor (suministrado por una caldera generadora de vapor), a una presión de 5 a 6 atmósferas. La temperatura en la autoclave se eleva hasta 130-140', el azufre se derrite y se acumula en la parte inferior de la caldera, en tanto que la arena y la arcilla, agitadas por el vapor, ascienden a la superficie. Al cabo de un cierto tiempo se abre un grifo, y el azufre se desliza, en chorro tranquilo, por un canalón especial y es recogido en depósitos convenientes. Todo el proceso de fundición dura cerca de dos horas. De esta forma tan



sencilla resolvieron los ingenieros soviéticos el problema de la purificación del azufre de Kara-Kumi.

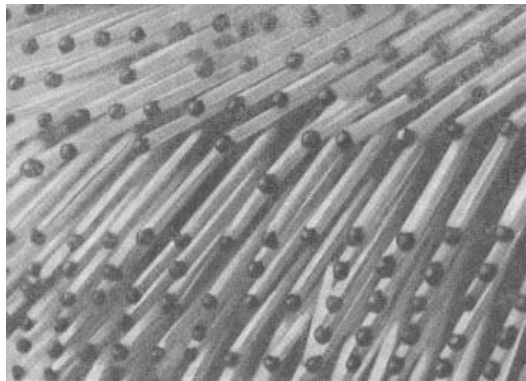
El azufre no se mantiene mucho tiempo en su estado nativo inicial; pronto se une con diversos metales, originando en las regiones volcánicas conglomerados de alunita, en forma de manchas blancas o trozos divergentes alrededor de los volcanes activos.

Algunos astrónomos opinan que es precisamente la alunita la que determina las aureolas y rayos blancos que rodean los cráteres de los montes de la Luna.



*Figura 13.5 La explosión de la pólvora*

Una gran cantidad de azufre oxidado se halla en combinación con el calcio. Esta combinación es bastante difícil de disolver en el laboratorio, pero en cambio es una combinación muy activa en la tierra. Esta combinación, que denominamos yeso, se deposita abundantemente, formando gruesas capas en los lagos salinos y cuencas marinas durante su evaporación.



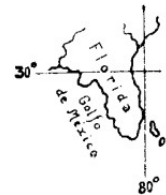
*Figura 13.6 En una fábrica de cerillas. Las cerillas antes de ser empaquetadas*

Pero con lo dicho no se acaba la historia del azufre en la superficie terrestre. Parte del ácido



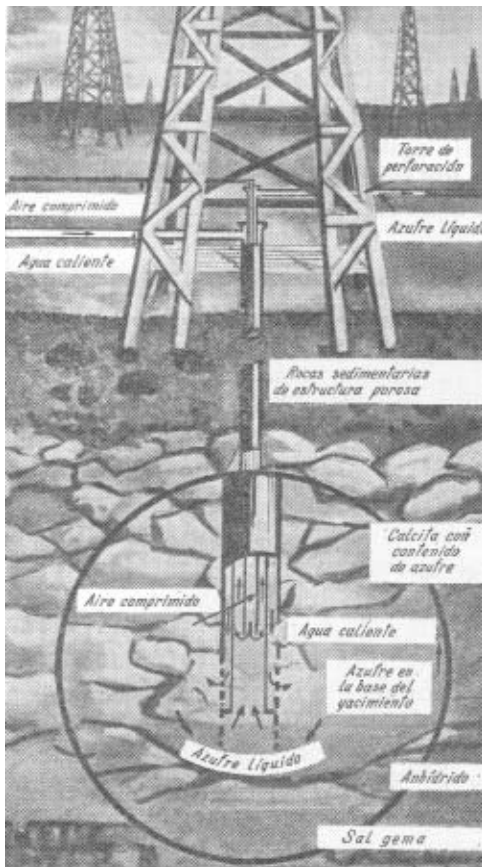
sulfúrico se transforma de nuevo en gas; toda una serie de microorganismos reducen el azufre; de las soluciones de sus sales se forma ácido sulfhídrico y gases volátiles que, en cantidades grandiosas, llevan consigo las aguas petrolíferas, saturando con estos gases el aire en los bajos pantanosos y en muchos estuarios y lagos,

creando una negra masa legamosa, que se denomina barro curativo y es extensamente utilizado para fines medicinales en Crimea y el Cáucaso.



Enorme cantidad de azufre se volatiliza, pasando al aire en forma de ácido sulfhídrico, volviendo de nuevo al estado activo. Así se verifica uno de los ciclos de la compleja circulación de este elemento en la historia geológica de la Tierra.

Pero el hombre ha cambiado de manera brusca las formas de migración y transformación del azufre en la Tierra, pues este elemento resultó ser un objeto valiosísimo para la industria. En estado puro su producción mundial alcanza sólo un millón de toneladas al año. En combinación con el hierro, de donde se obtiene azufre para los ácidos, se producen al año decenas de millones de toneladas.



*Figura 13.6 Instalación para la extracción del azufre de los pozos profundos de perforación. El vapor de agua sobrecalentado y el aire comprimido se inyectan por tubos dobles concéntricos a las calizas que contienen azufre, y este último se funde. El azufre líquido se eleva por el espacio anular que queda entre los tubos y se derrama en la superficie, donde se endurece al enfriarse, formando enormes monolitos rectangulares*

El azufre se ha convertido en la base de la industria química, es incluso difícil enumerar las ramas de la técnica industrial para las que es imprescindible. Nombraré sólo las más importantes de ellas, y con estos ejemplos será suficiente para ver que sin azufre no puede existir la industria. El azufre es necesario para la obtención de papel, celuloide, pinturas, la mayoría de los medicamentos, cerillas; para el refinado de la bencina, éter y aceites; para la preparación de abonos fosfatados, vitriolos, alumbres, sosa, vidrio, bromo, yodo... Sin él es difícil obtener ácido nítrico, clorhídrico y acético. Y es claro que en la historia del progreso industrial, desde principios del siglo XIX, el azufre juega un papel inmenso. En forma de ácido sulfúrico es necesario para la obtención de dinamita, y su utilización en la pólvora negra, lo hizo absolutamente imprescindible para las armas de fuego.

Por esto la lucha por el azufre pasa a través de toda la historia del siglo XVIII. Durante largo tiempo, el único abastecedor de azufre fue Sicilia. La isla se hallaba en manos de la monarquía italiana y en muchas ocasiones, desde principios del siglo XVIII, las fragatas inglesas

bombardearon las costas sicilianas, tratando de adueñarse de esta riqueza. Pero después los suecos descubrieron el procedimiento de obtener azufre y ácido sulfúrico de la pirita. Los enormes yacimientos españoles de piritas fueron objeto de la atención de todos los estados europeos y, entonces, las fragatas inglesas se presentaron ante las costas de España, para conquistar estas fuentes de azufre y ácido sulfúrico. Los yacimientos sicilianos fueron abandonados y toda la atención se concentró en España.

Pero he aquí, que en América se descubre el primer yacimiento, riquísimo, de azufre en la península de Florida.

En el afán de aumentar la productividad con objeto de obtener mayores ganancias, fue aplicado aquí un método extractivo, a primera vista inverosímil. Consistía en inyectar en las profundidades vapor de agua sobrecalentado, el cual, debido a la baja temperatura de fusión del azufre (119'), le fundía bajo tierra, empujándole en estado líquido hacia la superficie.

Se consiguió construir la primera instalación para la extracción, por medio de bombas aspirantes, del azufre derretido, que se derramaba sobre el suelo formando enormes montículos al enfriarse.

Este método es muy productivo, y con su ayuda comenzaron a obtener en Norteamérica cantidades enormes de azufre. Los yacimientos españoles e italianos pasaron a segundo plano. De nuevo una idea brillante surgió en el país de las rocas sulfurosas, en la Suecia polar. En una de las fábricas comenzaron a obtener el azufre paralelamente con el proceso de tratamiento de los minerales de pirita.

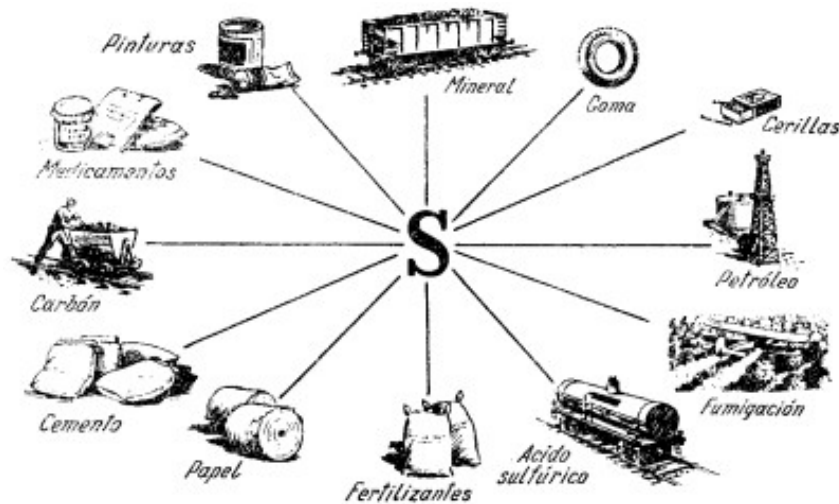
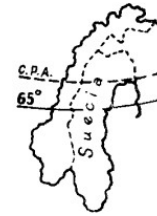


Figura 13.8 Aplicaciones del azufre en distintas ramas de la producción

Otra vez la fuente productora resultó ser el sulfuro metálico y nuevamente el ácido sulfúrico cambió su destino, reconstruyéndolo en una nueva dirección.

Hablo de todo esto para que se comprenda con qué complejidad varía a veces el empleo de las sustancias en la industria, en dependencia del desarrollo y aciertos de las ideas técnicas creadoras. Estos nuevos métodos penetraron en la historia de la ciencia, transformaron de manera radical la técnica de extracción del azufre y rompieron con una serie de relaciones en la producción. No en vano,



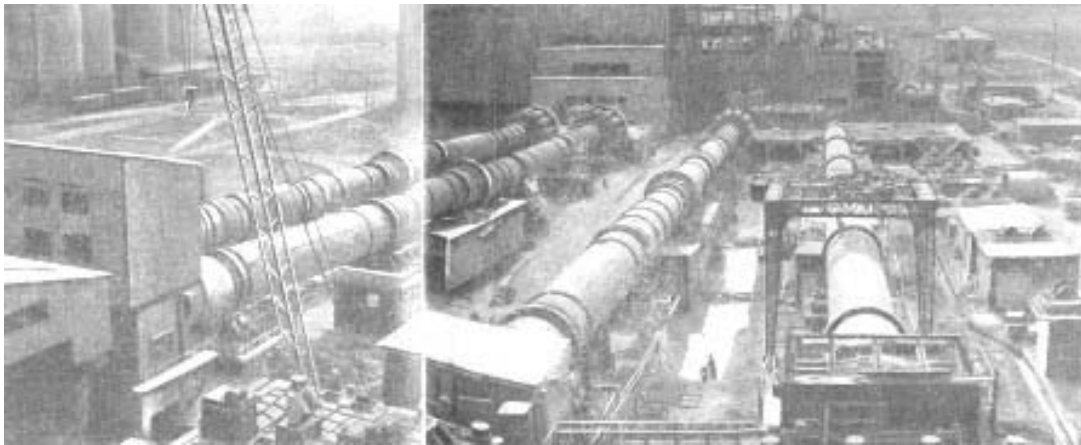
en una revista italiana se decía que los métodos nuevos "mataron" a la población de Sicilia, obligándola a mantener una vida semihambrienta: cultivar naranjas en sus pobres plantaciones y apacentar cabras en los pastizales montañosos abrasados por el sol.

## Capítulo XIV EL CALCIO, SIMBOLO DE FIRMEZA

En cierta ocasión, deteniéndome de paso en Novorosiisk, se me dirigió un grupo de ingenieros y peritos de las enormes fábricas de cemento existentes cerca de la ciudad, con la petición de que diese en su club una conferencia sobre las margas y calizas que son el material primordial para la fabricación del cemento.



Hube de contestarles que no conocía en absoluto ese tema. Sabía perfectamente que la base de la cal y el cemento la constituyen distintos géneros de piedras calizas, y el valor que tienen la cal y el cemento de buena calidad; les hablé del trabajo que costó obtener estos dos productos tan necesarios para las edificaciones en el Norte.



*Figura 14.1 Vista general de una fábrica de cemento*

La cal común solían encargarla de los yacimientos situados en las alturas de Valdái, a mil quinientos kilómetros de los nuevos centros en construcción; el cemento salía de Novorosiisk y navegaba, siguiendo una ruta circular, a través de los mares Negro, Egeo y Mediterráneo, y los océanos Atlántico y Artico. Les hablé de cómo comprendía por esto la exclusiva importancia de la cal para la vida y la construcción, pero yo nunca me había dedicado al estudio de las calizas y no conocía nada acerca de ellas.

- Entonces, hablemos del calcio - dijo uno de los ingenieros, remarcando que la base de todas las calizas es el metal calcio, cuéntenos, qué representa este metal desde el punto de vista geoquímico, cuáles son sus propiedades, cuál es su destino, dónde y cómo se concentra y por qué él precisamente transmite su belleza a los mármoles y tan maravillosas propiedades técnicas a las calizas y las margas cementosas.

Les di una conferencia sobre este tema y así apareció esta narración sobre los átomos del calcio en el universo que expongo a continuación.

- Ustedes trabajan en la industria del cemento, en la industria de materiales de ligazón, rama importantísima de la industria de la construcción. Para ustedes es de interés especial conocer la historia de los átomos de calcio.

Los químicos y físicos dicen que el calcio ocupa un puesto particular en el sistema de Mendeléev, con el número de orden 20. Esto quiere decir que consta del núcleo (o sea, partículas ínfimas: protones y neutrones) y veinte partículas libres con carga negativa, que se denominan electrones.





El número 40 determina el peso atómico de este elemento, situado en el segundo grupo del sistema de Mendeléev, en la segunda fila. Para la obtención de moléculas estables, exige en sus combinaciones dos cargas negativas. Como dicen los químicos, su valencia es igual a dos.

*Figura 14.2 Extracción del mármol*



Ustedes ven que en esta enumeración he tenido necesidad de dar cifras todas múltiples de cuatro. Estos números son muy importantes en Geoquímica. Sabemos que en la vida corriente, cuando queremos hacer algo estable, siempre acudimos a estos números; así, por ejemplo, la mesa tiene cuatro patas. Un cuerpo estable, una construcción cualquiera, por regla general son simétricos, de tal manera que la mitad derecha y la izquierda sean coincidentes.

El número 2 y los números 4, 20, 40 nos hablan de estabilidad excepcional de los átomos de calcio, e incluso, todavía no se conoce cuántos centenares de millones de grados serían necesarios para poder disgregar este firme edificio formado por un núcleo diminuto con una pléyade de



veinte planetas negativos volando a su alrededor. Y a medida que los astrofísicos van comprendiendo la estructura del mundo entero, más y más se dibuja el enorme significado de los átomos de calcio en el universo.

Tomemos, por ejemplo, la corona del Sol durante un eclipse. Incluso a simple vista, se ven grandiosas protuberancias: partículas metálicas incandescentes que, arrojadas a distancias de cientos de miles de kilómetros, se mueven vertiginosamente; el papel fundamental, entre ellos, lo juega el calcio. Mediante la aplicación de métodos perfeccionados, consiguieron en la actualidad nuestros astrónomos saber qué es lo que llena el espacio interplanetario. Entre las dispersas nebulosas estelares, todo el universo está cruzado por el vuelo vertiginoso de átomos ligeros de varios elementos químicos; y entre ellos de nuevo corresponde un papel importante al calcio, así como al sodio.

He aquí determinadas partículas deambulantes del universo que, sumisas a las leyes de gravitación, describiendo sus complicadas trayectorias, vienen a caer a la Tierra. Caen en forma de meteoritos y de nuevo el calcio desempeña en ellos un enorme papel.

Es difícil imaginarse cualquier otro metal que tuviese más importancia en todos los complejos destinos que intervienen en la formación de la corteza terrestre, en la creación de la vida y del progreso técnico.

Aún en los tiempos en que las masas fundidas, hervían en la superficie terrestre, cuando paulatinamente se desprendían vapores pesados formando la atmósfera y se condensaron las primeras gotas de agua, creando los mares y océanos, el calcio, junto con su amigo el magnesio, elemento tan denso y firme como él y también par (su número es el 12)-, eran ya los metales más importantes de la Tierra.



En las distintas rocas que entonces salían a la superficie o que se consolidaban en las profundidades, los átomos de calcio y magnesio jugaban un papel especial. El fondo de los grandes océanos, sobre todo el Pacífico, aún hoy está cubierto de una capa de basalto en el que los átomos de calcio tienen gran significación, y sabemos que nuestros continentes flotan sobre esta alfombra de basalto que semeja la original y fina corteza procedente de la consolidación de las masas fundidas de las entrañas de la Tierra.

Los geoquímicos incluso han calculado que en la composición de la corteza terrestre entran, en peso, el 3,0 % de calcio y el 1,9 % de magnesio. Ellos relacionaron las leyes de difusión del calcio con las notables propiedades de su átomo mismo, con la paridad de sus electrones, con la admirable firmeza de este edificio tan maravilloso y perfecto.

Inmediatamente después de la formación de la corteza terrestre, comenzaron las complejas rutas de "peregrinación" de estos átomos.



*Figura 14.3 Pólipos de coral en el océano*

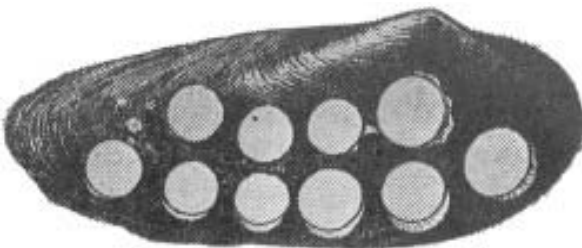
En aquellos tiempos remotos, las erupciones volcánicas sacaban consigo al exterior gran cantidad de anhídrido carbónico. Densas nubes de la atmósfera aérea, saturadas de vapor de agua y anhídrido carbónico, rodeaban la Tierra, destruyendo su superficie, arrastrando, en el torbellino de las salvajes tempestades primarias masas terrestres aún calientes. Así comenzó la etapa más interesante en la historia de la "peregrinación" de los átomos de calcio.

*Figura 14.4 Termitero de carbonado cálcico, construido y habitado por hormigas blancas (termitas). Africa*



Con el anhídrido carbónico, el calcio daba combinaciones firmes y estables. Si existía exceso de anhídrido carbónico, el carbonato cálcico era transportado por las aguas; si había pérdida de anhídrido carbónico, el carbonato cálcico se precipitaba en forma de polvo blanco cristalino. Así se crearon las potentes capas calcáreas. Allí donde los aluviones de la superficie terrestre acumularon restos de arcilla, se depositaron capas de margas. En sus movimientos tempestuosos, las masas subterráneas incandescentes, lanzándose sobre las capas calizas, las abrasaban y quemaban con sus vapores a miles de grados, transformándolas en montañas de mármol de nívea blancura, cuyas cúspides gallardas se confunden con la nieve.

De los complicados ovillos de ciertas combinaciones del carbono germinaron las primeras bolas de substancia orgánica. Gradualmente, se fueron haciendo más complejas estas gelatinosas masas coloidales, semejantes a las medusas de nuestro mar Negro; nacieron en ellas nuevas propiedades, las propiedades de la célula viva. Las leyes fundamentales de la evolución, la lucha por la existencia, la lucha por el desarrollo ulterior del género, complicaron estas moléculas, las llevaron a nuevas combinaciones y aparecieron nuevas propiedades sobre la base de las leyes del mundo orgánico.



*Figura 14.5 Concha de un molusco de agua dulce empleada en la obtención de botones*

Poco a poco nacía la vida... Al principio, en forma de células simples entre ardientes mares y océanos; después, en forma de organismos multicelulares más complejos, y así hasta el organismo más perfecto existente en la Tierra: el hombre.

*Figura 14.6 Las conchas de los moluscos se recogen dragando el fondo del mar. Van a la industria del cemento como  $\text{CaCO}_3$  Puro y también, para la fabricación de botones.*



En este proceso paulatino de complicación del desarrollo de cada organismo se reflejó siempre su lucha por crear un cuerpo firme y estable. El cuerpo blando y elástico del animal no podía, en una serie de casos, luchar contra los enemigos que a cada paso lo desgarraban y destruían. La substancia viva, en el proceso de evolución progresiva, tendía más y más a defenderse. Había que crear, o bien una envoltura impenetrable alrededor del cuerpo blando, tras la cual fuera posible protegerse como tras una coraza, o bien era necesario un fuerte armazón interno, lo que llamamos esqueleto, para que el cuerpo blando pudiera sujetarse con firmeza en los duros huesos. Y la



historia de la vida nos muestra que en esta búsqueda de un material duro y consistente, el calcio juega un papel especialísimo. Primero en las conchas se acumuló el fosfato cálcico y las primeras valvas que se encuentran en la historia de la corteza terrestre eran de mineral apatito.

Sin embargo, este camino no resultó ser el más acertado; el fósforo es necesario para la propia vida, pero sus reservas no son tan grandes por doquier, como para que pudiese fácilmente construir conchas consistentes; la

historia del progreso del mundo animal y vegetal mostró que es más conveniente construir las partes firmes a base de otras combinaciones menos solubles, como el ópalo, sulfatos de estroncio y bario y, mejor de todo, de carbonato cálcico.

Es verdad que el fósforo resultó ser no menos necesario. Al tiempo que diversos géneros de moluscos y cangrejos, así como también los organismos unicelulares, comenzaron a utilizar ampliamente el carbonato cálcico para sus bellas conchas, las partes óseas de los animales terrestres se fueron construyendo de sales fosfóricas. Los huesos del hombre y de los animales de gran tamaño se componen de fosfato cálcico, cuya composición se asemeja mucho a la de nuestro mineral apatito. Pero, aquí y allá, el calcio jugó un papel importante. La única diferencia es que el esqueleto del hombre se construyó de fosfato de este metal y las conchas, principalmente, de carbonato.

Es difícil imaginar un cuadro más admirable que el que se abre ante el naturalista cuando éste se aproxima a la costa, por ejemplo, del Mediterráneo.

Recuerdo cómo, siendo aún joven geólogo, visité por primera vez la costa acantilada de Nervi, cerca de Génova. Quedé admirado por la belleza y variedad de conchas, algas multicolores, cangrejos ermitaños, con sus lindas casitas calcáreas, distintos moluscos, colonias enteras de musgos marinos y diversos corales calizos. Me sumergí por completo en este mundo maravilloso de agua transparente, a través de cuyo azul refulgían, con todos los colores del iris, diversas combinaciones de este mismo carbonato cálcico.



*Figura 14.7 Palacio de Mármol de la filial del Museo de V. I. Lenin en Leningrado. A excepción del piso bajo (construido de granito), todo es de mármol ruso*

Bajo cientos de miles de formas diferentes se acumula el calcio en las conchas y esqueletos en el fondo de los mares. Los restos caprichosos de organismos muertos formaron allí cementerios enteros de carbonato cálcico, comienzo de nuevas formaciones rocosas y futuras cordilleras.



*Figura 14.8 Escultura de una niña, hecha de mármol blanco de los Urales. Trabajo de S. Konionkov*

Cuando nos embelesamos con la diversidad de colores y tonalidades de, los mármoles que adornan nuestras obras arquitectónicas, cuando admiramos en una central eléctrica el bonito mármol gris o blanco del tablero de distribución, o cuando observamos, al descender las escaleras del metro, los peldaños pardo-amarillos de caliza marmórea de Shemardinó, no debemos olvidar que en todos estos casos el principio básico de las aglomeraciones calizas fue establecido por una pequeña célula viva y los complejos procesos químicos, que captan los átomos de calcio diseminados en el agua del mar, los convierten en duros esqueletos cristalinos, en filamentos de los minerales cálcicos que denominamos calcita y aragonita.

Pero nosotros sabemos que con esto no termina la "peregrinación" de los átomos de calcio.

De nuevo lo disuelve el agua, de nuevo comienzan a deambular por la corteza terrestre sus iones globulares en complejas soluciones acuosas, ya formando las llamadas aguas duras, ricas en



calcio, ya precipitándose, junto con el azufre, como yeso, ya cristalizándose en estalactitas y estalagmitas: complejas y fantásticas formaciones de las cavernas de caliza.

Después empieza la última etapa en la historia de la peregrinación de los átomos de calcio: ellos son dominados por el hombre. No sólo los emplea en los mármoles y calizas en estado puro, sino que también en los grandes hornos de las fábricas de cemento y en los hornos de calcinación, liberando al calcio del dominio del ácido carbónico, y creando grandes cantidades de cemento y cal, sin los cuales no podría existir nuestra industria.

En los más complicados procesos de la Química farmacéutica, orgánica e inorgánica, el calcio juega un papel enorme, determinando la marcha de los procesos en los laboratorios químicos, tecnológicos y metalúrgicos. Pero esto es poco aún para el hombre. Existe mucho calcio a nuestro alrededor; se puede emplear este estable átomo para reacciones químicas más precisas. El hombre invierte en él decenas de miles de kilovatios de energía eléctrica; no sólo del anhídrido carbónico libera los átomos de calcio en las calizas: rompe su enlace con el oxígeno, lo separa en estado puro, en forma de metal refulgente, brillante, blando y elástico, que arde en el aire, recubriéndose de una película blanca de la misma cal.



*Figura 14.9 Estación "Oktiabrskaya" del metropolitano de Moscú. Las paredes están revestidas con mármol blanco de los Urales*

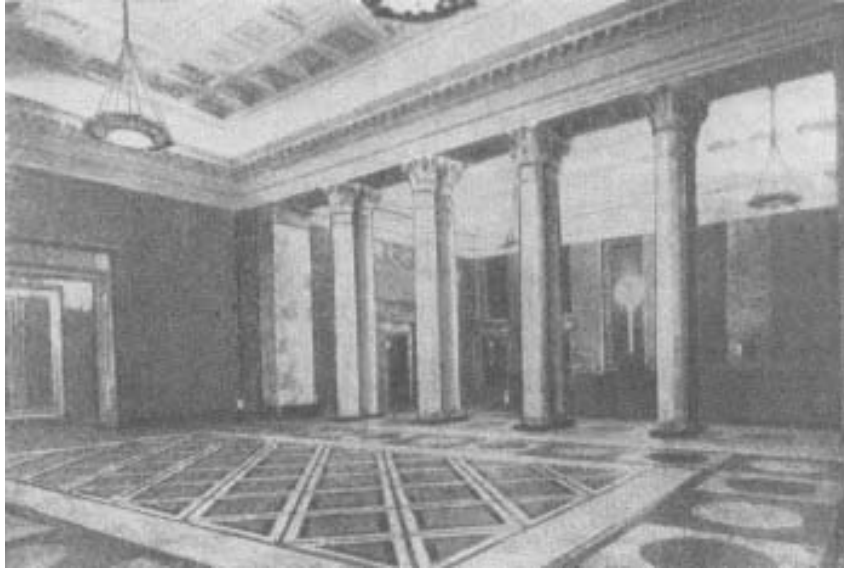
Precisamente esta tendencia a combinarse con el oxígeno, precisamente este estrecho y sólido enlace que se establece entre los átomos de calcio y de oxígeno es lo que utiliza el hombre. El introduce los átomos metálicos de calcio en la fundición de hierro y, en lugar de otros diversos y complicados desoxidantes, renunciando a toda una serie de métodos de depuración del hierro fundido y los aceros, limpiándolos de gases perniciosos, obliga a realizar este trabajo a los átomos metálicos del calcio, introduciéndolos en los altos hornos y hornos Martin.



Así comienza de nuevo la ruta de migración de este átomo. No dura mucho el brillo de sus partículas metálicas, de nuevo se transforman en complejas combinaciones oxigenadas, más estables en la superficie de la Tierra.

Como pueden ver, la historia de los átomos de calcio es mucho más complicada (le lo que pensamos; qué difícil es hallar otro elemento químico que recorra un camino tan complejo en el espacio mundial y que defina momentos más importantes en la historia del nacimiento de nuestros mundos y de nuestra vida industrial.

No hay que olvidar que el calcio es uno de los átomos más móviles y enérgicos del universo, que son infinitas sus posibilidades de unión para formar los edificios cristalinos del mundo. El hombre hará aún muchos descubrimientos, si sabe emplear adecuadamente estos móviles átomos para la creación de nuevos, tal vez nunca vistos por su solidez, materiales para la construcción y la industria.



*Figura 14.10 Estación "Bielorruskaia" del metropolitano de Moscú. Las columnas son de mármol blanco; las paredes y el piso de mosaico de mármoles del país dotados de vivos colores*

Pero para esto hay que trabajar todavía mucho, hay que reflexionar y estudiar profundamente la naturaleza de este átomo. Para ser buen geoquímico y marcar con acierto nuevos caminos a la Geología, hay que ser químico y físico reflexivo y conocedor de la Geología.

Hay que dominar todas estas ciencias: Química, Física, Geología y Geoquímica para poder ser un buen tecnólogo y comprender las nuevas formas de desarrollo de la industria que conducirán a victorias brillantes sobre la naturaleza, a una amplia utilización de los elementos más difundidos de la Tierra.



**Capítulo XV****EL POTASIO, FUNDAMENTO DE LA VIDA DE LAS PLANTAS**

El potasio es un elemento alcalino característico, que ocupa un lugar bastante bajo en el primer grupo de la Tabla de Mendeléev. Elemento típico impar, puesto que sus datos característicos son impares: el número de orden, esto es, la cantidad de electrones que constituyen su envoltura electrónica es 19; su peso atómico es 39. Forma uniones estables sólo con un átomo de halógeno, por ejemplo, el cloro; como nosotros decimos, su valencia es igual a la unidad. Como elemento impar, el potasio se caracteriza también por las considerables dimensiones de sus partículas electrizadas de forma esférica y esto, junto con su imparidad, es causa de la constante tendencia a la "peregrinación" de sus átomos electrizados y particularmente activos.

Por esto no es de extrañar que toda la historia del potasio en la Tierra está ligada, así como el destino de su amigo el sodio, a una exclusiva movilidad y complejas transformaciones. Más de cien minerales distintos, forma el potasio en la corteza terrestre y, en pequeñas proporciones, toma parte en la composición de otras cien especies minerales. Su contenido medio en la superficie de nuestro planeta se aproxima al 2,5%. Esta es una cifra grande y muestra que el potasio, junto con el sodio y el calcio, pertenece a los elementos predominantes en la Tierra. Es muy interesante la historia del potasio en el complejo pasado geológico de nuestro planeta. Se la ha estudiado detalladamente y podemos ahora describir todos los caminos que recorren los átomos de potasio, hasta tanto que regresan al punto de origen de su peregrinación, verificando su complicado cielo vital.

Cuando se enfrían en las profundidades los magmas fundidos y los distintos elementos se distribuyen en ellos según su movilidad, su capacidad de migración, de formar gases volátiles o partículas móviles fusibles, el potasio pertenece a estos últimos. El no se halla entre los primeros cristales que, antes que otros, se crean en las profundidades de la Tierra; apenas lo encontramos en las profundas y verdes rocas de olivino que forman los enormes cinturones de las entrarías terrestres. Incluso en las masas basálticas que cubren el fondo de los océanos encontramos no más del 0,3% de potasio.

En el complicado proceso de la cristalización de los magmas fundidos, en sus partes altas se acumulan los átomos más móviles de la Tierra; allí hay muchos iones de silicio y aluminio, pequeños y fuertemente electrizados; aquí se encuentran también muchos átomos impares de los metales alcalinos (potasio y sodio) y de sus compuestos volátiles con el agua. De estos restos fundidos se forman las rocas que denominamos graníticas. Ellas cubren una enorme parte de la superficie terrestre, apareciendo como continentes que flotan sobre el basalto.

Los granitos se consolidan en lo profundo de la corteza terrestre y el potasio se concentra en ellos en cantidad de casi un 2%, entrando principalmente en la composición del mineral que denominamos feldespato: la ortoclasa. El potasio interviene también en la composición de las micas negras y blancas, tan bien conocidas por nosotros. En otros lugares se acumula en cantidad aún mayor, formando los grandes cristales del mineral blanco leucita, que abunda en las lavas de Italia ricas en potasio, y se extrae para la obtención de potasio y aluminio.

De tal modo, la cuna de los átomos de potasio en la tierra son los granitos y las ácidas lavas de rocas eruptivas.

Sabemos cómo en la superficie de la Tierra estas rocas se destruyen por la acción del agua, del aire y del anhídrido carbónico que satura la atmósfera y el agua, y cómo penetran en ellas las



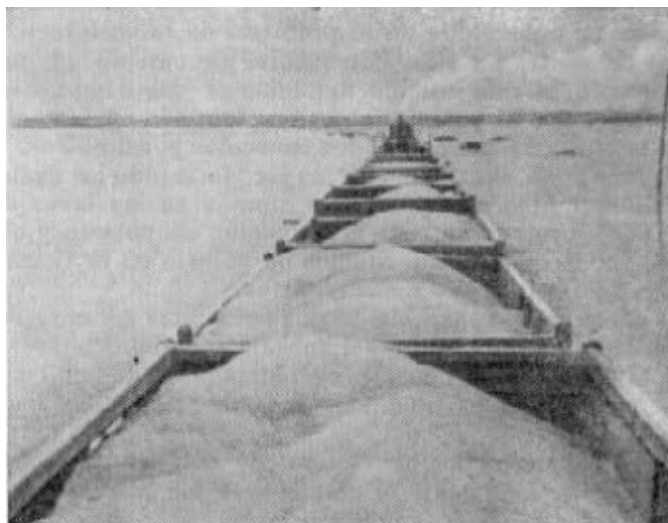
raíces de las plantas, corroyendo ciertas de sus partes minerales mediante los ácidos que segregan.

Quien haya estado en los alrededores de Leningrado habrá tenido ocasión de ver cuán fácilmente se desmoronan los granitos en los afloramientos y cantos rodados, cómo son erosionados sus minerales por el viento y cómo oscurecen las rocas; y la arena de cuarzo puro se acumula en forma de dunas, como últimos restos de lo que fueron potentes macizos graníticos.



*Figura 15.1 Sedimentos naturales de sal en la cuenca de las explotaciones de Karakonsk en la RSS de Tadzhihia*

Durante este proceso se disgrega también el feldespato. Los agentes activos de la superficie terrestre extraen de él el sodio y el potasio, dejando un original esqueleto de mineral laminar y formando complejas masas rocosas que llamamos arcilla.



*Figura 15.2 A través de la capa salina del lago Baskunchak*

A partir de este momento empiezan las nuevas formas de "peregrinación" de nuestros dos amigos: el sodio y el potasio. Por otra parte, estos dos elementos son amigos sólo hasta este

momento, ya que después de la destrucción del granito para cada uno de ellos comienza su vida propia. El sodio es fácilmente arrastrado por el agua; sus iones no son retenidos por nada ni por nadie en el medio circundante de lúgamos, arcilla y precipitaciones. Son llevados por los riachuelos y ríos a los grandes mares y allí crean el cloruro sódico que nosotros llamamos sal común o sal de cocina y que constituye el principal producto primario de toda nuestra industria química.

Pero el destino del potasio es otro. En el agua de mar se le encuentra sólo en pequeñas proporciones. El número de átomos de sodio y potasio contenidos en las rocas es aproximadamente el mismo, pero de cada mil átomos de potasio sólo 2 van a parar a las cuencas marinas y 998 quedan retenidos en la capa de terreno, en los lúgamos, en las sedimentaciones de los mares, pantanos y ríos. El suelo posee el poder mágico de absorber el potasio.



El académico K. Gedroits, notable agrólogo ruso, fue el primero que descubrió la naturaleza geoquímica del suelo. Halló en él las partículas que retienen a diversos metales, sobre todo al potasio, y demostró que la fecundidad del terreno depende en alto grado de los átomos de potasio que se ligan a él tan fácil y libremente, que cada célula vegetal puede absorber estos átomos y emplearlos para su vida. Y absorbiendo estos átomos de potasio tan débilmente afianzados, como si pendiesen libremente de hilos, las plantas echan sus vástagos.

Las investigaciones han demostrado que el potasio, junto con el sodio y el calcio, son extraídos con facilidad por las raíces de las plantas.

Las plantas no pueden vivir sin potasio. Todavía no sabemos con exactitud por qué esto es así y qué papel desempeña el potasio en el organismo vegetal, pero los experimentos demuestran que sin potasio las plantas se marchitan y mueren. ¡Y no sólo para las plantas es imprescindible el potasio! También constituye una parte substancial del organismo animal. Así, por ejemplo, en los músculos del hombre el potasio predomina sobre el sodio. Sobre todo hay mucho potasio en el cerebro, los riñones, el hígado y el corazón. Puede anotarse que el potasio tiene especial importancia en el período de crecimiento y desarrollo del organismo. En el hombre adulto, la necesidad de potasio disminuye considerablemente.

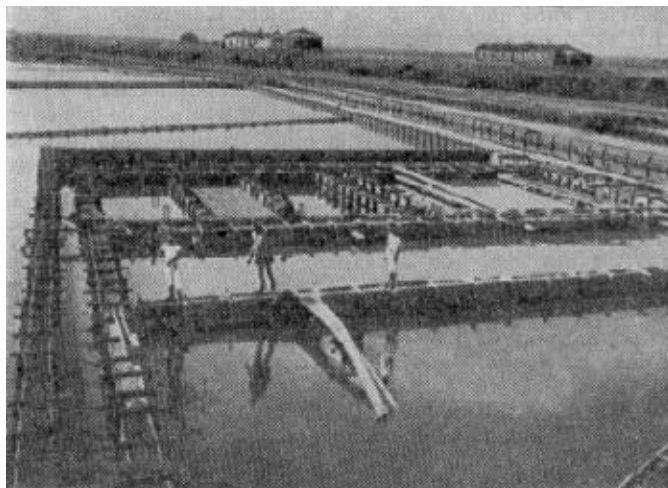


Uno de los cielos de su peregrinación lo comienza el potasio desde el suelo. Extraído de allí por las raíces de las plantas, se concentra en sus restos atrofiados, pasa en parte al organismo animal o del hombre y con el estiércol vuelve de nuevo al suelo de donde lo sacó la célula viva.

Una gran parte del potasio recorre precisamente este camino, pero ciertos átomos consiguen alcanzar los grandes océanos y, junto con otras sales, condicionar la salinidad del agua marina, a pesar de que en ella hay cuarenta veces más átomos de sodio que de potasio.

Aquí se inicia el segundo cielo de la "peregrinación" de los átomos de potasio.

Cuando grandes regiones de los océanos comienzan a desecarse bajo influencia del movimiento de la corteza terrestre, de ellos se separan, o mares de poco calado, o lagos aislados, estuarios, lagunas, golfos; se forman lagos salados del tipo del lago de Saki o de los lagos junto a Eupatoria, en la costa del mar Negro. En los meses calurosos de verano, la evaporación del agua del mar es tan fuerte, que la sal se precipita del agua y es arrojada a la orilla por las olas y, a veces, se acumula en el fondo de los lagos totalmente evaporados, en forma de refulgente espuma blanca.



*Figura 15.3 Estanques de evaporación en las explotaciones de Saki en Crimea, en los que se evapora la salmuera, rica en potasio y bromo*

Las distintas sales se depositan por determinado orden; primero, cristaliza en el fondo el carbonato cálcico, después, el yeso (sulfato cálcico), después el cloruro sódico, es decir, la sal común. En la cuenca queda una solución salina extraordinariamente saturada de sales, que contiene decenas de por ciento de diversas sales y, principalmente, sales de potasio y magnesio.



Resulta que el potasio es aún más móvil que el sodio; se ponen de manifiesto las propiedades de sus grandes átomos globulares y continúa su "peregrinación" hasta que el aliento más caliente del sol no evapora hasta el final los lagos, y en la superficie, en los yacimientos salinos, no se separan las sales potásicas blancas y rojas. Así se forman los yacimientos potásicos.

En la corteza terrestre aparecen a veces grandes acumulaciones de sales potásicas, tan necesarias al hombre para la industria. Y aquí no son las fuerzas enigmáticas del suelo, no son las plantas quienes determinan el camino a seguir por el potasio, no es el sol de los países meridionales el que lo acumula en las riberas de los lagos salinos; aquí, en la industria, es el propio hombre quien se presenta como agente de un nuevo, inmenso cielo de "peregrinación" de sus átomos.

Hace cien años que uno de los químicos más notables, el alemán Justo Liebig, observando el papel que desempeñan el potasio y el fósforo en la vida de los vegetales, pronunció las siguientes palabras: "Sin estos dos elementos no puede haber fecundidad en los campos". Se le ocurrió la idea, fantástica para aquellos tiempos, de que es necesario abonar los campos, introducir en ellos artificialmente diversas sales de potasio, nitrógeno y fósforo, calculando la cantidad necesaria de las mismas para que las plantas las puedan aprovechar.

Sus ideas fueron acogidas con desconfianza en los círculos agrícolas de los años 40-50 del siglo pasado, esto parecía una "aventura de científico", tanto más que el salitre, propuesto por él como abono, se transportaba en embarcaciones de vela desde América del Sur y resultaba descomunadamente caro no encontrando venta. No se conocían fuentes productoras de fósforo, y la harina de huesos que proponía Liebig daba un abono demasiado costoso. No sabían cómo emplear el potasio y sólo raras veces, recogiendo ceniza de plantas, la diseminaban por los campos. En Ucrania desde hace mucho tiempo ya quemaban los restos de tallos de maíz y la ceniza obtenida la espolvoreaban por el terreno, columbrando con su propia inteligencia, sin ayuda de la ciencia, el sentido y la importancia de esta ceniza para las cosechas.



*Figura 15.4 Recolección de la cosecha en campos abonados con sales de potasio, fósforo y nitrógeno (1945)*

Muchos años han transcurrido desde entonces y el problema de los abonos fertilizantes se convirtió en una de las tareas más importantes para todos los países del mundo; la feracidad de los campos llegó a depender en grado considerable de la siguiente cuestión: ¿puede el hombre aportar a los campos la cantidad suficiente de sustancias que los vegetales extrajeron del suelo y que el hombre recogió después en forma de grano, paja y frutos? En la actualidad el potasio se ha convertido en un elemento de los más necesarios para el trabajo pacífico y la agricultura.

Es suficiente decir que un país como Holanda consumió en 1940 hasta 42 toneladas de óxido de potasio por hectárea. Ciertamente que en otros países esta cifra era bastante menor; en los EE.UU. empleaban sólo unas cuatro toneladas por hectárea.

Autorizados agroquímicos opinan que en la URSS, se deben abonar los campos del país, como mínimo, con un millón de toneladas de óxido potásico al año.

Y ante la humanidad se ha planteado el problema de descubrir grandes yacimientos de sales de potasio, aprender a extraerlas y preparar de ellas abonos fertilizantes.

Durante mucho tiempo toda la producción mundial de potasio estaba en manos de Alemania. En los montes de Harz, en sus vertientes orientales, fueron descubiertos los célebres yacimientos salinos de Stassfurt, y del norte de Alemania, las sales potásicas se distribuían por todos los países en centenares de miles de trenes.

Pero con esto no podían conformarse aquellas naciones para las que la agricultura constituye el nervio vital del país. Muchos años, mucha fuerza y energía hubo de gastar Norteamérica, hasta que descubrió en su territorio un yacimiento no muy grande de potasio; los franceses consiguieron ciertos éxitos al descubrir en el valle del Rin yacimientos de potasio.

En tanto se buscaba potasio, iban empleándose los minerales potásicos de las rocas eruptivas de Italia. Pero todo esto era insignificante en comparación con la cantidad que exigían los campos extenuados.



Muchos años se esforzaron los investigadores rusos por hallar en el territorio de su país yacimientos de potasio. Hipótesis aisladas no daban resultados hasta que la labor tenaz de toda una escuela de jóvenes químicos, bajo la dirección del académico N. Kurnakov, condujo al descubrimiento de los mayores depósitos de sales potásicas del mundo.



*Figura 15.5 El académico Nikolái Kurnakov (1860-1941)*

El hallazgo tuvo lugar casualmente, pero la casualidad en el trabajo científico con frecuencia está ligada a una prolongada labor preparatoria y los "descubrimientos casuales" suelen ser simplemente el último paso de una larga lucha por determinada idea, recompensa de búsquedas prolongadas y porfiadas. Así ocurrió con el descubrimiento del potasio. El académico Kurnakov estudió durante muchas decenas de años los lagos salinos del país y su pensamiento buscó obstinadamente dónde se podía encontrar en las entrañas de la Tierra restos de los antiguos lagos potásicos. Investigando en el laboratorio químico la composición de las sales procedentes de las antiguas explotaciones salinas de la región de Perm, Nikolái Kurnakov advirtió en algunos casos un contenido elevado de potasio.



Visitando una de las explotaciones salinas, llamó su atención un trocito de mineral rojo-pardo que le recordó las sales potásicas rojas, las carnalitas, de los yacimientos alemanes.

Es cierto que nadie supo responder con seguridad sobre su procedencia, posiblemente era uno de los ejemplares de la colección de sales recibida de Alemania. Pero el académico Kurnakov tomó este trozo y lo llevó a Leningrado, donde lo analizó y, ante la admiración general, este trozo resultó ser cloruro potásico.

Se tenía el primer hallazgo, pero esto era aún poco. Había que demostrar que este potasio procedía de las profundidades de la región de Solikamsk y que allí existían grandes reservas.

Hubo que perforar pozos y, en las difíciles condiciones de la década del veinte, extraer la sal de las profundidades del suelo y estudiar su composición.

De esto se encargó uno de los más eminentes geólogos del Comité Geológico, P. Preobrazhenski.

Él señaló la necesidad de perforar pozos profundos, que pronto alcanzaron las espesas capas de sales potásicas, abriendo una nueva era en la historia del potasio en toda la superficie terrestre.

Ahora, después que han transcurrido varias decenas de años desde el momento de este descubrimiento histórico, ha cambiado completamente el cuadro de la distribución de las

reservas de potasio entre todos los países del mundo. Si expresamos estas reservas en millones de toneladas de óxido de potasio, gran parte corresponde a la Unión Soviética; a Alemania, sólo 2.500 millones de toneladas; a España, 350 millones; a Francia, 285 millones, y cantidades relativamente pequeñas a EE.UU. y otros países.



*Figura 15.6 El geólogo P. Preobrazhenski (1874-1944)*

Sin embargo, no toda la cantidad de potasio existente en los yacimientos de la Unión Soviética está todavía explorada. Es muy seguro que la URSS aumente pronto aún más sus reservas y se descubra el panorama de la migración del potasio en los antiguos mares de Perm, hace 300-400 millones de años.

Ahora nos figuramos este remoto pasado de la historia geológica de nuestro país del modo siguiente. El antiguo mar de Perm ocupaba todo el oriente de la parte europea de la Unión Soviética. Este mar era la parte sur poco profunda del océano que penetraba desde el norte. Golfos y brazos aislados entraban, junto al mismo Arjánguelsk, al Lago Blanco y hasta Nóvgorod. De límite oriental le servía la cordillera de los Urales y por el suroeste extendía sus largos brazos hasta la cuenca del Donetz y hacia Járkov. Por el sureste se alejaba hacia el sur en la región del Caspio. Algunos hombres de ciencia suponen incluso que el mar de Perm se unía, al principio de su existencia, con el gran océano Tetis que rodeaba la Tierra en los tiempos remotos de la época pérmica. Este gran océano fue descendiendo gradualmente, formando en sus costas lagos aislados y el clima húmedo fue reemplazado por vientos y el sol de los desiertos.



Las jóvenes cordilleras de los Urales fueron erosionadas por los fuertes y cálidos vientos que lo arrastraban todo consigo hacia las riberas del moribundo mar de Perm. Las aguas se desplazaron hacia el sur. En el norte, en los lagos y estuarios se acumularon el yeso y la sal común. En el sur aumentaba sin cesar el contenido de sales potásicas y magnésicas. En el sureste se aglomeraba la salmuera que obtiene artificialmente el hombre en las cuencas de sedimentación, por ejemplo, en el lago de Saki. Así se formaron paulatinamente distintos mares y lagos de poca profundidad, con sus aguas saturadas de sales de potasio y magnesio. Comenzaron a acumularse los sedimentos de sales potásicas. Desde Solikamsk hasta el mismo sureste de la cordillera de los Urales se extienden distintos yacimientos potásicos encubiertos bajo el suelo. Los pozos de sondeo tropiezan por doquier con espesas masas lenticulares subterráneas de sal común y encima de éstas con las

sales de potasio. Así, gracias al pequeño pedazo de sal rojo-parda, advertido por el ojo perspicaz de un hombre de ciencia en el laboratorio de una fábrica, fue resuelto uno de los problemas más grandiosos, el problema del potasio. En el país aparecieron posibilidades no sólo de abastecer por completo los campos con abonos y elevar su fecundidad; surgieron las posibilidades de crear una nueva industria química, la del potasio, y obtener las más diversas sales potásicas, tan necesarias para la industria química en general. Estos son los álcalis potásicos y las sales de los ácidos nítrico, clorhídrico y crómico; son las más diversas combinaciones que cada vez en mayor escala se introducen en la producción y la economía nacional. Junto con el potasio se obtiene una gran cantidad del metal magnesio en forma de "residuos", de los cuales, mediante electrólisis, se separa un metal ligero y brillante, cuya aleación, llamada "electrón"<sup>1</sup>, abre una página nueva en la industria constructora de ferrocarriles y aeroplanos.



Y ahora se realiza el sueño de los agroquímicos: obtener al año tal cantidad de óxido potásico que abastezca plenamente todos los campos de cultivo elevando sus cosechas.

Así se dibuja la historia del potasio en la tierra y en manos del hombre.

Pero hay todavía un pequeño rasgo característico de este elemento al que hay que conceder atención. Es curioso que uno de los isótopos del potasio posee propiedades radiactivas, es cierto que en un grado muy débil; es decir, que se presenta como átomo inestable, emite espontáneamente diversos rayos y se transforma en átomos de otra substancia, la cual, después de varias reagrupaciones, forma átomos de calcio.



*Figura 15.7 Silvinita, roca compuesta por capas de silvita y halita. Yacimiento de Solikamsk*

Durante largo tiempo este fenómeno no fue demostrado, pero después resultó que, en efecto, este mismo potasio 40 juega gran papel en la vida de la Tierra, pues al verificarse la transformación de los átomos inestables del potasio en átomos de calcio se desprende una cantidad de calor considerable. Los radiólogos soviéticos han calculado que a las sales potásicas les corresponde por lo menos el 20 % de todo el calor que se produce en la Tierra a causa de la desintegración atómica, y de aquí, la enorme importancia que la desintegración de los átomos de potasio tiene en

los procesos térmicos de la Tierra. Calculando la cantidad de argón-40 que se produjo durante esta desintegración, los hombres de ciencia determinan con gran exactitud la edad de las rocas. Se comprende que los biólogos y fisiólogos trataran de explicar el significado de estas propiedades en el problema de la vida de la planta misma y lanzaran la idea de que el milagroso y enigmático cariño de las plantas hacia el potasio está relacionado con el hecho de que los átomos de este elemento con sus radiaciones ejercen una influencia especial sobre la vida y crecimiento de las células.

En este sentido se han efectuado numerosos experimentos que por ahora no dieron resultados concretos. Seguramente el papel de estos átomos desintegrables de potasio y de sus radiaciones es muy considerable y provoca una nueva serie de particularidades en el crecimiento y desarrollo de la célula viva y de todo el organismo.



Estas son las páginas de la Geoquímica del potasio, de este elemento químico impar y vagabundo. Tal es la historia de su "peregrinación" Y de su cielo de transformación en la Tierra.

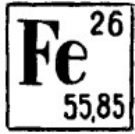
Sobre cada elemento químico podría relatarse una historia análoga de su peregrinación en el seno y la superficie de la tierra, en la industria, pero para muchos de ellos, las fases aisladas de su historia escapan aún de la observación del investigador; sobre muchos pueden escribirse sólo fragmentos sueltos. Al geoquímico del futuro le corresponde la tarea de agrupar y convertir estos fragmentos en una descripción completa y consecuente. La historia del potasio está más clara, porque todas las épocas de vida de este importante elemento son evidentes para nosotros.

No sólo conocemos su historia, sino que tenemos en nuestras manos medios potentes para la búsqueda de sus yacimientos, para la tecnología de su utilización y sólo se mantiene aún enigmático su papel en el organismo vivo, ¡seguramente la página más interesante y fundamental de su historia!

---

<sup>1</sup> No debe confundirse el electrón - aleación con el electrón-partícula de electricidad negativa; esto es sólo una coincidencia circunstancial de palabras.



**Capítulo XVI****EL HIERRO Y LA EDAD DE HIERRO**

El hierro no es sólo el metal más importante de la naturaleza que nos rodea, sino también la base de la civilización y de la industria, un arma de guerra y de trabajo pacífico. Es difícil encontrar en toda la Tabla de Mendeléev otro elemento que se halle tan ligado con el pasado, presente y futuro de la humanidad. Con palabras admirables habló del hierro uno de los primeros mineralogistas de la Roma antigua, Plinio el Viejo, que pereció en el año 79 de nuestra era durante la erupción del Vesubio asfixiado por *el polvo y cenizas vomitadas por el volcán*"; así escribió, refiriéndose a Plinio, el mineralogista ruso Vasili Severguín hace más de cien años.

En su magnífica traducción leemos las páginas vivas de la historia del hierro, tal como fue descrita por Plinio: "Las minas de hierro hicieron don al hombre del arma más excelente y más perversa. Ya que con ella hendimos la tierra, plantamos las matas, labramos los campos de las feraces huertas y, podando las viñas silvestres con uva, las hacemos retoñar cada año. Con esta arma construimos casas, demolemos las piedras y empleamos el hierro en usos análogos. Pero con ese mismo hierro hacemos la pelea, la lucha y el pillaje; y le utilizamos no sólo de cerca, sino también lanzándolo alado a lo lejos, ya desde troneras, con las vigorosas manos, bien en forma de flechas emplumadas. En mi opinión, este es el artificio más depravado del ingenio humano. Pues para que la muerte alcance más pronto al hombre, la hicimos alada, dotamos de plumas al hierro. De todo lo cual hay que adjudicarse la culpa al hombre y no a la naturaleza".

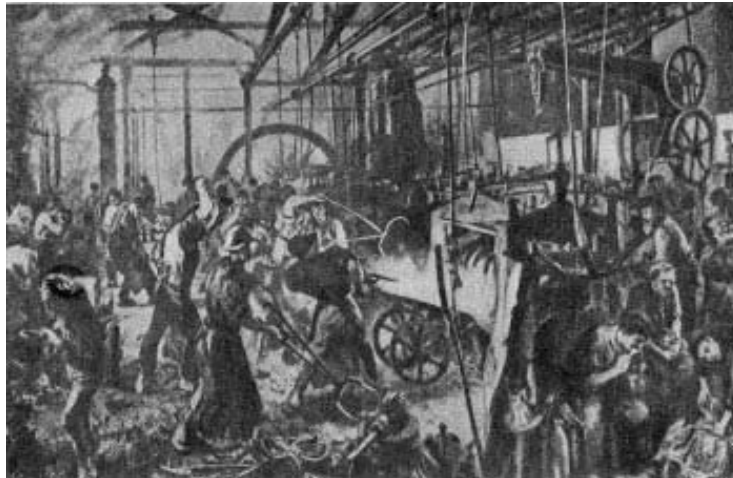
La lucha por el hierro transcurre a través de toda la historia de la humanidad, iniciándose en los milenios IV y III antes de nuestra era, cuando por primera vez aprendió el hombre a dominar y manejar este metal.



*Figura 16.1 Emblema alquimista del hierro, que se utilizaba en la Edad Media*

Es posible que al principio se limitara a recoger las piedras caídas del cielo, los meteoritos, y de ellos elaboró utensilios parecidos a los que usaban los aztecas de México, los indios de América del Norte, los esquimales de Groenlandia y los habitantes del Cercano Oriente. No en vano existe una antigua leyenda árabe en la que se dice que el hierro es de origen celestial. Incluso, en el lenguaje kóptico se le llama "piedra del cielo". Los árabes, haciendo eco a las antiguas tradiciones egipcias, decían que en el desierto de Arabia llueven gotas de oro del cielo; en la

tierra, el oro se transforma en plata y, después, en hierro negro, como castigo a las tribus que intentan posesionarse de las dádivas del cielo.



*Figura 16.2 Cuadro de una fábrica productora de hierro (siglo XIX)*

Durante mucho tiempo, el hierro no adquirió amplia difusión, puesto que su extracción por fusión de los minerales presentaba grandes dificultades, y, las piedras caídas del cielo, los meteoritos, eran muy escasos.

Solamente a partir del primer milenio de nuestra era, el hombre aprendió a fundir los minerales de hierro, y la edad de bronce fue reemplazada por la edad de hierro que se mantiene hasta nuestros días en la historia de la civilización.



En la compleja vida histórica de los pueblos, la lucha por el hierro, lo mismo que por el oro, jugó siempre un gran papel; pero un verdadero dominio de este metal no fue posible para los metalurgos de la edad media, ni para los alquimistas; esto se logró sólo a comienzos del siglo XIX; y de forma gradual el hierro fue convirtiéndose en el metal más importante de la industria. En el proceso de desarrollo de la metalurgia, los viejos hornos de tipo artesano fueron reemplazados por los altos hornos y junto a ellos se erigieron grandiosas fábricas metalúrgicas con capacidad de producción de miles de toneladas.

Los yacimientos de minerales de hierro han llegado a ser la riqueza fundamental de ciertos países. Las enormes reservas de hierro de Lorena, que se valoraban en varios miles de millones de toneladas, han sido la causa de numerosas luchas entre capitalistas. Sabemos cómo en la década del 70 del siglo pasado, Francia y Alemania se disputaron la posesión de las riquezas minerales de la cuenca del Rin.

Conocemos los episodios de lucha entre Inglaterra y Alemania por poseer Kirunavara, ese yacimiento maravilloso de la Suecia polar, que produce al año hasta 10 millones de toneladas de magnífico mineral de hierro.

Conocemos también, cómo fueron descubriéndose poco a poco las riquezas de hierro en Rusia, cómo comenzó su explotación, primero en Krivói Rog y en los Urales y, finalmente, en los yacimientos de la Anomalía de Kursk.

Los numerosos yacimientos del País Soviético constituyen una potente base para la industria suministrándole el hierro necesario para la producción de carriles, construcción de puentes, locomotoras, maquinaria agrícola y otros útiles destinados al trabajo pacífico. Los

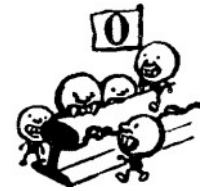


índices de crecimiento de la producción de hierro fundido y de acero alcanzan en la actualidad muchos millones de toneladas anuales.

En las diferentes fases de la lucha por este metal, se van estableciendo las nuevas formas de desarrollo de la metalurgia moderna.

Con frecuencia, el hierro y el acero ordinario son substituidos por nuevas clases de acero de alta calidad. Con objeto de fortalecer ciertas propiedades del metal, concediéndole mayor dureza, tenacidad y estabilidad, se adicionan a las aleaciones en cantidades de décimas por ciento, algunos metales, como el cromo, níquel, vanadio, wolframio y niobio.

En los altos hornos, en los talleres de fundición de acero, se resuelve una de las tareas más importantes de la humanidad en su lucha por el hierro: mejorar las cualidades del metal, descubrir nuevas reacciones químicas. El hierro, por decirlo así, se escapa de las manos del hombre; este metal no es el oro que se acumula y conserva en las cajas de caudales y en los bancos, y sólo una parte insignificante del mismo se pierde, se dispersa. El hierro es inestable en la superficie de la Tierra, en las condiciones que nos rodean. Todos sabemos con qué facilidad se oxida recubriéndose de una capa de herrumbre. Basta con exponer cierto tiempo a la acción del aire un trozo húmedo de hierro, para ver cómo aparecen rápidamente manchas de óxido en su superficie. Si no se pintan los tejados de hierro con pintura al aceite, al cabo de un año la herrumbre originaría en ellos agujeros enormes. En las excavaciones antiguas hallamos utensilios de hierro convertidos en óxidos hidratados de color pardo; las lanzas, flechas, corazas, todo se corroe, subordinándose a la ley química que rige los procesos de oxidación del hierro por la acción del oxígeno contenido en el aire. Una cuestión de capital importancia para la humanidad es preservar al hierro contra la corrosión.



*Figura 16.3 Geoda de limonita (hematite parda) de las minas de Bakal, en los Urales meridionales. Se originó a base de la descomposición del carbonato de hierro (siderita). Se conserva en el Museo del Instituto de Minas de Sverdlovsk*

El hombre, además de mejorar las cualidades del hierro por medio de los aditivos que acabo de mencionar, lo protege recubriéndolo de zinc o de estaño, transformándolo en hojalata; arena y níquel las partes activas de las piezas de las máquinas; cubre el hierro con distintas pinturas, le somete a tratamiento con sales fosfóricas. El hombre utiliza diversos procedimientos para defender al hierro contra la acción corrosiva de la humedad y del oxígeno que nos circundan. Y hay que reconocer que esta tarea le es muy difícil de realizar; para su resolución, inventa nuevos métodos de aleación y recubrimiento, empleando el zinc y el cadmio; busca elementos substitutivos del estaño. Pero los procesos químicos naturales se verifican espontáneamente; cuanto mayor sea la cantidad de hierro extraída por el hombre de las entrañas de la Tierra, cuanto más se incremento la industria siderúrgica, tanto mayor será su preocupación por proteger y conservar este metal.



*Figura 16.4 Extracción de mineral de hierro en las minas de la montaña Vysókaia en los Urales, cerca de Nizhni Taguil (región de Sverdlovsk)*

Qué extraño parece hablar de la protección y conservación del hierro, siendo este metal tan abundante en la naturaleza. A propósito, recientemente se han celebrado varios congresos científicos, donde los geólogos, al calcular las reservas existentes de minerales de hierro, señalaron la posible escasez en el futuro de este metal y pronosticaron que dentro de 50 ó 70 años se agotarán los yacimientos mundiales y la humanidad deberá sustituir este metal por otro. Dijeron que el hormigón, la arcilla y la arena sustituirán al hierro en la construcción, en la industria y en la vida. Pero el tiempo va pasando y lógicamente podría pensarse que se aproximan los años de agotamiento de las reservas, sin embargo, los geólogos continúan descubriendo nuevos y nuevos yacimientos de hierro. Las reservas de minerales férricos en la Unión Soviética satisfacen plenamente las necesidades de la industria y no se ve el fin de sus nuevos descubrimientos.

El hierro es uno de los elementos más importantes del universo. Sus líneas espectrales características se observan en todos los cuerpos cósmicos y brillan en la atmósfera de las estrellas incandescentes; vemos los átomos de hierro moviéndose sin cesar en la superficie del Sol; estos átomos caen durante todo el año sobre la Tierra en forma de polvo cósmico, en forma de meteoritos. En el Estado de Arizona, en Africa del Sur, en las montañas Sijoté-Alíñ, en la URSS, se han encontrado grandes masas de hierro nativo procedentes del espacio cósmico. Los geofísicos aseguran que el centro de la Tierra está constituido de masas de hierro-níquel y que

nuestra corteza terrestre consiste en una costra de óxido, semejante a la escoria vítrea que emana en los altos hornos durante el proceso de fundición de hierro.

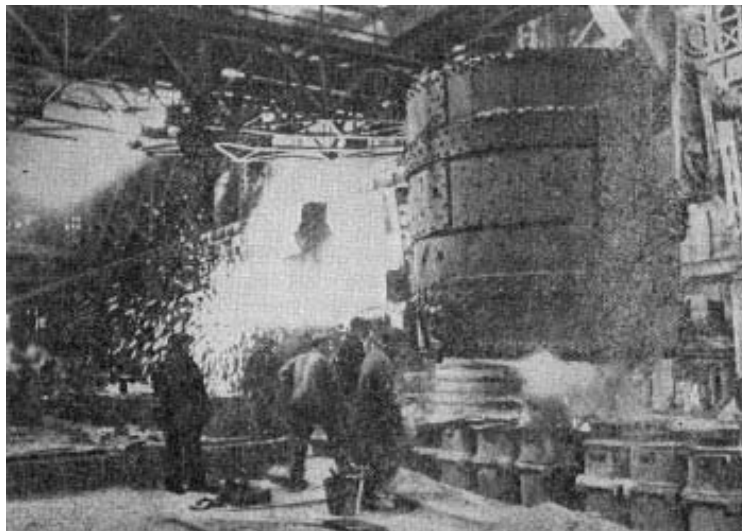
Pero todavía no son accesibles para la industria las enormes masas de hierro cósmico, ni los depósitos de este metal situados en las profundas entrañas de nuestro planeta. Vivimos y trabajamos en la primera y delgada capa de la Tierra y la metalurgia puede sólo contar con algunos centenares de metros de la misma, o sea, la profundidad, a la cual el arte minero actual permite extraer los minerales férricos.

Entretanto, los geoquímicos van descubriendo, paso a paso, la historia del hierro. Dicen incluso que la corteza terrestre contiene un 4,5% de hierro, que a excepción del aluminio, el hierro es el metal más abundante en la naturaleza. Se sabe que este elemento interviene en la composición de las masas que forman el manto de la Tierra.

Sabemos que en las rocas graníticas quedan cantidades relativamente pequeñas de hierro, como lo demuestran sus colocaciones blancas, rosa y verde de tono claro. Pero en la superficie terrestre se acumulan, debido a reacciones químicas complejas, enormes reservas de minerales férricos.

Unos minerales se forman en los subtrópicos, en donde los períodos de lluvias tropicales alternan durante los calurosos días de sol del verano. En estos lugares, la parte soluble de las rocas es acarreada por las aguas, originando grandes depósitos sedimentarlos, costras minerales de aluminio y hierro.

Sabemos cómo durante la primavera llega hasta los lagos de los países nórdicos, enorme cantidad de hierro, procedente de la erosión de diversas rocas, arrastrado por las aguas impetuosas de deshielo que contienen materias orgánicas; en el fondo de los lagos, a donde afluyen estas aguas, se sedimentan granos apelmazados o concreciones enteras de hierro, en cuya formación intervienen las bacterias especiales de hierro... Así, en el transcurso de la larga historia geológica de la Tierra, fueron depositándose concentraciones de mineral de hierro en los pantanos y en las profundidades del mar; y no hay duda de que en muchos casos, la vida vegetal y animal influyó en el proceso de formación de estos yacimientos.



*Figura 16.5 Vaciado en moldes del acero en una fábrica metalúrgica moderna*

De este modo, se originaron los grandes yacimientos de Kerch; seguramente, también así, se acumularon las enormes reservas de minerales ferruginosos de Krivói Rog y de la Anomalía magnética de Kursk.

Los minerales de estos dos últimos yacimientos fueron depositados por las aguas de los mares antiguos hace santísimo tiempo, que el aliento caliente de las profundidades tuvo tiempo suficiente para transformar su estructura y, en lugar de las hematites pardas, hallamos en ellos modificaciones minerales de color negro, compuestas de hematita y magnetita.

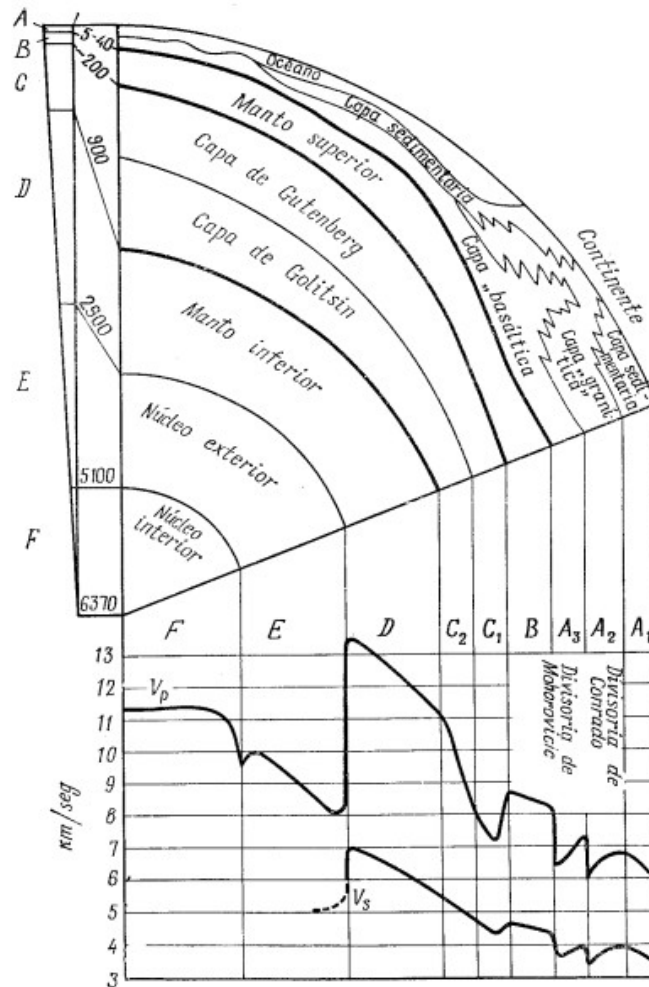


Figura 16.6 Corte del globo terráqueo según los datos contemporáneos. Para mejor comprensión del esquema, su escala está deformada. La verdadera correlación de los estratos se muestra en el segmento estrecho de la izquierda. La base para distinguir los estratos en el interior de la Tierra son las observaciones sobre el paso de las ondas sísmicas: longitudinales, que se desplazan a gran velocidad (curva superior) y transversales (curva inferior)

La "peregrinación" del hierro por la superficie terrestre se verifica sin interrupción. Verdad es que en el agua del mar se acumula en cantidades pequeñas, por lo que se acostumbra a decir que esta agua prácticamente no contiene hierro. Sin embargo, en condiciones especiales, excepcionales, en el mar y en los golfos poco profundos se depositan sedimentos ferruginosos, yacimientos enteros de mineral de hierro, que se observan en varias formaciones marítimas antiguas. De esta manera, se originaron nuestros notables yacimientos de este metal en Ucrania (cerca de Jopior), en Kerch y en los Urales (junto a Aiat). Por la superficie terrestre, por los arroyos, ríos, lagos y pantanos,

por todas partes "viaja" el hierro; y las plantas se alimentan de este importante elemento químico, sin el cual la vida vegetal no podría existir.



*Figura 16.7 Las rocas de magnetita atraen los clavos de una nave. La nave se va a pique. Grabado antiguo (año 1497).*

Si privamos de hierro un tiesto con flores, veremos que éstas pronto pierden su colorido y aroma, las hojas se ponen amarillas y comienzan a secarse.



La clorofila vivificante, que crea esta fuerza de las células vivas, que extrae el carbono del anhídrido carbónico y entrega el oxígeno al aire, no podría existir sin el hierro, puesto que la presencia en ella de este elemento, es una condición indispensable para su formación.

Así, de esta forma, en las plantas, en los organismos vivos se verifica el ciclo del hierro en la Tierra, y los glóbulos rojos de la sangre humana constituyen una de las etapas finales en la "peregrinación" de este metal, sin el cual no existiría la vida, ni el trabajo pacífico.

## Capítulo XVII EL ESTRONCIO, METAL DE LAS LUCES ROJAS

¿Quién no conoce los bellos fuegos de "bengala" y deslumbradores cohetes, cuyas rojas chispas se extinguen lentamente en el aire, cambiándose en luces verdes también vivaces?



En las grandes fiestas encienden sus millares de fuegos bengalas, soles giratorios, cohetes silbantes de los fuegos artificiales alumbrando la oscuridad de la noche con luces rojas o verdes, amarillas o blancas. Estos fuegos rojos de las bengalas se elevan sobre el mar lanzados por los buques en ocasiones de grave peligro, se arrojan desde los aeroplanos para la señalización nocturna.

Pocos saben cómo se hacen estos vivos fuegos de "bengala", que recibieron su denominación de la India. Allí, durante las ceremonias religiosas, los sacerdotes infundían temor a los orantes, encendiendo súbitamente, en la penumbra de los templos y santuarios, misteriosos fuegos verde-mortecinos o rojo-sangrientos.

No todos saben que estos fuegos se obtienen de sales de los metales estroncio y bario, dos metales peculiares de las tierras pesadas, que durante mucho tiempo no se consiguió distinguir uno del otro, hasta que se advirtió que al arder uno da luz verde amarillenta y el otro roja viva. Pronto se supo obtener sales volátiles de ambos metales, mezclarlas con sal de Berthollet, con carbón y azufre, y con esta mezcla moldear a presión bolitas, cilindros y pirámides con los que se elaboran las bengalas y las mechas de los fuegos artificiales.

Tal es una de las últimas paginas de la compleja y prolongada historia de estos dos elementos. Posiblemente resultaría aburrido si me pusiera a describir con detalle el largo camino que recorren los átomos de estroncio y bario en la corteza terrestre, comenzando en la masa fundida de magmas graníticos y alcalinos y terminando en los establecimientos industriales: en la producción del azúcar, en la industria militar, en la metalurgia, en la fabricación de fuegos artificiales.

Hay que decir que, siendo todavía estudiante de la Universidad de Moscú, leí en un periódico del Volga un magnífico relato sobre los minerales del estroncio, descrito por un especialista de Kazan. Este notable mineralogista contaba cómo junto con su acompañante recogía en la ribera del Volga bellos cristales color cielo del mineral celestina.



Figura 17.1 Salva de fuegos artificiales en Leningrado



Escribía cómo se originaron estos cristales de los átomos diseminados en las calizas de Perm y cuales eran sus propiedades y empleo; este relato quedó tan grabado en mi memoria que durante muchas decenas de años recordé el mineral celestina, así llamado de la palabra latina "celum" ("cielo"), debido a su bello color azul celeste.

Durante muchos años soñaba con encontrar esta piedra y en 1938 lo conseguí. Un inesperado hallazgo me hizo recordar aquel maravilloso relato.

Descansábamos en Kislovodsk, en el Cáucaso del Norte. Después de una enfermedad grave, no podía aun andar por los montes, pero de todas formas un pensamiento me llevaba hacia los peñascales, canteras y precipicios rocosos.

Cerca del sanatorio estaban construyendo un bello edificio para una nueva casa de reposo. Lo recubrían con toba volcánica de color rosa traída de Armenia, de la aldea Artik. El cerco y el pórtico lo construían con dolomita amarillenta que tallaban cuidadosamente a martillo, esculpiendo preciosos ornamentos y adornos.

Me acostumbré a visitar la construcción y observar largo rato como la mano hábil de los obreros tallaba la blanda piedra dolomítica, separando de ella algunos trozos más compactos. "En esta piedra - dijo uno de ellos - se encuentran nódulos duros perniciosos, que nosotros llamamos "enfermedad de la piedra", porque perjudican el acabado de sus superficies. Los arrancamos y los arrojamos en aquel montón".

Me acerque a mirar, y de pronto, en un pedazo partido, vi un cristalito celeste. ¡Oh, esto era verdadera celestina! Una aguja azul preciosa, transparente, como el zafiro claro de la isla de Ceilán, como el aciano pálido y quemado por el sol.

Tome un martillo a un obrero, me puse a romper las piedras desechadas y enmudecí de júbilo.

Ante mi se hallaban cristales de celestina. Escobillas enteras de color celeste llenaban los huecos de los nódulos. Entre ellas había cristales blancos transparentes de calcita y el propio nódulo estaba formado de cuarzo y calcedonio gris, como un engaste firme y compacto para el collar de celestina.

Pregunte a los obreros de donde extraían la piedra para la edificación y ellos me mostraron el camino de la cantera. No pasaron dos días, cuando por la mañana temprano nos sentamos en un break y marchamos por un camino polvoriento al lugar de donde extraían la dolomita. Ibamos a lo largo del impetuoso riachuelo Alikonovka, pasamos junto al bello edificio del "Castillo del amor y la perfidia". El valle se estrechaba convirtiéndose en desfiladero; en los declives cortados pendían como cornisas las calizas y dolomitas. Y pronto vimos a to lejos las hendiduras con enormes estelas de escombros y pedazos de rocas laterales.

Al principio no tuvimos suerte. Todas las piedras que partíamos sin escatimar esfuerzos, obstinadamente, contenían cristales de calcita y cristal de roca o masas amorfas de ópalo blanco y gris y calcedonio semitransparente. Pero al fin acertamos con el lugar adecuado. Uno tras otro separábamos trozos de celestina azul, transportándolos abajo cuidadosamente y envolviéndolos en papel, y de nuevo nos arrastrábamos por las escombreras, recogiendo ejemplares admirables.



Llenos de orgullo llevamos nuestros ejemplares al sanatorio, los clasificamos y lavamos, pero esto nos pareció poco. Pasaron solo unos días y de nuevo nos balanceaba un caballejo en busca de celestina.

Nuestra habitación estaba abarrotada de terrones de dolomita con sus ojuelos celestes; el director del sanatorio nos miraba con reproche, pero nosotros traíamos mas y más minerales. Nuestra conducta acabó por intrigar a los vecinos y demás enfermos convalecientes del sanatorio. Todos se interesaron por la piedra celeste; algunos incluso marcharon siguiendo nuestros pasos a la cantera y para darnos envidia trajeron también ejemplares muy buenos.



Nadie comprendía para que recogíamos estas piedras. Y, cierta tarde aburrida de otoño, nuestros camaradas del sanatorio pidieron que les contase que es esta piedra azul, por qué se formó en la dolomita amarilla de Kislovodsk y para qué sirve. Nos reunimos en una habitación cómoda, coloqué los ejemplares ante los oyentes y, un poco intimidado por tan inesperado auditorio, del que muchos no sabían ni Química ni Mineralogía, comencé mi narración.

...Hace mucho, varias decenas de millones de años, el mar Jurásico superior arrastraba sus olas hasta las potentes cordilleras del Cáucaso, ya existentes entonces. El mar, ora se retiraba, ora inundaba de nuevo la costa, erosionando los acantilados graníticos y depositando en sus lindes esa arena roja que ahora alfombra los caminos alrededor del sanatorio.

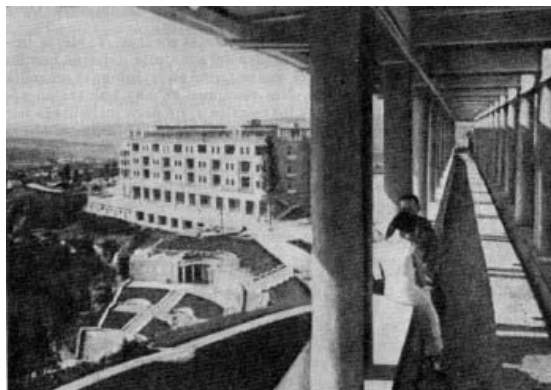
En pequeños golfos, en las desembocaduras de los ríos turbulentos descendientes de las cúspides del antiguo Cáucaso, se fueron creando grandes lagos salinos. El mar Jurásico se retiró hacia el norte y, a lo largo de las costas, en el fondo de los lagos, estuarios y marismas, se depositaban aluviones arcillosas, arenas, se formaron estratos de yeso y a veces, incluso sal gema. En los lugares más profundos se depositaron capas compactas de dolomita, que ahora constituyen grandes estratos de color amarillo uniforme, gris y blanco.

Pero ¡qué destino más complejo y variado el de aquel mar del que se formaron estos sedimentos! Su litoral era un hervidero de seres vivos. Aquí se podría admirar esa estampa abigarrada de la vida que nos asombra en las murallas rocosas del mar Mediterráneo a incluso en los golfos templados del fiordo de Kola.

Variadas algas azul-verdosas y rojas, cangrejos con sus bellas caperuzas, caracolas y conchas de las más distintas formas y color, todo esto poblaba las peñas, cubriéndolas de un tapiz multicolor. En el agua fulguraban los erizos marinos con sus lindas espinas, grandes estrellas de cinco picos radiales de estructura sinuosa, medusas de todas las formas posibles.

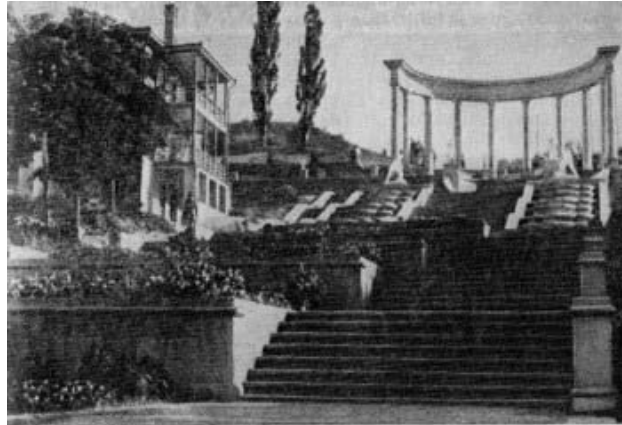
En las piedras del fondo, a lo largo de la costa, vivían en cantidad innumerable diminutos radiolarios; algunos de ellos eran transparentes como el cristal, constituidos de ópalo puro; otros, a modo de pequeños globitos blancos de dimensiones no superior a un milímetro, dotados de un pequeño tallo tres veces mayor que el cuerpo. Descansaban sobre las piedras en bellas malezas mohosas y a veces incluso recubrían las espinas de los erizos de mar, navegando con ellos por el fondo.

Estos eran los célebres radiolarios acantáridos, cuyos esqueletos se componían de espículas en cantidad de 18 a 32. Durante mucho tiempo nadie supo de qué estaban formados y sólo casualmente se descubrió que están constituidos no de sílice, ni de ópalo, sino de sulfato estróncico.



*Figura 17.2 Sanatorio en Kislovodsk, construido de dolomita del lugar*

Estos innumerables radiolarios acumulaban en su complicado proceso vital el sulfato de estroncio, extrayéndolo del agua del mar, y, gradualmente, construían sus espículas cristalinas. Al morir los radiolarios caían al fondo del mar. Así se dio comienzo a la acumulación de uno de los metales raros, que vino a parar a las aguas costeras de los mares del Cáucaso procedentes de los macizos graníticos erosionados, de aquellos feldespatos blancos que entran en la composición del granito caucasiano.



*Figura 17.3 Escalera de dolomita en Kislovodsk*

Puede ser que nunca hubiésemos adivinado la existencia de estos acantáridos en los mares Jurásicos, y a los químicos no se les hubiera ocurrido buscar estroncio entre las calizas puras y dolomitas de nuestras canteras, si en aquellos remotos tiempos geológicos, nuevos acontecimientos no hubiesen turbado el reposo de los antiguos sedimentos de dichos mares.



El Cáucaso comenzó a sufrir nuevos paroxismos de su actividad volcánica. De nuevo se repitieron las erupciones de masas derretidas, comenzó la formación de cordilleras, por las fisuras y resquebraduras infiltrábanse los vapores hirvientes y surtidores que emergían a la superficie terrestre, y en la región de Minerálnie

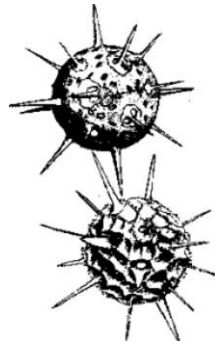
Vody, rompiendo los estratos de rocas cretáceas y terciarias, surgieron los notables lacolitos, los montes de Beshtau, Zheléznaia, Mashuk y otros.

La respiración ardiente de las profundidades impregnaba las calizas, los sedimentos de yesos y sales, formando mares y ríos subterráneos de aguas minerales, bien frías, bien calientes todavía por el aliento de la Tierra; estas aguas se infiltraban por las grietas de las dolomitas y calizas de las depositaciones antiguas, obligándolas a recristalizarse por la acción de sus soluciones químicas y convertirse en la bella y consistente piedra dolomítica con que se construyen los edificios.

Por efecto de complicadas reacciones químicas, los diminutos y dispersos átomos de estroncio, restos de los radiolarios acantáridos, pasaron al estado de disolución y de nuevo se depositaron en los huecos de las dolomitas jurásicas, originando los bellos cristales de celestina azul.

Así, en el transcurso de muchos miles de años, paulatinamente, tuvo lugar la formación de nuestros geodas celestínicos, y ahora, cuando penetran las soluciones frías de la superficie terrestre, los cristales de celestina se enturbian, se hacen opacos, se corroen sus brillantes facetas y los átomos de estroncio comienzan de nuevo a migrar por la superficie terrestre en busca de nuevas combinaciones químicas más estables.

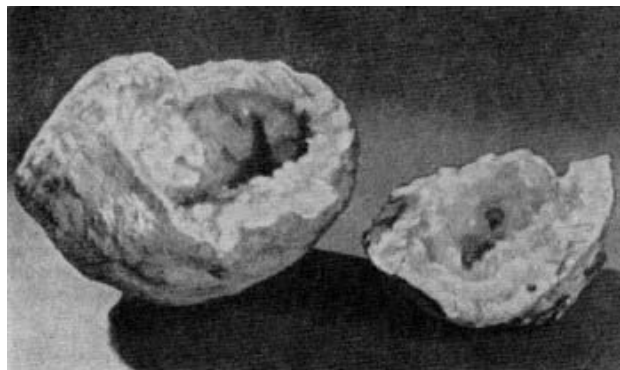
El cuadro de la historia de las celestinas de Kislovodsk que acabo de diseñar, se repite en muchas regiones del país. Por doquiera donde en el transcurso de la historia de la corteza terrestre desaparecieron grandes cuencas marinas y se formaron mares pequeños y lagos salados, allí murieron, durante decenas de millones de años, los glóbulos de los acantáridos y de sus diminutas espículas se fueron formando los cristallitos de estroncio.



*Figura 17.4 Esqueletos de organismos elementales, los acantáridos, cuyas espículas se forman de sulfato estronciado*

Un cinturón compacto de rocas de celestina rodea las cordilleras del Asia Central, en los antiquísimos mares del periodo silúrico hallamos los mismos cristales en la República de Yakutia; pero los yacimientos más grandes están ligados a los mares de la época de Perm, que depositaron enorme cantidad de celestina en las calizas de la región del Volga y del Dviná Septentrional.

No voy a contar qué ocurre después con los cristales de celestina en la corteza terrestre. Muchos de ellos, como hemos visto, comienzan de nuevo a disolverse, sus átomos van a parar al suelo, son arrastrados por las aguas, se disuelven en el espacio sin límites de los océanos, se concentran en lagos salinos y estuarios marinos, forman las espículas de los acantáridos y nuevamente, después de millones de años, aparecen los cristales de celestina.



*Figura 17.5 Geoda de celestina partido en dos trozos*

En esta sucesión permanente de procesos químicos, en el complejo ciclo de los fenómenos naturales, el mineralogista y el geoquímico captan sólo ciertos episodios sueltos, fases aisladas. Para llegar a penetrar en los complicados caminos de la "peregrinación" de los átomos en el universo, hay que poner un ojo experto, sutileza en el análisis de los problemas y concepciones científicas claras y profundas. De fragmentos se crean páginas completas, de páginas sueltas el gran libro de la Química de la Tierra, que nos cuenta, desde el principio hasta el fin, cómo viaja

el átomo por la naturaleza, con quién comparte caminos comunes, dónde encuentra su muerte tranquila o agitada en forma de cristales estables, dónde los átomos dispersos eternamente cambian de acompañante, bien pasando a disoluciones, bien diseminándose sin fin en el gran espacio de la naturaleza.

El geoquímico debe comprender estos complejos caminos del átomo.

A través del menor cristal, estudiando a investigado, debe llegar como por un hilo hasta el principio de la madeja. ¿Acaso podemos ahora hablar sobre el principio de la historia de los átomos de estroncio?

¿Dónde y cómo nacieron en la villa del universo? ¿Por qué brillan las líneas del estroncio con especial viveza en algunas estrellas, qué hacen allí y de dónde provienen las líneas del estroncio en los rayos del Sol? ¿Cómo se congregó este metal en la superficie de la corteza terrestre, cómo se concentró en la masa fundida de los magmas graníticos, cómo, junto con el calcio, se acumuló en los blancos cristales de feldespato?

Todas estas son preguntas a las que el geoquímico no puede dar respuesta. El no puede hablar de esto con la claridad con que yo acabo de contar la historia de los cristales azules de celestina que hallé en los alrededores de Kislovodsk. Y poco también puede contar de las páginas finales de la historia de los átomos de estroncio.

Durante mucho tiempo el hombre no prestó atención a este elemento. A veces lo empleó para los fuegos rojos, pero para esto no era necesario extraer grandes cantidades de sales de estroncio del seno de la Tierra.



Pero, he aquí, que un químico halló una aplicación acertada del estroncio en la producción del azúcar. Descubrió que el estroncio forma con el azúcar un compuesto especial, el sacarato de estroncio, que se puede emplear con éxito para purificar el azúcar, separándolo de la melaza. Se inició el uso amplio de este metal, cuya obtención en Alemania e Inglaterra alcanzó grandes proporciones. Pero otro químico halló que el estroncio puede ser sustituido por el calcio, elemento más barato. El método del estroncio resultó innecesario y de nuevo este metal cayó en el olvido, se

cerraron minas y sólo en algunos lugares, tratando los residuos de sus sales, los elaboraban para utilizarlos en los fuegos rojos.

Comenzó la guerra imperialista de los años 1914-1917. Se requerían enormes cantidades de bengalas de señales. Las luces rojas, atravesando la niebla, se hicieron imprescindibles para iluminar el espacio, para la fotografía aérea; las sales de las tierras raras y de estroncio se aplicaban como material impregnante para los carbones de los reflectores.

El estroncio halló una nueva aplicación.

Después los metalurgos aprendieron a obtener el estroncio metálico. A semejanza del calcio y bario metálicos, limpia los metales férreos de gases perniciosos y otras impurezas.



Empezaron a utilizarlo en la metalurgia del hierro. Químicos, técnicos-metalurgos y encargados de la producción se interesaron nuevamente por el estroncio, y en la actualidad los geoquímicos buscan de nuevo sus yacimientos, estudian las acumulaciones de estroncio en las grutas del Asia Central, obtienen en grandes fábricas sus sales, las extraen de las aguas minerales. En una palabra, el estroncio ha vuelto a convertirse en un factor de la industria y la economía. Cuál será su destino en el futuro, no lo sabemos. Lo mismo que la primera, la última página de la historia de este metal tampoco es conocida por los geoquímicos...



De este modo concluí mi relato a los oyentes del sanatorio sobre las piedras azules. Aquellos cristales azules, a primera vista innecesarios, se convirtieron ante sus ojos en partículas de la construcción socialista. Todos comenzaron a mirar de otro modo nuestras expediciones mañaneras a la cantera y hasta el médico-jefe dejó de gruñir porque atestábamos la habitación de piedras, violando el régimen sagrado del sanatorio. En una palabra, la celestina nos reconcilió. Entonces decidí incluso escribir una narración sobre este mineral. Se encuentra impresa en mi libro "Memorias sobre las piedras".

**Capítulo XVIII****EL ESTAÑO, METAL DE LOS BOTES DE CONSERVA**

El estaño es un metal "modesto" que al parecer no se distingue en ningún aspecto. En la vida ordinaria es raro oír hablar de él, a pesar de que lo empleamos con mucha frecuencia.



Su destino es servir al hombre, pero con otras denominaciones. Posiblemente a muchos jamás se les habrá ocurrido pensar que el estaño es el constituyente esencial de diversos y útiles materiales, como el bronce, la hojalata, el metal de soldar, el metal antifricción, la piedra de imprenta, el metal para cañones, el "estaño", los bellos esmaltes con que se recubre la porcelana, las pinturas, etc., etc.

Se caracteriza por sus admirables y particularísimas propiedades, algunas de las cuales no han sido todavía descifradas por los geoquímicos y continúan siendo un enigma.

El estaño se formó en el seno del magma granítico rico en sílice, llamado magma "ácido", que ascendía de las entrañas de la Tierra. Sin embargo, no en todos los magmas ácidos se descubre la presencia de estaño y, hasta la fecha, desconocemos las leyes que establecen el enlace mutuo entre este metal y el granito: no sabemos por qué el estaño abunda en unos yacimientos, mientras que en otros, al parecer de constitución idéntica, casi no existe.

Otra cuestión interesante es ¿por qué el estaño, siendo un metal pesado, no se hunde en la masa magmática fundida, como ocurre con otros metales pesados, sino que al contrario, tiende a elevarse y ocupar la parte alta del macizo granítico?

La causa reside en que en el seno de los vapores y gases, intensamente volátiles y dotados de gran energía, que se hallan disueltos en el magma, los elementos halógenos cloro y flúor juegan un importante papel. De la experiencia práctica sabemos que el estaño se une con estos dos gases incluso a la temperatura ordinaria. En el magma forma con estos gases combinaciones muy volátiles: los fluoruros y cloruros de estaño. Y en este estado gaseoso, el estaño, junto con otros compuestos volátiles (de silicio, sodio, litio, berilio, boro, etc.), ascienden hasta la zona superior del macizo granítico, durante el período de su enfriamiento, a incluso traspasan dicha zona llegando hasta las fisuras de las rocas próximas a la superficie terrestre. Aquí, al variar las condiciones fisicoquímicas, el cloruro y fluoruro de estaño reaccionan con los vapores acuosos. El estaño abandona a sus acompañantes, el cloro y el flúor, se combina con el oxígeno del agua y se separa, no como antes en forma de gas, sino como sustancia dura y brillante, la casiterita (piedra de estaño), mineral de gran importancia industrial. A veces, junto con la casiterita, se forman otros muchos minerales interesantes: topacio, cristal de roca ahumado, berilio, espato flúor, turmalina, wolframita, molibdenita, etc.



*Figura 18.1 Vetas pegmatíticas con rocas estanníferas en las formaciones graníticas. Cordillera de Turquestán*

Relativamente no hace mucho supimos que los grandes yacimientos de casiterita se originan no sólo de las combinaciones haloideas volátiles contenidas en los magmas graníticos, sino también de los restos graníticos en períodos más avanzados de su enfriamiento. Cuando los vapores acuosos se condensan y se transforman en agua líquida, ésta difunde lejos del foco materno diferentes compuestos metálicos, lo más frecuente en forma de sulfuros, o sea, combinaciones de los metales con el azufre. Varios de estos procesos no están del todo claros para nosotros, sin embargo, sabemos que el estaño también se desprende del magma de esta misma manera.



Lo interesante es que en este caso se repite el proceso antes mencionado, o sea, abandona a su agente portador, el azufre, lo mismo que entonces hizo con los halógenos, se combina con el oxígeno y forma su mineral predilecto, la casiterita.

El estaño entra también en la composición de otros muchos minerales, pero todos ellos se hallan en la naturaleza en cantidades pequeñísimas, algunos son extraordinariamente raros, por tanto, su importancia industrial es insignificante.

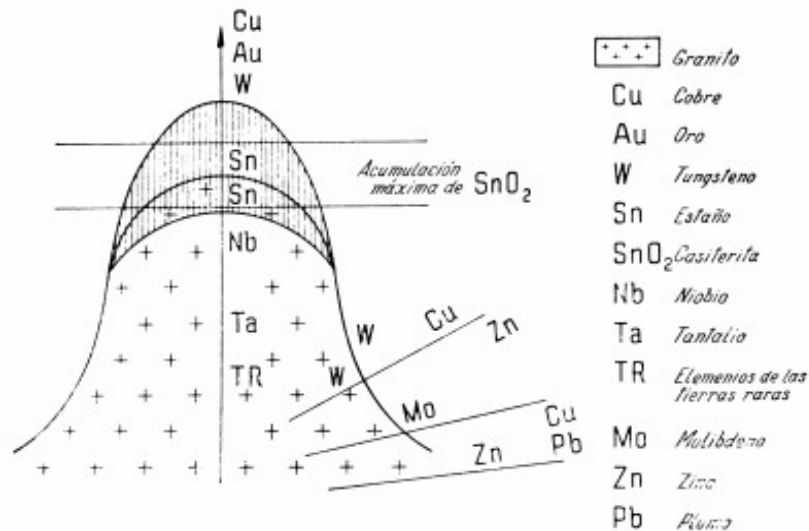


Figura 18.2 Esquema de la distribución del estaño y de sus elementos acompañantes en la parte superior de un macizo granítico

El mineral característico de estaño fue y es por ahora sólo la casiterita, SnO<sub>2</sub>, que en estado puro contiene cerca del 78.5% de estaño.

La casiterita (del griego "kassiteros" que significa "estaño") es por lo general de color negro o pardusco. Su coloración negra se explica por las impurezas de hierro y manganeso que contiene. A veces es amarilla o roja, rara vez incolora. Sus cristales son de ordinario muy pequeños.

Debido a su dureza, estabilidad química y gran peso, la casiterita no es barrida, ni destruida por el viento al actuar éste sobre las masas graníticas. Por el contrario, se concentra, junto con otros minerales pesados, en las zonas de destrucción de los granitos, en los lechos de los ríos o en las costas del mar, formando a veces extensos depósitos superficiales, los yacimientos de piedra estannífera.



Por tanto, la casiterita se extrae, bien de los yacimientos "básicos", bien de yacimientos secundarios, los depósitos superficiales.



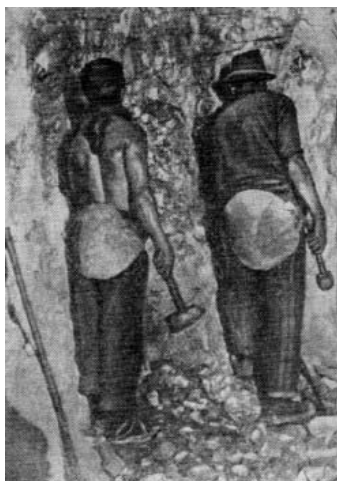
Cualquiera que sea el procedimiento de extracción empleado; el mineral de estaño se somete primeramente a un proceso de enriquecimiento o concentración para liberarlo de las diversas impurezas que le acompañan. Después, pasa a la fundición, donde el material es triturado, se mezcla con carbón y se calienta. El estaño es reducido por el carbono del combustible, el oxígeno se une al carbono, que se desprende en forma de anhídrido carbónico, y queda el estaño en estado metálico.

El estaño, obtenido por fundición de la casiterita, es un metal blando de color blanco argéntico (menos brillante que la plata), maleable, y puede extenderse en láminas finísimas. Funde a 231°C.

Posee propiedades muy originales. Al doblarse produce cierto crujido característico, llamado "grito" del estaño. Otra cualidad particular de este metal es su sensibilidad ante el frío. Expuesto a la influencia del frío, el estaño "enferma". En lugar de blanco argéntico adquiere color gris, aumenta de volumen, comienza a desmenuzarse y con frecuencia se convierte en polvo. Esta grave enfermedad se llama "peste del estaño". Por su causa, se han visto destruidos numerosos objetos de estaño de gran valor artístico o histórico. El estaño enfermo puede contagiar al metal sano. Por fortuna, la peste del estaño tiene curación. Para ello hay que refundirlo y dejarlo enfriar lentamente. Si esta operación se efectúa con suficiente cuidado (sobre todo el enfriamiento), el estaño adquiere de nuevo su aspecto y propiedades iniciales.

En un pasado remoto, precisamente el estaño fue el que dio un gran impulso al desarrollo cultural de la humanidad. El hombre hace muchísimo tiempo que conoce y utiliza este metal. Cinco o seis mil años antes de nuestra era, mucho antes de que aprendiera a extraer y trabajar el hierro, el hombre ya sabía fundir el estaño.

Debido a su blandura e inestabilidad, el estaño puro no se emplea para fabricar objetos. Sin embargo, el "bronce", aleación de color dorado compuesta de cobre y 10% de estaño (cuyo nombre proviene de la palabra persa brontpsion, que significa "aleación"), posee propiedades admirables: es más duro que el cobre, se moldea, forja y trabaja perfectamente. Si designamos la dureza del estaño con la cifra convencional 5, el cobre tendrá una dureza igual a 30, y la del bronce, aleación de cobre y pequeña cantidad de estaño, será de 100-150.



*Figura 18.3 Trabajos de extracción en las vetas estanníferas de Llallagua en Bolivia a la altura de 4.500 metros sobre el nivel del mar (año 1940)*

Esta propiedad fue la que dio en su tiempo tan amplia difusión al bronce, por lo cual los arqueólogos incluso le dedican una época especial, la edad de bronce, en la que los útiles de trabajo y las armas, así como los utensilios domésticos y los detalles de adorno eran casi exclusivamente de bronce. No sabemos cómo descubrió el hombre esta maravillosa aleación. Es posible que al fundir repetidas veces los minerales de cobre impurificados con estaño (semejantes yacimientos "mixtos" de cobre y estaño existen), el hombre llegara a observar las interesantes cualidades de esta fundición conjunta y comprendió su importancia.



En las excavaciones arqueológicas de colonias antiguas, con frecuencia se hallan, entre otros objetos, artículos de bronce bien conservados: utensilios de uso doméstico, monedas y figuras diversas. Cuando se precisa establecer la procedencia de estos objetos de bronce, si son de origen local o importados, el análisis químico proporciona valiosas indicaciones en este respecto. La purificación del metal en la antigüedad se efectuaba con mucha deficiencia.

Los métodos precisos actuales de análisis permiten descubrir la presencia de numerosos y diversos elementos en su composición en forma de impurezas insignificantes. Por la composición de estas impurezas se puede a veces presuponer a qué yacimientos corresponden el cobre y el estaño que constituyen el bronce en cuestión. Si el histórico o el arqueólogo consiguen demostrar que los objetos de bronce se elaboran en el lugar donde fueron hallados, el geólogo y el geoquímico deben emprender inmediatamente la búsqueda de estaño en esta región. De este modo puede descubrirse de nuevo la existencia de yacimientos estanníferos hace tiempo olvidados. Pero incluso después, cuando la edad de bronce fue remplazada por la edad de hierro, el bronce no perdió su significación. El hombre hizo de él objetos artísticos, acuñó monedas y moldeó campanas y cañones.



*Figura 18.4 Depósitos de arenas estanníferas en la Península de Itzamal. La masa mineral se lava con hidromonitores (lanzas de agua). El barro líquido obtenido se hace escurrir por zanjas especiales. Placer de Iogore-Bagrú (año 1940)*

El estaño posee la particularidad de formar también aleaciones notables con otros metales, por ejemplo, con el plomo, antimonio, etc.

En la actualidad, las aleaciones constituyen una rama del prodigio técnico, un mundo de transformaciones "hechiceras". Los hombres de ciencia soviéticos han estudiado e interpretado estos fenómenos "milagrosos", estas redistribuciones de los átomos que se verifican durante la fusión conjunta de dos o varios metales. Debido a los cambios que experimenta la estructura molecular, la aleación adquiere nuevas propiedades, distintas de las de cada metal tomado por separado.



*Figura 18.5 Un muchacho chino lavando las arenas estanníferas en la zanja. Archipiélago Malayo*

Por ejemplo, la aleación de metales blandos con frecuencia adquiere inesperadamente durezas elevadas.

La aleación de estaño y plomo, llamada metal blanco, se utiliza para las piezas de aparatos y tornos de gran potencia y precisión, en los que se requiere anular la acción del vástago de acero al girar a alta velocidad. Este tipo de aleación, denominado también "antifricción", tiene una gran resistencia al desgaste, o sea, un bajo coeficiente de rozamiento. Su aplicación técnica es amplísima, pues prolonga enormemente el plazo de servicio de máquinas costosas.

El estaño posee la notable propiedad de unirse por fusión a otros metales. En esta propiedad está basado el empleo en la industria y técnica de los llamados "materiales de soldadura", o sea, aleaciones de estaño con plomo y antimonio. No todos conocen la significación del estaño en la industria tipográfica. Es el componente esencial del llamado "metal de imprenta o tipográfico" del cual se moldean los "clichés", o sea, las composiciones con grabado en relieve que se utilizan en la impresión de ilustraciones.



No existe otra substancia que conceda tal brillo especular al mármol blanco y multicolor, como el polvo blanco de óxido de estaño.

Diversos compuestos de estaño se emplean en gran escala en la industria química y del caucho, en el estampado de percales, en el tinte de lana y seda, en la fabricación de esmaltes, barnices,

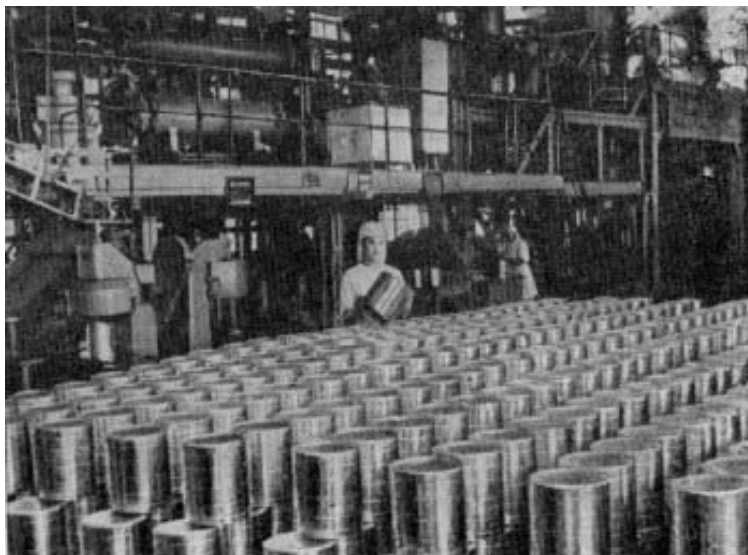
vidrios coloreados, oropeles dorados y plateados, y ni que decir tiene su importancia extraordinaria en la industria bélica.

Los yacimientos más antiguos de estaño se hallan en Asia y, también, en Europa al sur de las Islas Británicas, las cuales se llamaban "Casitérides". Sin embargo, es difícil decir si el mineral casiterita recibió su denominación de las islas, o son éstas las que recibieron su nombre de la palabra griega kassiteros, término que ya se usaba en la Iliada de Homero para designar al estaño. Es notorio que en la península inglesa de Cornwallis, la casiterita se encuentra junta con el mineral de cobre calcopirita, por tanto al fundir este mineral mixto puede obtenerse directamente bronce.

En la actualidad, los yacimientos más importantes de estaño corresponden a la península de Malaca, que dan casi el 50% de la producción mundial de este elemento.

En este lugar se conocen más de doscientos yacimientos dislocados en las formaciones graníticas, así como una enorme cantidad de placeres riquísimos. Los placeres se explotan por métodos hidráulicos, o sea, proyectando sobre la masa mineral fuertes chorros de agua lanzados por potentes monitores. El barro líquido, compuesto de una mezcla de distintos minerales, se hace escurrir por zanjas especiales con esclusas y removiéndolo constantemente a su paso. Este arduo trabajo es realizado por obreros reclutados entre la población civil, en su mayoría adolescentes. La casiterita, debido a su elevado peso específico, se sedimenta y queda retenida en las esclusas, de donde se va retirando de cuando en cuando. Este procedimiento, como ustedes pueden ver, es muy primitivo y se efectúa a base de una cruel explotación del trabajo.

El concentrado con un contenido de 60 a 70% de casiterita se envía a las fábricas, donde se extrae el estaño por fusión.



*Figura 18.6 Pilas de botes de conservas en una fábrica*

Los países imperialistas mantienen una lucha constante y feroz por el monopolio del estaño. Durante la segunda guerra mundial, el Japón trató de apoderarse de los yacimientos de este metal existentes en el continente y en las islas, así como de las fábricas productoras de estaño en Singapur pertenecientes a empresas inglesas, con objeto de abastecer las demandas de la industria de guerra y ayudar a la Alemania hitleriana que sufría entonces una aguda crisis de estaño. Al mismo tiempo perseguía otro objetivo: privar a los EE.UU. y a Inglaterra de los yacimientos de este importante metal de aplicación bélica.

Examinemos el mapa geográfico del mundo y veremos que la zona de granitos estanníferos y los yacimientos correspondientes de estaño, así como de volframio y bismuto, se extiende por la Costa del Océano Pacífico, pasando de sur a norte a través de las islas Billington, Banko, Singkep, península de Malaca, Siam y China del Sur.

La Geoquímica trata de descubrir la causa explicativa de la formación de tales zonas, en las que están situados los ricos yacimientos de minerales de estaño y de otros compuestos químicos que se encuentran juntas con este metal.

Además de los yacimientos de Malaca, existen concentraciones ricas de estaño en Bolivia. Estos yacimientos están distribuidos a todo lo largo de la Cordillera. Yacimientos de menos importancia se conocen en Australia, en la isla de Tasmania y en el Congo (Africa)<sup>1</sup>

De las 200.000 toneladas de estaño que se producen anualmente, el 40-50% se destina a la fabricación de hojalata.

Las exigencias de hojalata blanca crecen progresivamente con el desarrollo de la industria conservera. ¿Han meditado ustedes sobre la importancia de este material, sobre el papel de los botes de lata en los que se conservan millones de kilogramos de carne, pescado, verduras, frutas, etc.?

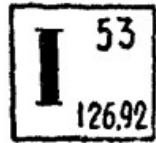
¿Qué es la hojalata? Es una lámina de hierro recubierta con una delgada capa de estaño de una centésima de milímetro de espesor. La película de estaño protege a las hojas de hierro y a los botes de lata contra la corrosión.

El estaño puro es insoluble en los jugos de las conservas y prácticamente es inofensivo para la salud humana. No hay ningún otro tipo de recubrimiento que pueda competir con el estaño en lo que respecta a su estabilidad.

Ahora podemos decir que el estaño ha sobrevivido su "edad de bronce" y es el metal de los botes de conserva.



<sup>1</sup> República de Zaire

**Capítulo XIX****EI YODO, ELEMENTO QUE SE HALLA EN TODAS PARTES**

Todos conocemos bien el yodo, lo empleamos cuando nos herimos un dedo y tomamos sus gotas rojo-pardas con leche en los años de vejez. El yodo es un medicamento bien conocido y, sin embargo, ¡qué poco sabemos sobre el yodo y su destino en la naturaleza!

Es difícil hallar otro elemento tan lleno de misterios y contradicciones como el yodo. Además, sabemos de él tan poco y conocemos con tanta insuficiencia los jalones fundamentales de la historia de su "peregrinación", que hasta hoy no comprendemos por qué cura el yodo y de dónde apareció en la Tierra.

Hay que decir que ya Mendeléev chocó con desagradables peculiaridades de las propiedades del yodo. Mendeléev distribuyó sus elementos por orden creciente de sus pesos atómicos, pero el yodo y el telurio infringieron este orden: el telurio está antes que el yodo aunque su peso atómico es más alto. Así quedó esta cuestión hasta el día de hoy.

El yodo y el telurio resultaron ser casi los únicos elementos capaces de quebrantar el edificio de la ley de Mendeléev. Cierto que hoy adivinamos la causa de esta irregularidad, pero durante muchos años quedó como una excepción inexplicable. Repetidas veces los críticos de la brillante teoría de Mendeléev arguyeron que él colocó los elementos como le pareció más cómodo.

El yodo es un cuerpo sólido; forma cristales grises dotados de verdadero brillo metálico. Parece metal y se transparenta con luz violeta, pero al mismo tiempo, si colocamos en un frasco de vidrio unos cristallitos de yodo, en seguida vemos aparecer en la parte alta del recipiente vapores violados. El yodo se sublima con facilidad, sin pasar por el estado líquido.

Esta es la primera contradicción que salta a la vista, pero le sigue otra. El color de sus vapores es violeta oscuro y el del propio yodo, gris metálico. Las sales de yodo son, en general, incoloras y se parecen a la sal común; sólo algunas de ellas poseen un ligero tono amarillento.

He aquí otros enigmas del yodo. El yodo es un elemento extraordinariamente raro. Nuestros geoquímicos han calculado que la proporción de yodo en la corteza terrestre viene a ser de una o dos cienmilésimas por ciento; no obstante, el yodo existe en todas partes. Quizás podamos nosotros decir todavía más: no hay nada en el mundo que nos circunda, donde los métodos analíticos de gran precisión no descubran la presencia de átomos de yodo.

Todo está impregnado de yodo. La tierra dura, las rocas, incluso los cristales más puros del transparente cristal de roca o espató de Islandia, contienen bastantes átomos de yodo.

Considerablemente más lo contiene el agua de mar y también, en gran cantidad, se halla en las aguas corrientes, en el suelo y, sobre todo, en las plantas, los animales y el hombre. Nosotros aspiramos el yodo del aire que respiramos, pues se halla saturado de sus vapores; introducimos yodo en nuestro organismo con la comida y con el agua. Sin yodo no podemos vivir.

Y es comprensible la pregunta: ¿por qué el yodo se encuentra en todos los sitios? ¿De dónde procede tanta cantidad del mismo, dónde están sus fuentes originarias, de qué profundidad de las entrañas terrestres llega a nosotros este raro elemento?

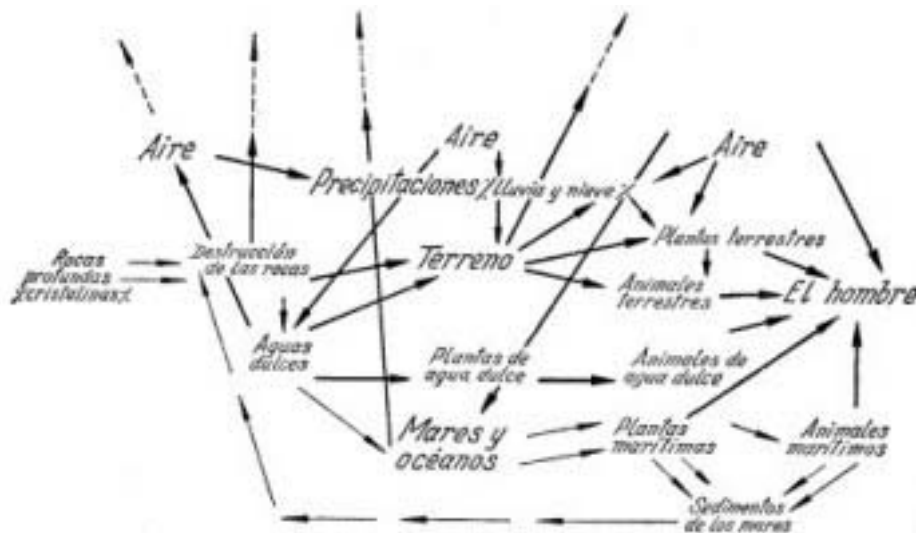
Incluso los métodos de análisis y observación más precisos no han podido descubrirnos su enigmático origen, ya que ni en las profundas rocas eruptivas, ni en las masas fundidas de los magmas emergidos, no se conoce ni un solo mineral en cuya composición intervenga el yodo.

Los geoquímicos explican su historia en la Tierra de la forma siguiente: En tiempo remoto, antes de la historia geológica de la Tierra, cuando nuestro planeta se cubrió por vez primera de corteza dura, los vapores volátiles de diversos elementos envolvían con nubes espesas la tierra aún caliente.



*Figura 19.1 Cordilleras del Pamir Central. Foto hecha durante el ascenso al pico del Comunismo, a la altura de 6.500 metros*

Entonces, el yodo, junto con el cloro, se desprendieron de lo hondo de los magmas líquidos de nuestro planeta, entonces también, se apoderaron de él las primeras corrientes de agua depositadas al condensarse los vapores calientes, y los primeros océanos de los cuales se originaron posteriormente los mares, concentraron en su masa el yodo de la atmósfera terrestre.



*Figura 19.2 Ciclo del yodo*

Fue o no así, nosotros hoy todavía no lo sabemos con exactitud. Lo único que sabemos es que su distribución en la corteza terrestre está llena de enigmas. En los países árticos, en las altas montañas existe menos yodo que en los lugares bajos; en las costas, la cantidad de yodo en las rocas aumenta y es aún mayor en las formaciones desérticas; en las sales de los grandes desiertos del sur de Africa o de Atacama (Sudamérica), se encuentran verdaderos compuestos minerales de yodo.

El yodo se halla también disuelto en la atmósfera; su distribución en el aire, según los datos analíticos, obedece a una ley determinada y estricta: su cantidad varía con la altura. En las alturas del Pamir y Altái, a más de 4.000 metros, hay mucho menos yodo que al nivel de Moscú o de Kazan.

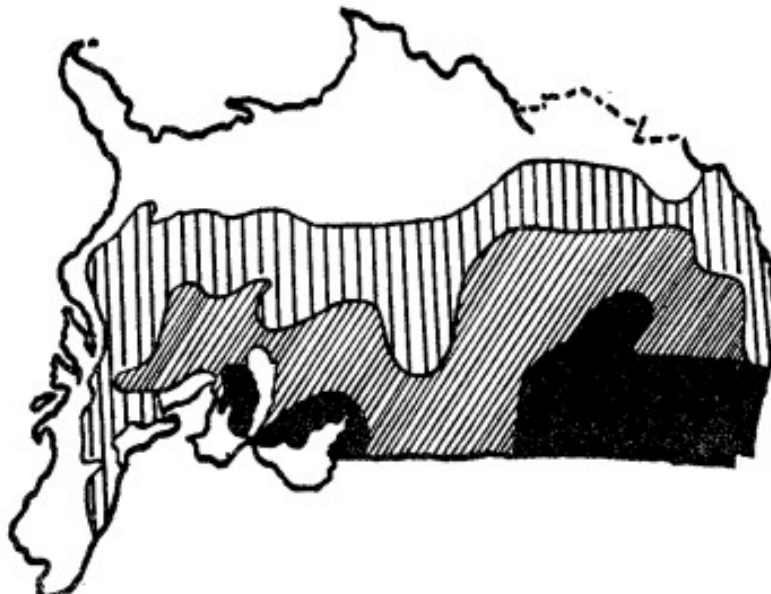


Pero el yodo existe no sólo en la Tierra, lo hallamos también en los meteoritos que caen desde los espacios ignorados del universo. En las atmósferas del Sol y las estrellas, los hombres de ciencia lo buscan hace tiempo con ayuda de métodos nuevos, pero, por ahora, infructuosamente.

El agua de mar contiene bastante yodo: dos miligramos por litro, y esto es ya una cantidad apreciable. El agua marina se espesa en las costas, estuarios y lagos de litoral; allí se acumulan las sales y recubren la orilla con su manto blanco. Estas concentraciones salinas han sido bien estudiadas en las costas de Crimea, en el mar Negro, así como en los lagos del Asia Central. Pero en ellas no existe yodo. Se esconde, por lo visto, en algún otro lugar. Al parecer, cierta cantidad se concentra en el fondo, en el limo, gran parte se evapora, marchando al aire, y sólo una pequeña parte queda en las salmueras residuales. Allí donde se acumulan las sales de potasio y bromo, yodo casi no hay.



Pero a veces en las orillas de los mares y lagos salinos se desarrolla vegetación, se forman bosques enteros de diversas algas que cubren las piedras ribereñas.



*Figura 19.3 Esquema de la difusión de la enfermedad del bocio en Norteamérica y del contenido de yodo en el agua. Donde escasea el yodo, abundan los enfermos de bocio. Zona blanca: contenido de yodo en el agua potable, de 3 a 20 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 0 a 1 por mil habitantes al año. Zona con rayado vertical: contenido de yodo en el agua, inferior a 2-9 milmillonésimas, casos de bocio, de 1 a 5. Zona con rayado oblicuo: yodo en el agua, de 0,2 a 5 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 5 a 15 casos. Finalmente, zona negra: yodo, de 0 a 0,5 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 15 a 30 casos por cada mil habitantes*



En estas algas se concentra el yodo en virtud de ciertos procesos bioquímicos inexplicados, y a cada tonelada de algas corresponden varios kilogramos de yodo puro, de este notable elemento.



En algunas esponjas marinas la cantidad de yodo es aún mayor y alcanza el 8-10 %.

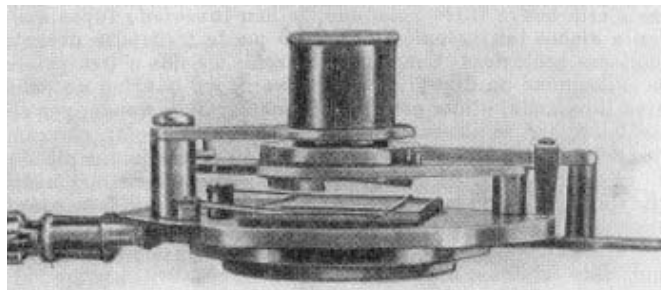
Los investigadores soviéticos han estudiado con todo detalle el litoral del Pacífico. En todo el inmenso espacio de la región costera, las olas acarrear, sobre todo en otoño, gran cantidad de algas laminarias, más de trescientas mil toneladas. Estas algas pardas contienen muchos cientos de miles de kilogramos de yodo. Las recogen y seleccionan, una parte se emplea como alimento, el resto se quema, calentando con cuidado, para extraer de ellas el yodo y la potasa.

Pero con esto no termina la historia del yodo en la corteza terrestre. Lo contienen, también, las aguas petrolíferas. En los alrededores de Bakú, se forman grandes lagos de aguas residuales, de las que, actualmente, se extrae el yodo.

Algunos volcanes lo arrojan también de su misteriosa profundidad.

Tan variado es el destino de este elemento en la historia de nuestro planeta, que es difícil representarse el cuadro completo y coherente de la vida y aventuras de este átomo, eterno errante de la naturaleza.

Pero he aquí que el yodo cae en manos del hombre y aquí surge un nuevo enigma. Curamos con yodo, con él cortamos la hemorragia de sangre, destruimos las bacterias, defendemos las heridas contra la infección y, al mismo tiempo, el yodo es extraordinariamente venenoso, sus vapores provocan la irritación de las membranas mucosas.



*Figura 19.4 Lupa mineralógica de bolsillo con polaroide de compuestos de yodo. Construida por el profesor v. Arshinov*

Un exceso de gotas o cristales de yodo puede ser mortal para el hombre. Pero lo más asombroso es que para la salud es aún peor la falta de yodo. El organismo humano y, probablemente, el de muchos animales, debe tener una cantidad determinada de este elemento. Es sabido que la escasez de yodo se señala en algunos lugares por una enfermedad especial, llamada bocio. Esta enfermedad la sufren principalmente los habitantes de las altas regiones montañosas. Conocemos algunas aldeas situadas en las altas montañas del Cáucaso Central y en el Pamir donde esta enfermedad está difundida. También es bien conocida en los Alpes.

En el último tiempo, los investigadores americanos han determinado el índice de propagación del bocio en el territorio americano. Resulta que si se compone un mapa de la distribución de esta enfermedad y otro con el porcentaje de yodo contenido en el agua, los datos de ambos mapas coinciden unos con otros.

El organismo humano es muy sensible al yodo y el descenso de su contenido en el aire y en el agua se refleja inmediatamente en la salud. El bocio se cura empleando sales de yodo.

No menos interesantes son las formas de aplicación del yodo en la industria que, cada vez, se hacen más amplias y variadas. Han sido descubiertas combinaciones de yodo con sustancias orgánicas que constituyen una coraza impenetrable para los rayos X, por tanto si se introducen estos compuestos en el organismo, pueden fotografiarse los tejidos internos con especial precisión.

Se conocen otras esferas de aplicación del yodo, surgidas en los últimos años. Un significado especial ha adquirido el empleo del yodo en la industria del celuloide, donde se utilizan ciertas sales de yodo en forma de diminutos cristalitos aciculares. Estos cristalitos se distribuyen por la masa celulósica de tal modo, que las vibraciones de los rayos luminosos no pueden pasar a su través en todas direcciones. Se obtiene lo que se llama rayo polarizado. Durante muchos años se construían microscopios especiales de polarización muy caros, pero actualmente, gracias a este nuevo filtro polaroide, se han inventado lupas que sustituyen a dichos microscopios. Con ellas puede trabajarse durante las expediciones geológicas. Con la combinación de dos o tres polaroides puede conseguirse un dibujo de color vivo: y me imagino un panel decorativo iluminado, o una pantalla cinematográfica, donde, por el giro de dos polaroides, se alcancen magníficos efectos de color, con cambios rápidos de todos los tonos del espectro solar.

Colocando una placa polarizada en el parabrisas de un automóvil, puede conducirse el coche por la calle iluminada y no les cegará la vista la luz proyectada por los faros de los coches que vengan al encuentro, ya que con el polarizador no se ven las vivas aureolas de las luces encendidas, sino sólo el propio coche con un punto luminoso aislado.

Cuando un avión se eleva sobre una ciudad apagada y deja caer en paracaídas el vivo resplandor de los compuestos de magnesio, las gafas polarizadas permiten observar todo lo que acontece en el suelo bajo la bengala luminosa.

Ustedes ven con qué amplitud y variedad se aplica este elemento y cuántos problemas están todavía sin aclarar, cuántas contradicciones aparecen en el destino de su "peregrinación". Se necesitan aún muchas investigaciones profundas para poner en claro todas sus propiedades y llegar a comprender la naturaleza de este universal elemento presente en todo el mundo circundante.

Es interesante la historia del descubrimiento de este elemento. Fue descubierto en las cenizas de las plantas en 1811 por el farmacéutico Courtois que poseía una pequeña fábrica donde transformaba las cenizas vegetales en salitre. Sin embargo, el descubrimiento de este elemento no causó gran sensación en el mundo científico y sólo después de cien años recibió la apreciación merecida.

Podría terminar con lo dicho mi relato sobre este interesante elemento, pero llama aún mi atención un pensamiento. En la Tabla de Mendeléev, debajo del yodo y en el mismo grupo, hay una casilla vacía. Ya la señaló el propio Mendeléev y dijo que aquí debería ser descubierto un nuevo elemento. Lo denominó eka-yodo. Nosotros designamos esta casilla con el número 85.

¿Dónde se halla o dónde se esconde este elemento número 85? El no puede no existir en algún sitio del mundo y debe ser descubierto.

Largo tiempo lo buscaron en las salmueras residuales de los lagos y yacimientos salinos. Lo buscaron en el espacio interplanetario, entre los átomos dispersos que se observan en el universo, entre soles y estrellas, planetas y cometas. Lo buscaron entre todos los metales naturales, pero no se le halló.

Muchas veces pareció a los hombres de ciencia, que en los aparatos espectrales brilló en algún sitio la línea que corresponde a los átomos luminosos del número 85, pero experimentos

posteriores no corroboraban este descubrimiento, y la casilla número 85 no se llenó hasta el año 1940, en que fue obtenido el elemento radiactivo astatino, cuyas propiedades coinciden con las que predijo Mendeléev para el eka-yodo.

**Capítulo XX****EL FLUOR, ELEMENTO QUE TODO LO CORROE**

Reflexionando el plan de este libro destiné en él un capítulo dedicado al flúor y sus notables propiedades; pero cuando llegó el momento de su composición tuve que detenerme. Nunca trabajé sobre el flúor y sus combinaciones, no me había interesado por sus magníficos minerales y su utilización en la industria, debido a lo cual me encontré en un aprieto.



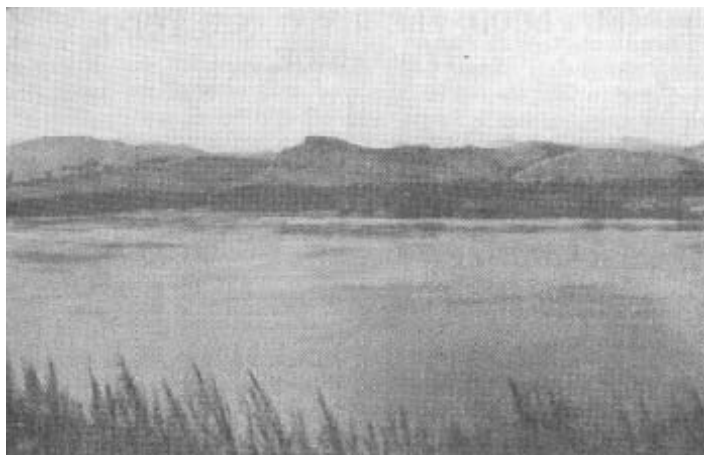
Hubo que acudir a los apuntes; comprobé numerosas anotaciones antiguas sobre elementos aislados de la Tierra y encontré una serie de hojas, de las que compuse este capítulo.

Carlos Darwin en su autobiografía indica cómo debe trabajar el hombre de ciencia.

Dice que el científico no puede, ni debe recordarlo todo, que cada observación interesante y todo lo que encuentre curioso en los libros, debe apuntarlo en hojas separadas y colocar cada libro que se refiera a la cuestión de que se ocupa en un estante aparte, junto con las anotaciones.

Darwin estaba en contra de que el científico tuviese una biblioteca grande y variada. El se marcaba para los años próximos grandes tareas y, con todo afán, se dedicaba a la resolución del objetivo marcado. Decenas de veces sorteaba los materiales para cada cuestión y a cada problema le dedicaba uno o dos estantes de su librería.

Al cabo de algunos años y, a veces, después de decenas de años, se le acumulaba de este modo una gran cantidad de datos sobre cada problema científico determinado. Repasó repetidas veces estos materiales y libros, los puso en orden y compuso el capítulo correspondiente de su célebre tratado que sirvió de fundamento para la ciencia biológica moderna.



*Figura 20.1 Vista de la Transbaikalia del Sur*

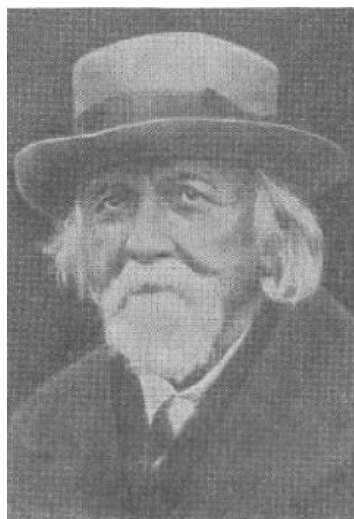
Este sistema de compilación de grandes libros y monografías es muy cómodo, y confieso que hace ya veinte años comencé a imitar el magnífico ejemplo de Darwin y decidí preparar los materiales y libros para mi trabajo de un modo idéntico al suyo. Me separé de mi gran biblioteca, que regalé a la Estación minera de Jibini, en la península de Kola, y dejé conmigo sólo aquellos libros referentes a las tareas planteadas ante mí para los años próximos.

Entre ellas existía un gran problema: describir la historia de todos los elementos químicos de la Tierra, mostrar a los geólogos, mineralogistas y químicos los complicados caminos que recorre el átomo de cualquier metal en su "peregrinación" por el universo, relatar sus propiedades y comportamiento en la tierra y en las manos del hombre.

Y cuando tuve que escribir el capítulo sobre el flúor, encontré en la carpeta con el título Flúor cinco hojas. Las transcribo aquí aproximadamente en la misma forma en que fueron escritas.

### HOJA 1

Hace mucho que soñaba con visitar los célebres yacimientos de la Transbaikalia, desde donde me enviaban magníficos cristales de topacio (un mineral muy bello y raro, que contiene flúor), cristales de todos los colores y drusas de espato flúor, materiales que se extraían para las necesidades de la industria. Y al fin me monté en el exprés que me llevó hasta la estación Manchuria. En la estación me esperaba una troika de caballos y corrimos por las admirables estepas de la Transbaikalia del Sur, recubiertas por una espesa alfombra blanca de preciosas flores alpinas. El cuadro encantador se mostraba cada vez más amplio ante nosotros, a medida que ascendíamos por el declive de los montes. Aquí, de determinados afloramientos de granito se extraían los cristales de topacio azul, amarillo y celeste; aquí, en los huecos de las pegmatitas graníticas se veían bellos octaedros de espato flúor, combinación de flúor con el metal calcio. Pero el cuadro que más me sorprendió fue el de los ricos yacimientos de este mineral situados en un valle reducido. Aquí no había ya cristales sueltos, depositados por las soluciones acuosas calientes de los granitos al enfriarse, sino enormes conglomerados de espato flúor de color rosa, violeta y blanco de los más diversos matices, reluciendo y centelleando bajo el vivo sol manchuriano. En las explotaciones mineras extraían esta valiosa piedra para enviarla, a través de toda Siberia, a las fábricas metalúrgicas de los Urales, Moscú y Leningrado. Y ante mis ojos surgió el cuadro grandioso de las emanaciones gaseosas de las arcaicas y profundas masas graníticas fundidas. Tse los compuestos volátiles del flúor se formaron conglomerados de espato flúor.



*Figura 20.2 El académico Alexandr Karpinski (1847-1936)*

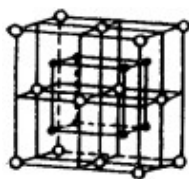
En ellos se reflejó una de las etapas del lento proceso de enfriamiento consolidación del macizo granítico, en la profundidad terrestre, rodeado ele los vapores y gases de él emanados. Recordé aquí otro episodio de la historia de este mismo espato, flúor. Recordé la descripción del espato flúor en las antiguas mineralogías, de ese espato flúor de tono encantadores por su belleza, del que se elaboraban valiosos jarrones.

Recordé, también, que en Inglaterra existía toda una industria para la elaboración de esta piedra cuyos bellos artículos podemos ver en los museos.

Finalmente, recordé otros cuadros completamente distintos de los, alrededores de Moscú.

Siendo aún joven catedrático de Mineralogía en la primera Universidad Popular de la ciudad de Moscú, planteé ante mis oyentes la tarea de determinar y clasificar, con el esfuerzo común, los minerales que rodean nuestra ciudad. Entre estos minerales había una admirable piedra morada, hallada más de ciento cuarenta años atrás (en 1810) en el pequeño barranco Ratovski, del distrito de Vereisk en la provincia de Moscú y denominada ratovkita.

Reposaba entre las calizas, en conglomerados sueltos, en forma de bellas láminas violáceas.



Vetas enteras, formadas por sus cubitos de color violeta oscuro, fueron halladas en las riberas de los afluentes del Volga, el Osuga y el Vazuza. Con todo afán, nos pusimos a estudiar esta piedra violeta que resultó ser fluoruro de calcio puro, la fluorita de que hablo aquí. Sus bellas piedrecitas violáceas se encontraban en cantidad tan grande y tan bien adosada estaba la capa entre las calizas, que se hacía difícil atribuir su formación a las emanaciones calientes de los granitos fundidos, que dieron principio a los maravillosos topacios de la Transbaikalia y a los yacimientos de espato flúor en Manchuria.

Más de 2.000 metros separaban estos depósitos sedimentarios des los antiguos granitos, constituyentes básicos del suelo moscovita. Nosotros debíamos buscar algún otro factor químico que explicara la sedimentación de estas bellas piedras en los afluentes del Volga. Con la colaboración del académico A. Karpinski, nuestros jóvenes descubrieron la procedencia de esta piedra. Resultó que el origen de la ratovkita está ligado a los antiguos sedimentos de los mares moscovitas y que en su proceso de formación jugaron un gran papel los seres vivos, las conchas marinas, sobre todo calcáreas, que acumulaban los cristalitas de fluoruro cálcico en sus células. Los cuadros del pasado, dibujados aquí, muestran con claridad cuán peculiares y complejas son las formas de migración del flúor en la naturaleza.

Más de 2.000 metros separaban estos depósitos sedimentarios des los antiguos granitos, constituyentes básicos del suelo moscovita. Nosotros debíamos buscar algún otro factor químico que explicara la sedimentación de estas bellas piedras en los afluentes del Volga. Con la colaboración del académico A. Karpinski, nuestros jóvenes descubrieron la procedencia de esta piedra. Resultó que el origen de la ratovkita está ligado a los antiguos sedimentos de los mares moscovitas y que en su proceso de formación jugaron un gran papel los seres vivos, las conchas marinas, sobre todo calcáreas, que acumulaban los cristalitas de fluoruro cálcico en sus células. Los cuadros del pasado, dibujados aquí, muestran con claridad cuán peculiares y complejas son las formas de migración del flúor en la naturaleza.

## HOJA 2

Breve descripción de una jornada en Copenhague, la capital de Dinamarca, durante un viaje en comisión de servicios a un congreso geológico.

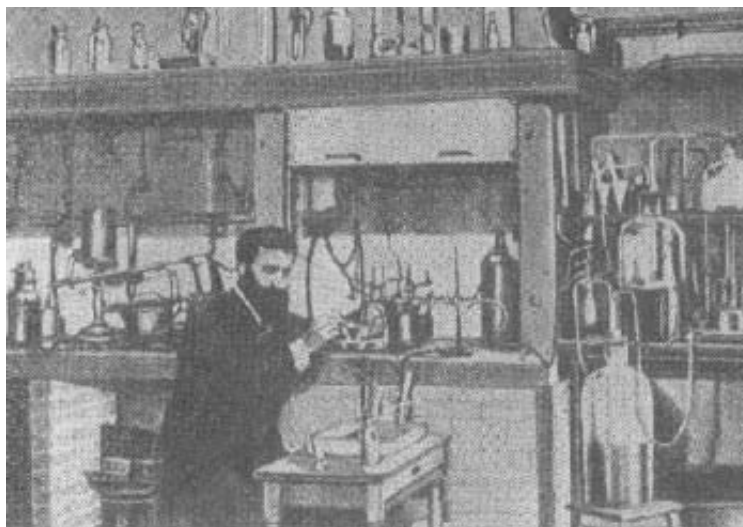
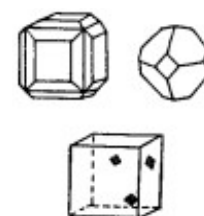
Al final del congreso visitamos una fábrica de criolita en las proximidades de esta ciudad. La piedra de nívea blancura semejante al hielo, la traían aquí de las alturas existentes en las costas heladas de Groenlandia. Por una coincidencia extraña de la naturaleza, esta piedra, que por su aspecto exterior no se distingue del hielo, se encuentra en un solo lugar de la Tierra, en las regiones árticas de la costa occidental de Groenlandia.



*Figura 20.3 Tadzhicos observando un conglomerado de cristales de fluorita de los yacimientos dn Tadzhlizistán*

Allí se obtiene en grandes explotaciones, se carga en barcos y se envía a Copenhague. Reexpedida a fábricas especiales, la criolita es separada de otros minerales, sobre todo, minerales de plomo, zinc y hierro, y queda limpia en polvo blanco como la nieve, que se emplea como fundente para la obtención de aluminio.

En cajones especiales, como artículo de gran valor, este polvo llega a las fábricas químicas donde le aguarda un nuevo destino: junto con el mineral de aluminio es fundida en hornos eléctricos y un torrente de metal derretido, con fulgor argentino, se derrama en grandes recipientes preparados de antemano para este fin. Este metal es el aluminio y toda la producción actual de este elemento no podría conseguirse sin la criolita.



*Figura 20.4 El profesor Moissan obtiene por primera vez flúor en su laboratorio de París en el año 1886*

Por ahora, no existen otros procedimientos para obtener este metal tan primordial para la industria, tanto de paz, como de guerra, y cuya producción mundial alcanza hoy día casi dos millones de toneladas al año.

Enormes instalaciones eléctricas transmiten la energía de grandes ríos y cascadas para fundir y disolver, con ayuda de la criolita, el óxido de aluminio y obtener aluminio metálico puro. Es verdad que aquí, en lugar de la criolita natural se emplea el fluoruro de aluminio y sodio. Pero esta sal es la criolita misma, sólo que obtenida artificialmente por el hombre en las fábricas químicas.

### HOJA 3

En el Tadjikistán, en las cortadas pendientes de un maravilloso y bello lago, fueron hallados trozos de espato flúor puro y transparente. Tan grande era su transparencia, que con él se podían hacer lentes para microscopios y aparatos de precisión. La demanda de espato flúor transparente era tan grande que hubo que enviar una expedición especial a las abruptas riberas de este lago<sup>1</sup>.



Con extremado interés leímos los informes de esta expedición sobre las extraordinarias dificultades que presenta la extracción del blanco y transparente espato flúor, incrustado en compactas calizas.

Después de prolongados trabajos fueron abiertas veredas hasta los yacimientos colgados sobre el lago. Pero aún más dificultoso era trasladar los preciosos trozos <le mineral abajo, hasta la orilla del lago. Enormes cargas de esta rara piedra bajaron los tadjikos, pasándolas en

cadena de mano a mano y embalándola después intercalando hierba blanda entre los trozos, en cajones, las mandaban a la ciudad de Samarcanda<sup>2</sup>. La industria de instrumentos ópticos recibió un espato flúor único por su pureza y pudo preparar, a base de este mineral, lentes finas y limpias y fabricar los mejores instrumentos ópticos del mundo.



*Figura 20.5 En el lago Iskander-Kul. RSS de Tadjikia. A la izquierda: "setas de piedra", resultado de la erosión de las rocas por el viento*

#### HOJA 4

Durante mi curación en un balneario checoslovaco, fuimos invitados a una excursión a la fábrica de vidrio existente cerca de la ciudad, mecanizada según la última palabra de la técnica. Visitamos los talleres donde se hacían grandes cristales de luna. Sus dimensiones eran verdaderamente gigantescas. En cinta ininterrumpida se laminaban grandiosas hojas de vidrio para ventanas. En determinados talleres se obtenía cristal de alta calidad, coloreado en distintos tonos por sales de las tierras raras y de uranio. Pero el taller más interesante era el de dibujo artístico. Los jarros de cristal de roca purísimo se cubrían con una



delgada capa de parafina y el experto artista grabador dibujaba con su instrumento un complicado dibujo sobre la parafina. Con su bisturí iba quitando la parafina de un sitio, la cortaba con finas líneas en otro y ante nosotros aparecía un cuadro del bosque y la caza del ciervo. Con ayuda de un aparato especial se calcaban los contornos del dibujo y en una amplia sala este mismo dibujo se repetía en decenas de jarros también recubiertos de parafina. En todos ellos iban apareciendo los contornos del mismo bosque y el venado acosado por los perros. Después, los jarros se colocaban en hornos especiales recubiertos de plomo, a través de los cuales se hacían pasar vapores de compuestos tóxicos de flúor. El ácido que contiene flúor corroe el vidrio allí donde no está cubierto con parafina, penetrando en él profunda o débilmente, lo necesario para que la superficie se vuelva mate. Después, la parafina se derrite en alcohol caliente, a veces en agua o simplemente calentándola, y ante nosotros aparece, con toda su belleza, el



**C. Scheele**



delicado dibujo corroído por los vapores de flúor. Resta sólo en algún que otro sitio limpiar o ahondar un poco este dibujo con ayuda de cuchillas especiales de giro rápido, y el trabajo queda concluido.

### HOJA 5

Finalmente, entre mis hojas y recuerdos sobre el flúor y sus minerales, encontré el apunte siguiente del curso de Química de la Universidad.

"El flúor es un elemento gaseoso de olor desagradable y picante, extraordinariamente activo desde el punto de vista químico. Se combina con explosión o con ignición viva con todos los elementos, incluso con el oro. No en vano su obtención entraría grandes dificultades. Fue obtenido en estado puro el año 1886, a pesar de que había sido descubierto por Scheele en 1771".

En la naturaleza se le conoce sólo en forma de sales del ácido fluorhídrico, principalmente fluoruro cálcico, mineral de bello colorido, la fluorita, denominado espato flúor. Goza de la propiedad de facilitar la fusibilidad de las menas metálicas.

Sin embargo, el flúor está muy difundido en la naturaleza asociado a otros minerales, por ejemplo, el apatito le contiene hasta en un 3 %.



*Figura 20.6 Dientes sanos y corroidos por el flúor*

En su historia geoquímica está relacionado con los sublimados volátiles desprendidos de los magmas graníticos fundidos, sin embargo, se le halla también, aunque raras veces, formando sedimentaciones marinas que originan ciertas aglomeraciones de combinaciones fluoradas de la sustancia orgánica. El espato flúor, en trozos, se emplea para los cristales ópticos que, en contraposición al vidrio común, dejan pasar los rayos ultravioletas. En sus variedades de bellos colores se utiliza como piedra decorativa.

Pero la principal aplicación del flúor se basa en su capacidad de facilitar la fundición de los metales. Se utiliza también para la obtención de ácido fluorhídrico, dotado de una fuerza disolvente excepcional, que corroe el vidrio e incluso el cristal de roca.



En forma de sal doble, fluoruro de sodio y aluminio, o mineral criolita, es necesario para la electrólisis del aluminio metálico. El flúor juega un papel inmenso en la vida de las plantas y organismos vivos, es una substancia imprescindible para la vida, aunque su exceso es muy perjudicial y causa muchas enfermedades.

Muy grande es el papel que desempeña el flúor en la vida del mar, donde se concentra, en parte por procesos biológicos (conchas, huesos, dientes), en parte en forma de carbonatos complejos y, sobre todo, fosfatos (fosforitas). El agua de mar contiene 1 miligramo de flúor por litro. En las valvas de las ostras hay veinte veces más flúor que en el agua marina.

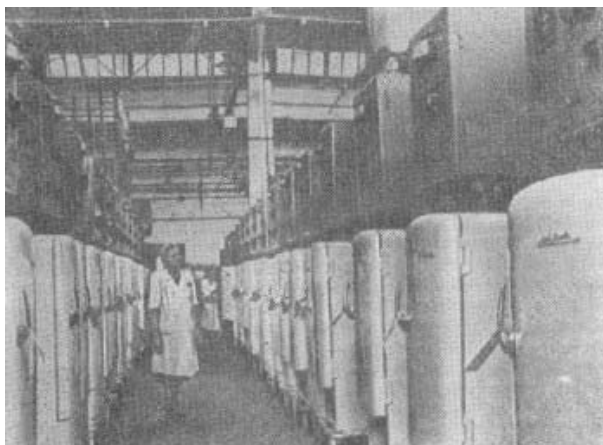


Figura 20.7 Comprobación de frigoríficos eléctricos en la fábrica Lijachov de Moscú

En los últimos tiempos, los científicos, analizando las propiedades de los compuestos del flúor a base de la Tabla de Mendeléev, descubrieron una nueva y notable aplicación del flúor: aprendieron a obtener una substancia especial, el tetrafluoruro de carbono, que no es venenoso, ni explota al unirse con el aire, es muy estable y posee la propiedad de pasar del estado sólido al gaseoso con gran absorción de calor. Esta propiedad hizo posible el empleo del fluoruro de carbono en refrigeradores especiales. Enormes instalaciones frigoríficas para la conservación de diversos productos pudieron crearse sólo gracias al empleo del tetrafluoruro de carbono.



Figura 20.8 Principales formas de aplicación del flúor en la industria

## CONCLUSION

He relatado con mis propias palabras el contenido de las cinco hojas halladas en mi carpeta. Parece que con ellas se podría cerrar el capítulo sobre este notable elemento de la naturaleza, pero su porvenir es bastante más amplio y grandioso. Los más complicados productos gaseosos del futuro están relacionados con el flúor. No existen tóxicos más peligrosos que los compuestos de este elemento, y, al mismo tiempo, no hay un agente de conservación mejor que permita conservar productos alimenticios sin grandes gastos, en reducidos armarnos que mantienen bajas temperaturas, incluso hasta de 100° bajo cero.

El flúor es un elemento de la naturaleza poco estudiado aún. Encierra en sí grandes posibilidades provenientes de las propiedades de sus complicadas combinaciones y es difícil ahora predecir con qué amplitud se le utilizará en la economía nacional y cuáles son sus perspectivas en la técnica del futuro.



<sup>1</sup> Los tadjikos llaman a la fluorita "sang y safet", "piedra blanca". El yacimiento fue hallado por un niño-pastor, llamado Nazar-Alí, el año 1928.

<sup>2</sup> La fluorita óptica es un mineral delicado. Cualquier sacudida, golpe o, incluso, un cambio brusco de temperatura le hace perder sus excelentes cualidades. Si se sumerge el mineral en agua, cuya temperatura difiera de la del ambiente del aire en algunos grados, aparecen en su masa numerosas grietas que desvalorizan sus propiedades ópticas.

**Capítulo XXIII****EL VANADIO, FUNDAMENTO DEL AUTOMOVIL**

"Si no existiese el vanadio, no existiría el automóvil", dijo Ford, que comenzó su carrera precisamente con la acertada aplicación del acero al vanadio para los ejes de los coches.

"Si no existiese el vanadio, no existirían ciertos grupos de animales", dijo Y.

Samóilov, conocido mineralogista ruso, cuando se descubrió en la sangre de algunas holoturias hasta un 10% de dicho metal.

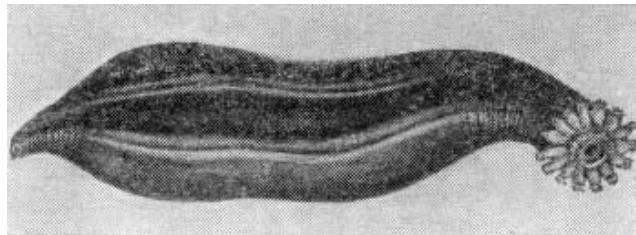
"Si no existiese el vanadio no habría petróleo en la Tierra", piensan algunos geoquímicos, que atribuyen al vanadio una influencia especial en la formación de la nafta.

Durante largo tiempo, el hombre no conocía la existencia de este notable metal y muchas decenas de años duraron las discusiones y la lucha por su obtención.

"En tiempos remotos, en el Norte lejano, vivía Vanadis, una bella diosa amada por todos. Cierta día alguien llama a la puerta de su casa. La diosa, cómodamente sentada en su sillón, pensó:

"Dejaré que vuelva a llamar otra vez". Pero los golpes cesaron y el que llamaba se alejó de la puerta. La diosa sintió curiosidad. "¿Quién será este visitante tan tímido e indeciso?" Abrió la ventana y miró a la calle. Este era un tal Wöhler, que se marchaba apresuradamente del palacio.

Al cabo de varios días, oyó de nuevo que alguien llamaba, pero esta vez los golpes persistieron hasta que se levantó y abrió la puerta. Ante ella se hallaba el joven galán Nils Sefström. Pronto se amaron y tuvieron un hijo, que recibió el nombre de Vanadio. Este es el nombre del nuevo metal descubierto en 1831 por el físico y químico sueco Nils Sefström".



*Figura 23.1 Holoturia, en cuya sangre hay vanadio*

Así comienza el relato sobre el vanadio y su descubrimiento, escrito por el químico sueco Berzelius. Pero en su narración olvida que a la habitación de la diosa Vanadis llamó antes un hombre eminente, el célebre Don Andrés Manuel del Río. Este fue una de las figuras más brillantes de la vieja España, partidario ardiente de la libertad de México y luchador por su futuro, destacado químico y mineralogista, ingeniero y topógrafo de minas, impregnado de las ideas de los sabios más avanzados de aquel tiempo. Ya en 1801, del Río, al estudiar los minerales pardos de plomo de México, descubrió en ellos un metal al parecer nuevo. Como sus compuestos poseían los colores más diversos, lo denominó al principio pancromio, o sea, multicolor, y después cambió esta denominación por la de eritronio, es decir, rojo.

Pero del Río no consiguió demostrar su descubrimiento. Los químicos, a quienes envió muestras, tomaban al elemento contenido en el pardo mineral plomífero por cromo y este mismo error lo repitió el químico alemán Wöhler, que de manera tan tímida y desacertada llamó a la puerta del palacio de la diosa Vanadis.

Después de largas vacilaciones y muchos intentos infructuosos encaminados a demostrar la existencia independiente de este metal, la solución fue hallada por el joven químico sueco Sefström. En aquel tiempo se construían en distintos lugares de Suecia altos hornos para la fundición del hierro.



*Figura 23.2 Andrés Manuel del Río, catedrático de Mineralogía y Química en México (1764-1849)*

Se advirtió que los minerales de ciertas minas daban hierro frágil, mientras que de los de otras, por el contrario, se obtenía un metal dúctil y viscoso de alta calidad. Al estudiar la composición química de estos minerales, el joven químico no tardó en separar un polvo negro especial de las magnetitas procedentes del monte de Taberg en Suecia.

Continuando sus investigaciones bajo la dirección de Berzelius, demostró que se trataba de un nuevo elemento químico, el mismo que se halla en el mineral pardo de México, del que hablaba del Río.

¿Qué le quedaba por hacer a Wöhler después de este éxito indiscutible del joven sueco? En una carta dirigida a un amigo suyo, escribía: "He sido un verdadero asno al dejar pasar inadvertido el nuevo elemento en el mineral pardo de plomo. Berzelius tiene razón cuando, no sin ironía, se burla de cuán desventurada y débilmente, sin tesón, llamé a la puerta de la diosa Vanadis".

En la actualidad, el notable metal vanadio se ha convertido en uno de los metales más importantes de la industria. Sin embargo, ¡cuánto tiempo se mantuvo inaccesible para el hombre! Al principio, cada kilogramo de vanadio costaba 50 mil rublos oro y ahora cuesta nada más que 1 rublo. En el año 1907, la producción de este metal era sólo de unas 3 toneladas ya que a nadie le hacía falta, mientras que en la actualidad ¡qué lucha tan obstinada existe en todos los países, por los yacimientos de vanadio! ¡Qué excelentes propiedades posee, y cuán necesario es en cada país! En 1910 obtuviéronse ya 150 toneladas de metal y se descubrieron yacimientos en América del Sur. En 1926 la extracción alcanzó 2 mil toneladas; en la actualidad, supera a 5 mil toneladas. El vanadio es el metal fundamental para los automóviles, para los blindajes, para los proyectiles perforadores que atraviesan planchas del mejor acero de 40 centímetros de espesor. El vanadio es el metal de los aviones de acero, de la industria química fina, se utiliza en el proceso de obtención del ácido sulfúrico y para fabricar magníficas y variadas pinturas.

¿Dónde está la clave de sus principales méritos? Influye sobre las propiedades del acero, haciéndole menos quebradizo, lo protege de la recristalización por efecto de golpes y sacudidas. Y esto es precisamente lo que se requiere para los ejes de automóvil y cigüeñales del motor, sometidos a constantes vibraciones. Pero no menos notables son las sales de este metal: verdes, rojas, negras, amarillas, doradas como el bronce o negras como la tinta. Ellas ofrecen una paleta completa de magníficos colores para la porcelana, papel fotográfico y tintas especiales. Sirven también para la curación de ciertas enfermedades. No vamos a enumerar todas las maravillosas aplicaciones de este metal; sólo debemos recordar todavía una de ellas. El vanadio coopera con su concurso a la obtención del ácido sulfúrico que es el nervio central de la industria química. En este caso se comporta de manera muy "astuta". Facilita únicamente las reacciones químicas, las cataliza como dicen los químicos, pero se conserva en el sitio, sin variar su forma inicial y no se consume. Es cierto que algunas sustancias lo intoxican y estropean, pero para remediar esto existe también el "medicamento" adecuado.



*Figura 23.3 Camión de 40 t. de capacidad*

Tanto el vanadio, como algunas de sus sales, ejercen, con su presencia, una acción mágica en los procesos preparativos de los compuestos orgánicos más complejos, que sin su participación serían imposibles de obtener.

Mas, siendo el vanadio un metal tan maravilloso, ¿por qué sabemos tan poco de él? ¿Por qué muchos de ustedes, seguramente, incluso no habrán oído hablar de este elemento? La cantidad anual que de él se obtiene en todo el mundo es muy pequeña, unas cinco mil toneladas. Esto



supone 20 mil veces menos que la producción anual de hierro y sólo cinco veces más que la de oro.

Por lo visto existen ciertas causas desfavorables en lo que respecta a sus yacimientos y obtención. Para responder a esta cuestión debemos preguntar a nuestros geólogos y geoquímicos. He aquí, cómo explican ellos el comportamiento de este metal en la corteza terrestre.

En nuestro suelo hay bastante cantidad de vanadio. En la parte accesible de la corteza terrestre, los geoquímicos calculan, por término medio, hasta un 0,02 % , lo que no es poco si recordamos que la cantidad de

plomo contenida en la superficie terrestre es 15 veces inferior y la de plata, 2.000 veces menor. Así que, en esencia, existe en la Tierra tanto vanadio como zinc y níquel y, no obstante, de estos dos últimos metales se obtienen actualmente cientos de miles de toneladas.

Pero el vanadio se halla no sólo en la Tierra y en la parte accesible para nosotros de su corteza. Seguramente, allí donde se acumula el hierro nativo, la cantidad de vanadio es bastante grande. De esto nos hablan los meteoritos que caen sobre la Tierra. En ellos, el hierro metálico contiene de 2 a 3 veces más vanadio que en la corteza terrestre. En el espectro solar, los astrónomos ven las líneas brillantes de sus átomos y esto precisamente no es del agrado de los geoquímicos. En todas partes hay mucho vanadio, por todo el Universo está difundido este metal impar, sin embargo, pocos son los lugares donde se acumula, donde sea fácil su extracción para la industria. En efecto, se halla en casi todos los minerales férricos, y allí donde su contenido alcanza décimas de por ciento la industria comienza a extraerlo. La posibilidad de obtener este costoso metal a partir de miles de toneladas de hierro adquiere gran interés e incluso es ventajoso.



Cuando los químicos descubren un mineral con contenido de vanadio de 1%, los periódicos escriben sobre el descubrimiento de un rico yacimiento de este metal. Por lo visto, deben existir ciertas fuerzas químicas internas que se esfuerzan constantemente en diseminar por la naturaleza los átomos de este elemento. La misión de nuestra ciencia en este respecto consiste en aclarar qué es lo que reúne y acumula estos átomos dispersos, qué es lo que puede vencer su ansia de "peregrinación", diseminación y migración. En la naturaleza existen tales fuerzas y nosotros, estudiando los yacimientos de este metal, leemos hoy páginas magníficas sobre los procesos que reúnen los átomos de vanadio y que les obligan a acumularse.

El vanadio, ante todo, es un metal de desierto. Teme al agua que lo disuelve con facilidad y que dispersa sus átomos por la superficie terrestre; elude los terrenos ácidos. Encuentra su "tranquilidad" sólo en las latitudes meridionales, donde hay mucho oxígeno en el aire y se descomponen las vetas de rocas sulfurosas. En las ardientes arenas de Rhodesia y en su patria, en el México inundado de sol, entre agaves y cactus, crea caperuzas ferruginosas pardo-amarillentas, montículos pardos, como cascos de guerrero, que recubren los afloramientos de rocas sulfurosas. Vemos estos compuestos en los antiguos desiertos del Colorado, los encontramos en el desierto de la región de los Urales, perteneciente al antiguo período pérmico, festoneado al este por la cordillera ensanchada de los grandes Uralides. Bajo el sol ardiente y en las arenas, en todas partes se forman sales de vanadio, sus átomos dispersos se congregan originando yacimientos de importancia industrial. Pero de todos modos, estas reservas son pequeñísimas, sus átomos tienden a escapar de la mano del hombre; no obstante, existen aún fuerzas poderosas que retienen al vanadio y no lo dejan desperdigarse. Estas fuerzas las constituyen las células de sustancia viva, los organismos cuyos glóbulos sanguíneos se construyeron no de hierro, sino a base de vanadio y cobre.



El vanadio se acumula en el cuerpo de algunos animales marinos, especialmente en los erizos de mar, ascidias y holoturias, que cubren con sus aglomeraciones millares de metros cuadrados de golfos y costas marítimas. De dónde capturan ellos los átomos de vanadio, es difícil decir, pues en el agua no se ha conseguido descubrir la presencia de este metal. Por lo visto, dichos animales están dotados de cierta propiedad química especial que les permite extraer el vanadio de las partículas de alimentos, limos, restos de algas, etc. No hay ningún reactivo químico que funcione con tanta precisión y limpieza como el organismo vivo, capaz de acumular en su cuerpo, partiendo de millonésimas de gramo, y dejar después de su muerte unas cantidades tan grandiosas que posibilitan al hombre extraer de ellos metales para su industria.

Pero aunque las fuerzas vitales son grandes, siguen siendo escasos y pobres los verdaderos yacimientos de este metal y difícil su obtención de los asfaltos negros, betúmenes y nafta. Las formas de concentración de estos átomos en la superficie terrestre son misteriosas, y mucho han de trabajar aún los hombres de ciencia para llegar a descifrar la clave de su extracción y poder relatar su historia de forma hilvanada, de manera que los eslabones aislados de la vida del vanadio en la Tierra se entrelacen en una cadena única.

Entonces conoceremos no sólo el pasado de este metal, sino también dónde y cómo buscarlo, y las profundas conclusiones teóricas se convertirán en grandes victorias industriales. Los automóviles recibirán su metal para los ejes, los acorazados y tanques elevarán el porcentaje de vanadio en el acero de su blindaje. Delicadas reacciones químicas, con ayuda de catalizadores de vanadio, producirán en las fábricas cientos y miles de nuevos compuestos orgánicos complejos, necesarios para la alimentación, economía y cultura.

Así es como nos contestan los geoquímicos cuando les preguntamos sobre los yacimientos de vanadio. Nosotros no podemos considerar su respuesta como satisfactoria; debemos exigir de ellos un trabajo tenaz y perseverante hasta conseguir dominar este metal para las necesidades del país.





*Capítulo XXI***EL ALUMINIO, METAL DEL SIGLO XX**

El aluminio es uno de los elementos químicos más interesantes. Interesante no sólo porque en el transcurso de varias decenas de años se ha introducido de forma inesperada, rápida y victoriosa en nuestra vida, en nuestras necesidades cotidianas, en la técnica y en las ramas fundamentales de la economía, no sólo porque sea este ligero elemento, junto con el magnesio, el que ha creado la potencia alada del avión. Gran interés presentan sus propiedades y, en primer orden, su importancia desde el punto de vista geoquímico. Es que, el aluminio, con el que la humanidad civilizada ha entablado conocimiento hace relativamente poco tiempo, es uno de los elementos químicos más importantes y más difundidos en la naturaleza.

Sabemos perfectamente que bajo la costra de arcillas y arenas, formada en distintos períodos como resultado de la erosión por el viento y el agua y la destrucción de los macizos rocosos, se halla la ininterrumpida y compacta envoltura pétreo de la Tierra, a la que por lo general llamamos corteza terrestre.

Esta corteza terrestre tiene un espesor mínimo de cien kilómetros y, como se deduce de investigaciones recientes, es posible que sea mucho mayor. Al ir profundizando, esta envoltura es remplazada, pasando por una zona de transición gradual, por otra capa envolvente concéntrica de estructura mineral, compuesta de hierro y otros metales, hasta llegar al centro de la Tierra donde se encuentra, por lo visto, un núcleo de hierro.

En la superficie de la Tierra, dicha envoltura rocosa forma enormes salientes, las masas continentales o continentes, en los cuales, a su vez, se originaron grandes pliegues a modo de largas cordilleras.

Esta envoltura rocosa de la Tierra, que constituye la base de los continentes y sus cordilleras, se compone de aluminosilicatos. Los aluminosilicatos, como su nombre indica, constan de silicio, aluminio y oxígeno. He aquí por qué a la capa discontinua que envuelve a la Tierra se le llama frecuentemente "sial", por combinación de las primeras sílabas de las denominaciones latinas de los elementos esenciales que la componen, silicio y aluminio.



*Figura 21.1 Mineral criolita, fluoruro de aluminio y sodio. Es importado en Europa procedente de Groenlandia. La criolita se emplea para obtener aluminio metálico*

La composición en peso aproximada de esta capa envolvente, formada principalmente de rocas graníticas, es la siguiente: oxígeno 50%, silicio 25% y aluminio 10%. Por tanto, en lo que respecta a su grado de difusión, el aluminio ocupa el tercer lugar entre todos los elementos químicos constituyentes de la Tierra, y el primer puesto entre los metales. En la Tierra, es más abundante que el hierro.

Los tres elementos: aluminio, silicio y oxígeno, son los componentes fundamentales de la corteza terrestre, a base de los cuales se forman, en la capa rocosa exterior de la Tierra, numerosos y variadísimos minerales.

Estos minerales son combinaciones atómicas de estructura tetraédrica. En el centro de cada tetraedro se halla un átomo de silicio o de aluminio, rodeado de átomos de oxígeno dispuestos simétricamente en los cuatro vértices.

De este modo, junto con los tetraedros oxisilícicos se forman también oxialumínicos. En este caso, el aluminio desempeña un doble papel: bien, a semejanza de otros metales, se sitúa entre los tetraedros oxisilícicos, ligándolos unos con otros, bien se coloca en el centro de algunos tetraedros remplazando al silicio.

Al unirse entre sí estos tetraedros silícicos y alumínicos, se obtiene multitud de minerales importantes de la corteza terrestre, unificados bajo la denominación común de aluminosilicatos. A primera vista, el complicado esquema de distribución de los átomos de aluminio, silicio y oxígeno, nos recuerda los finos encajes o los dibujos de los tapices. Estos esquemas de distribución han sido establecidos con ayuda de los rayos X, que tienen la facultad de fotografiar la estructura interna de los minerales.

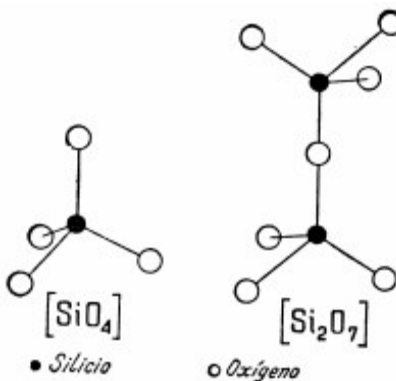


Figura 21.2 Tetraedros oxisilícicos

Recordemos el aspecto externo gris y uniforme de las piedras cuando las observábamos durante nuestra infancia y el aspecto tan complejo y variado que adquieren cuando profundizamos en su estructura.

El grado de difusión de algunos aluminosilicatos en la naturaleza es enorme. Basta con decir que más de la mitad de la corteza terrestre está constituida por los minerales llamados feldespatos. Estos minerales toman parte en la composición de los granitos, gneises y otras rocas, que envuelven a la Tierra a modo de continua coraza pétreo y que sobresalen de su superficie en forma de potentes cordilleras.

Por la acción del viento y el agua sobre los feldespatos, se fueron formando, en el transcurso de miles de años, enormes concentraciones de arcilla, que contienen del 15 al 20% de aluminio.

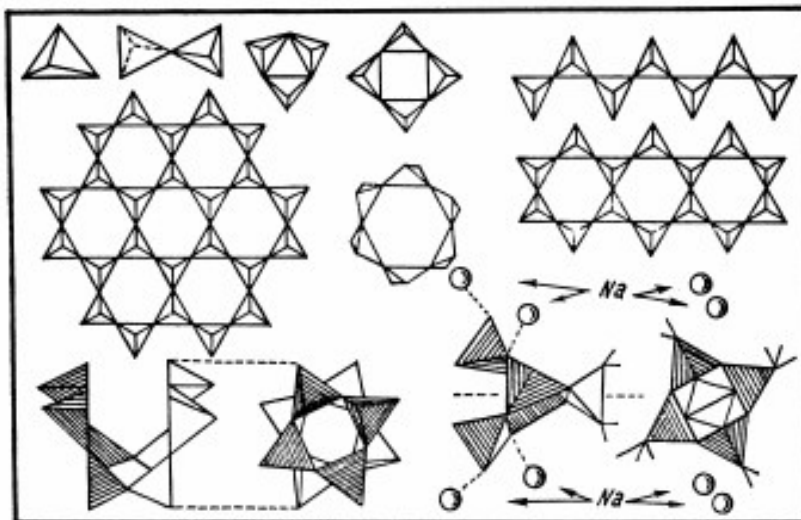
Por fortuna, el aluminio se halla en la naturaleza no sólo como arcilla, de la que es muy difícil extraerlo. Una parte considerable de este elemento se encuentra en forma de alúmina, o sea, la combinación natural del aluminio con el oxígeno. La alúmina se presenta en la naturaleza en aspectos muy diversos.

El óxido anhidro de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) constituye el mineral corindón, caracterizado por su extremada dureza y, a veces, por su extraordinaria belleza. Las variedades transparentes de alúmina, en las que el aluminio y el oxígeno van unidos con cantidades insignificantes de otros elementos (cromo, hierro, titanio) que les conceden diversas y bellas coloraciones, constituyen gemas preciosas de primera calidad. ¡Qué diversidad y riqueza de colorido adquiere una misma clase de alúmina cuando se adicionan cantidades ínfimas de una a otra sustancia! Esto lo vemos en el rubí rojo y el zafiro azul de tonalidades vivas y relucientes, que fascinaron al hombre desde tiempos inmemoriales. ¡Cuántas leyendas están ligadas a estas piedras preciosas! También desde tiempos remotos el hombre emplea las variedades cristalinas menos puras de corindón, opacas, con coloraciones parda, gris, azulada y rojiza, como material abrasivo, pues sigue al diamante en lo que respecta a su dureza.

Los usamos para pulimentar diversos materiales duros, como el acero para instrumentos, armas, tornos, máquinas, etc.

Todos conocemos la mezcla íntima y finamente granular de corindón con magnetita y otros minerales, llamada "esmeril", que ustedes más de una vez habrán empleado para limpiar su cortaplumas.

Es natural que el corindón podría utilizarse para obtener aluminio metálico, pero es demasiado caro y poco abundante en la naturaleza,



*Figura 21.3 Diversas formas de agruparse los tetraedros oxisilícicos: tetraedros individuales, dobles (tipo reloj de arena), anulares, en cadena, en fila y en redícula plana a base de anillos hexagonales. En la parte inferior del dibujo están representadas, en dos proyecciones distintas, las estructuras de carcasa del feldespató y de la natrolita (mineral perteneciente al grupo de las zeolitas)*

Desde los tiempos más antiguos, en los albores de la civilización humana, desde la edad de piedra hasta nuestros días, el hombre emplea ampliamente los granitos, basaltos, pórfidos, arcillas y

otras rocas aluminosilicáticas para construir edificios, ciudades enteras, crear obras de arte, fabricar utensilios diversos, cerámica, loza y porcelana.

Pero en el transcurso de milenios, el hombre no llegó a sospechar las maravillosas propiedades del aluminio, metal que se halla oculto en estas rocas.

En la naturaleza, el aluminio nunca se encuentra en estado metálico, siempre se halla combinado, formando diferentes compuestos de propiedades y aspecto totalmente diferentes a los del metal puro.

Y fue preciso el genio humano, su actividad laboriosa y perseverante para llegar a extraer y despertar a la villa este prodigioso metal.

Aproximadamente unos 135 años atrás, se consiguió obtener, por primera vez, una pequeña



cantidad de este metal brillante, de color argéntico. Y nadie pudo pensar sobre el papel tan importante que habría de desempeñar en la vida del hombre, tanto más que su proceso de obtención presentó enormes dificultades. A principios del siglo pasado varios hombres de ciencia obtuvieron aluminio por electrólisis de los compuestos de aluminio fundidos a altas temperaturas. El aluminio se deposita en el cátodo debajo de una costra de escorias. Este era ya metal puro, plateado, "plata de arcilla", como le llamaban en aquel tiempo.

Cuando el método electrolítico se aplicó a la obtención industrial del aluminio, este metal adquirió rápidamente una utilización amplísima. Su color es parecido al de la plata. Posee propiedades realmente maravillosas.

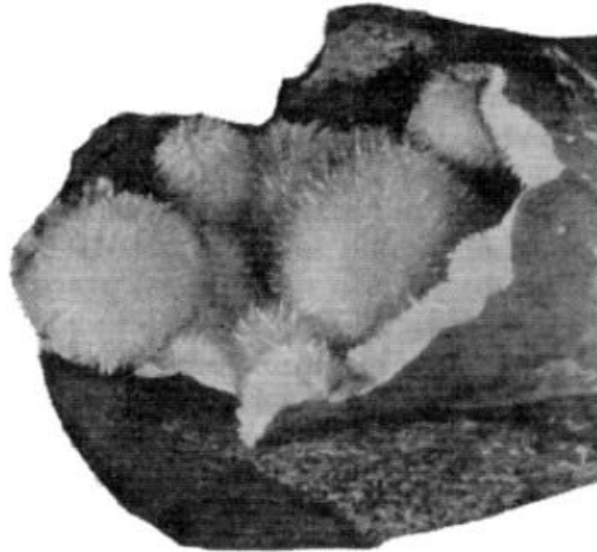
En la actualidad, el óxido puro de aluminio no se obtiene a partir de la arcilla. El mineral más adecuado para la producción de aluminio es el hidróxido (hidrato de alúmina), que se encuentra en la naturaleza formando los minerales diasporo e hidrargilita. Estos minerales, que contienen con frecuencia óxido de hierro y sílice, forman depósitos arcillosos o pétreos, las bauxitas, especialmente en los estratos sedimentarios del litoral marítimo.

La bauxita contiene gran cantidad de óxido aluminico (del 50 al 70%) y constituye el principal mineral de aluminio para fines industriales. Los químicos soviéticos han ideado y puesto en explotación un nuevo procedimiento para transformar el mineral de Jibini, la nefelina ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), en óxido aluminico. En los últimos tiempos, con este objeto, se trata de utilizar las pizarras disténicas, con 50-60% de óxido aluminico, así como otros minerales, la leucita y la alunita. Pero ninguno de estos minerales, a excepción de la nefelina, puede competir con la bauxita.

La obtención de aluminio metálico está fundada en dos procesos independientes. Primero se extrae el óxido anhidro aluminico, la alúmina, de la bauxita a base de tratamientos bastante complicados. Después, se somete el óxido aluminico a electrólisis en baños especiales contruidos de placas de grafito.

En estos baños se carga una mezcla de alúmina y criolita previamente pulverizadas. Se hace pasar corriente eléctrica de alta tensión, lo que produce una temperatura elevada (de unos  $1.000^\circ\text{C}$ ). La criolita se funde y disuelve en su seno a la alúmina, que después se descompone, por efecto de la corriente eléctrica, en aluminio y oxígeno. El fondo del baño cumple la función de cátodo (polo negativo) y en él se va acumulando el aluminio fundido, al que se le da salida de vez en cuando a través de una llave especial, vaciándose la masa líquida en moldes, donde se deja enfriar, obteniéndose el metal en forma de barras o lingotes brillantes de color plateado.

Cien años atrás, la obtención de este metal blanco y ligero constituía una tarea muy difícil, y la libra de aluminio costaba cuarenta rublos en oro.



*Figura 21.4 Agujas de natrolita, variedad de zeolita, sobre una roca eruptiva, la fonolita. Esta muestra se conserva en el Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS*

Actualmente, la poderosa energía de los ríos, convertida en energía eléctrica, permite obtenerlo en cantidades enormes a precios más económicos.



*Figura 21.5 Maestra de bauxita de forma esférica, mineral de aluminio, encontrado en el yacimiento "Caperucita roja" de los Urales*

Algunas de sus propiedades son muy conocidas. El aluminio es un metal ligero, casi tres veces menos pesado que el hierro, muy dúctil y maleable, puede estirarse en alambres finos y extenderse en láminas sumamente delgadas. No menos interés presentan sus propiedades químicas. Por una parte parece como si no tuviera miedo a la oxidación, lo que se aprecia, por ejemplo, en el comportamiento de las baterías de cocina, cacerolas, sartenes y bidones de aluminio. Por otro lado, su afinidad con el oxígeno es enorme. Esta aparente contradicción ya fue señalada por el propio Mendeléev. Es que el aluminio de brillo argéntico que se obtiene después del proceso de fundición, se recubre en contacto con el aire de una película fina de óxido que le protege de la oxidación ulterior. No todos los metales poseen esta capacidad de autoprotección. Por ejemplo, el óxido de hierro, la



herrumbre que todos conocemos, no impide en lo más mínimo la destrucción ulterior del metal, pues es permeable al aire y al agua; debido a su alta porosidad. Por el contrario, la delgada película de óxido con que se recubre el aluminio, es muy compacta, elástica y le sirve de sólida cubierta, que obstaculiza la propagación del proceso de oxidación. Cuando se calienta el aluminio se une ávidamente al oxígeno, transformándose en óxido. Esta reacción va acompañada de un gran desprendimiento de calor, propiedad que se aprovecha en la industria para la fusión y obtención de otros metales a partir de sus óxidos, mezclándolos con polvo de aluminio finamente dividido. En este proceso, llamado aluminotermia, el aluminio metálico se apodera del oxígeno de los óxidos, los reduce y deja los metales en libertad.

Si mezclan ustedes óxido de hierro pulverizado con polvo de aluminio y provocan la ignición de la mezcla con una cinta de magnesia encendida, observarán una violenta reacción exotérmica, elevándose la temperatura hasta 3.000°C. El hierro, desplazado por el aluminio, funde a esta temperatura y el óxido aluminico formado surge a la superficie de la masa fundida en forma de escoria. El hombre aplica esta interesante propiedad del aluminio para obtener ciertos metales refractarios, muy apreciados para diversos fines industriales.

De este modo se funden el titanio, canadio, cromo, manganeso y otros metales. Debido a que por el método aluminotérmico se obtienen temperaturas muy elevadas, la mezcla de óxido férrico y aluminio, llamada "termita", se usa para soldar el acero.

¡Pocos metales pueden contarse que hayan hecho una carrera tan rápida y brillante como la del aluminio!

El aluminio se ha introducido de modo impetuoso en las industrias del automóvil, de construcción de maquinaria y otras ramas, remplazando en muchos casos al acero y al hierro. En la construcción de barcos de guerra, su aplicación produjo una verdadera revolución técnica, permitiendo construir, por ejemplo, "acorazados de bolsillo" (barcos de dimensiones semejantes a un crucero ligero, pero con la potencia de un dreadnought).



Figura 21.6 Lingotes de aluminio metálico

El hombre aprendió a obtener en gran escala esta "plata" a partir de los minerales nativos. Y la "plata de arcilla" le permitió subyugar definitivamente al elemento aéreo.

El aluminio o sus aleaciones ligeras constituyen el material más adecuado para la construcción de aerostatos ligeros, fuselajes, alas o aviones de estructura enteramente metálica.

Esta nueva industria, que de forma tan amplia utiliza el aluminio, experimentó un incremento prodigioso.

Cuando vemos un avión volando sobre nuestras cabezas, debemos recordar que el 69% de su peso, sin contar el motor, corresponde al aluminio y a sus aleaciones. Incluso en los motores de aviación, el peso de aluminio y magnesio, de estos dos ligeros metales, alcanza el 25%.

Simultáneamente con el enorme consumo de aluminio en la industria pesada, en la construcción de trenes, de maquinaria y, sobre todo, en la industria aeronáutica, cientos de miles de toneladas de este elemento se emplean en la fabricación de cables y piezas diversas para fines electrotécnicos.

Pero con lo dicho no terminan las aplicaciones del aluminio.

Podemos agregar también los espejos reflectores para proyectores, las piezas importantes de los proyectiles y de las cintas de ametralladora,

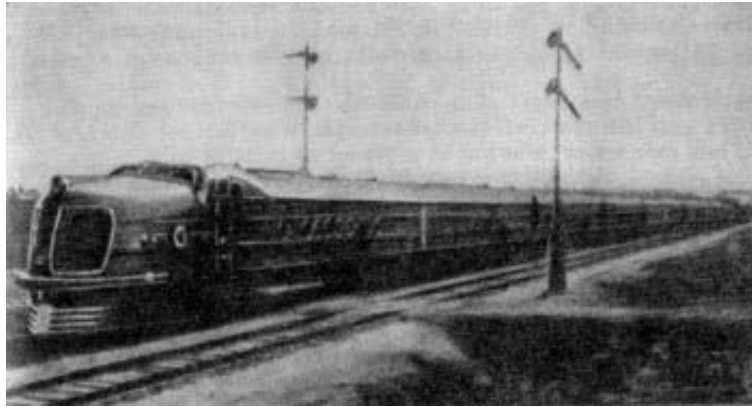
las bengalas luminosas, el polvo de aluminio mezclado con óxido férrico para las bombas incendiarias, etc.

Recordemos la enorme significación de la alúmina cristalina artificial (electrocorindón, alundum) obtenida en la actualidad de las bauxitas y utilizable en la llamada técnica abrasiva, principalmente, en la pulimentación de metales.



Figura 21.7 Vaciado en moldes del aluminio en un taller de fundición

Cuando se cristaliza el óxido aluminico puro mezclado con ciertos aditivos colorantes, obtenemos rubíes y zafiros que compiten con las variedades naturales de estas piedras preciosas en lo que se refiere a su dureza y belleza. Los empleamos como piedras de apoyo, por su gran resistencia al desgaste, en los aparatos de precisión: mecanismos de relojería, balanzas, contadores eléctricos, galvanómetros, etc.



*Figura 21.8 Tren expreso moderno, construido fundamentalmente de aleaciones ligeras de aluminio*

Con polvo fino de aluminio recubrimos las planchas de hierro y obtenemos una especie de hojalata aluminica muy refractaria a la corrosión. Este mismo polvo se usa para preparar pinturas y tintas litográficas. Se emplea para la pintura al fresco sobre madera. El polvo de aluminio se extiende, por medio de "muñecas", sobre la superficie del objeto, previamente impregnada con aceite. De esta forma se obtiene un fondo plateado, donde el artista pinta los dibujos complejos y coloreados del cuadro.



¿Por qué llamamos al aluminio el metal del siglo XX?

Porque, debido a las excelentes propiedades de que está dotado, su empleo se incrementa de año en año y las colosales reservas naturales de este metal son inagotables, por lo que hay razón para considerar que el aluminio penetra actualmente en la vida diaria del hombre en grado semejante a como en su tiempo se introdujo el empleo del hierro.

¡Pasarán varios siglos y posiblemente llamaremos a nuestra época la era de aluminio!



**Capítulo XXII****EL BERILIO, METAL DEL FUTURO**

Cuentan los historiadores que al emperador romano Nerón le gustaba ver en el circo las luchas de gladiadores a través de un gran cristal de esmeralda verde.



Cuando ardía Roma, incendiada por orden suya, se extasiaba con el furioso fuego, observándolo a través de un cristal de esmeralda, en el cual los colores rojos de las llamas se combinaban con el verde de la piedra, semejando malignas lenguas negras. Cuando los artistas de la Grecia y Roma antiguas, que no conocían todavía el diamante, deseaban grabar en piedra el rostro de alguien para eternizarlo y expresar su veneración hacia él, elegían para este fin las esmeraldas puras de los desiertos de Nubia en Africa.

Desde hace mucho tiempo, en la India ya apreciaban, a la par con las esmeraldas, los crisoberilos amarillodorados que se hallaban en las arenas de la isla de Ceilán en el Océano Indico, los berilios de color verdeamarillo de serpiente, el aguamarina azulverde, como el agua del mar. Más tarde conocieron el rarísimo mineral euclasa, el delicado "agua azul" como dicen los joyeros, así como la fenacita rojo-fuego, que se descolora en unos minutos cuando se expone a la luz del sol. Desde muy antiguo, todas estas gemas llamaron la atención por la belleza de su irisado, brillo admirable y pureza de colorido; y aunque muchos químicos intentaron descifrar su naturaleza química, no descubrían en ellas nada nuevo y erróneamente las consideraban como compuestos de simple alúmina.

Dos milenios antes de nuestros días, en las caprichosas sinuosidades de los pasos subterráneos de los áridos desiertos de Nubia se extraían berilios y esmeraldas de las célebres minas de la emperatriz Cleopatra.

Las piedras verdes sacadas del fondo de la Tierra eran transportadas en caravanas de camellos a las costas del mar Rojo y de allí iban a parar a los espléndidos palacios de los rajaes de la India, de los shas del Irán y de los soberanos del Imperio Otomano.

Después del descubrimiento de América, en el siglo XVI fueron llevadas desde Sudamérica a Europa esmeraldas verdeoscuras, admirables por su tamaño y belleza.

Después de una cruenta lucha con los indios, los españoles se adueñaron de fabulosas riquezas de esmeraldas, extraídas en el Perú y Colombia, que los naturales del país ofrendaban en el altar a su diosa. Como imagen sagrada representativa de esta diosa servía un cristal de esmeralda del tamaño de un huevo de avestruz.

Saquearon el tesoro de la población indígena. Pero los yacimientos de piedras preciosas situadas en las montañas poco accesibles de Colombia, mantuviéronse secretos por largo tiempo para los advenedizos, y sólo después de prolongada lucha, los españoles se abrieron paso hasta las propias minas y se apoderaron de ellas.



*Figura 22.1 Berilios. Al fondo está representada la sección hexagonal de un cristal*

A fines del siglo XVIII todos estos yacimientos fueron empobreciendo y agotándose. Por este mismo tiempo en las arenas del soleado Brasil comenzaron a extraerse aguamarinas de colores encantadores. No en vano esta piedra recibió el nombre de aguamarina, esto es "color de agua de mar", ya que su color es tan mutable como el color de los mares del sur, con toda la esplendidez y variedad de sus tonos.



En el año 1831, el campesino uralense Maxim Kozhévnikov, recogiendo árboles desgajados en el bosque, halló en la tierra, bajo las raíces retorcidas de un árbol, la primera esmeralda rusa. Más de cien años se explotaron las minas de esmeralda. Vagones enteros de berilio de color claro eran extraídos de la tierra, pero sólo las variedades de color verde vivo pasaban al tallado, las demás se desechaban.



*Figura 22.2 Gigantesco berilio verde opaco de una camera de feldespato. Peso: 18 toneladas*

...De esta forma es como fue desarrollándose el pasado en la historia de las piedras preciosas verdes, sobre las cuales, con el nombre de "berilios", ya se escribía varios siglos antes de nuestra era.

Así se esboza ahora ante nosotros el principio de la historia del metal del porvenir, llamado berilio.

Hasta el año 1798 nadie adivinaba que estas bellas piedras de vivo color contienen un metal, aún no conocido, de gran valor.



En la sesión solemne de la Academia Francesa del "26 del pluvioso del año VI" del calendario revolucionario (o sea, el 15 de febrero de 1798), el químico francés Vauquelin hizo la sensacional declaración de que en varios minerales, aquello que se consideraba alúmina o tierra aluminica, era en realidad una substancia completamente nueva, para la que propuso el nombre de "glucinio" (de la palabra griega "dulce"), ya que sus sales parecieronle al químico francés

de sabor dulce.

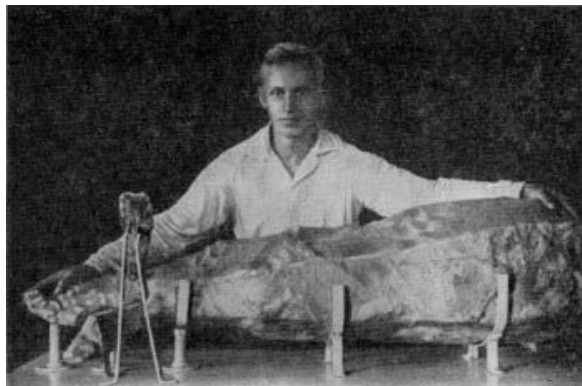
Pronto esta comunicación fue confirmada por numerosos análisis efectuados por otros químicos, pero resultó que los minerales contenían este nuevo metal en cantidades muy pequeñas, por lo general, sólo del 4 al 5%. Después, cuando los químicos estudiaron con detalle este elemento y su grado de difusión en la naturaleza, se aclaró que el berilio es un metal muy escaso. Su proporción en la corteza terrestre no supera a cuatro diezmilésimas por ciento (0,0004%), aun así, en la

Tierra hay dos veces más berilio que plomo o cobalto y veinte mil veces menos que su compañero, el metal aluminio, con el que todo el tiempo se le confundía. Pero los químicos y metalurgos soviéticos se dedicaron al estudio de este metal y en los últimos quince años se abre ante nosotros un panorama totalmente nuevo. No en balde podemos ahora denominar al berilio el gran metal del futuro.



*Figura 22.3 Cristales de berilio en una roca feldespática*

En efecto, resulta que este metal de brillo argéntico es dos veces más ligero que el liviano aluminio, bien conocido por nosotros. Es sólo 1,85 veces más pesado que el agua, en tanto que el hierro lo es 8 veces y el platino más de 20 veces. Da aleaciones magníficas con el cobre y el magnesio, que también son muy ligeras.



*Figura 22.4 Cristal de berilio de gran tamaño*

Es cierto que la amplia utilización actual del berilio se mantiene en secreto y para varios estados constituye un secreto militar, sin embargo, hoy sabemos perfectamente que las aleaciones de este metal se emplean cada vez más en la aviación de todos los países, que para obtener buenas bujías de automóvil se agrega polvo de mineral berilio a la masa de porcelana, que las hojas metálicas finas de berilio permiten fácilmente el paso de los rayos X y que sus aleaciones asombran por su ligereza y solidez. Los muelles de bronce de berilio poseen propiedades excelentes.

En efecto, el berilio es uno de los elementos más notables, de enorme significación teórica y práctica.

Ya hemos aprendido a buscarlo, sabemos que se encuentra en las regiones de los macizos graníticos, se acumula en los últimos alientos de sus masas en fusión, se reúne junto con otros gases volátiles y metales raros en los restos finales de los granitos enfriados y consolidados en las profundidades.

En estas vetas rocosas, que denominamos pegmatitas graníticas, hallamos al berilio formando bellas y refulgentes gemas preciosas.

Se le encuentra también asociado a otros minerales; sabemos dónde buscarlo, puesto que hemos descifrado el comportamiento de este ligero metal, todo su carácter y sus propiedades.

Cada año se incrementa más y más la búsqueda de sus yacimientos.

Las rutas que sigue el berilio en la corteza terrestre nos insinúan sus formas de aplicación industrial. Los tecnólogos estudian los métodos para su extracción de los minerales que lo contienen, y los metalurgos, su empleo en las aleaciones superligeras para la construcción de aviones.

El dominio del aire, los vuelos audaces de aeroplanos no son posibles sin metales ligeros y prevemos ya que en ayuda de los actuales metales de la aviación, el aluminio y el magnesio, vendrá el berilio.

¡El porvenir es del berilio!

Puede ser que ahora estas palabras parezcan utópicas. Pero cuántos sueños se convirtieron en realidad.



**Capítulo XXIV****EL ORO, REY DE LOS METALES**

Hace mucho tiempo que el oro fue advertido por el hombre, seguramente, en forma de refulgentes pepitas amarillas en la arena de los ríos.



Puede aprenderse mucho de curioso e ilustrativo siguiendo la historia del empleo del oro en los complejos caminos del progreso de la humanidad. Desde la propia cuna de la cultura humana hasta las guerras imperialistas, con el oro están ligadas las empresas bélicas, las conquistas (le continentes enteros, la lucha de varias generaciones de pueblos, los crímenes y la sangre.

En las antiguas sagas escandinavas el oro juega un enorme papel; y la lucha de los Nibelungos es la lucha por liberar al mundo de la maldición y el poder del oro. El anillo forjado con oro del Rin simboliza el principio del mal. Sigfrido, a cambio de su vida, debe librar al mundo del dominio del oro y derrocar los dioses de Walhalla.

En la poesía épica helénica existe el mito del viaje de los argonautas a Cólquida en busca del vellocino de oro.

Allí, en las costas del mar Negro, en la Georgia actual, ellos debían hallar el vellocino, pieles de carnero cubiertas de polvo de oro, y arrancárselas al dragón guardián.

En las antiguas leyendas griegas y papiros egipcios puede leerse sobre la lucha por el oro en el mar Mediterráneo. El rey Salomón, para construir el célebre templo de Jerusalén, tenía que conseguir una enorme cantidad de oro y emprendió una serie de campañas contra el antiquísimo país de Ophir, que inútilmente buscan los historiadores en las fuentes del Nilo o en Etiopía.

Algunos opinan que la palabra "Ophir" significa en realidad "riqueza" y "oro".

Existe una leyenda sobre las hormigas que extraían oro. Conócense muchas versiones de esta leyenda en la interpretación de distintos investigadores.



*Figura 24.1 Los argonautas en Cólquida (antigua denominación de Georgia), examinando el vellocino de oro. Grabado antiguo*

Le sirvió de fundamento el relato de cómo una tribu de la India vivía en un desierto arenoso en el que había hormigas del tamaño de zorros. Estas hormigas arrojaban desde el fondo de la tierra, junto con la arena, gran cantidad de oro, en busca del cual acudían los habitantes con camellos. Heródoto confirma este relato; algo parecido escribía Estrabón el año 25 antes de nuestra era. Plinio da una versión algo diferente, pero, en todo caso, los escritores europeos y árabes más de una vez volvieron a ese tema aún en la Edad Media. Hasta el momento actual no existe una

explicación exacta de esta leyenda; la aclaración más aceptable es la de que en sánscrito la palabra "hormiga" y la palabra "grano" (oro de aluvión) se expresan por el mismo sonido. En este parecido de las palabras "grano de oro" y "hormiga" se funda, por lo visto, el origen de la leyenda.

Magníficos objetos de oro se guardaban en los antiguos tesoros de las épocas escíticas en el sur de Rusia. Estas admirables labores de los artífices escitas, representando lo más frecuente animales salvajes en furiosos movimientos, se conservan en el Museo de la Ermita junto a las labores de oro, tan finas como, aquellas de los tesoros siberianos.

El oro siempre jugó un papel inmenso en la mente de los antiguos. Los alquimistas le dieron el signo del sol. Al tiempo que los pueblos eslavo, germánico y finlandés tenían en la raíz de esta palabra las letras G, Z, O, L (zóloto, gold), los pueblos indo-persas ponían las letras A, U, R, de donde procede la palabra latina "aurum" de la que los químicos tomaron el símbolo químico actual del oro, Au.

Los lingüistas han efectuado investigaciones especiales sobre el problema de la denominación del oro y determinación de la raíz de esta palabra. Estos investigadores se esforzaron por hallar los nidos en que se encontraba el oro en el mundo antiguo.

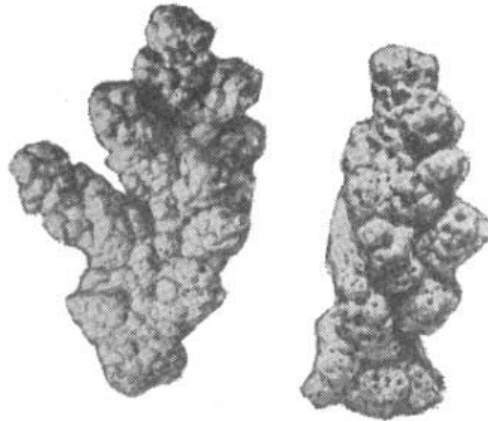


*Figura 24.2 Peine de oro con representación de un combate de los excitas con los griegos. Cultura de los siglos V, final del IV antes de nuestra era. Túmulo de Soloj (RSS de Ucrania). Se conserva en el Museo Nacional de la Ermita*

Es interesante señalar que en Egipto sirvió de jeroglífico para el oro la representación de un pañuelo, saco o balde, lo que por lo visto habla de los métodos de obtención del oro en los placeres.

El oro se distinguía por su calidad y color. Sus fuentes en Egipto eran las arenas, cuyo emplazamiento se señala con todo detalle en varios escritos antiguos. Fue hallado oro en distintos lugares del noroeste de Egipto, por las costas del mar Rojo, en las arenas de antiguos granitos en la región del Nilo y, principalmente, en la región de Kosseir. Los textos antiguos indican numerosos puntos de extracción de oro. También existían antiguas excavaciones en los desiertos de Arabia y Nubia. Las minas de oro se constatan ya 2-3 mil años antes de nuestra era.

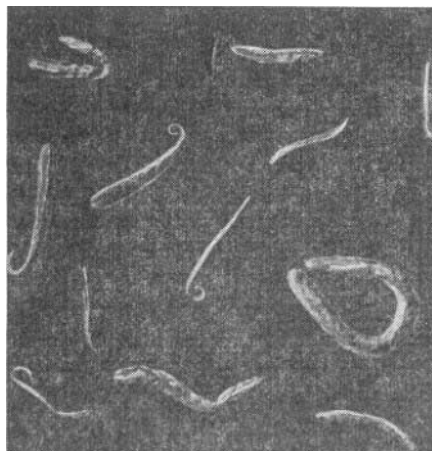
En escritos posteriores, las explotaciones auríferas fueron representadas y descritas maravillosamente por muchos autores. En una serie de textos se indica que el oro se halla ligado a rocas blancas brillantes (por lo visto, vetas de cuarzo), que ciertos autores antiguos denominaron incorrectamente con la palabra griega "marmoros". Se conocen los precios, extracción, métodos de explotación, etc.



*Figura 24.3 Concreciones nodulares de oro. Kachkar. Urales Meridionales*

El descubrimiento de América en el siglo XV constituye una nueva página en la historia del oro. Los españoles trajeron de América una cantidad grandiosa de este precioso metal, que obtuvieron por el saqueo militar, e inundaron de oro Europa.

A principios del siglo XVIII (en el año 1719) fueron descubiertos ricos placeres auríferos en las arenas del Brasil. Comenzó por doquier la "fiebre del oro" y se inició la búsqueda de este precioso metal en otros países. A mediados del mismo siglo en Rusia, cerca de la ciudad de Ekaterinburgo (hoy Sverdlovsk) fueron hallados los primeros cristales de oro en rocas de cuarzo. Un siglo más tarde en Norteamérica, el año 1848, se hizo un descubrimiento admirable: en el Lejano Oeste, tras el límite de las Montañas Rocosas, cerca de la costa del Océano Pacífico, en la entonces aún misteriosa California fueron descubiertos yacimientos de oro por un tal John Sootter que murió después en la indigencia.



*Figura 24.4 Ejemplares de oro cristalino en forma de filamentos a modo de ganchos y espirales*

Allá se lanzaron los buscadores de oro; caravanas enteras de carros uncidos con bueyes se dirigían al Oeste en busca de nueva fortuna. No pasaron cincuenta años cuando se descubrió oro en Klondike en la península de Alaska, que tan irreflexivamente y a tan mísero precio fue vendida por el gobierno de la Rusia zarista a los Estados Unidos de América.



*Figura 24.5 Lavado de arenas auríferas en la antigüedad. Grabado antiguo*

De los relatos de Jack London sabemos cómo transcurrió la lucha por el oro en Klondike. Se conservan fotografías de las "serpientes negras" abriéndose camino a través de las cumbres nevadas y vastos espacios de las montañas polares: eran torrentes continuos de gente que cargaba sobre sus espaldas o en pequeños trineos sus bártulos, arrastrada por la idea de regresar con montones de oro.

En 1887 fueron descubiertos los primeros placeres auríferos en Africa del Sur, en el Transvaal, pero esta riqueza no trajo la felicidad a los bóers que la descubrieron. Después de una lucha prolongada y sangrienta, Inglaterra consiguió conquistar este país y casi destruyó al pueblo libre de los bóers. Actualmente se obtiene en el Transvaal más del 50 % de toda la extracción mundial de oro. También hay oro en Australia.

Muy específica fue la historia de la conquista del oro en Rusia. El año 1745 en los Urales, cerca de Ekaterinburgo, en el río Beriózovka, fue descubierto por el campesino Eroféi Márkov oro en filones. También en los Urales fueron descubiertos en 1814 los primeros placeres auríferos por el capataz Brusnitsin, que organizó su explotación. Así, la cuna de la industria del oro rusa son los Urales. En la segunda mitad del siglo XIX causó sensación el descubrimiento de yacimientos en el río Lena, en Siberia. Estas eran riquezas fabulosas a las que se lanzaron aventureros de toda índole y de todos los países. Unos ponían jalones y vendían parcelas; otros, en las difíciles condiciones de la taigá, lavaban oro y regresaban ricos; otros extraían oro y se bebían en el sitio las ganancias; y otros, la mayoría, perecían de escorbuto y por las inclemencias del tiempo.

Aún mayores riquezas fueron halladas a principios de la segunda década de este siglo en el Aldán.

Tuve ocasión de conocer a un buscador de oro que trabajó durante los primeros años después del descubrimiento de los célebres placeres del Aldán. Me describió el fluir de aventureros huidos de los ejércitos blancos, que lo abandonaban todo para penetrar en el curso alto de dicho río y enriquecerse con el oro. Me contó de un sacerdote que dejó su parroquia y con



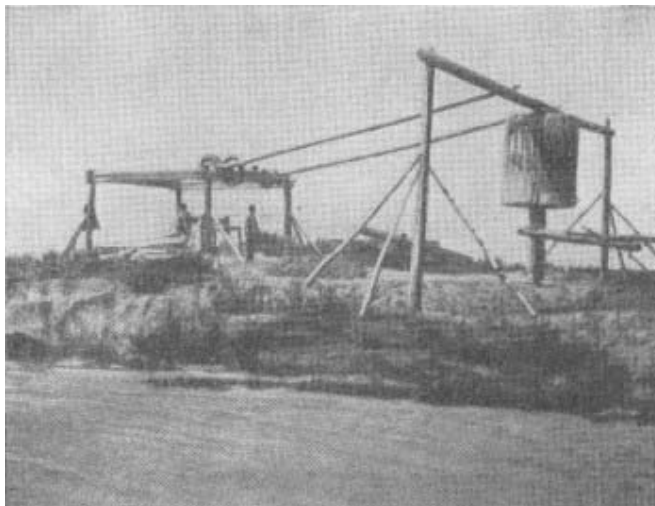


enorme trabajo alcanzó el curso superior de este río, armó una balsa y atravesó lugares casi inaccesibles, donde lavó 25 "puds" (400 kilogramos) de este precioso metal.



*Figura 24.6 Primeras explotaciones de cuarcitas auríferas en el Transvaal*

Relataba después cómo llegó al Aldán el Poder soviético y la región de los placeres auríferos, denominada "comarca de oro y lágrimas", se convirtió en una base para el suministro planificado de valuta al País Soviético. Después se descubrieron muchos otros ricos yacimientos. Así se desarrolló gradualmente la lucha por el oro en la historia de la humanidad. Más de 50.000 toneladas de este metal han sido extraídas y, aproximadamente, la mitad fue a parar a los bancos, donde se concentraron más de 10.000 millones de rublos oro. Los progresos de la técnica fueron permitiendo obtener cada vez más cantidad de metal, pasando de los minerales ricos a los pobres. Al principio se emplearon sencillos procedimientos artesanos de obtención, lavando la arena en cubetas, azafates y más tarde en las "americanas"<sup>1</sup>, que se extendieron por todo el mundo después del hallazgo de oro en California.



*Figura 24.7 Extracción de arenas auríferas en pozos sin entibar por medio de tornos movidos por fuerza animal. Forma habitual de mecanización en la Rusia de antes de la Revolución*

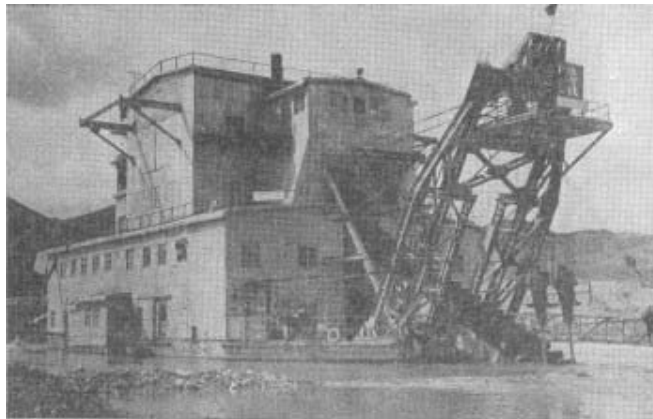
Posteriormente empezaron a explotar los yacimientos por el método hidráulico, con potentes chorros de agua y disolviendo las pepitas pequeñas de oro en soluciones de compuestos cianúricos. Finalmente se aprendió a separar el oro de las duras rocas fundamentales que lo

contienen empleando los más perfeccionados procedimientos de extracción en enormes fábricas de enriquecimiento.



La humanidad toma todas las medidas para conservar el oro reunido y lo guarda bajo llave en las cajas fuertes de los bancos estatales; y los buques que transportan oro van acompañados por una escolta de navíos de guerra. Como moneda, el oro se retiró de la circulación porque se desgastaba muy pronto y se perdía.

El hombre extrajo durante los milenios pasados de su cultura y vida económica no más que una millonésima parte del oro que contiene la corteza terrestre. Entonces, ¿cómo es que la gente hizo del oro su ídolo, base de riqueza? No cabe ninguna duda que el oro posee una serie de particularidades notables. Es el representante de los "metales nobles", es decir, metales que no se alteran al aire libre, conservan su brillo refulgente y no se disuelven en los disolventes químicos habituales. En efecto, sólo son capaces de disolver el oro los halógenos en estado libre, como el cloro o el agua regia (que consiste en una mezcla de tres partes de ácido clorhídrico y una parte de ácido nítrico), así como algunas sales venenosas del ácido cianhídrico.



*Figura 24.8 En los placeres auríferos. Draga eléctrica que trabaja hasta una profundidad de 25 metros*

El oro se distingue por su gran peso específico. Al igual que los metales del grupo del platino, es uno de los elementos más pesados de la corteza terrestre, siendo su peso específico 19,3. Se funde con relativa facilidad, calentándolo a una temperatura algo superior a mil grados, pero, en cambio, es muy difícil transformarlo en vapor volátil. Para alcanzar su punto de ebullición, hay que calentarlo hasta 2.600°. El oro es muy blando y se moldea muy bien; su dureza no es mayor que la de los minerales más blandos y en estado puro puede arañarse con la uña.



Los químicos determinan el oro con gran precisión. Es suficiente la presencia de un átomo de este elemento entre miles de millones de átomos de otros metales para que pueda ser identificado en los laboratorios (es decir, basta para su determinación  $1 \times 10^{-10}$  gramos). Tal cantidad de substancia no puede ser pesada por ninguna de las balanzas de que dispone la técnica actual.

No es poco el oro que hay en la corteza terrestre, pero se halla muy diseminado; en la actualidad, los químicos calculan que la proporción de oro en la Tierra es aproximadamente de cinco cienmillorésimas por ciento. ¡Pero la plata, que se considera como metal mucho más barato, existe sólo dos veces más en la corteza terrestre! Lo más notable es que

el oro se encuentra en la naturaleza por doquier. Se le ha hallado en los vapores incandescentes de la atmósfera solar, se le encuentra (cierto que en menos cantidad que en la Tierra) en los meteoritos y, también, lo contiene el agua del mar. Los últimos experimentos de precisión muestran que la cantidad de oro en el agua del mar es de cuatro diezmilmillonésimas partes, es decir, que en un kilómetro cúbico de agua marina hay 400 kilogramos de oro.

El oro se halla en el granito, se acumula en las postreras masas fundidas de los magmas graníticos, penetra en las vetas calientes cuarcíferas y allí, junto con otras combinaciones sulfurosas, principalmente de hierro, arsénico, cinc, plomo y plata, cristaliza a temperaturas relativamente bajas (cerca de 150-200°C).



*Figura 24.9 Los excavadores abriendo un arenal aurífero*

Así se forman los grandes depósitos auríferos. Al destruirse los granitos y vetas de cuarzo, el oro se dispersa y gracias a su estabilidad y alto peso específico se reúne en las capas bajas de las arenas. Sobre él casi no influyen las soluciones químicas acuosas que circulan por las capas de la corteza terrestre.

Mucho y largo tiempo hubieron de trabajar los geólogos y geoquímicos para llegar a aclarar el destino del oro en la superficie terrestre. Investigaciones precisas demostraron que también aquí "peregrina".

No sólo se desmenuza mecánicamente hasta dimensiones submicroscópicas y en tal forma es arrastrado por los ríos en cantidades enormes, sino que en parte se disuelve, sobre todo en los climas meridionales donde los ríos contienen mucho cloro,

recristaliza y va a parar a las plantas y al suelo. Se ha demostrado experimentalmente que las raíces de los árboles absorben oro para su madera. Hace varios años los científicos demostraron que en los granos del maíz hay oro en cantidad bastante considerable. Pero aún más oro se concentra en las cenizas de ciertos tipos de hullas, donde su cantidad llega a un gramo por tonelada de ceniza.



De este modo vemos que el oro recorre un camino complicadísimo en la corteza terrestre antes de ser extraído por el hombre. Pero de todas formas, por más que se haya esforzado durante más de 2.000 años la mente humana en la lucha por la obtención de oro, y por grandes que sean determinadas empresas auríferas, la historia completa de este metal nos es desconocida.





*Figura 24.10 Cubas enormes en donde se disuelve el oro por el método de cianuración*

Nuestros datos sobre el destino del oro disperso son tan escasos, que no podemos establecer una cadena completa con eslabones aislados de su "peregrinación". ¿Dónde fue a parar el oro arrastrado por las aguas hasta los mares y los océanos después del proceso de erosión de grandiosas cordilleras y peñas graníticas, dónde desapareció el oro del gran mar de Perm, que dejó en las costas de los Urales tan ricos sedimentos de sales, calizas y betúmenes?

A los geoquímicos y geólogos les queda aún mucho trabajo por hacer. Sin embargo el futuro del oro no es la permanencia en los depósitos de los bancos ni su participación en los juegos de los corredores de bolsa y de los capitalistas, su futuro es el uso amplio en las ramas más diferentes de la ciencia y la industria soviéticas, en la industria precisa de electrotecnia y radiotecnia, en dondequiera que se necesite un metal de alta electroconductibilidad y de características constantes resistente contra cualesquier reactivos químicos.

De los depósitos y las cajas fuertes el oro, como metal eterno, pasará a las fábricas y a los laboratorios.



<sup>1</sup> Tinajas largas y estrechas con umbrales transversales que sirven para retener el oro.

## Capítulo XXV ELEMENTOS RAROS DISPERSOS

La corteza terrestre consta de muchas decenas de elementos químicos. Sólo 15 de ellos son relativamente frecuentes y habituales, pues toman parte en la composición de casi todas las rocas. Los demás son menos corrientes.

Algunos de los elementos más raros originan grandes concentraciones, formando depósitos minerales en diferentes yacimientos; otros, como, por ejemplo, el oro o el platino, muy poco abundantes en la corteza terrestre, forman granos diminutos, casi imperceptibles de metal en estado nativo, y raras veces pepitas de mayor tamaño.

Pero aun siendo raros, se les encuentra formando minerales independientes, aunque su tamaño sea pequeño, incluso tan pequeño que la vista no los percibe, pero en todos los casos constituyendo minerales propios. Sin embargo, existen ciertos elementos químicos muy escasos en la corteza terrestre que no forman minerales propios e independientes. Las combinaciones químicas de estos elementos se hallan disueltas en otros minerales más comunes, del mismo modo que el azúcar o la sal se disuelven en el agua, aunque por el aspecto exterior no podamos decir si el agua es pura o tiene algo disuelto.



Exactamente igual, es difícil y no siempre posible juzgar por el aspecto exterior de los minerales qué impurezas químicas contienen en disolución. En el caso del agua, es suficiente probarla para saber si es insípida, dulce o salada. El análisis químico en los minerales es más complejo y el proceso de separación de los elementos químicos que se ocultan en minerales ajenos presenta grandes dificultades.

Los elementos químicos efectuaron largas y complicadas "peregrinaciones", por las disoluciones y masas fundidas antes de llegar a combinarse en el seno de las rocas y vetas minerales, constituyendo minerales sólidos, compuestos químicos más estables. Durante este largo proceso, los elementos experimentan numerosas y diversas transformaciones. Este camino lo recorren juntos, sin separarse unos de otros, sólo los elementos muy semejantes entre sí.

Cuanto más semejantes sean las propiedades químicas de dos elementos cualesquiera, tanto más difícil será encontrar la reacción química que sirva para separarlos. Ciertos elementos raros, en vez de aislarse y formar minerales independientes, se disuelven, se difunden en los minerales pertenecientes a otros elementos químicos. Por ello los llamamos elementos dispersos.

¿Qué clase de elementos son éstos?: En la vida ordinaria, incluso durante las clases de Química en la escuela media, casi no oímos hablar de ellos, a pesar de que con el progreso de la técnica estos elementos van introduciéndose cada vez más en nuestra vida.

Estos elementos son el galio, indio, talio, cadmio, germanio, selenio, telurio, renio, rubidio, cesio, radio, escandio y hafnio. Únicamente hemos mencionado los más característicos, si quisiéramos podríamos enumerar todavía más.

Veamos dónde y en qué condiciones se hallan estos elementos en la naturaleza, de qué modo el hombre los descubrió en otros minerales y cuáles son sus aplicaciones.

He aquí, sobre la mesa, un trozo de mineral amarillo pardusco, que en las superficies de fractura presenta con frecuencia facetas perfectamente planas y brillantes. Es un mineral pesado que por su aspecto exterior no se parece en nada a una mena, a pesar de que lo es. Se denomina blenda de zinc o, también, esfalerita.

Su composición es muy sencilla: a cada átomo de zinc le corresponde otro de azufre. Pero estos son sólo los elementos primordiales. La simplicidad de su composición es sólo aparente. Nuestro ejemplar es amarillo-pardusco, sin embargo, existen otras variedades de este mismo mineral de

distintos colores: pardo, pardo oscuro, negro pardusco e, incluso, totalmente negro y, en este caso, poseen verdadero brillo metálico.



*Figura 25.1 Laboratorio moderno donde se verifica el proceso de separación de las tierras raras de las soluciones que las contienen, a base de cristalizaciones sucesivas*

¿A qué se debe esto?

La coloración oscura de la blenda de zinc se debe a las impurezas de sulfuro de hierro que se hallan disueltas en su masa. La blenda de zinc sin impurezas de hierro, es casi incolora, amarillo-verdosa o de color verde claro. Por tanto, la tonalidad más o menos oscura de este mineral es el rasgo característico que indica el contenido de hierro. El análisis roentgenográfico de la estructura de la blenda de zinc ha demostrado que las partículas sueltas de zinc y de azufre se hallan distribuidas de la forma siguiente: cada átomo de zinc está rodeado de cuatro átomos de azufre y cada átomo de azufre, de cuatro de zinc.



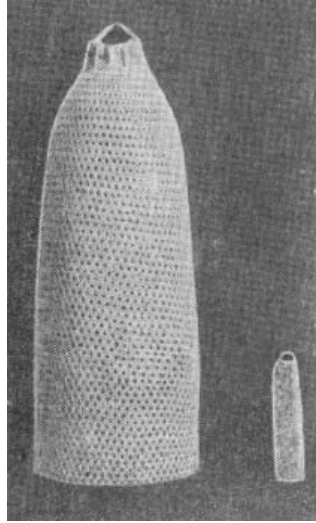
Cuando existen impurezas de hierro, este elemento reemplaza a algunos de los átomos de zinc, debido a lo cual la blenda adquiere una nueva coloración. Los átomos de hierro se distribuyen de modo completamente uniforme: un átomo de hierro ocupa el puesto de cada centésimo átomo de zinc, o el lugar correspondiente a cada quincuagésimo, trigésimo, vigésimo, décimo... Y el "dueño hospitalario", el zinc, se dirige al hierro y le dice: ¿No habrás poblado en exceso mi casa? A pesar de que el hierro abunda en la naturaleza mucho más que el zinc, la capacidad del primero para reemplazar en la blenda al segundo tiene ciertos límites determinados. Los hombres de ciencia llaman a esta propiedad miscibilidad limitada.

Este ejemplo puede utilizarse también para hacer una comparación interesante: del mismo modo que en una madriguera desocupada, en la que antes habitaba una zorra, nunca buscarán acogimiento, por ejemplo, un ratoncito, ni un oso, que necesita una guarida más espaciosa para pasar el invierno, sino que la utilizarán sólo animales de tamaño semejante al de la zorra, en la blenda de zinc, el puesto de este último podrán ocuparlo sólo aquellos elementos cuyos átomos sean de tamaño aproximado al átomo de zinc.

En la blenda de zinc, encontramos los siguientes elementos raros dispersos: cadmio, galio, indio, talio, germanio... Como pueden ustedes ver, el zinc es un dueño muy hospitalario. Y no sólo el zinc, el azufre también está capacitado, pero en grado mucho menor, para dar hospitalidad a otros dos elementos raros dispersos, el selenio y el telurio.

La composición de la blenda de zinc es, por tanto, mucho más compleja de lo que parece a primera vista. Aproximadamente lo mismo puede decirse de los llamados minerales descoloridos, de la pirita de cobre (calcopirita) y de otros minerales.

Pero los geoquímicos han descubierto nuevas leyes complementarias.



*Figura 25.2 Manguito o camiseta de incandescencia en cuya composición entra el óxido de torio, utilizable para los mecheros de gas*

Resulta que las blendas negras de zinc ricas en hierro, por lo general, no contienen cadmio; en cambio, son ricas en indio y, a veces, en germanio. El galio se concentra principalmente en las blendas de zinc de color pardo claro, y el cadmio en las de color amarillo de miel.



*Figura 25.3 Sección de selenio en una fábrica*

El selenio y el telurio abundan, por lo general, en las variedades oscuras. Como ven ustedes, el grado de amistad entre los elementos químicos no es siempre igual; las condiciones, los diferentes elementos vecinos son los que determinan qué clase de "inquilinos" pueden instalarse en el lugar designado para el zinc...

El descubrimiento e identificación de los elementos raros dispersos constituye una tarea difícil que exige el empleo de métodos especiales. Debido a su gran valor industrial, la búsqueda de estos elementos se realiza incluso en el caso de que su porcentaje en el mineral hallado sea muy pequeño. En ayuda de los métodos analíticos usuales más perfeccionados y de las reacciones químicas más sensibles, vienen los métodos especiales de análisis espectroscópico y roentgenoquímico.



Estos métodos que no exigen complejas reacciones químicas de separación, permiten determinar rápidamente (cualitativa y cuantitativamente) qué otros elementos entran en la composición del mineral dado. La blenda de zinc con 0,1 % de indio se considera ya como mineral de indio y no de zinc, puesto que el precio del indio, incluso en tan pequeñas cantidades, es superior al de todo el zinc...

¿Por qué se les dedica tanta atención a los elementos raros dispersos, por qué despiertan tanto interés, qué es lo que determina su alto precio? La causa principal es la importancia de sus aplicaciones, las propiedades especiales y características que poseen, tanto los propios metales, como los productos obtenidos de sus combinaciones.

Por ejemplo, el óxido de torio, cuando se calienta, emite una luz viva, cegadora, a lo que debe su aplicación para los manguitos o camisetas de incandescencia.



*Figura 25.4 Verificación de un filamento de wolframio para lámparas eléctricas de incandescencia. En la parte superior se ve la silueta de un hilo arrollado en espiral, aumentado 80 veces, para lámparas de 60 vatios; en el centro, una vuelta de espiral. En la parte inferior se muestra un cabello humano, como término de comparación*

Con rubidio y cesio se obtienen superficies especulares que despiden fácilmente electrones, lo que les hace insustituibles para las células fotoeléctricas.

Veamos dónde y cómo se utilizan los metales raros o sus compuestos, obtenidos exclusivamente de la blenda de zinc que acabamos de describir.

El cadmio es un metal de color gris claro, relativamente blando y que funde a 321°C. Sin embargo, si preparamos una mezcla compuesta de una parte de cadmio metálico, una parte de estaño, dos de plomo y cuatro de bismuto (estos cuatro metales funden a temperaturas superiores a 200°C), obtendremos una aleación, conocida con el nombre de Wud, que funde a 70°C.

¡Qué cosa más curiosa! Si hacemos una cucharilla de esta aleación y tratamos de disolver, agitando con ella, azúcar en un vaso de té caliente, nuestra cucharilla se fundirá y... en el fondo del vaso, bajo la capa de infusión de té, se acumulará el metal líquido. Modificando las



proporciones de estos cuatro elementos, puede obtenerse la aleación de Lipóvich que funde a 55°C. Semejante aleación en estado líquido puede tocarse con la mano sin el menor cuidado. Los metales de bajo punto de fusión se emplean en numerosas ramas de la industria. Existe un metal al que le basta el calor de la mano para fundirse. Este metal es el galio, uno de los elementos más dispersos que se hallan en la blenda de zinc. Además, el galio se encuentra en las micas, arcillas y en algunos otros minerales.

El galio funde a 30°C, y es, después del mercurio (que funde a -39°C), uno de los metales con más bajo punto de fusión, lo que le permite remplazar en muchas aplicaciones al mercurio, cuyos vapores, como sabemos, son muy tóxicos, cosa que no ocurre con el galio. Por ello, el galio, lo mismo que el mercurio, puede utilizarse en la fabricación de termómetros. Pero si con los termómetros ordinarios de mercurio se miden temperaturas desde -40° hasta +360° (punto de ebullición del mercurio), con los termómetros de galio pueden determinarse temperaturas desde +30° hasta 700-900° (temperatura de reblandecimiento del vidrio). Si se emplea cristal de cuarzo pueden medirse temperaturas hasta de 1500°C, pues el galio hierve a 2300°C.

Si los tubos de estos termómetros se hacen de vidrio especial refractario, entonces puede medirse la temperatura de la llama o la de muchos metales en estado fundido.



A propósito, el galio tiene otra particularidad muy interesante: lo mismo que el agua es más pesada que el hielo, debido a lo cual los témpanos de hielo flotan en el agua, el metal galio es más ligero en estado sólido que fundido y, por consiguiente, flota en el galio líquido.

Esta rara propiedad la tienen también el bismuto, la parafina y el hierro colado. En todos los demás casos, las sustancias sólidas, al fundirse, se hunden en su propia masa líquida.

Ocupémonos nuevamente del cadmio. Este metal, además de servir para preparar valiosas aleaciones fusibles, se utiliza en la industria de tranvías. ¿Han tenido alguna vez ocasión de ver un trole viejo de tranvía, de los que tienen forma de arco? ¡Qué hendidura tan profunda se forma en la parte central del arco como resultado de su constante rozamiento con el cable de línea! El cable, por el mismo motivo, también se desgasta.

Sin embargo, basta agregar sólo un 1 % de cadmio, para que la resistencia al desgaste de los cables se eleve considerablemente. El cadmio se emplea también en las redes tranviarias para los cristales coloreados de las luces de señales. La adición de sulfuro cádmico concede al vidrio un bello color amarillo; si se agrega seleniuro cádmico, el vidrio adquiere color rojo.



*Figura 25.5 Pezuñas de vaca corroídas por la acción del selenio existente en la hierba de un terreno infectado*

Las aplicaciones del indio no son menos interesantes que las del cadmio. Sabemos que las aleaciones de cobre se deterioran con gran rapidez por la acción del agua salada del mar. Sin embargo, en la construcción de submarinos e hidroaviones no siempre es posible substituir estas aleaciones por otros metales químicamente más estables. Pero si agregarnos a estas aleaciones cantidades pequeñísimas de indio, su estabilidad ante la acción corrosiva del agua del mar crece en alto grado.



La adición de indio a la plata hace aumentar su brillo de modo extraordinario, o sea, eleva su capacidad reflectora. Esta propiedad se utiliza en la fabricación de espejos para reflectores; el indio contenido en la capa especular incrementa notablemente la densidad de la luz reflejada por el proyector.

Propiedades completamente inesperadas posee el selenio, elemento raro disperso, pariente próximo del azufre. De ordinario se halla en pequeñas cantidades en los minerales sulfurados. Según sea la intensidad de luz que le ilumine, su conductividad eléctrica varía de modo brusco. Debido a esta particularidad, el selenio se utiliza en la técnica de transmisión de imágenes por telégrafo y por radio. En ella se basa el funcionamiento de muchos dispositivos de control automático, destinados a registrar el paso de piezas de colores claro u oscuro en las cadenas transportadoras de las fábricas. Por último, la medición exacta de la intensidad luminosa sólo ha sido posible gracias al empleo del selenio.



Otra importante aplicación del selenio: para la fabricación de vidrio limpio e incoloro. De ordinario, el vidrio se obtiene fundiendo una mezcla de arena cuarcífera, piedra caliza y un álcali (carbonato sódico o sulfato sódico). Debe emplearse arena lo más pura posible, sobre todo que no tenga hierro, pues este elemento transmite al vidrio

un tono verdusco característico, como vemos en el vidrio de las botellas ordinarias.

Es suficiente una cantidad insignificante de hierro para que aparezca esta coloración. Para los cristales de las ventanas se necesita un vidrio puro y transparente, todavía de mejor calidad debe ser el que se emplea para los cristales de las gafas y lentes, y de una pureza irreprochable el que se utiliza en los aparatos ópticos (microscopios, gemelos y telescopios). Si se agrega seleniato sódico al vidrio en estado fundido, el selenio se combina con el hierro, extrayéndolo de



esta forma de la masa vítrea fundida y se obtiene un cristal incoloro de excelente calidad.

El vidrio que se emplea para la fabricación de aparatos ópticos, para gemelos dotados de alta luminosidad y gran capacidad de amplificación, para aparatos fotográficos, etc., debe poseer también otras propiedades especiales. Y esto se consigue adicionando dióxido de germanio en pequeñas proporciones.

El germanio, lo mismo que el selenio, es uno de los elementos raros y dispersos que se hallan en cantidades ínfimas en ciertas variedades de la blenda de zinc. Se encuentra también en algunas clases de hulla.

Hasta hace poco tiempo casi nadie se interesaba por el germanio. Pero en estos últimos años, después del descubrimiento de los semiconductores, este elemento ha pasado a ser uno de los más importantes. Los dispositivos semiconductores de germanio pueden verse en los radorreceptores portátiles, en las máquinas calculadoras y hasta en los cohetes cósmicos.



Hemos visto cómo se comportan los elementos raros dispersos en los minerales y menas que los contienen, cuáles son las propiedades que caracterizan a estos metales tan poco comunes, hemos hablado también de sus diversas aplicaciones.

La importancia de estas aplicaciones explica el por qué los geoquímicos prestan tanta atención a los elementos raros dispersos.

**Capítulo Vigésimosexto****LOS METEORITOS, EMISARIOS DEL UNIVERSO**

Noche oscura sin luna. Se apagaron los últimos resplandores del crepúsculo vespertino. Arden vivamente las estrellas en la profundidad ilimitada de la bóveda celeste, difuminándose y parpadeando con rayos multicolores. Poco a poco se extingue el ruido de los poblados. Alrededor todo parece haber muerto en el silencio nocturno y solamente la brisa ligera susurra apenas en el follaje de los árboles...

De repente todo se enciende con una luz viva y temblorosa. Velozmente cruza por el cielo un globo de fuego, desprendiendo chispas y dejando tras de sí una estela de luz débil, nebulosa. El globo se apaga sin llegar al horizonte de manera tan súbita como apareció, y de nuevo se sumerge todo en la oscuridad de la noche. Pero apenas transcurren unos minutos suenan golpes cortados como explosiones o disparos de piezas pesadas. Después se oyen estampidos, crujidos y un ruido sordo, prolongado, que se extingue gradualmente...



*Figura 26.1 Vuelo de un bólido*

Seguramente, alguno de nuestros lectores habrá tenido ocasión de presenciar el fenómeno descrito. ¿Qué es esto? ¿Qué es ese globo de fuego y de dónde proviene?

En el espacio interplanetario, aparte de los nueve planetas grandes, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón<sup>1</sup>, se mueve alrededor del Sol un gran número



de pequeños planetas, los asteroides. En la actualidad se conocen más de 1.500 asteroides, el mayor de los cuales, Ceres, tiene un diámetro de 770 kilómetros, en tanto que el menor de ellos, Adonis, tiene sólo un kilómetro. Es indudable que existe una multitud ilimitada de asteroides más pequeños. Sus diámetros se miden ya en metros e, incluso, en centímetros.

En esencia estos ya no son planetas, sino más bien pedazos de roca o piedras y pequeños granos que pueden hasta tenerse en la mano. ¿Qué cuerpos son esos? Desde la Tierra no se les ve incluso con los telescopios más potentes. Se les denomina cuerpos meteóricos y ninguno tiene forma esférica regular.

La mayoría de los asteroides grandes giran alrededor del Sol, cada uno por su órbita determinada, en el espacio existente entre las órbitas de Marte y Júpiter. Aquí constituyen en su conjunto el denominado "cinturón" de asteroides. Las órbitas de una enorme cantidad de asteroides menudos o cuerpos meteóricos salen de los límites de este cinturón, cortando las órbitas de

los grandes planetas, entre ellos de nuestra Tierra. Verificando su movimiento alrededor del Sol, la Tierra y un cuerpo meteórico pueden llegar simultáneamente al punto en que se cruzan sus órbitas. En este momento el cuerpo meteórico penetra a gran velocidad en la envoltura atmosférica de la Tierra, produciendo la aparición en el aire del globo inflamado, denominado bólido.

El cuerpo meteórico al penetrar en la atmósfera puede moverse en el espacio interplanetario en dirección contraria a la de la Tierra. En este caso su velocidad puede ser extraordinariamente grande, alcanzando 70 o más kilómetros por segundo. Si el cuerpo meteórico se movía en la misma dirección que nuestro planeta, es decir "alcanzando" y "siendo alcanzado", su velocidad inicial es aproximadamente igual a 11 kilómetros por segundo. Pero esta mínima velocidad es también muy grande; supera en muchas veces la velocidad de los proyectiles y las balas al salir del ánima.

Debido a esa velocidad tan grande, llamada cósmica, el cuerpo meteórico, al atravesar la atmósfera terrestre, encuentra una gran resistencia originada por la masa aérea. Incluso a la altura de 100120 kilómetros sobre la superficie terrestre en la que, como sabemos, la atmósfera está extraordinariamente enrarecida, debido a que la velocidad es tan grande, el aire ofrece una resistencia enorme y la superficie del cuerpo meteórico se calienta hasta varios miles de grados y comienza a brillar.



También se caldea el aire que rodea al cuerpo meteórico. En este momento, aparece en el cielo con movimiento vertiginoso el globo de fuego, el bólido. Es en realidad la envoltura gaseosa en estado incandescente que rodea al cuerpo meteórico. Las corrientes de aire que marchan a su encuentro, arrancan sin cesar la substancia derretida de la superficie del cuerpo, pulverizándola en pequeñas gotas. Al solidificarse, en forma de pequeñas bolitas, estas gotas forman una especie de estela de humo que el bólido deja tras de sí en su camino.

A la altura de 50-60 kilómetros sobre el suelo, donde la atmósfera es ya suficientemente densa para transmitir las ondas acústicas, se crea alrededor del cuerpo meteórico la llamada onda balística. Esta es la capa de aire comprimido que se forma delante del cuerpo meteórico durante su movimiento. Al chocar con la superficie terrestre, la onda balística produce estampidos, golpes y ruido, que suelen oírse varios minutos después de la desaparición del bólido.

Atravesando vertiginosamente capas más bajas de la atmósfera, de mayor densidad, el cuerpo meteórico encuentra una resistencia cada vez mayor del aire. Su movimiento se amortigua y a la altura de unos 10-20 kilómetros pierde su velocidad cósmica. El cuerpo meteórico parece como si se "enfangase" en el aire. Este sector de su camino se llama "zona de retención". Aquí cesa la incandescencia y la destrucción del cuerpo meteórico. Si no tuvo tiempo de disgregarse del todo, las capas derretidas de su superficie se enfrían con rapidez, se endurecen y se transforman en corteza. Desaparece la envoltura gaseosa incandescente que le rodeaba, y con ella desaparece el bólido que volaba por el cielo. Los restos del cuerpo meteórico, recubiertos por su corteza de fundición, caen, después de la zona de retención, casi verticalmente, obedeciendo a la atracción terrestre. Este trozo de cuerpo meteórico que cae a la Tierra se llama meteorito.

Los bólidos más luminosos pueden distinguirse incluso de día a plena luz del sol. Se ven bien sobre todo las estelas, como de humo, que dejan tras de sí. Estas estelas pueden observarse en el transcurso de muchos minutos y, a veces, más de una hora.

Bajo la influencia de las intensas corrientes de aire existentes en las capas superiores de la atmósfera, la huella del bólido, recta en un principio, se va volviendo curva. Como una gigantesca serpiente legendaria se retuerce por el cielo y desaparece, deshaciéndose en jirones. Los bólidos con sus estelas consecutivas dieron origen entre el pueblo a diversas leyendas sobre el vuelo de serpientes de fuego.

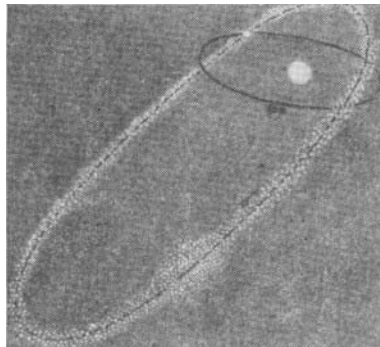
Los bólidos luminosos son poco frecuentes, pero los meteoros o, como suelen llamarse, "estrellas fugaces", seguramente los han visto muchos de los lectores.

Los meteoros se originan cuando penetran en la atmósfera, procedentes del espacio interplanetario, cuerpos meteóricos de muy pequeñas dimensiones y con peso de menos de un gramo. Tales partículas meteóricas se disgregan por completo en la atmósfera y no llegan a alcanzar la superficie terrestre.

Ahora pasemos a conocer con detalle los meteoritos, estos emisarios del universo llegados del espacio interplanetario.

En el Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS, en Moscú, se halla la colección de meteoritos mayor del país y la mejor del mundo. Allí hay muchos de tipo poco corriente o que poseen unas u otras particularidades interesantes.

En las numerosas vitrinas de la amplia y luminosa sala del museo pueden verse ejemplares de piedras magníficas; de muchas de ellas se habla en este libro.



*Figura 26.2 El torrente meteórico y la órbita de la Tierra*

Sorprenden por la diversidad de su colorido, a veces muy vivo. Pero junto a estas piedras tan llamativas, en vitrinas especiales se ven piedras monotónicas, grises, pardas y negras y trozos de hierro en parte oxidado. ¿Qué son estos ejemplares tan deslucidos? Estos son precisamente meteoritos. Largo tiempo, miles de millones de años viajaron por el espacio sideral, hasta que finalmente chocaron con la Tierra cesando su "peregrinación".

Los meteoritos son la única substancia extraterrestre que podemos estudiar directamente en los laboratorios aplicando complejos métodos modernos de investigación y complicados aparatos.



*Figura 26.3 Fotografía de la estela de un bólido en forma de "3", observada el 27 de septiembre de 1948*

Podemos tener los meteoritos en nuestras manos, determinar su composición química y mineralógica, estudiar su complicada estructura y propiedades físicas. Ellos abren ante nosotros páginas maravillosas de la historia del universo y de la evolución de los cuerpos celestes. Ellos pueden contarnos sobre muchos fenómenos interesantes y sorprendentes que se verifican fuera de los límites de nuestra Tierra. Todavía queda mucho por descifrar en los meteoritos y algunas de sus interesantes peculiaridades no han sido aún aclaradas definitivamente. Sin embargo, el



estudio de los meteoritos se desarrolla cada año con más profundidad y nuestros conocimientos se van haciendo más complejos.

La tarea principal planteada ante los hombres de ciencia que se ocupan del estudio de los meteoritos consiste en establecer y aclarar las condiciones de su origen y la historia de la evolución ulterior.

Los meteoritos se dividen en férricos, pétreos y férrico-pétreos. Los meteoritos férricos se componen de una aleación de hierro y níquel. Caen con mucha menos frecuencia que los pétreos. Así, por cada 16 meteoritos pétreos cae, por término medio, uno férrico. Con más rareza aún caen los

férrico-pétreos.

He aquí un pedazo negro de forma irregular. Es el meteorito pétreo Kuznetsovo<sup>2</sup>, caído en Siberia Occidental el 26 de mayo del año 1932; pesa algo más de dos kilogramos y medio, y está cubierto de una costra de fundición negra. Sólo en un sitio está un poco desconchado y se ve la substancia interna gris-cenicienta del meteorito.

Por su aspecto exterior no se diferencia en nada de las rocas terrestres. Pero observando atentamente la fractura pueden verse numerosas partículas brillantes diseminadas en la substancia meteórica, inclusiones de ferrocromo (aleación de hierro y níquel). Entre tales inclusiones se ven partículas brillantes de color amarillo bronceado, que son el mineral troilita, combinación química de hierro y azufre. Junto con la troilita se encuentran inclusiones de otro mineral de color más claro, combinación de hierro y fósforo, llamado shreibersita.

En la fractura se ve que la corteza de fundición que recubre al meteorito es muy delgada, con un espesor que no sobrepasa décimas de milímetro. Llamen la atención ciertas concavidades, bien redondeadas, bien algo alargadas, que tiene en su superficie, semejantes a huellas de dedos. Estas concavidades se denominan regmaglitos. Se originan en los meteoritos como resultado de la acción sobre ellos de corrientes aisladas de gases incandescentes durante el movimiento en la atmósfera del cuerpo meteórico con velocidad cósmica. La corteza de fundición y los regmaglitos son los principales rasgos que distinguen a los meteoritos.



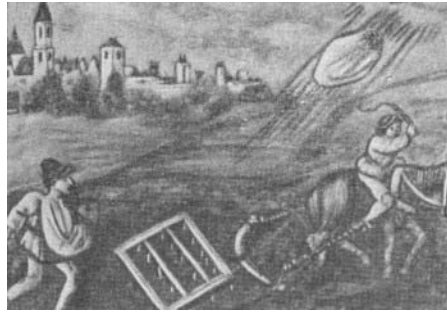
*Figura 26.4 Meteorito pétreo "Kuznetsovo", aproximadamente de 2,5 kg de peso, caído el 26 de mayo de 1932 en la región de Novosibirsk*

He aquí otro meteorito pétreo. Está partido por la mitad y en el lugar de la fractura se ve la substancia meteórica interna tan negra como su corteza. Esta es la condrita carbonácea, llamada

Stároe Boriskino, caída el 20 de abril de 1930 en la región de Orenburg. Este meteorito posee otras particularidades que veremos más adelante.

Junto a estos meteoritos hay otro pétreo de color casi blanco, tanto en su interior (en las superficies de fractura), como en el exterior (color de la corteza). Es el meteorito Stároe Pesíánoe que cayó en la región de Hurgán el 2 de octubre de 1933.

Después de su caída fueron halladas más de diez piedras sueltas con un peso total de casi 3,5 kilogramos.



*Figura 26.5 Caída de un meteorito en Suiza (De un dibujo antiguo del siglo XV)*

Este meteorito se distingue por su fragilidad. Se desconcha con facilidad, incluso por una ligera presión de los dedos. Es sorprendente que un meteorito tan frágil pudiera vencer la enorme resistencia de la atmósfera terrestre, sin deshacerse en polvo cuando la atravesaba con velocidad cósmica. Resulta ser que la zona de retención de este meteorito se encontraba muy alta sobre la superficie terrestre, en capas muy enrarecidas de la atmósfera.

Hemos entablado conocimiento con ejemplares de meteoritos que muestran sus rasgos típicos y la diferencia de color de su substancia interna.



*Figura 26.6 Humboldt y Bonplan observan una lluvia meteórica en América del Sur el año 1799*

Sigamos haciendo conocimiento con los meteoritos de la colección. En la vitrina siguiente hay grupos de piedras de distintas dimensiones y de forma irregular.



En la vitrina vemos el letrero: "lluvias meteóricas". Resulta que los cuerpos meteóricos, a su paso por la atmósfera terrestre con velocidad cósmica, casi siempre se parten en trozos aislados que se dispersan por la superficie terrestre en áreas de decenas de kilómetros cuadrados. La escisión de los cuerpos meteóricos generalmente tiene lugar antes de llegar a la zona de retención, donde aumenta con especial rapidez la resistencia del aire. A consecuencia de la forma irregular de los cuerpos meteóricos, la presión del aire, que adquiere una gran magnitud, se distribuye desigualmente por la superficie frontal del cuerpo, que se divide en pedazos.

Se dieron casos de caer en la Tierra verdaderas lluvias de piedras, después de las cuales se recogieron del suelo muchos miles de pequeños meteoritos aislados.

La lluvia meteórica más abundante cayó en los EE.UU. el 19 de julio de 1912 cerca del lugar Golbruck. En una superficie de cerca de 4 kilómetros cuadrados fueron recogidas 14.000 piedras, con un peso total de 218 kilogramos.



En una vitrina vemos piedras de la lluvia meteórica Pervomaiski Posiólok, que fue una de las más copiosas en la URSS. Cayó en la antigua región de Ivánovo el 26 de diciembre de 1933, y en un área de cerca de 20 kilómetros cuadrados, se reunieron 97 piedras con un peso total de 50 kilogramos.

En la recogida y selección de esta lluvia meteórica tuvieron una gran participación los escolares. La lluvia meteórica cayó en invierno, y algunos meteoritos atravesando la cubierta de nieve se detuvieron en la superficie helada de la tierra. Esto permitió que en la primavera del año siguiente, en cuanto se derritió la nieve, se pudiesen recoger los meteoritos por los campos con relativa facilidad.

En el museo, junto a las piedras de esta lluvia meteórica, están las de otra, *Zhovtnevi jútor*, caída el 9 de octubre de 1938. Estas piedras se destacan por sus grandes dimensiones, las mayores de ellas pesan 32, 21, 19 kilogramos y el peso de todas juntas (las 13 piedras reunidas) es de 107 kilos.

Son interesantes las piedras de otra lluvia meteórica, Pultusk, caída en Polonia el 30 de enero de 1868. Recogieron 3.000 piedras.



*Figura 26.7 Cráter meteórico en el Estado de Arizona (EE.UU.). Anchura: 1.200 metros, profundidad: cerca de 180 metros.*

En una vitrina aparte se muestran juntos dos meteoritos interesantes: un gigante y un enano. Uno de ellos pesa 102,5 kilogramos y el otro, del tamaño de una avellana, cerca de 7 gramos. Estos

dos meteoritos cayeron simultáneamente el 13 de septiembre de 1937 en la RSS de Tartaria a una distancia, uno de otro, de unos 27 kilómetros. Además de estos dos, se recogieron allí otras 15 piedras, con un peso total de cerca de 200 kilogramos.

Pasamos a la vitrina siguiente. Aquí se muestran ejemplares de meteoritos con formas típicas. La mayoría son de forma fragmentada; hay uno parecido a la cabeza de un proyectil. Es el meteorito pétreo *Karakol*, caído en la antigua provincia de Semipalátinsk el 9 de mayo de 1840. Pesa cerca de 3 kilogramos. Su forma cónica o, como se dice, orientada, se produjo como resultado de la frotación de la atmósfera terrestre durante su vuelo con velocidad cósmica. Este meteorito cayó al suelo sin sufrir disgregación en el aire.



*Figura 26.8 Meteorito pétreo Karakol, aproximadamente de 2,8 kg de peso, caído el 9 mayo de 1840 en la antigua provincia de Semipalátinsk. Posee forma orientada, semejante a la cabeza de un proyectil*

Al lado de éste hay otro meteorito, férrico, *Repeiev jútor*, también de forma cónica. Cayó el 8 de agosto de 1932 en la región de Astracán y pesa más de 12 kilogramos.



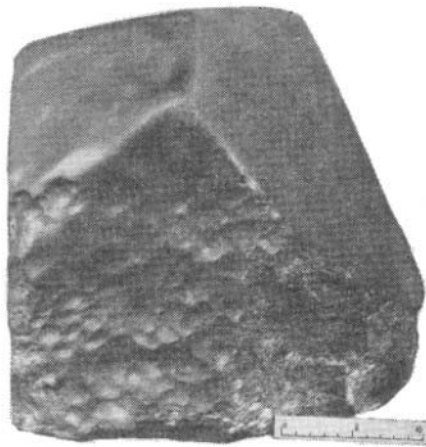
*Figura 26.9 Meteorito caído el 29 de septiembre de 1938. Atravesó el tejado de un garaje, la cubierta de un automóvil y cayó en el asiento del coche. Pesa 1.814 gramos*

Llama nuestra atención el meteorito siguiente, que por su forma nos recuerda a un enorme cristal. Es el meteorito pétreo *Timojina*, de cerca de 49 kilogramos de peso, caído el 25 de marzo de 1807 en la antigua provincia de Smolensk. Recibió tal forma a consecuencia de la escisión del cuerpo meteórico inicial en varias partes en su movimiento en la atmósfera con velocidad cósmica.

Según han demostrado las investigaciones, los meteoritos pétreos tienen la propiedad de partirse a lo largo de sus superficies lisas, como si fueran trozos de azúcar. Esto se explica por las peculiaridades de su estructura interna y composición mineralógica. Vemos cómo en muchos otros meteoritos de la clase pétreo, y entre ellos en ciertas piedras de las lluvias meteóricas, algunas de sus superficies son planas y lisas.



Sobre soportes especiales, reposan los meteoritos más grandes. El mayor de ellos pesa cerca de dos toneladas (1.745 kg). Es el ejemplar más voluminoso de la lluvia de meteoritos férricos de Sijoté-Alín. Llama la atención por la interesante estructura de su superficie. Posee regmagliptos muy marcados de forma alargada y dirigidos radialmente hacia la parte central de la ancha superficie del meteorito. Los regmagliptos muestran cómo envolvieron al meteorito diversas corrientes de gases incandescentes durante su movimiento en la atmósfera con velocidad cósmica.



*Figura 26.10 Meteorito pétreo Timojina de casi 49 kg de peso, caído el 25 de marzo de 1807 en la antigua provincia de SmoleDsk. Tiene forma poliédrica, que recuerda la de un cristal*

Junto a este meteorito hay otros tres grandes ejemplares de la misma lluvia con pesos de 500, 450 y 350 kilogramos.

Es notable también un meteorito férrico, *Boguslavka*, caído el 18 de octubre de 1916 en el territorio de Primorie. Se compone de dos pedazos de 199 y 57 kilogramos de peso. Este meteorito se partió durante su movimiento en el aire.

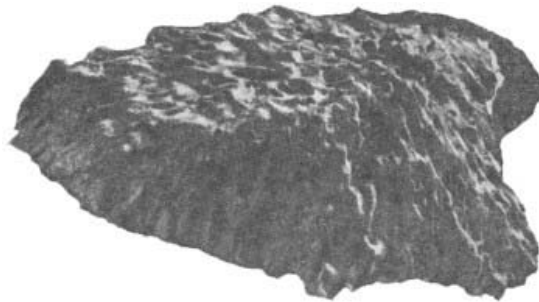
El meteorito pétreo más grande es el *Kashin*, de 127 kilogramos de peso, caído el 27 de febrero de 1918 en la antigua provincia de Tver.

Finalizando nuestro reconocimiento, contemplamos aún una vitrina. En ella vemos dos mitades de un meteorito de gran tamaño cortado especialmente y que entero pesaba más de 600 kilogramos. Las superficies de corte de ambas mitades están pulidas, lo que permite observar la notable estructura interna del meteorito.

Vemos que el meteorito es como una especie de esponja de hierro, cuyos huecos se hallan llenos de una sustancia vítrea transparente de color amarillo-verdoso, el mineral olivino. Este es el primer meteorito de nuestro país que se conserva, llamado Hierro pallasítico, correspondiente a la clase de los ferricopétreos (pallasitas).



El meteorito fue hallado el año 1749 en Siberia por el herrero Medvédiev. En 1772 fue llevado por el académico P. Pallas a la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Aquí fue estudiado por el conocido profesor E. Jladny, miembro correspondiente de la Academia. Los resultados de sus investigaciones fueron publicados en Riga el año 1794 en un libro especial. En este libro demostró por primera vez la procedencia extraterrestre de este bloque de hierro, es decir, su procedencia meteorítica, así como la posibilidad de caída de meteoritos sobre la Tierra. En aquel tiempo, las conclusiones de Jladny fueron objeto de críticas y burlas por parte de los sabios de Europa Occidental. Ellos no reconocían la posibilidad de que cayesen meteoritos y los informes de casos vistos se consideraban imaginados. Pero unos diez años después de publicarse el libro de Jladny, el 26 de abril de 1803, en Francia, cerca de la ciudad l'Aigle cayó una abundante lluvia meteórica de la que fueron recogidas cerca de 3.000 piedras.



*Figura 26.11 El mayor ejemplar de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín, caído en el territorio de Primorie el 12 febrero de 1947. Pesa 1.745 kg.*

La caída de esta lluvia meteórica fue observada por muchos habitantes. Después de esto, a los científicos de París y con ellos a otros de Europa Occidental no les quedó más remedio que reconocer la existencia de los meteoritos.

De lo dicho vemos que nuestro país fue la cuna de la ciencia de los meteoritos, la Meteorítica. Los grandes meteoritos que acabamos de describir, pertenecientes a la colección de la Academia de Ciencias de la URSS, no son aún los mayores existentes.



*Figura 26.12 Meteorito férrico Boguslavka, caído en el Extremo Oriente el 18 de octubre de 1916 compuesto de dos partes, con pesos de 199 y 57 kilogramos*

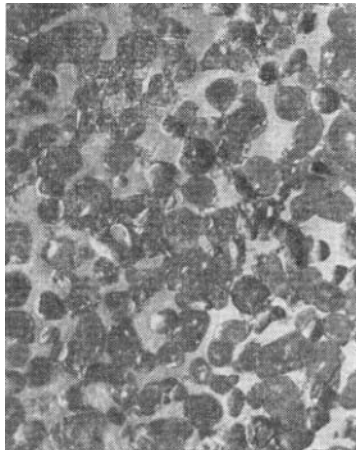
El más grande del mundo es el meteorito férrico *Goba*, hallado en Africa Occidental en 1920. Pesa cerca de 60 toneladas y posee forma de lápida cuadrangular con dimensiones  $3 \times 3 \times 1$  metros. Se encuentra hasta hoy en el lugar del hallazgo, sufriendo la acción destructiva de la atmósfera.

Existen también meteoritos férricos de peso 33,5, 27, 15 toneladas. Entre los meteoritos pétreos, el mayor pesa cerca de una tonelada. Cayó en los EE.UU. en 1948.

Veamos ahora cómo es la estructura interna de los meteoritos.

En una vitrina aparte, vemos ejemplares elegidos especialmente. Un trozo de hierro de superficie pulida, brillante como un espejo. A su lado, otro cuya superficie pulimentada ha sido corroída por una solución ácida débil. Vemos en esta superficie un dibujo sorprendente de trazos entrecruzados, festoneados por finos y brillantes rebordes. Este dibujo se produjo a causa de la acción corrosiva desigual del ácido.

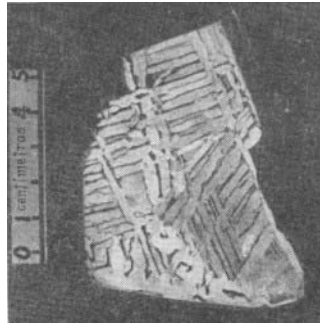
Es el caso, que los meteoritos férricos no son de masa homogénea, sino que están constituidos por láminas alargadas cuyo espesor oscila entre décimas de milímetro y 2 o más milímetros. Estas láminas son de hierro mezclado con cierta cantidad de níquel, no mayor del 7%. Debido a esto, la superficie pulida de estas laminitas es atacada por el ácido y se vuelve basta y mate por la corrosión. Por el contrario los estrechos bordes brillantes que festonean estas láminas están constituidos por hierro con gran proporción de níquel, superior al 25%.



*Figura 26.13 Meteorito Hierro pallasítico hallado al sur de Krasnoyarsk en 1749. Se ven las granulaciones de olivino en el hierro metálico*

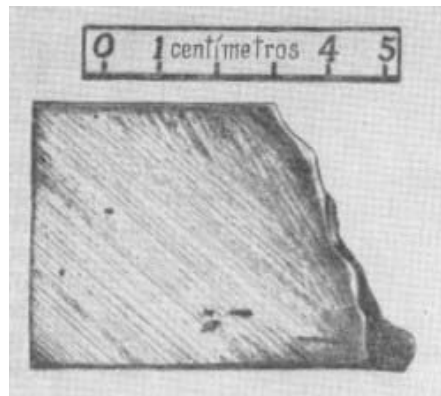
A consecuencia de esto son muy resistentes a la acción corrosiva de la solución ácida y quedan tan brillantes como antes. El dibujo que se obtiene en las láminas corroídas de los meteoritos férricos, se llama figuras de Widmanstätten, por el nombre del científico que las descubrió.

Los meteoritos férricos que, después de la corrosión, muestran las figuras de Widmanstätten se denominan octaedritas, porque las láminas que las originan se disponen a lo largo de los planos cristalográficos, formando estructuras geométricas limitadas por ocho caras semejantes, que se llaman octaedros. No en todos los meteoritos férricos aparecen estas figuras después de someter a corrosión sus superficies pulidas. En algunos de ellos aparecen líneas finas paralelas entre sí, que se llaman líneas de Neyman, en honor de su descubridor.



*Figura 26.14 Figuras de Widmanstätten en la superficie corroída de una lámina cortada del meteorito férrico Chebankol*

Los meteoritos que dan líneas de Neyman son los que menos níquel contienen: cerca del 5 al 6%. Están formados por monocristales distribuidos en toda su masa, es decir, por el único cristal del sistema cúbico que posee seis caras, llamado hexaedro. Por eso los meteoritos férricos que dan líneas de Neyman se denominan exaedritas.



*Figura 26.15 Líneas de Neyman en la superficie corroída de una lámina cortada del meteorito férrico Boguslavka (véase la figura 26.13)*

Existe aún otro tipo de meteoritos férricos, llamados ataxitas, que quiere decir "sin orden". Estos meteoritos son los que contienen mayor cantidad de níquel (más del 13%) y, sometiendo a corrosión ácida sus superficies pulidas, no dan ningún dibujo determinado.

También es muy interesante la estructura de los meteoritos pétreos. He aquí un pedazo de meteorito, en cuya superficie de fractura se ven muy bien, incluso a simple vista, esferitas absolutamente regulares que semejan perdigones. Con el microscopio se ve que en algunos meteoritos toda la superficie del lugar de ruptura está llena de tales esferitas de muy pequeñas dimensiones (décimas de milímetro y aún menos). Estos granos se llaman cóndrulos y los meteoritos que los contienen, condritas.

Las condritas constituyen el tipo más difundido de meteoritos, alcanzando aproximadamente el 90% de todos los meteoritos pétreos. Los cóndrulos son formaciones propias sólo de los meteoritos. En las rocas terrestres no se les encuentra nunca, y por ello, el hallarlos en un ejemplar desconocido es ya una indicación segura de que este ejemplar es un meteorito pétreo. Los hombres de ciencia han llegado a la conclusión de que los cóndrulos son gotas súbitamente enfriadas de la substancia fundida del meteorito, y se crearon en el momento de formación de los meteoritos.



Figura 26.16 Cóndrulos en la fractura de un meteorito pétreo (condrita). Sarátov

Junto a las condritas existen, aunque en mucho menos cantidad, meteoritos pétreos que carecen en absoluto de cóndrulos y se denominan acondritas. En los sitios de fractura de estos meteoritos se ven fragmentos angulosos de distintos minerales, cementados por la masa granulosa fundamental del meteorito. La estructura de estos meteoritos es muy parecida a la de las rocas terrestres. Hay también otros tipos menos frecuentes de meteoritos pétreos, con sus particularidades, pero no nos detendremos en ellos.

Veamos ahora de qué se componen los meteoritos. He aquí la tabla de la composición química de las distintas clases de meteoritos.

Vemos en esta tabla elementos químicos conocidos sin que haya ninguno nuevo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA MEDIA DE LOS METEORITOS DE DISTINTAS CLASES							
Denominación de los elementos químicos	Composición química media			Denominación de los elementos químicos	Composición química media		
	Férricos	Férrico-pétreos	Pétreos		Férricos	Férrico-pétreos	Pétreos
Hierro . . . . .	90,85	49,50	15,6	Magnesio . . . . .	—	14,20	14,30
Níquel . . . . .	8,5	5,00	1,40	Calcio . . . . .	—	—	1,80
Cobalto . . . . .	0,60	0,25	0,08	Silicio . . . . .	—	9,75	21,00
Cobre . . . . .	0,02	—	0,01	Sodio . . . . .	—	—	0,80
Fósforo . . . . .	0,17	—	0,10	Potasio . . . . .	—	—	0,07
Azufre . . . . .	0,04	—	1,82	Aluminio . . . . .	—	—	1,56
Carbono . . . . .	0,13	—	0,16	Manganeso . . . . .	—	—	0,16
Oxígeno . . . . .	—	21,30	41,00	Cromo . . . . .	—	—	0,40

¿Acaso en los meteoritos, en estos visitantes llegados a nosotros desde los remotos espacios del universo, no hay en realidad ningún nuevo elemento químico cualquiera, más extraordinario que los elementos químicos terrestres que conocernos?

¿Será posible que en los rincones alejados del espacio interplanetario no hay nada nuevo que no se parezca en nada a lo terrestre?

En efecto, los análisis químicos más completos y precisos de los meteoritos de composición más variada, efectuados en el transcurso de más de cien años por un gran número de hombres de ciencia, demostraron que en ellos no existe ni un solo elemento químico que no se conozca en la Tierra. Además de esto, los meteoritos contienen prácticamente todos los elementos químicos conocidos en la Tierra, aunque la mayoría de ellos constituye una porción insignificante, apreciable sólo mediante análisis espectroscópicos muy exactos.

Durante los últimos años los hombres de ciencia han obtenido una importante confirmación más de la procedencia común de estos cuerpos celestes.

Fueron realizadas investigaciones sobre la composición isotópica de toda una serie de elementos de procedencia terrestre y tomados de los meteoritos. Y se obtuvo una identidad completa de los compuestos isotópicos de los elementos, tanto meteóricos, como de origen terrestre.



*Figura 26.17 Lugares pantanosos en la región de caída del meteorito Tunguski*

De la tabla de la composición química media de los meteoritos, vemos que en los meteoritos pétreos los elementos químicos más difundidos son los siguientes: oxígeno (41,0%), hierro (15,6%), silicio(21,0%), magnesio (14,3%), azufre (1,82%), calcio (1,8%), níquel (1,1%) aluminio (1,56%).



*Figura 26.18 Arboles derribados en la región de caída del meteorito Tunguski*

El oxígeno se encuentra en los meteoritos combinado con otros elementos, formando diversos minerales (silicatos) y óxidos. El hierro se halla en parte también combinado con otros elementos,



en parte, en estado metálico, constituyendo diminutas partículas brillantes que se observan en las fracturas de los meteoritos y dispersadas por toda su masa.



Las cifras de la tabla corresponden a la composición química media.

Sin embargo, el contenido de elementos químicos en determinados meteoritos puede diferenciarse considerablemente de su composición media.

Los metales preciosos se encuentran en los meteoritos en cantidades insignificantes. Por ejemplo, 1 tonelada de substancia meteórica viene a tener, por término medio, 5 gramos de oro y de plata, y 20 gramos de platino.

Los meteoritos caen constantemente sobre la Tierra. Según cálculos de los científicos, en todo el globo terrestre caen, como mínimo, mil meteoritos al año. No obstante, sólo suele hallarse al año una parte insignificante de ellos, 4 ó 5 meteoritos.

El resto, caídos en los mares y océanos, en las regiones polares y desiertos, en las zonas montañosas y forestales, y, en general, lejos de los lugares habitados, quedan ignorados, sin ser buscados. Disgregándose por la acción de los agentes atmosféricos, acaban por mezclarse con el terreno.

Los átomos meteóricos se mezclan con los terrestres. Del terreno van a parar a las plantas y a través de las plantas empleadas como alimento, así como de los animales que se nutren de esas plantas y utilizados como alimento por el hombre, los átomos meteóricos llegan hasta el organismo humano.

Podemos observar el más estrecho enlace, no sólo de nuestra Tierra con el resto del universo que la circunda, sino también del mundo orgánico que puebla la Tierra.

Los hombres de ciencia han intentado calcular el incremento anual de la masa de la Tierra debido a la caída de meteoritos. Resultó que cada día caen en la Tierra muchas toneladas de substancia meteórica.



*Figura 26.19 El mayor embudo, con 28 m de diámetro y 6 m de profundidad, existente en el lunar de caída de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín.*

De tal modo, el incremento anual de la Tierra alcanza millones de toneladas. Esta, desde luego, es una cantidad insignificante. El académico V. Vernadski consideraba que en la masa de la Tierra no se produce ningún incremento. Recibiendo substancia en forma de meteoritos y polvo meteórico, la Tierra, escribía él, devuelve al sistema solar otras partículas materiales, átomos, principalmente gases y polvo fino. Como resultado existe un equilibrio dinámico de la materia. De esta forma, el académico Vernadski llegó a la conclusión de que se trata "no de la caída casual de meteoritos aislados, bólidos y polvo cósmico sobre la Tierra, sino de un gran proceso planetario, del intercambio material de nuestro planeta con el espacio cósmico". En este proceso reside la inevitable acción recíproca entre nuestra Tierra y el medio circundante, el espacio interplanetario.

Si bien por ahora el análisis químico de los meteoritos no dio nada nuevo, aunque los datos obtenidos condujeron a conclusiones muy importantes acerca de la unidad material de los cuerpos celestes y la Tierra, en cambio el estudio de la composición mineralógica de los meteoritos mostró sus peculiaridades.



*Figura 26.20 Fragmento de un ejemplar grande de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín*

En lo fundamental, los meteoritos se componen de los mismos minerales que abundan en las rocas terrestres, el olivino y los silicatos anhidros (enstatita, broncita, hiperesteno, diópsido y augita); se encuentran también minerales del grupo de los feldespatos. En los meteoritos no fueron hallados numerosos minerales, productos de la erosión por el viento y el agua. Tampoco se halló en ellos ninguna sustancia orgánica.



*Figura 26.21 Ejemplar individual de la lluvia meteórica férrica Sijoté-Alín, recubierto de corteza de fundición y con regmagliptos muy acusados*

Es característica en los meteoritos la ausencia de minerales del grupo de los silicatos hidratados, es decir, minerales que contienen agua en estado de combinación. Largo tiempo duraron los tenaces intentos de los hombres de ciencia con objeto de descubrir la presencia de estos minerales en los meteoritos, pero todos los esfuerzos resultaron inútiles. Solamente hace poco, los

científicos soviéticos descubrieron un mineral del grupo de las cloritas, es decir, silicato hidratado. Sin embargo, sólo lo contienen los meteoritos pétreos de la clase menos frecuente, llamados condritas carbonáceas.

Los experimentos han demostrado que el agua combinada que entra en la composición de las cloritas, constituye el 8,7% del peso de todo el meteorito.



*Figura 26.22 Estructura de la corteza de fundición de un ejemplar individual de la lluvia meteórica férrica Sijoté-Alín, amplificado cerca de 7 veces*

Este descubrimiento es de una importancia básica para la resolución de la cuestión fundamental: establece las condiciones que dieron origen a los meteoritos.

También es de gran importancia el descubrimiento en los meteoritos de minerales desconocidos en la Tierra. Cierto, que estos minerales existen en los meteoritos en cantidad muy pequeña, pero, así y todo, señalan la existencia de condiciones en la formación de los meteoritos, distintas de las que dieron origen a la corteza terrestre. El estudio y esclarecimiento de estas condiciones constituye una de las tareas fundamentales de la Meteorítica.

Interés excepcional tiene el descubrimiento en los meteoritos de fenómenos de metamorfismo, debido a lo cual experimentaron cambios, no sólo la estructura de los meteoritos, sino también los propios minerales. Este metamorfismo se debe al calentamiento de los meteoritos por los rayos solares en sus innumerables aproximaciones al Sol durante su movimiento por el espacio interplanetario en el transcurso de todo el tiempo de su existencia. El estudio detallado del metamorfismo de los meteoritos, que ha adquirido un gran desarrollo en los últimos años, nos descubre la historia de los meteoritos, la historia de su "peregrinación" en el espacio sideral.

También existen en los meteoritos elementos químicos radiactivos. Uno de ellos es el potasio que se encuentra en los meteoritos pétreos en cantidad apreciable. Durante la desintegración radiactiva del potasio, se produce argón. Por esto, de la proporción entre las cantidades de argón y potasio contenidos en el meteorito puede calcularse su edad, es decir, el tiempo transcurrido desde el momento de la formación (solidificación) del meteorito.

La determinación de la edad de los meteoritos por el argón y potasio, ha sido realizada por los científicos soviéticos durante los últimos años. Como resultado se obtuvieron edades para los meteoritos de 600 millones a 4.000 millones de años.



La cuestión de dónde caen a la Tierra los meteoritos se conoce en la actualidad. Pero cuándo y cómo se formaron los meteoritos, esto es aún un problema importantísimo sobre cuya resolución trabajan los hombres de ciencia que se dedican al estudio de los meteoritos.

La mayoría de los sabios soviéticos consideran que los meteoritos, junto con los asteroides, son fragmentos de uno o varios grandes cuerpos celestes, planetas, disgregados en un pasado remoto. Pero esto, por ahora, es sólo una suposición, una hipótesis de trabajo, para cuya demostración y plena confirmación es necesario todavía un estudio ulterior profundo, en todos los aspectos, de los meteoritos. No hay duda de que la cuestión del origen de los meteoritos, su papel en la formación del sistema planetario y su desarrollo posterior será resuelta de manera definitiva.

---

<sup>1</sup> Enumeramos los planetas por el orden en que aumenta su distancia con respecto al Sol.

<sup>2</sup> Cada meteorito recibe su denominación del nombre del poblado mas próximo al lugar de su caída.

**Capítulo XXVII****LOS ATOMOS EN LA PROFUNDIDAD DE LA TIERRA**

No cabe ninguna duda de que el hombre ha conseguido grandes progresos durante los últimos cincuenta años en su lucha por la extensión del mundo conocido y por la conquista del mundo. Quedaron para el pasado las ideas de inaccesibilidad de las capas altas de la atmósfera, donde no llega ni el ruido, ni el tumulto terrestre, ni la lucha química de las moléculas terrestres. Los navegantes estratosféricos soviéticos Fedoséienko, Vásienko y Usyskin, a cambio de su vida, abrieron la primera página de la conquista de las alturas aéreas.

Los vuelos en estratostatos y los vuelos de cohetes y satélites artificiales dieron un gran adelanto al conocimiento de regiones en que disminuye bruscamente la cantidad de substancia, donde por cada metro cúbico hay millones de veces menos partículas que en el aire de la superficie terrestre. Al hombre le atraen más que nada las alturas y aquí los progresos son completamente reales: la técnica alcanzó enormes resultados y los científicos conocen este mundo lejano y aún inaccesible para nosotros, mucho mejor que el que se extiende bajo nuestros pies, el mundo de las profundidades terrestres.

Nuestros éxitos en el conocimiento de las profundidades son mucho más débiles. Aquí atrae principalmente al hombre la lucha por el petróleo y el oro. Perfora pozos y abre minas ahondando en las entrañas de la Tierra, pero los pozos petrolíferos más hondos no cuentan más de 7 kilómetros y las minas auríferas más profundas tienen menos de 3.000 metros. Y esto ya se considera un gran triunfo.

Es claro que el hombre, en su afán de petróleo y oro llegará más hondo. Es muy verosímil que el progreso de la nueva técnica supere estos récords aún en algunos kilómetros. Pero ¿qué suponen varios kilómetros en comparación con la magnitud del radio terrestre, de 6.377 kilómetros? ¡Sólo una milésima parte!

Es absolutamente claro que la mente humana no puede conformarse con este estado de cosas, y los hombres de ciencia, todos, empezando por los más antiguos filósofos hasta los astrónomos de la actualidad, se interesan por el problema de la estructura y constitución interna de la Tierra y las vías para adueñarse de las profundidades del planeta. Probemos, aunque sea de manera algo incompleta, a rememorar lo que conocemos sobre las profundidades terrestres; realicemos un viaje imaginario desde la superficie hasta el fondo de la Tierra, y veamos qué es lo que encontramos en nuestro camino.

\* \* \* \*

El primer intento de describir un viaje al fondo de la Tierra corresponde a Lomonósov. Ciertamente estas ideas tuyas se desperdigan en una serie de trabajos, pero el escritor A.

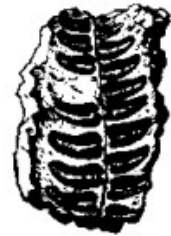


Radíchev en su Relato sobre Lomonósov (1790), las recopiló conjuntamente. Es curioso que Radíchev al acabar su Viaje de San Petersburgo a Moscú, precisamente dedica las últimas páginas al original viaje de Lomonósov al centro de la Tierra y describe los cuadros que habrá de ver el sabio si desciende consecutivamente de la superficie a las entrañas terrestres. He aquí esta magnífica descripción:

*"...Entra tembloroso (Lomonósov) en el orificio y pronto pierde de vista al astro del día. Quisiera yo seguir tras él en su viaje subterráneo, recoger sus reflexiones y expresarlas*

*en tal orden y con tal ligazón como nacieron en su mente. El panorama de sus ideas sería para nosotros entretenido a instructivo.*

*Atravesando la primera capa del suelo, fuente de toda vegetación, el viajero subterráneo la halló diferente de las siguientes, distinguiéndose de otras más que nada por su capacidad fecundativa. Es posible que de aquí llegara a la conclusión de que la superficie de nuestra Tierra no está constituida más que de putrefacciones de animales y vegetación; que su fertilidad, su fuerza nutritiva y renovadora, tienen su origen en los principios indestructibles y primarios de toda existencia, los cuales, sin cambiar su esencia alteran sólo su forma debido a la composición casual. Pasando adelante, el viajero subterráneo contempla la Tierra, siempre dispuesta en capas.*



*En estas capas encontró a veces restos de animales que viven en los mares, halló residuos de plantas y pudo opinar, en consecuencia, que la distribución por capas de la Tierra tiene su origen en la propia disposición de las aguas y que las aguas, transmigrando de unas regiones a otras de la esfera terrestre, dieron a la Tierra el aspecto que ella presenta en sus entrañas.*

*Esta uniforme disposición de las capas, perdiéndose a su vista, le parecería a veces la mescolanza de muchas capas heterogéneas. Sacaría de esto la conclusión de que la rabia desatada del fuego, penetrando en el seno de la Tierra y encontrando la resistencia de la humedad, se enfureció, removiendo, derribando, destrozando y barriendo todo lo que inútilmente intentaba oponerse en su camino.*



*Revolviendo y mezclando todo lo heterogéneo, con su hálito cálido excitó en los metales primitivos la fuerza de atracción y los unió. Allí vio Lomonósov estos tesoros, muertos de por sí, en su forma natural; recordó la avaricia a infortunios de los hombres y con el corazón acongojado abandonó esta morada tenebrosa de la insaciabilidad humana."*

Analizando este texto, podemos decir que responde con plenitud a nuestras concepciones actuales; ni una de sus palabras puede ser rebatida. Sólo que el lenguaje nuestro es distinto.

Si nos proponemos comparar este cuadro de la fantasía de un sabio del siglo XVIII con el panorama de nuestra noción, mucho más real del subsuelo, estudiado con ayuda de instrumentos de sondeo, vernos lo siguiente.

Unos cuantos años atrás fue construida en Moscú, tras la Krestíánskaia Zastava, una torre no muy grande, que no se veía desde la calle. En esta torre había una máquina perforadora que debía taladrar la tierra hasta grandes profundidades, para saber sobre qué se sustenta Moscú.

Se horadó de manera tenaz y prolongada, esforzándose por alcanzar una profundidad de varios kilómetros. Al principio se atravesaron arcillas y arenas, depositadas en la llanura moscovita por las torrentes meridionales del gran glaciar descendiente de Escandinavia. Estos fueron los últimos paroxismos de la época glaciaria que cubrió todo el norte de la parte europea de la URSS con un manto compacto de nieve y hielo.

A las arcillas seguían calizas diversas, entremezcladas con margas, de nuevo con arcillas; a veces, entre las calizas aparecían esqueletos, conchas calcáreas. Las calizas se trocaron en arenas, con capas de carbón que recordaban las cuencas carboníferas que abastecen con su combustible y gas la región industrial del Centro.



Los geólogos examinaron detenidamente los sedimentos de los antiguos mares del período carbonífero, y hallaron que estos mares al principio no fueron profundos y sus costas estaban

cubiertas de frondosa vegetación, de crecimiento impetuoso en las condiciones de un clima cálido y húmedo. Después estos mares se hicieron más hondos y las aguas del norte y oriente sumergieron y destrozaron los bosques, aniquilaron las plantas; el esplendoroso mundo de seres vivos submarinos dio origen a arrecifes de coral y bancos de conchas. En aquel tiempo se depositaron las calizas que después se emplearon en la construcción de casas en Moscú, por lo cual Moscú recibió el sobrenombre de "ciudad de piedras blancas". Estas calizas se utilizan ampliamente en la actualidad.

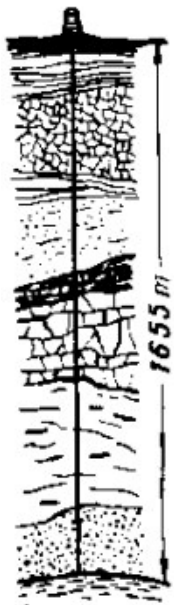
Toda esta complicada serie de capas, sedimentadas durante el largo período carbonífero, que duró muchas decenas de millones de años, fue atravesada por la instalación perforadora hasta encontrar nuevos estratos con enormes cantidades de yeso. Centenares de metros fueron horadados a través de sedimentos de yeso por las capas arcillosas, con grandes cantidades de agua.



Estas aguas, al principio, estaban saturadas de sulfatos, luego al ir profundizando, aumentaba su contenido en cloruros; el pozo taladrado llegó a las salmueras, diez veces más saturadas de sales que el agua del mar. Principalmente estas sales eran cloruros de sodio y calcio, pero entre ellas también había muchas sales de bromo y yodo.

Esto era el cuadro, no ya del período carbonífero, sino del período devónico, todavía más antiguo. Eran los mares desaparecidos, con lagos salinos, estuarios y desiertos que rodeaban las costas de estos mares; las sales se depositaban en el fondo, formando colosales depósitos entremezclados con delgadas capas de fango y con el polvo arrastrado por los huracanes y trombas de los desiertos devónicos.

El taladro había llegado ya a la profundidad de 1,5 kilómetros. ¿Qué habrá más allá? ¿Qué hay bajo estos sedimentos de los arcaicos mares devónicos, qué cuadros nuevos se presentarán al geólogo cuando profundice aún varios cientos de metros? Complejas conjeturas agitaban a los científicos y el pensamiento audaz buscaba diversas hipótesis. Y de pronto, a la profundidad de 1.645 metros apareció arena. Esto era por lo visto, la costa del mar devónico; la arena era un



síntoma de que cerca se hallaba el terreno firme. En ella se hallaron guijarros sueltos de rocas eruptivas, piedras aplanadas de las costas del mar. Esto eran ya costas, verdaderas costas, y a los 10 metros el taladro se encontró con el duro granito.

De tal modo, a fines de julio de 1940, la instalación perforadora de Moscú alcanzó por vez primera el fundamento de granito, sobre el que reposa toda la tierra rusa, desde Leningrado al norte, hasta Ucrania al sur. Poco después nuevos sondeos en Syzran y más al este, alcanzaron la base granítica aproximadamente a la misma profundidad, confirmando el pronóstico del académico A. Karpinski de que bajo la superficie de toda nuestra llanura europea existen rocas graníticas, la antigua plataforma o caparazón que conocemos por los bellos acantilados de granito y gneis, de Carelia en el norte y de las riberas del Dniéper y Bug en el sur. El taladro profundizó aún 20 metros en el duro granito. Según determinación de los geólogos, se trataba de verdaderas rocas de granito, antiquísimas formaciones sedimentarias, cuya edad puede calcularse, como mínimo, en mil millones de años.

Así, el pozo horadado alcanzó el profundo lecho granítico bajo Moscú. ¿Y qué hay más allá? ¿Qué puede esperarse hallar bajo este granito? ¿Puede continuarse hasta 2.000

metros, para ganar las profundidades en que flotan las masas graníticas? Estas cuestiones provocaban tempestuosas discusiones.

Unos consideraban inútil seguir perforando; que había que atravesar todavía muchos centenares a incluso miles de metros hasta que terminasen estas capas duras de la plataforma de granito y gneis.

Otros proponían taladrar hasta descifrar el secreto de mayores profundidades. Esperaban grandes dificultades y de metro en metro se hacía más complicado el trabajo de los perforadores, que extraían desde cerca de 2 kilómetros de profundidad bellas muestras de sondaje de color rosa de los granitos y gneis.

Por ahora no es posible alcanzar capas más profundas de la Tierra, por ser aún débil la técnica de que dispone el hombre. En la lucha por conquistar zonas más profundas, hay que ir por otros caminos. El primero que habló de esto fue el joven geólogo austríaco Eduardo Suess en 1875, que se planteó la tarea de observar la Tierra a vista de pájaro, desde el punto de vista de la Geología y la ya entonces naciente Geoquímica. Suess intentó marcar las capas fundamentales y más homogéneas de que se compone la Tierra. Para ello siguió en primer lugar el camino de los antiguos filósofos y dividió la Tierra en tres envolturas simples: aire, o atmósfera, circundando como compacta bóveda todo el planeta; hidrosfera, agua y océanos, que cubren la Tierra sólida y la impregnan; y, finalmente, litosfera, región de las piedras, donde reina alta temperatura y a veces el fuego, espirado por los volcanes.

Suess mantenía esta división más adelante a base del análisis químico de la composición de las rocas.

En 1910, el naturalista inglés Murray clasificó las capas de la Tierra en envolturas aisladas que denominó geosferas.



*Figura 27.1 Edificio de gran altura en Moscú, en la plaza Lérmonov, revestido de calizas blancas de las cercanías de Moscú*

Y desde este tiempo se inició el trabajo tenaz de los químicos y físicos, geoquímicos y geofísicos para descifrar más allá y con más profundidad la estructura y constitución de estas distintas envolturas o geosferas. Estas tareas fueron planteadas con la máxima amplitud y profundidad por el académico V. Vernadski y su escuela científica.



En lugar del cuadro externo de la "faz de la Tierra", surgió ante los geólogos y geoquímicos el problema de rehacer toda la originalidad de los procesos que se producen en cada geosfera y dar el panorama completo de la estructura interna de nuestro planeta.

Intentaremos ahora dar una breve característica de las envolturas de que se compone nuestro planeta, tal como las esboza la Geofísica a base del estudio del comportamiento de las vibraciones elásticas de ondas que, alcanzando enormes profundidades, señalan al ser reflejadas, los límites de las distintas geosferas.



*Figura 27.2 Cráter humeante en el declive de un volcán*

Iniciemos nuestra investigación desde una altura de cerca de 200 km. Más arriba se encuentra el espacio interplanetario lleno de meteoritos, átomos de hidrógeno, helio, sodio, potasio, nitrógeno y otros núcleos componentes del "viento solar". Más abajo empieza la estratosfera, donde la cantidad de nitrógeno y oxígeno aumenta. Una capa entera de ozono separa diferentes partes de la estratosfera. Las auroras boreales se encienden a alturas de varios cientos de kilómetros, las nubes luminiscentes se elevan hasta 100 km.

Al descender más, a una altura de 10 a 20 km empieza la segunda capa denominada troposfera. Este es nuestro elemento aéreo, nuestro aire habitual con nitrógeno, oxígeno, helio y otros gases nobles, impregnado de vapores de agua y anhídrido carbónico.

Después viene una zona de unos 5 kilómetros, denominada biosfera, región de la sustancia viva. Comprende también la parte superior de la corteza terrestre y de su envoltura acuosa.

Detrás va la zona de la envoltura acuosa, que se llama hidrosfera, hidrógeno, oxígeno, cloro, sodio, magnesio, calcio y azufre son los elementos que determinan su composición.

Seguidamente comienza la envoltura sólida; primero la corteza o zona de intemperización que está bien estudiada, con sales ácidas y la capa del terreno, después la envoltura de rocas sedimentarias, depósitos de los antiguos mares, esto es arcilla, arenales, calizas y capas carboníferas. Ya a profundidades de 20-40 kilómetros se encuentra una capa nueva llamada metamórfica.

Más hondo están los granitos, ricos en oxígeno, silicio, aluminio, potasio, sodio, magnesio y calcio. A la profundidad aproximada de 15-30 kilómetros, son remplazados por las rocas de la "capa basáltica" con gran contenido de magnesio, hierro, titanio y fósforo, que vienen a substituir al aluminio y potasio.

Un cambio brusco se produce a 40-60 km bajo los continentes y a 7-12 km bajo los océanos, en la así llamada "discontinuidad Mohorovicic". Aquí empieza el manto de la Tierra constituido de

peridotitas o rocas olivínicas compuestas de oxígeno, silicio, hierro, magnesio y metales pesados: cromo, níquel y vanadio.



*Figura 27.3 Lecho de varios kilómetros, creado por las corrientes de lodo surgidas de las grietas del terreno durante el terremoto de la noche del 2 de noviembre de 1946 en el distrito Yangui-Kurgan de la región de Namangán (Uzbekistán)*

La existencia de envolturas de diversa composición en el fondo de la Tierra se señala claramente a base del estudio de las ondas producidas por los terremotos, registrados con aparatos muy sensibles: los sismógrafos. Los aparatos inventados por el académico ruso B. Golitsin, dotados de gran sensibilidad, permiten capturar, no sólo las ondas que van por el camino más corto, sino también las ondas que contornean todo el globo terrestre y las ondas reflejadas por las zonas límites que separan capas de la Tierra de diferente densidad, por ejemplo, del núcleo terrestre.



*Figura 27.4 Kamchatka. La bahía de Avachin junto a la ciudad de Petropávlosk. Al fondo se ve el volcán Avachin*

Estos datos constituyen argumentos irrefutables en favor de la existencia de capas de la litosfera. Un salto más brusco aún en lo que respecta a la densidad se observa en profundidades de 2.900 kilómetros, donde al fin, según se supone, comienza el núcleo central, cuyas propiedades son aún

enigmáticas para nosotros, pero parece ser que consta de hierro y níquel, con cierta cantidad de cobalto, fósforo, carbono, cromo y azufre<sup>1</sup>.

Así es como dibujan hoy los geofísicos y geoquímicos la estructura de nuestra Tierra y cada una de estas envolturas se caracteriza por los elementos que predominan en su composición. Para cada una es peculiar su temperatura y su presión.

Pero así y todo, en este cuadro complicado y en muchos aspectos posiblemente no exacto, hay una región que de modo invariable llama nuestra atención. Esta es la región en que vivimos, que se distingue de las demás geosferas por sus particularidades específicas.

Esta es una faja de 100 kilómetros, zona de actividad química, región de los procesos químicos terrestres, de tempestuosos paroxismos, oscilaciones de temperatura y presión, región de terremotos, erupciones volcánicas, región de destrucciones en unos lugares y de creación en otros, región de enfriamiento de las masas fundidas de los focos profundos, fuentes termales, vetas minerales; finalmente, región de vida del propio hombre con sus agitadas búsquedas y lucha constante con la naturaleza y por la naturaleza, región poblada por millones de géneros de seres vivos, región de nuevas, originales y complejas combinaciones químicas de las moléculas, región de vida, lucha, creación; región de procesos nuevos y nuevas transformaciones.

No en vano esta región de la vida es llamada por los geólogos troposfera, es decir, zona de movimiento. Esta zona vive su compleja vida química, y los procesos de construcción y combinación de los elementos químicos determinan en ella el destino de la Tierra en las distintas épocas geológicas de nuestro planeta.



*Figura 27.5 Lago en el cráter del volcán Santorín (se originó cerca de 3.500 años atrás).  
Archipiélago griego*

Esta es zona de reacciones puramente terrestres y es notorio que a pesar de que miles y miles de cuerpos celestes, los meteoritos, caen en la Tierra y miles de trozos fragmentados de los cuerpos cósmicos vienen a las manos de los científicos, no hemos recibido ni un solo trozo que nos recordase esta tumultuosa zona de vida y muerte de nuestro planeta.

Así se forman en la humanidad, cuya existencia física se limita sólo a una pequeña envoltura de espesor de varios kilómetros, las concepciones químicas sobre las profundidades de la Tierra. Pero el genio humano en lenta y pertinaz lucha extiende los marcos del conocimiento del mundo. Tenemos la firme convicción de que tanto las profundidades de la Tierra como las alturas que se elevan más allá de las nubes serán conquistadas, no sólo por el pensamiento abstracto del hombre de ciencia, sino que también por la técnica.

Vemos cómo las ondas emitidas por grandes instalaciones geofísicas penetran por voluntad del hombre en lo profundo de la tierra y, reflejadas allí, traen la respuesta sobre la estructura de las envolturas terrestres. Enormes explosiones efectuadas en los Urales y en el sur del país abren nuevas páginas en estas concepciones. Toda una serie de máquinas de precisión, tuberías refractarias y barras con cuchillas de aleaciones de gran dureza, con fresas de diamante, perforarán libremente el duro granito con velocidad fabulosa de cientos de metros en la jornada, y tenemos la seguridad de que a la vuelta de unos años, las torres perforadoras de Moscú que parecían el extremo del progreso de la técnica quedarán en el remoto pasado. El hombre conquistará decenas de kilómetros en profundidad, no sólo en las novelas, sino en la vida real, obteniendo la victoria técnica sobre la Tierra. ¡No hay límites al conocimiento del mundo, no hay fronteras para los triunfos de la mente humana!

---

<sup>1</sup> La estructura de la Tierra que aquí se describe ha sido precisada durante los últimos años por hombres de ciencia de varios países. (Red.)

**Capítulo XXVIII****HISTORIA DE LOS ATOMOS EN LA HISTORIA DE LA TIERRA**

Hace más de cien años que el célebre naturalista Alejandro Humboldt (1769-1859) dio en la Universidad de Berlín, al regreso de su viaje por los entonces ignorados países de América, una serie de conferencias, en las que trató de describir ante sus oyentes el cuadro extraordinario del universo.

Las ideas expuestas en estas conferencias fueron después recopiladas por él en la obra que tituló El Cosmos. La palabra "cosmos", tomada del idioma griego, expresa, no sólo el concepto del mundo, sino que también la noción de orden y belleza, ya que esta palabra en griego significa igualmente universo y belleza del hombre.

En la obra de Humboldt, el Cosmos se presenta como un conjunto de factores heterogéneos. Basándose en los progresos de la ciencia del siglo XIX, trató de explicar el orden por la unidad de las leyes de la naturaleza y pretendió ver en el cuadro del presente algo más que uno de los momentos en el complicado proceso del desarrollo del mundo. Pero esto no lo consiguió y el mundo, según su concepción, se dividía en reinos aislados de la naturaleza. Cada uno de ellos tenía sus representantes propios, entre los cuales no existía ninguna relación común.



A. Humboldt

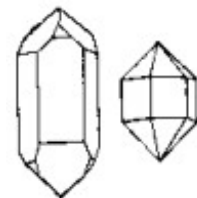
La antigua clasificación dividía el mundo en secciones aisladas, y fronteras infranqueables separaban uno del otro los "reinos" mineral, vegetal y animal. Aún pesaban los antiguos puntos de vista de los siglos XVII y XVIII, aún parecía el mundo inmutable, compuesto por la voluntad de Dios de una enorme cantidad de "reinos" independientes y, a pesar de que Alejandro Humboldt pretendió precisamente demostrar que todos los fenómenos de la naturaleza están

enlazados entre sí, no pudo conseguirlo por carencia de hechos, por no disponer de las pruebas, las unidades elementales que pudieran colocarse como base de las relaciones mutuas existentes en la naturaleza.

Estas unidades fueron los átomos y en nuestros días el cuadro del Cosmos se crea sobre un fundamento totalmente distinto. Leyes inexorables de la Física y Química regulan la compleja y larga historia de la "peregrinación" de átomos aislados en la naturaleza. Hemos visto cómo en el centro de los cuerpos cósmicos, ciertos núcleos atómicos han sido privados de sus electrones y cómo después, paulatinamente se va formando el complicado edificio del elemento con los electrones-planetas girando a su alrededor.

Hemos visto cómo, entrelazándose y envolviéndose unos a otros los anillos de estos planetas, nacen en el mundo desértico de las estrellas, durante el proceso de su enfriamiento, las moléculas, esto es, las combinaciones químicas. Después se originan edificios cada vez más complejos: los iones, átomos y moléculas se reúnen formándose los cristales, estos magníficos nuevos elementos del mundo, elementos de orden superior, correctos matemáticamente y físicamente perfectos. Puede servir de ejemplo el cristal puro transparente de cuarzo, que ya los antiguos griegos denominaron "*lirystallos*", es decir, "hielo petrificado".

Vemos cómo en la superficie misma de la Tierra crecen y se destruyen espléndidos edificios de cristales, cómo de sus fragmentos se crea un nuevo sistema mecánico, el mundo de los coloides, diminutos grupos de átomos y moléculas. Y en este medio se presenta como estable un tipo nuevo de moléculas grandes y complejas que contienen carbono, tipo que denominamos célula viva.



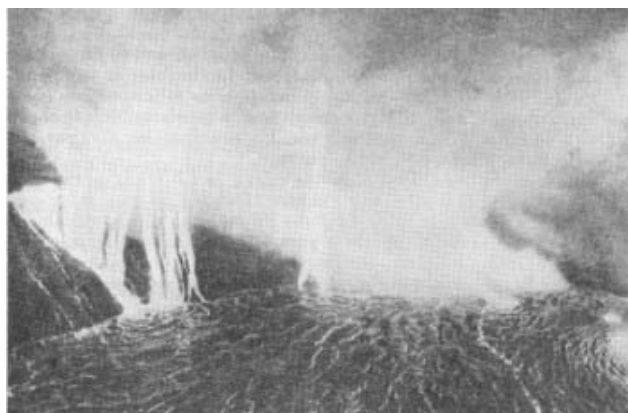
Las nuevas leyes del desarrollo de la sustancia viva complican más y más el destino de los átomos en su histórico camino, creando complejos coágulos micelínicos, pequeñísimos, apenas visibles en los ultramicroscopios, semianimales, semivegetales, semicoloides, a los que llamamos virus, y, finalmente, los primeros organismos unicelulares que distinguimos bien con el microscopio: las bacterias y los infusorios.



*Figura 28.1 Parte de la superficie solar, fotografiada en rayos de hidrógeno*

Por estas etapas de la historia pasan los átomos de los distintos elementos del mundo que nos circunda y para cada uno de ellos puede construirse la historia de su vida, comenzando por el momento de enfriamiento del primer ovillo terrestre y terminando con sus "peregrinaciones" en la célula viva.

Hubo un tiempo en que, casi del mismo modo como se cuenta en las fábulas, surgió en el caos mundial un ovillo de átomos emisores de ondas electromagnéticas; gradualmente va decreciendo el movimiento térmico, como dicen los astrónomos, y el sistema se enfría.



*Figura 28.2 Lava hirviente surgida el 6 de septiembre de 1934 que formó un lago de lava. Islas de Sandwich*

Para nosotros incluso no tiene importancia, cuándo y quién entre los diversos astrónomos y filósofos intentaron por primera vez descifrar la mecánica de este proceso. Lo importante para nosotros es la formación del ovillo donde se ponen en contacto los átomos de elementos aislados.

Conocemos la composición química de este ovillo; los trabajos de los geoquímicos de nuestro tiempo nos dicen que se compone aproximadamente de 40% de hierro, 30% de oxígeno, 15 de átomos de silicio, 10% de magnesio, 2-3% de níquel, calcio, azufre y aluminio. Siguen después elementos que entran en menores proporciones: sodio, cobalto, cromo, potasio, fósforo, manganeso, carbono, etc.



De esta lista vemos que los principales elementos químicos componentes del mundo son los átomos firmes y estables, contruidos según leyes sobre cuya paridad ya hemos hablado antes.

Este confuso ovillo consta de casi cien tipos de átomos de los que unos se encuentran en enorme cantidad y otros sólo en mil millonésimas partes de por ciento.

Poco a poco, con el enfriamiento ulterior, los átomos gaseosos libres se convierten en líquidos, y aproximándose unos a otros en forma de aisladas gotas fundidas ígneo-líquidas, sufren los mismos procesos que experimentan los

minerales fundidos en los altos hornos.

La primera prueba para descifrar la estructura de nuestro planeta nos la hicieron inesperadamente no los teóricos, ni los geofísicos, sino los metalúrgicos, gentes habituadas a fundir metal manejando escorias y que aprendieron a dirigir el destino de átomos aislados en el fuego de los altos hornos.

Según las leyes físicas y químicas, los átomos en tales condiciones se repelen unos a otros y la fundición primaria se divide en partes distintas. Todos los elementos químicos se distribuyen según un orden determinado. Las partes ligeras, más móviles, se dirigen hacia arriba, a la superficie, y las más pesadas hacia el centro.

De tal modo se concentra el núcleo metálico. Sobre él con frecuencia se crea una envoltura de sulfuros metálicos; finalmente, se sedimenta, en forma de escorias, una corteza de compuestos silícicos. Los geofísicos dicen que todas las distintas envolturas, o geosferas, de que consta la Tierra concuerdan precisamente con las zonas de los diversos productos de la fundición en los altos hornos.

En lo más profundo, formando una esfera de 1.370 km de radio, en torno al centro de la Tierra, se encuentra el núcleo interno, sobre cuya composición discuten aún los hombres de ciencia.

Aproximadamente a 2.900 kilómetros de la superficie pasa la zona límite del núcleo terrestre.

Aquí están concentrados los metales que acompañan al hierro en los altos hornos: antes que nada el propio hierro y sus más próximos amigos y semejantes, el níquel y el cobalto.

Aquí hay también otros elementos que los químicos denominan siderófilos, esto es "amantes del hierro", repitiendo casi exactamente las palabras de los alquimistas de quienes tanto se reían los escolásticos del siglo XVIII. A los siderófilos pertenecen el platino, molibdeno, tantalio, fósforo y azufre, metales todos parecidos al hierro. Así es como se nos dibuja la composición de las partes más profundas de nuestro planeta.

Sobre el núcleo, seguramente hasta una profundidad de 1.000 kilómetros, va otra zona, el manto inferior; muchas han sido las controversias sobre cómo descifrar su composición química, pero, como piensan los científicos, es la zona que se conoce bien en la fundición del cobre y el níquel; en las fábricas metalúrgicas se le denomina mata, que consiste en sulfuros metálicos. Y no en balde una zona enorme de 1.500 kilómetros de la corteza terrestre suele ser llamada envoltura mineral.

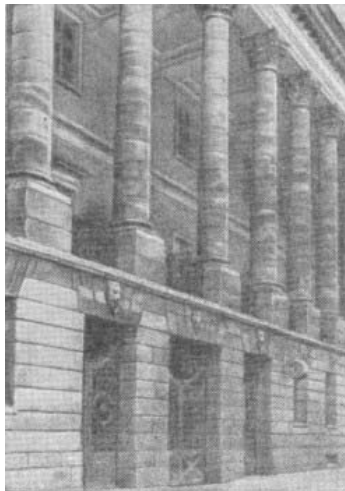
Pero los datos recopilados no han confirmado tal esquema. Lo que antes se llamaba "envoltura mineral", ahora se conoce como manto inferior de la Tierra. Esta parte de la corteza de nuestro



planeta está constituida probablemente de los mismos compuestos que los horizontes superiores. Pero éstos se encuentran en forma diferente, cristalina, más compacta, cuyas propiedades maravillosas sólo empiezan a manifestarse en los laboratorios de los científicos bajo presiones que llegan a casi un millón de atmósferas.

Después va el manto superior que llega hasta la misma corteza de la Tierra. Es una envoltura compuesta de grandes concentraciones de rocas ricas en silicio, magnesio y hierro. Esta es una zona cuya existencia comenzó a adivinarse solamente después de ser estudiadas las enormes chimeneas diamantíferas de Africa del Sur, repletas de los minerales más pesados y compactos llegados del fondo, productos de cristalización de las profundas masas fundidas.

Sobre esta zona, aproximadamente a una profundidad de 15-70 kilómetros, comienza la corteza terrestre en la que se desenvuelve nuestra vida. La concebimos como un complejo sistema de diversas rocas y minerales, aunque de hecho sólo la conocemos hasta varios kilómetros de profundidad.



*Figura 28.3 Columnata en Lefórtovo (Moscú), construida de piedra arenisca de los alrededores de Moscú*

Su composición se diferencia marcadamente de la composición media de la Tierra y puede expresarse por las cifras siguientes: la mitad la ocupa el oxígeno; al silicio le corresponde cerca del 25% ; al aluminio, 7% ; al hierro, 4% ; al calcio, 3% ; al sodio, potasio y magnesio, el 2% a cada uno; después siguen el hidrógeno, titanio, cloro, flúor, manganeso, azufre y todos los demás elementos.

Ya hemos visto que estas cifras fueron determinadas a base de miles de cálculos y análisis. A cada paso podemos convencernos de que la corteza terrestre es heterogénea, que la distribución de los átomos es extraordinariamente complicada y que es muy difícil representarse con exactitud el cuadro de la estructura y constitución de la corteza terrestre, compuesta, ora por refulgente granito sonrosado, ora por pesados basaltos oscuros, o bien por calizas y arenales absolutamente blancos o pizarras coloreadas. Sabemos que en esta abigarrada y confusa base están dispersados, con el mismo desorden caótico, los sulfuros metálicos, sales y minerales útiles. ¿Puede hallarse alguna ley de distribución de los átomos en este cuadro complejo, o no es posible descubrir las leyes que determinan la constitución y estructura de este abigarrado tapiz?

Durante los últimos años las investigaciones de los geoquímicos demuestran que en este mundo de aparentes casualidades existen sus leyes extraordinariamente precisas e inexorables. Los

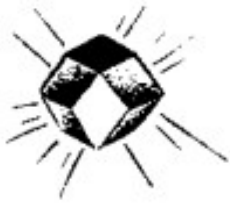


geoquímicos no sólo separaron del vivo ovillo ígneo de los átomos la costra silícica, la corteza terrestre, sino que la dividieron en átomos aislados y estudian por orden riguroso el comportamiento de cada uno de ellos.



*Figura 28.4 Surtidor termal. El agua está tan caliente que no puede mantenerse en ella la mano sumergida*

Nos figuramos las masas fundidas y la costra de óxido semejantes a la escoria derretida vertida del alto horno, que comienza gradualmente a enfriarse. Sucesivamente, uno tras otro fueron cristalizándose los distintos minerales. Primero se separaron las sustancias más pesadas y fueron cayendo al fondo; las partes componentes más ligeras, gases y sustancias volátiles, iban ascendiendo. De este modo, de la masa basáltica fundida cayeron abajo los minerales ricos en hierro y magnesio; en ellos encontramos compuestos de cromo y níquel, hallamos los orígenes de las piedras preciosas de diamante y valiosos minerales, de platino; de otra parte, en la zona superior se reunieron otras sustancias de las que se formaron las rocas que denominamos granitos. Estas aparecen como extractos consecutivos del enfriamiento de los macizos, ellas crearon precisamente el fundamento de nuestros continentes que parecen flotar sobre la pesada capa de basalto que alfombra gran parte del fondo de los océanos.



Las rigurosas leyes de la Química física dirigieron esta nueva distribución de los átomos en los espacios del mundo y en la ciencia se encendieron las luces de nuevas ideas desde el momento en que se comenzaron a aplicar a la Geoquímica estas leyes de la Química física.

El proceso de enfriamiento de los macizos graníticos es complicado: de ellos se desprenden vapores sobrecalentados, gases volátiles que atraviesan las rocas circundantes, creando soluciones acuosas calientes, bien conocidas para nosotros por los manantiales de aguas minerales. El foco granítico se rodea, como una aureola, de este cálido aliento: gases y vapores con diverso contenido de sustancias volátiles irrumpen por las fisuras y hendiduras de las rocas graníticas que se enfrían: corren hirvientes ríos subterráneos que, enfriándose paulatinamente, depositan en las paredes costras cristalinas de minerales y se convierten en la superficie en manantiales fríos.

En esta aureola del granito en período de enfriamiento, vemos antes de nada las masas fundidas residuales; éstas son las notables vetas pegmatíticas portadoras de los átomos pesados de los minerales radiactivos. Arrastran consigo piedras preciosas, cristales refulgentes de berilio y topacio; en ellas se acumulan los compuestos de estaño, wolframio, circonio y de los metales raros.

En el complejo proceso de estratificación gradual se extienden las vetas de cuarzo estannífero, wolframita y más allá los ramificados filones de cuarzo aurífero; después comienzan los depósitos de cinc, plomo y plata, originarios de las vetas polimetálicas y lejos de los focos incandescentes, a varios kilómetros de las hirvientes profundidades de las masas graníticas fundidas, encontramos compuestos de antimonio, cristales rojos de sulfuro de mercurio y combinaciones amarillas o rojas del arsénico.

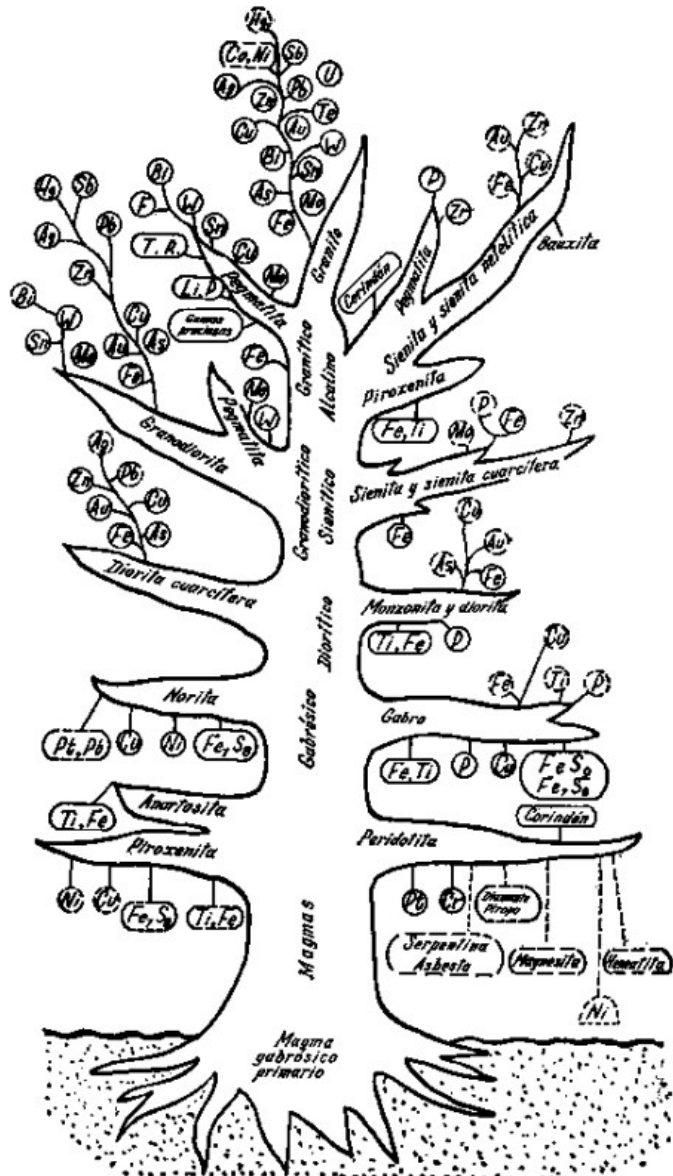


Figura 28.5 Esquema geoquímico de la distribución de los elementos y algunos minerales útiles en relación con la distribución de las rocas procedentes de los magmas primarios

Dichas masas minerales se distribuyen según las leyes de la Química física. Cuando se enfrían en las largas hendiduras terrestres, las concentraciones de átomos van extendiéndose formando largas fajas o anillos que de manera regular se disponen unos detrás de otros alrededor de los macizos incandescentes. Ante nosotros, en la superficie terrestre, se descubre el cuadro grandioso

de estas fajas minerales: unas se extienden a través de ambas partes del continente americano, comenzando en el norte, en la región de California, y contienen plomo, zinc y plata. Otras atraviesan toda Africa a lo largo del meridiano. Otras circundan, a manera de guirnalda, las firmes plataformas petrificadas de Asia, creando un cinturón rico en minerales y piedras coloreadas, de muchos centenares de kilómetros.

Este cuadro confuso de yacimientos minerales diseminados aparentemente al azar, se convierte de este modo para el geoquímico en el cuadro preciso y ordenado de distribución de los átomos. Los problemas y progresos más grandiosos se resuelven a base de estas ideas nuevas sobre las leyes naturales de distribución de los átomos en la corteza terrestre según sus propiedades y comportamiento.

A cambio de las antiguas observaciones de los mineros de la Edad Media y la vieja experiencia práctica del arte minero, surgen leyes verdaderas con las que tanto soñaba ya en el siglo XVI Agrícola al hablar del amor enigmático de ciertos metales entre sí.

También habló de esto el sabio ruso M. Lomonósov, cuando doscientos años atrás incitaba a los químicos a unirse a los metalúrgicos para buscar el equilibrio y las causas de la existencia conjunta de ciertos minerales y aclarar, por ejemplo, las cuestiones siguientes: ¿por qué el cinc y el plomo se encuentran juntos?, ¿por qué el cobalto sigue con tanta frecuencia a la plata?, ¿por qué los metales de estos duendes enemigos de la minería, el níquel y el cobalto, se hallan juntos con el extraño elemento uranio?

¿Qué es lo que obliga a los distintos átomos a distribuirse con tal regularidad en las rocas graníticas? Aquí aparecen en escena nuevas fuerzas de los procesos naturales; y si allí, en las profundidades, cuando el ovillo primario de átomos se dividía en núcleo y corteza del planeta, las leyes fundamentales de división fueron establecidas por la naturaleza de los propios átomos, aquí, en lugar de estas leyes, vienen a regir otras nuevas.

Los átomos y sus partes comienzan a agruparse, no sólo formando un sistema aglomerado de átomos libres y moléculas que denominamos líquido o vidrio, sino edificios que no existen en las profundidades de la Tierra y que aparecen en el espacio mundial solamente allí donde el frío de los espacios interplanetarios enfría los átomos de movimiento tempestuoso a menos de  $2.000^{\circ}$ .



*Figura 28.6 Volcán de dos cráteres apagado. California. Altura 4.300 m*

Esta edificación maravillosa y armónica determinante de toda estructura de nuestro mundo, se llama cristal. Ya hemos dicho que cada centímetro cúbico de cristal se compone de 40 mil billones de átomos, dispuestos en puntos definidos del espacio y a distancias determinadas el uno

del otro, formando a modo de retículas. De cristales está constituida toda la capa superior de la corteza terrestre, así como la aplastante mayoría del mundo que nos circunda.

Los cristales y sus leyes definen la difusión de los elementos que pueden frecuentemente remplazar unos a otros en estos edificios; surgen posibilidades para algunos de ellos de "peregrinar" en el interior del cristal, para otros de unirse entre sí a base de fuerzas eléctricas de potencia fabulosa, creando la firmeza del cristal, su resistencia mecánica, su capacidad de luchar contra todas las fuerzas que le son adversas en el universo.

Allí, en el fondo de los cuerpos cósmicos, los átomos se hallan en desordenado caos; aquí, en la Tierra, no existe ese caos, hay una serie infinita de puntos y retículas colocados con tanta perfección como las filas del entarimado en el suelo o las lámparas en una gran sala.

Así hemos llegado hasta la superficie terrestre. Aquí las entrañas de la Tierra cesan de influir sobre la vida de los átomos y ceden a la influencia del sol y las radiaciones cósmicas; y bajo la acción de nuevas formas de energía, el átomo comienza de nuevo su "peregrinación" en la superficie terrestre de acuerdo con las leyes de la Química física y la Química cristalográfica.



*Figura 28.7 Peña de toba volcánica. Raradag (Crimea)*

Medio siglo atrás, en sus conferencias pronunciadas en la Universidad de Petersburgo, el naturalista ruso V. Dokucháev desarrolló las ideas sobre las leyes de formación de los terrenos sobre la corteza terrestre. Decía que el clima, la vegetación y los animales condicionan la formación de diversas zonas de terreno y junto con ello la distinta distribución de átomos de

substancias en la capa del suelo. De tal modo, la cobertura del terreno, en sus generalizaciones, revivió como nuevo y original mundo de los átomos.

A Dokucháev le gustaba repetir: "El terreno es el cuarto reino de la naturaleza". Supeditó a las leyes de este mundo, no sólo la feracidad del suelo, sino también la vida del hombre.

Y precisamente aquí, en esta delgada película de la superficie terrestre, los átomos se complican extraordinariamente. Los esquemas claros y sencillos del tranquilo crecimiento de los cristales en las profundidades resultan aquí insuficientes.

El complejo paisaje geográfico subordinó a los propios átomos y los frecuentes cambios climatológicos, estaciones del año, días y noches, y procesos vitales, todo esto fue poniendo su sello, exigiendo nuevas formas de equilibrio y nuevas condiciones de estabilidad.



En las profundidades de la Tierra hay reposo, una marcha tranquila en la distribución espacial de los cristales; en la superficie, el reino tempestuoso de influencias tornadizas y contradictorias, lucha de fuerzas, cambios de temperatura y predominio de los procesos de destrucción. Aquí en lugar de nuestras exactas edificaciones cristalográficas, adquieren significación predominante sus fragmentos, como nuevo sistema dinámico. Estos fragmentos los denominamos coloides. Surge la contradicción entre el mundo ordenado de las profundidades y el mundo caótico de los gelatinosos coloides en la superficie. En las condiciones de rápidas alteraciones de la naturaleza que nos rodea, las reacciones químicas no pueden marchar de un modo tan tranquilo y regular como en las profundidades. La construcción recién empezada de un cristal se disgrega de repente, substituyéndose por otra. Con frecuencia los fragmentos cristalinos se unen y de estas grandes partículas, constituidas a veces de cientos y miles de átomos, nace una nueva forma de la substancia, el sistema inestable del coloide, las gelatinas y gomas que nos son bien conocidas en el mundo orgánico.



*Figura 28.8 Crimea, Gurzuf. Vista general del lacolito o "volcán frustrado". Al fondo el monte "Medved"*

Pero el sistema de minerales de la superficie terrestre no sólo se caracteriza por esa fuerza de destrucción; en él existen enormes fuerzas activas y contiene gran energía, mayor que la que hay en el sistema muerto y estable de los cristales.

En las arcillas y distintos géneros de estratos limoníticos y mangánicos que nos circundan, en toda la multitud de diversas combinaciones de átomos de hierro, aluminio, manganeso; en los glóbulos y concreciones de los compuestos fosfóricos; en todas partes entran en acción nuevas fuerzas provocadas por el contacto de medios diferentes que se encuentran entre sí, por doquier aparecen estas nuevas fuerzas del caos en que junto a la catástrofe marcha la construcción, donde surgen nuevas leyes que definen la naturaleza de los terrenos, facilitando la "peregrinación" de los distintos metales, incitando su intercambio recíproco en la superficie del terreno.

Así llegamos paulatinamente a la última etapa de la historia del átomo: los procesos vitales. El coloide ya preparó las condiciones para la creación de un nuevo sistema; en él, en este complejo encadenamiento de moléculas orientadas, con las enormes fuerzas superficiales que contienen, está el germen de la substancia nueva. Esta es la célula viva.

En esta edificación ágil y original donde los átomos se hallan ya enlazados, ya libres, es donde nació la villa como fase final de su desarrollo natural, como culminación lógica de todos los sistemas atómicos cada vez más complejos. Esta villa, pasando por el complicado camino de la evolución, continuó simplemente los cuadros que acabamos de describir. Subordinándose a nuevas formas de agrupación, comenzó a complicar el edificio atómico y se convirtió en el fenómeno predominante de la superficie terrestre, empezando por el organismo unicelular más diminuto y terminando por el hombre.

No podemos suprimir nada del medio que nos rodea. La vida junto con la naturaleza muerta, el aire y el agua, se fundieron en un todo único, creando los numerosos paisajes geográficos que nos circundan. Es la forma más superior de los sistemas atómicos, originada como resultado de las leyes de evolución y progreso del organismo. Créese el hombre pensador capaz de conocer con su mente las poderosas leyes de la energía que constituyen el fundamento de este nuevo sistema todavía más inestable, pero mucho más vigoroso y activo.

Así, siguiendo la historia de la "peregrinación" del átomo, vemos cómo se complica gradualmente su destino.

Al principio se trataba de un protón libre con carga eléctrica, después se engendraron los núcleos de los átomos.

Luego comenzó el proceso de complicación y a medida que se pasaba a sistemas de cosmos más fríos, el átomo recuperaba su envoltura electrónica. De manera gradual, estos átomos se unieron adquiriendo formas regulares, rigurosamente geométricas, to que llamamos combinaciones químicas.

El cristal es la forma de expresión de estas leyes, la forma más ordenada, la más armónica, con mínimas reservas de energía y, por ello, la forma más muerta de la substancia, privada de fuerzas libres.



Figura 28.9 Estudio de las erupciones de uno de los volcanes de Kamchatka

Pero aquí continuaron las complicaciones, nació el sistema coloidal de los átomos: las moléculas. Originóse la célula viva; se crearon moléculas complejas constituidas a base de cientos y miles de átomos sueltos; y como forma superior del sistema químico aún no descifrado, apareció la substancia albuminoidea, creadora de toda la diversidad, complejidad y enigma del mundo orgánico que nos rodea.

Pero en la historia de la naturaleza el átomo siempre se lanza a la búsqueda de formas nuevas. No podemos aún asegurar si existen formas nuevas, otras formas de equilibrio más estables que el cristal o más activamente cargadas de energía que la sustancia viva. Toda nuestra concepción de la naturaleza circundante tropieza con la insuficiencia de nuestros conocimientos sobre nuevos caminos del átomo y nadie se decidiría a afirmar que hemos conseguido conocer todos los caminos de su "peregrinación" y que el hombre domina ya las fuerzas poderosas que podría desatar en el ovillo atómico.

## Capítulo XXIX LOS ATOMOS EN EL ELEMENTO AEREO

¿Qué es el aire? ¿Qué noción más pobre tenemos del aire e, incluso, qué poca atención prestamos a esta cuestión! Estamos acostumbrados a que el aire nos circunda y, lo mismo que la salud, comenzamos a apreciarlo sólo cuando lo perdemos, cuando caemos en situaciones en que el aire nos falta.

Sabemos qué difícil es respirar a grandes alturas, cómo ciertas personas a la altura de 3 kilómetros sienten ya el "mal de montaña" y empiezan a notar debilidad; sabemos cómo sufren los pilotos cuando se vuelan en los aeroplanos a más de cinco kilómetros; a alturas de ocho y diez kilómetros, el aire ya falta en absoluto y hay que acudir a la ayuda de las reservas de oxígeno existentes en el avión.

Sabemos lo pesado que es descender a la profundidad de las minas, cómo zumban los oídos hasta que a la profundidad de 1.500 metros nos acostumbramos a la nueva presión del aire.



Lavoisier

Hoy el aire constituye uno de los problemas más interesantes, no sólo para la ciencia, sino que también para la industria química.

Durante mucho tiempo no pudo comprender el hombre qué es el aire. En el transcurso de varios siglos dominaba en la Química primitiva la convicción de que el aire está constituido por un gas especial, el flogisto, y que cuando arde una substancia cualquiera, de ella se desprende flogisto, el cual llena, como materia fina especial, todo el mundo.

Después, gracias al genial descubrimiento del químico francés Lavoisier, se puso en claro que el aire se compone fundamentalmente de dos substancias, una de ellas vivificadora que fue denominada oxígeno, y la otra indiferente para la vida, llamada por esto nitrógeno o "ázoe" (del griego, "sin vida").

En 1894, de manera completamente inesperada, se descubrió que la composición del aire es bastante más compleja y que el nitrógeno, este gas inerte, contiene, además, toda una serie de otros elementos químicos más pesados, que desempeñan en él un gran papel.

Los físicos modernos determinan la composición del aire de la forma siguiente (en peso):

	%		%
Nitrógeno	75,70	Neón	0,00125
Oxígeno	23,01	Helio	0,00007
Argón	1,28	Criptón	0,0003
Anhídrido carbónico	0,03	Xenón	0,00004
Hidrógeno	0,03	Vapor	cantidad variable

Ahora se conoce con tal exactitud la composición del océano aéreo, que incluso cada gota dispersa en un metro cúbico de aire no escapa a la percepción de nuestros químicos.

Y resulta que el océano gaseoso que nos circunda es la base no sólo de toda nuestra vida, sino también de la nueva y grandiosa industria.

Los ingleses calcularon en los últimos años que toda la población de Inglaterra y Escocia absorbe cada día hasta 20 millones de metros cúbicos de oxígeno del aire, y que instalaciones especiales, en este transcurso de tiempo, extraen 1 millón de metros cúbicos de este gas para las necesidades de la industria.

Simultáneamente, la industria quema carbón y petróleo, gastando oxígeno y devolviendo a la atmósfera una cantidad grandiosa de anhídrido carbónico. Este mismo proceso se verifica en los



organismos vivos. El hombre, por ejemplo, exhala cada día cerca de tres litros de anhídrido carbónico.



*Figura 29.1 Avenida de eucaliptos en un sovjos de la región central de la depresión de Cólquida (RSS de Georgia)*

Para comprender la significación de esta cifra, es suficiente decir que un árbol grande como el eucalipto puede, durante un día, descomponer anhídrido carbónico y devolver al aire oxígeno libre en cantidad aproximadamente de un tercio del anhídrido carbónico espirado por el hombre. En consecuencia, tres grandes eucaliptos descomponen tanto anhídrido carbónico como desprende un hombre, restableciendo de esta forma el equilibrio en la composición de la atmósfera.

De aquí vemos qué gran importancia tiene la vegetación que nos rodea y que nosotros tan cuidadosamente conservamos y plantamos en las ciudades. La vida de las plantas es la única fuente de reposición del oxígeno absorbido por el hombre. Y entre tanto, el oxígeno se va empleando en cantidades cada vez mayores.

En 1885, las pequeñas fábricas de preparación de peróxido de bario iniciaron la utilización industrial de oxígeno del aire. Hoy el oxígeno atmosférico sirve de base para toda una serie de industrias químicas; en la metalurgia, en lugar de aire se inyecta oxígeno puro en los altos hornos; en muchos procesos químicos industriales el oxígeno es el oxidante insustituible.

Cada año aumenta el número de nuevas y nuevas instalaciones que extraen, mediante aire líquido, el oxígeno de la atmósfera circundante.

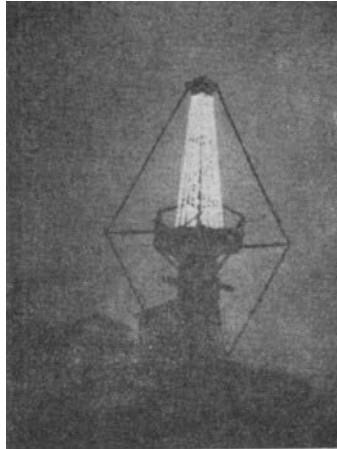
El hombre comienza a emplear cada vez en mayor escala, a la par que el oxígeno, los demás gases contenidos en el aire.

Poco tiempo atrás el argón, que entra en la composición del aire en proporción de un 1%, no jugaba ningún papel en la industria. Ahora se extrae anualmente del aire, con ayuda de complicadas instalaciones, cerca de un millón de metros cúbicos de este rarísimo gas.



Muchos de nosotros no saben que con este gas se llenan cada año más de mil millones de bombillas eléctricas.

El neón, otro gas noble componente del aire, se emplea cada vez con mayor amplitud en las lámparas especiales de los anuncios luminosos de las grandes ciudades. El océano aéreo lo contiene en cantidad muy pequeña: una parte por cada 55 mil partes de aire. Pero aun así la industria del neón se desarrolla a incrementa de año en año.



*Figura 29.2 Faro de tubos de neón en un aeródromo*

Se comienza a obtener también del aire helio. De él hay todavía menos cantidad que de neón, a pesar de que la atmósfera contiene por cada kilómetro cuadrado de terreno cerca de 20 toneladas de este valiosísimo gas. El helio se extrae del aire y, principalmente, de las corrientes gaseosas subterráneas y se emplea para llenar dirigibles; en la industria frigorífica se consiguen con su ayuda las temperaturas más bajas del mundo.

Comienzan a penetrar en la industria incluso los gases más raros, como el criptón y el xenón.



De criptón hay en el aire menos de una milésima por ciento. Y sería muy importante obtenerlo en grandes cantidades ya que aumentaría en un 10% (y con el empleo del xenón en un 20%) la densidad luminosa de las lámparas eléctricas. Esto significa que disminuiría en un 20% el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de alumbrado.

Pero, desde luego, la materia prima que se extrae del aire más importante para la industria, es el nitrógeno.

En 1830 fue realizado el primer intento de utilizar los compuestos nitrogenados para fertilizar los campos de cultivo.

Sobre el nitrógeno del aire ni pensaba nadie entonces, a incluso el salitre traído en barcos desde Chile no siempre encontraba empleo en los campos pobres de Europa Occidental. Pero la aplicación gradual de la Química en la agricultura exigió cada vez en mayor cantidad los tres elementos vivificadores a base de los cuales se construye la vida química de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. La demanda de nitrógeno adquirió tal magnitud que el físico y químico Crookes predijo en 1898 una futura "hambre de nitrógeno" y propuso buscar nuevos métodos de extracción de este elemento del aire.

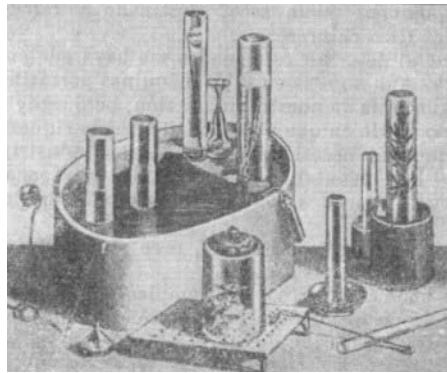
Pasaron unos años. Los químicos aprendieron a transformar el nitrógeno atmosférico en amoníaco, ácido nítrico y cianamida, mediante descargas eléctricas.



Durante la primera guerra mundial, el nitrógeno, necesario para la fabricación de sustancias explosivas fue objeto de numerosas investigaciones.

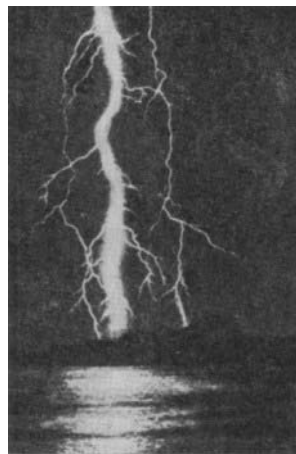
En la actualidad trabajan en el mundo más de 150 fábricas de nitrógeno, que extraen del aire anualmente 4 millones de toneladas de este gas. Pero incluso esta cifra resulta insignificante en comparación con las inmensas reservas de este gas que constituye aproximadamente el 81% del volumen total del elemento aéreo.

Es suficiente decir que todas las instalaciones de nitrógeno del mundo extraen cada año una cantidad de este elemento equivalente a la que contiene una columna de aire atmosférico, elevada sobre medio kilómetro cuadrado de la superficie terrestre. Así se dibujan ante nosotros las nuevas vías de aplicación industrial del aire. La industria utiliza cada vez más todos los componentes del océano aéreo. La atmósfera se convierte en fuente grandiosa de materias primas minerales, cuyas reservas son prácticamente inagotables. Sin embargo, aún no se ha hallado el camino para adueñarse de estas reservas.



*Figura 29.3 Aparatos de Priestley, con ayuda de los cuales estudió en los años 1774-1790 la composición del aire*

Los procesos, con cuya ayuda el hombre descompone el aire en sus partes constituyentes, son aún bastante imperfectos. Para la extracción del nitrógeno se exigen grandes presiones y una cantidad enorme de energía.



*Figura 29.4 Fotografía de un rayo*

Para la separación de los gases nobles y obtención de oxígeno hay que recurrir al empleo de instalaciones complicadas y costosas que liquidan primero el aire para después separar de él los distintos gases. En este terreno, durante los últimos años, se han hecho grandes descubrimientos en la Unión Soviética.

En el Instituto de problemas físicos de la Academia de Ciencias de la URSS se han construido máquinas nuevas, magníficas, que permiten separar minuciosamente de cantidades enormes de aire sus distintos elementos constitutivos. Y nos imaginamos ya pequeños aparatos instalados en cada habitación.

Abrimos la llave con la inscripción "Oxígeno", y en lugar de aire fluye de él un líquido azulado, enfriado hasta  $-200^{\circ}$ .

Abrimos otra llave y, gota a gota, sale en forma líquida el gas noble criptón o xenón, y allá en el fondo, como la ceniza en el horno, se acumulará el anhídrido carbónico sólido que después pasará a una prensa especial proporcionándonos hielo seco, destinado a refrigerar nuestra habitación en los días calurosos.

Puede ser que al describir este cuadro me haya adelantado un poco más de la cuenta. Aún no existen tales máquinas portátiles que puedan conectarse en el enchufe de nuestra habitación, pero estoy seguro de que no se halla lejano el día en que podamos utilizar la riqueza circundante del aire para nuestras necesidades y una gran industria química se edificará sobre las incontables



reservas de nitrógeno y oxígeno, elementos ambos destacados por su importancia en la vida de la Tierra.

Podría terminar con esto mi relato, pero pienso que aún está lejos de ser completo.

No he dicho nada todavía sobre el empleo del anhídrido carbónico del aire y sobre las posibilidades de aplicación de todos los gases que se forman durante la combustión del carbón, leña y la calcinación de las calizas.

En la industria ya se calcula la enorme cantidad de anhídrido carbónico que se arroja al aire en calidad de residuos. Se cuenta con utilizarlo para la preparación de hielo seco, se pretende extraer de nuestra atmósfera las tres centésimas por ciento existentes en ella de anhídrido carbónico.

Y los físicos van aún más lejos; dicen que nuestro aire contiene no sólo la decena de gases de que hablamos anteriormente, sino que contiene gran cantidad de otros gases aún más raros, todavía más dispersos, en millonésimas y mil millonésimas partes por ciento: los gases radiactivos.

Se trata de emanaciones del radio y diversos gases volátiles, productos de la desintegración de los metales ligeros. Estos gases viven poco tiempo en nuestra atmósfera; la vida de unos se mide en días, de otros en segundos, y de otros, incluso, en millonésimas de segundo. El aire está saturado de los productos de desintegración de los núcleos atómicos del mundo. Los rayos cósmicos provocan a cada paso la destrucción de átomos y la aparición de gases inestables que deben desaparecer de nuevo, pasando a constituir formas más estables de la sustancia sólida.

En el océano aéreo se verifican sin interrupción numerosas reacciones químicas. Procesos complicadísimos se producen entre los átomos dispersos de sustancias y aún son poco comprensibles para nosotros las constantes y complejas transmutaciones, las descargas eléctricas que tienen lugar a nuestro alrededor en este océano aéreo.

Descifrarlas significa dar un paso más en la supeditación de la naturaleza a la satisfacción de nuestras necesidades.

### **Capítulo XXX**

## **LOS ATOMOS EN EL AGUA**

Las aguas de los manantiales, ríos, mares, océanos y de las capas subterráneas forman, todas juntas, la envoltura acuosa ininterrumpida de la Tierra, o hidrosfera. En las extensiones inmensas de los océanos se verifica sin cesar la evaporación del agua bajo la influencia del calor y el sol. El agua se condensa en la atmósfera y cae sobre la Tierra en forma de lluvia, nieve y granizo. Erosiona el terreno, lo lixivia, destruye las rocas, disuelve gran cantidad de variadas sustancias y arrastra todo esto de nuevo a los mares y océanos.

De este modo el agua efectúa muchos millones de veces su ciclo: océano-atmósfera-tierra-océano. Y cada vez extrae de las duras rocas de la tierra nuevas y nuevas cantidades de sustancias solubles.

Se ha calculado que anualmente todos los ríos del mundo transportan de la superficie terrestre al océano cerca de tres mil millones de toneladas de sustancia en disolución. Dicho de otro modo, el agua destruye y se lleva de la tierra firme en 25.000 años una capa mineral de cerca de un metro de espesor.

El trabajo que realiza el agua en la superficie terrestre es grandioso.



*Figura 30.1 Figuras caprichosas, resultado de la erosión de rocas sedimentarias. Nueva Zelanda*

El agua, cuya fórmula química es  $H_2O$ , es una de las sustancias más difundidas en la Tierra. ¡El volumen mundial del agua de los océanos constituye 1.370 millones de kilómetros cúbicos! Enorme es la importancia del agua en la historia de la Tierra y, por consiguiente, en la Geoquímica.

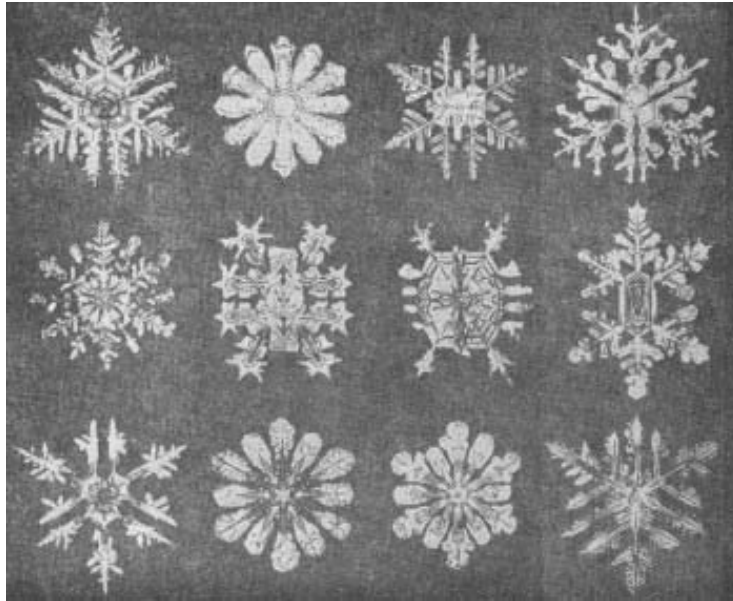
Por eso hubo un tiempo que en las geológicas existía la hipótesis que todas las rocas de la Tierra provenían del medio acuoso.

Los partidarios de esta hipótesis, los neptunistas (así denominados por el nombre del dios mitológico del agua, Neptuno) controvertían con los plutonistas que aseguraban a su vez la procedencia de las rocas de las masas fundidas, surgidas a la superficie desde las profundidades del reino subterráneo del dios Plutón.

Ahora se sabe que ambas fuerzas, agua y volcanes, participaron en la formación de los minerales terrestres.

Prácticamente, no existe en la naturaleza agua alguna que no contenga cualquier clase de impurezas, sustancias o sales disueltas en ella. Con otras palabras, en la naturaleza no hay agua

destilada. Incluso el agua de lluvia contiene anhídrido carbónico e indicios de ácido nítrico, yodo, cloro y otros compuestos.



*Figura 30.2 Formas de cristales de nieve (aumentados)*

Obtener agua químicamente pura es muy difícil, por no decir imposible. Los gases del aire, la substancia de que están hechas las paredes del recipiente en que se halla el agua, se disuelven en ella aunque sea en cantidades pequeñísimas. Por ejemplo, una porción de mil millonésima de plata se disuelve en el agua contenida en un recipiente de este metal.



*Figura 30.3 Catarata del Niágara en América*

La plata de una cucharilla de té pasa al agua en disolución en ínfima cantidad. El químico apenas puede percibir estos indicios. Pero algunos organismos inferiores, por ejemplo, las algas, son tan

sensibles a los residuos argentíferos y a algunos otros átomos en el agua, que perecen a causa de ellos.



Corriendo a través de la extraordinaria variedad de minerales terrestres (arenas, arcillas, calizas, granitos, etc.), el agua natural extrae de ellos diversos compuestos. Algunos hombres de ciencia dicen que sabiendo por qué cuenca corre un río se puede decir qué composición tienen sus aguas.

Pero, a pesar de que en la naturaleza están muy difundidos, como sabemos, los aluminosilicatos, el agua por regla general no contiene gran cantidad de aluminio ni de silicio. Si estos metales existen es más que nada en suspensión, a modo de turbiedad o de impurezas mecánicas. Por otra parte, las aguas de los ríos y mares siempre contienen álcalis, sodio, potasio, y también magnesio, calcio y otros elementos. ¿Qué es lo que ocurre?

Resulta que la composición química de las sales disueltas depende del grado de solubilidad de unas u otras sales en el agua. Los compuestos más solubles son los componentes más habituales de las aguas naturales. Como hemos dicho, la masa fundamental de los residuos salinos del agua natural está formada por átomos de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, bromo y algunos otros elementos.

Las aguas saturadas de sales, las salmueras, también contienen precisamente estas combinaciones atómicas fácilmente solubles, tomadas de los minerales.

De tal modo, el océano es un depósito de sales solubles que se concentran en él durante todo el período de existencia de la Tierra, como resultado de la constante circulación del agua entre los continentes y el océano.

Los científicos han intentado calcular por la cantidad de sales disueltas en los océanos, qué cantidad de ellas aportan los ríos anualmente.

Basándose en esto, se ha calculado la edad del océano, o sea la cantidad de años que fueron necesarios para que su agua adquiriese la concentración salina que hoy se observa. Pero las cifras obtenidas ofrecen poca seguridad.



*Figura 30.4 En las orillas del mar de Azov*

Así, las combinaciones atómicas fácilmente solubles constituyen la base del contenido salino de las aguas naturales. El agua de los océanos contiene 3,5 % de sales, de las cuales el 80 % es de cloruro sódico (la sal común de todos conocida). Todos conocen su gran solubilidad en el agua. Los demás compuestos solubles se hallan en el agua en cantidades muy pequeñas. En cualquier agua natural (de mar, de río, subterránea) puede descubrirse la presencia de todos los elementos químicos. El problema reside en el grado de precisión y perfeccionamiento de nuestros métodos de investigación.

Si se recuerda que en total existen un poco más de cien elementos químicos, es fácil imaginar qué variedad de aguas, por su composición, pueden encontrarse en la naturaleza. Y, en efecto, los hombres de ciencia establecieron la existencia de una multitud de clases diferentes de agua.

La composición del agua de los océanos, tanto en la superficie como en las profundidades (pero lejos de la costa), es constante.

El contenido en ellas de elementos químicos se repite cuantitativamente con toda exactitud. La composición de las aguas fluviales es menos constante, pero, sin embargo, muy semejante entre sí. El hecho de que los ríos corren por distintos suelos y condiciones climatológicas heterogéneas no deja de marcarse en su composición. Así, los ríos de las latitudes septentrionales contienen más hierro, humus, a veces incluso toman su color. Los ríos de latitudes medias contienen fundamentalmente sodio, potasio, sulfatos y cloro. En zonas más cálidas, sobre todo en regiones privadas de salida de aguas al mar u océanos, el agua de los ríos y, con más frecuencia, de los lagos, suele ser salina.



*Figura 30.5 Géiser en el parque de Yellowstone (EE.UU.)*

Cambios análogos en la composición del agua pueden observarse, por línea vertical, en las capas acuosas subterráneas. Cuanto más profundas sean éstas, más se aproximan a las salmueras. Las aguas minerales subterráneas de composición más variada forman con frecuencia al surgir a la superficie manantiales minerales, a veces, con propiedades curativas.

Aquí podemos encontrar aguas con sales de calcio, radio y litio, yodo-bromadas, ferruginosas, sulfurosas, magnesio-bromadas, etc. Las propias denominaciones señalan qué compuesto o elemento químico constituye el componente principal de sus residuos disueltos.







Figura 30.6 Malecón en la ciudad de Sujumi (RSSA de Abjazia)

La procedencia de estas aguas minerales está relacionada con la disolución de los estratos minerales por las aguas subterráneas y los procesos de lixiviación de rocas de distinta composición.

Descifrar el proceso total de formación de las aguas por su composición química constituye una tarea recreativa y, al mismo tiempo, de importancia científica. De esta cuestión se ocupan los geoquímicos y los hidroquímicos.

Incluimos una tabla de la composición del agua marina (en por ciento):

Oxígeno	86,82	Titanio	0,0000001
Hidrógeno	10,72	Manganeso	0,0000002
Cloro	1,93	Níquel	0,0000002
Sodio	1,035	Cobre	0,0000003
Magnesio	0,13	Arsénico	0,0000003
Azufre	0,089	Estaño	0,0000003
Calcio	0,041	Uranio	0,0000003
Potasio	0,038	Vanadio	0,0000003
Bromo	0,007	Selenio	0,00000001
Carbono	0,002	Bismuto	0,00000002
Flúor	0,0001	Itrio	0,00000003
Silicio	0,0003	Plata	0,00000003
Boro	0,0005	Cesio	0,00000004
Estroncio	0,0008	Cobalto	0,00000005
Litio	0,00001	Torio	0,000000001
Nitrógeno	0,00001	Plomo	0,000000003
Rubidio	0,00005	Galio	0,000000003
Zinc	0,000001	Mercurio	0,000000003
Hierro	0,000001	Escandio	0,000000004
Aluminio	0,000001	Germanio	0,000000006
Molibdeno	0,000001	Cerio	0,0000000001
Bario	0,000002	Lantano	0,0000000003
Yodo	0,000005	Oro	0,0000000004
Fósforo	0,000007	Radio	0,00000000000001

Como se ve por la tabla, el contenido de los 15 primeros elementos en el agua del mar es igual, en peso, al 99,99 % , y el de los 74 restantes, cerca del 0,01 % .

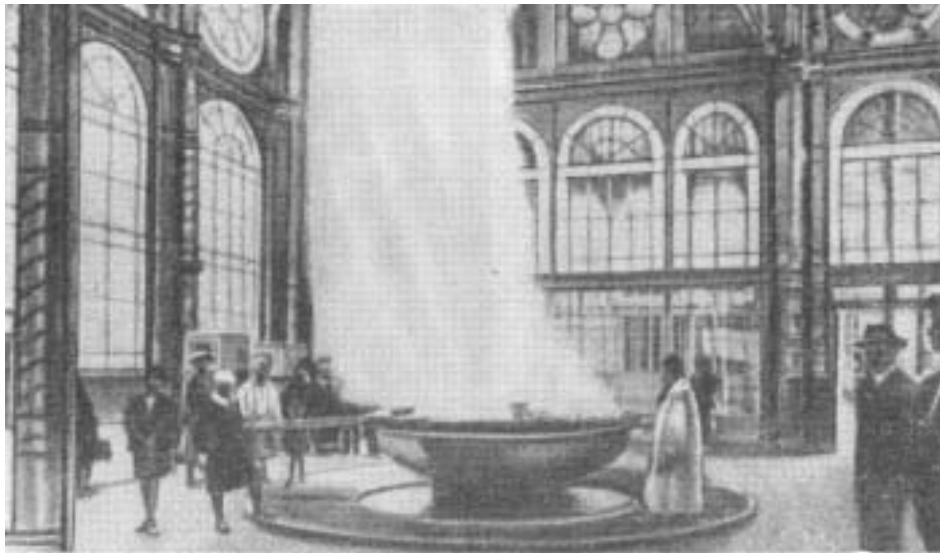


Sin embargo, en cifras absolutas esto no es poco; por ejemplo, de oro existen en el agua marina millones de toneladas.

Los científicos intentaron muchas veces construir fábricas fisicoquímicas que hiciesen rentable la obtención de oro del agua de mar. Pero hasta ahora esto no se ha realizado.

En el agua del mar es característica la concentración de bromo, yodo y, naturalmente, cloro, elementos químicos muy importantes para el hombre. El yodo del mar es absorbido por las algas y organismos marinos. De las algas obtiene el hombre la masa fundamental de yodo para la industria.

Cuando mueren las algas, el yodo contenido en ellas pasa al limo del fondo del mar. Del limo marino van formándose gradualmente rocas. El agua escurre de ellas, formándose capas acuosas, a las que pasa el yodo. Durante los sondeos en busca de petróleo se encuentran con frecuencia capas de agua, ricas en yodo y bromo. En la actualidad, se ha aprendido a extraer de ellas estos elementos. El agua del mar constituye un depósito ilimitado de bromo, elemento que, lo mismo que el magnesio, comienza ya a obtenerse directamente de ella en una serie de lugares.



*Figura 30.7 Surtidor mineral "Sprudel" en Karlovy Vary, Checoslovaquia. La temperatura del agua es de cerca de 75° y alcanza una altura de 9 metros*

Ofrece especial interés la historia de los átomos de calcio en las aguas naturales. Estas suelen estar sobresaturadas de iones de calcio y, entonces, este último, en forma de carbonato cálcico, se deposita en el fondo, creando las calizas o la creta.

En la historia del calcio juega un gran papel el anhídrido carbónico. El exceso de éste provoca la solución del carbonato cálcico, y su falta, su precipitación. Si recordamos que las plantas verdes absorben el anhídrido carbónico, veremos claramente su papel en la sedimentación del calcio del agua. En efecto, islas enormes, los atolones, se forman en los mares templados exclusivamente del carbonato cálcico depositado como resultado de la actividad vital de las plantas marinas, así como de los esqueletos calcáreos de animales marinos.



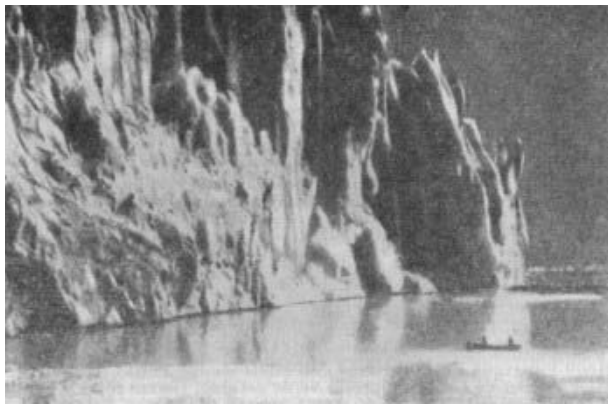
Con este ejemplo, hemos querido mostrar que en la composición de las aguas naturales tiene una influencia considerable la flora y fauna del depósito acuático en cuestión.

Sin conocer la influencia que ejerce la "substancia viva" en la composición del agua de los depósitos, no es posible representarse todos los procesos que condujeron a la composición actual de las aguas de los ríos, lagos, mares y océanos.

**Capítulo XXXI****LOS ATOMOS EN LA SUPERFICIE TERRESTRE. DESDE EL ARTICHO HASTA LOS SUBTROPICOS**

Siendo aún niño hice un viaje de Moscú al sur de Grecia y, entre los recuerdos infantiles, se me quedó grabado para toda la vida el cuadro del cambio de colores que se desarrollaba ante mí, conforme nos desplazábamos hacia el sur.

Recuerdo el día despejado de Moscú, pero con la tierra gris, monótona, las arcillas gris-rojizas y pardas de las tierras grises de Rusia. Recuerdo después el cuadro más vivo del colorido de las tierras negras de los alrededores de Odesa, iluminadas por los brillantes rayos de un sol meridional de primavera. Revive en mi mente cómo se cambiaron estos colores cuando entramos en el Bósforo: el azul del agua, el terreno pardocastaño cultivado de viñedos. Y, finalmente, me parece ver ahora el paisaje del sur de Grecia: cipreses verde oscuros, tierras rojas y huellas de este mismo color de los óxidos de hierro entre las calizas blancas como la nieve.



*Figura 31.1 Extremidad de un glaciar en Alaska*

Recuerdo, qué profundamente se grabó en mi imaginación el cuadro de esta variación de colores y con qué insistencia solicitaba a mi padre que me aclarase las causas de este cambio de colorido.



Sólo después de muchos años comprendí que ante mis ojos actuaba una de las leyes más importantes de la superficie terrestre, la ley de los procesos químicos oxidantes, que se verifican de tan variada manera en las distintas latitudes de la Tierra.

Desde aquel entonces he viajado mucho por la Unión Soviética, empezando por los bosques espesos de la taiga, llanuras, tundras y océanos polares, hasta las cúspides nevadas del "tejado del mundo", el Pamir. Y cada vez reaparecía de nuevo ante mí, aunque en escala mucho mayor, el cuadro de estas variadas reacciones químicas y los distintos destinos de los átomos en la superficie terrestre, desde el más profundo Artico hasta los cálidos subtrópicos.

Miremos este pequeño mapa y marchemos por la flecha que la cruza en viaje desde las islas de Spitzbergen hasta la isla de Ceilán, en el Océano Indico.

Alrededor del antiguo Svalbard, hielos continuos. Un desierto de hielo muerto. Ninguna reacción química, las rocas no se disgregan en arcilla o arena, la acción de las heladas se propaga hacia adentro, se crean desmoronamientos grandiosos.

Sólo en raras ocasiones, en las colonias de aves marinas, se concentran residuos de vida orgánica y las corrientes alargadas de fosfatos constituyen casi los únicos minerales entre el continuo hielo.



Figura 31.2

Con la misma lentitud transcurren las reacciones químicas más al sur en la península de Kola o en los Urales transpolares. ¡Qué frescas son las rocas en la península de Kola! Con unos gemelos, pueden ustedes observar en una mañana fría las rocas a decenas de kilómetros como si las contemplasen en un museo.

Finas películas pardas de óxidos de hierro se ven en enormes extensiones. Sólo en las depresiones se concentran las turberas, se quema lentamente la sustancia orgánica de los vegetales, transformándose en ácidos húmicos pardos, y las aguas primaverales las arrastran consigo, junto con otras sales solubles, coloreando las capas de masas gelatinosas de las turberas y los sapropoles en los lagos y pantanos.

Más al sur, en las cercanías de Moscú, pueden observarse otras reacciones químicas. Aquí también se verifica la combustión lenta de la sustancia orgánica, las mismas aguas pardas de primavera disuelven el hierro y el aluminio, arenas blancas y grises rodean las inmediaciones de Moscú, las capas azules de los fosfatos se destacan como manchas vivas en la enorme extensión de las turberas.

Todavía más al sur, cambia paulatinamente la coloración, se modifica la marcha de las reacciones químicas y los átomos se encuentran en una situación nueva. Las tierras negras de la región central del Volga sustituyen al suelo gris arcilloso de la región de Moscú. Vemos cómo, poco a poco, un sol vivo va variando el aspecto de la superficie terrestre, provocando procesos químicos más enérgicos, más impetuosos.



Ya en la zona situada en la orilla izquierda del Volga encontramos reacciones naturales nuevas; venimos a parar a la inmensa zona salina que se extiende desde la frontera de Rumania, a través de Moldavia, por las estribaciones del Cáucaso del Norte, y, atravesando toda Asia Central, termina en las costas del Océano Pacífico. Se concentran diversas sales de cloro, bromo y yodo. El calcio, sodio y potasio son los metales de estas sales en los estuarios y lagos agonizantes, los cuales por decenas de miles están diseminados en esta zona. Aquí transcurre el proceso complejo de formación de depósitos sedimentarios.

Siguiendo hacia el sur, llegamos a la región de los desiertos. Aquí un cuadro nuevo se presenta ante nuestros ojos. Enormes salinas con sus campos blancos relucen entre las manchas verdes de la vegetación esteparia, atravesadas por las aguas rojo-chocolate del Amú-Dariá. Los vivos colores nos hablan de nuevas reacciones químicas; los átomos cambian de lugar y adquieren nuevos equilibrios químicos en la arena. Unos se concentran bajo el aspecto de las arenas originarias de los desiertos; otros se disuelven, son arrastrados por el viento y las tempestuosas lluvias tropicales, depositándose en los desiertos formando las tierras salinas y las saunas sedimentarias.

Pero vemos colores aún más vivos en las estribaciones del TianShan. Aquí se observan a cada paso enérgicas reacciones químicas y los caminos de "peregrinación" del átomo en la superficie de la tierra se hacen muy complejos. No puedo olvidar la impresión de aquellos colores vivos y abigarrados que me saltaban a la vista cuando visité por vez primera un notable yacimiento. En mi libro sobre los colores de las piedras, describí este cuadro con las palabras siguientes:

*"Películas de azul vivo y verde de compuestos de cobre cubrían los trozos de roca, bien espesándose en la corteza aterciopelada verde oliva de los minerales de vanadio, bien entrelazándose con los tonos azules de los silicatos hidratados de cobre. En una gama de vivos tonos se extendían ante nosotros una multitud de combinaciones del hierro, hidratos de sus óxidos: amarillos, ocre-dorados, bien los rojos poco hidratados, o los compuestos pardonegros de hierro y manganeso; incluso el cristal de roca adquiere aquí el color rojo vivo del "jacinto de Compostela", la barita transparente toma el amarillo, pardo y rojo de la "barita mineral", en los sedimentos de sonrosadas arcillas de las cuevas cristalizan agujas rojas de alaita, ácido vanádico libre, y en los blancos huesos del esqueleto humano aparecen brillantes hojitas verde-amarillentas de mineral nuevamente formado".*

El cuadro de los colores con tonos vivos y abigarrados es inolvidable y el geoquímico lo observa con atención, procurando descifrar sus causas. Antes que nada ve que todas las combinaciones se encuentran en estado de alta oxidación y el grado máximo de oxidación del manganeso, hierro, vanadio y cobre caracteriza a estos minerales; sabe que esto se debe al sol meridional, al aire ionizado, con su oxígeno y ozono, a las descargas eléctricas en las horas de tormenta tropical, cuando el nitrógeno se transforma en ácido nítrico.

Pero la flecha nos lleva más lejos, fuera de los límites de las arenas. Elevándonos a una altura de 4 mil metros, vamos a parar de nuevo al desierto, pero a un desierto de hielo; aquí no se ven ni los colores vivos, ni la "peregrinación" de átomos que acabamos de observar en las depresiones de Asia Central.



*Figura 31.3 Paisaje del Artico. Un geólogo con un tiro de perros en Tierra del Norte*

Ante nosotros casi el mismo cuadro que en las islas de Nueva Zembla o de Spitzberg. Por doquier, vemos taludes grandiosos de sedimentos mecánicos, y rocas recientes que casi no conocen las reacciones químicas, y, sólo de vez en cuando, entre hielos y nieve, se observan sales cristalizadas aisladas y concentraciones de salitre.



*Figura 31.4 Glaciar en los países polares*

Este panorama recuerda los desiertos árticos; y solamente las raras tormentas con fuertes relámpagos hablan de la vida y producen en el aire descargas eléctricas, originan partículas de ácido nítrico, que se depositan en forma de salitre en los elevados desiertos montañosos del Pamir y en, cantidades aún más grandiosas, en el desierto de Atacama, en Chile.



*Figura 31.5 Paisaje del desierto. Arenas de Kara-Kumi (RSS de Turkmenia)*

Avanzando por nuestra flecha más adelante, a través de las alturas del Himalaya, veremos de nuevo los vivos colores de los subtrópicos meridionales. Las continuas lluvias templadas se cambian por el seco verano tropical y en la superficie terrestre se verifican complicadísimas reacciones químicas, transportando las sales solubles, acumulando enormes estratos de sedimentos rojos, minerales de aluminio, hierro o manganeso.



Más allá se muestran los terrenos lateríticos rojo-sangre de Bengala. A veces se alzan hacia el cielo en forma de terribles torbellinos.

He aquí las tierras de color chocolate-rojizo de la India tropical; refulgen caldeados por el sol los trozos de rocas, recubiertos como de un barniz semimetálico y sólo raras veces se ven depositaciones de sales blancas y sonrosadas, mezclándose en el cuadro de las tierras rojas de los subtrópicos indios.



*Figura 31.6 En el Tian-Shan central (RSS de Kirguizistán)*

Aún con más amplitud y viveza se pone de manifiesto el cuadro de la "peregrinación" de los átomos en el sur de India, allí donde las aguas verde-esmeralda del Océano Indico bañan las costas rojas, y las erupciones volcánicas del basalto traen su aliento desde las profundidades. Complejas formaciones químicas varían a cada paso el cuadro del fondo del mar, comenzando por el litoral de poco calado con sus caracolas, briozoos y corales, y terminando en las zonas profundas con los bancos de coral y las grandiosas concentraciones de calizas coralinas.



En el fondo, en el fango, allí donde se acumulan los restos de los esqueletos de organismos vivos, se originan sales fosfóricas bajo el aspecto de nódulos fosforíticos.

Los radiolarios, con sus caparazones de la sílice traída por los ríos, construyen sus conchas de encaje y los foraminíferos, al formar su esqueleto, absorben el bario y el calcio. Así, tan rápidamente, se cambian los átomos al pasar del

Artico a los subtrópicos y tan grandiosos son los procesos de

"peregrinación", de los distintos elementos en la superficie terrestre.

¿Qué es lo que determina esta diferencia entre los paisajes del

extremo norte y el sur tropical? Ahora ya sabemos que es debida a la acción de los rayos solares, a la abundancia de humedad y las altas temperaturas de la tierra. Es debida al impetuoso desarrollo de la vida orgánica, que exige una enorme cantidad de distintos átomos. Grandes concentraciones de residuos de células vivas se descomponen bajo el ardiente sol meridional despidiendo anhídrido carbónico que satura las aguas con sus soluciones ácidas.



*Figura 31.7 Paisaje subtropical. Avenida de palmeras en el parque de la ciudad de Gagra, en el litoral del Cáucaso*

La velocidad con que se realizan en el sur las reacciones químicas aumenta considerablemente, pues, como sabemos bien los geoquímicos por una de las leyes fundamentales de la ciencia química, en la mayoría de los casos por cada incremento de 10 grados la velocidad de las reacciones químicas corrientes se duplica.



*Figura 31.8 Capas arcillosas erosionadas por el viento*

Para nosotros se hace comprensible la inactividad y reposo de los átomos en el desierto ártico y las complejas vías de "peregrinación" de los átomos en los subtropicos y desiertos del sur. Vemos que puede hablarse de una Geografía química, que el mundo de la naturaleza con su variedad de continentes y países está estrechamente ligado a los procesos químicos que se desarrollan por todas partes.



*Figura 31.9 Estatuas enigmáticas talladas de peñas volcánicas. Isla de Pascua en el Océano Pacífico*

Entre los factores determinantes de la marcha de los procesos geoquímicos, cada vez va adquiriendo más importancia el propio hombre.

Durante el último siglo, su intensa actividad estaba ligada a las latitudes centrales y sólo paulatinamente va comenzando a dominar los desiertos del Artico y los desiertos arenosos del sur. Aportando sus reacciones químicas nuevas y complejas, altera los procesos naturales, provocando movimientos y "peregrinaciones" nuevas a los átomos que le son necesarios. La nueva Geografía química se diseñó ya hace tiempo con el establecimiento de las bases de la Agrología, cuya patria fue Rusia y cuyo futuro es el destino de la fecundidad de los campos.



Recordamos cómo en la década del ochenta del siglo pasado en un aula pequeña de la Universidad de San Petersburgo el "padre de la Agrología", V. Dokucháev, descubría en brillantes conferencias el cuadro atrayente de la nueva ciencia, dibujando las zonas de terreno que cubren la Tierra, desde las tundras polares hasta los desiertos del sur.

Entonces no podía aún traducirse al lenguaje de la Química su maravillosa estructuración. Pero hoy que la Química irrumpe impetuosamente en el dominio de las ciencias geológicas, cuando los agroquímicos comenzaron a dirigir la vida de las plantas y las reacciones que se verifican en el terreno, cuando los geoquímicos abarcan en sus investigaciones todos los caminos de "peregrinación" de los átomos, nosotros empezamos a comprender las complicadas rutas que recorre cada átomo en las distintas latitudes de nuestro planeta.

Y, entre tanto, el pasado nos enseña que estas latitudes cambiaron.



*Figura 31.10 Figura de Buda, de 15 metros de altura, tallada en arenisca. Afganistán*

En el transcurso de cerca de dos mil millones de años cambió la vida de nuestra corteza terrestre, varió la situación de los polos; las cordilleras elevaban en un principio sus nevadas cúspides sólo en los países polares y gradualmente los plegamientos se desplazaron hacia el sur creando tales cordilleras como los cinturones de los Alpes y el Himalaya. También se desplazaron del norte al sur los grandes mares que circundan la Tierra; modificáronse la estructura y constitución de las distintas zonas y las condiciones del paisaje. En cada lugar, los mares fueron remplazados muchas veces por montañas, los montes por desiertos y de nuevo por mares.



Así, en la larga historia geológica de la Tierra cambiaron la marcha de las reacciones químicas y "peregrinación" de los diferentes átomos, y la capa del terreno y la superficie en cada lugar determinado de la esfera terrestre es sólo el reflejo de las distintas alteraciones químicas experimentadas por los átomos en los largos períodos de la variada historia de la Tierra.

Ahora sabemos que todo vive, todo se mueve, todo cambia en el tiempo y el espacio, y lo más móvil en la naturaleza, buscando constantemente nuevas formas y caminos, es el átomo, la piedra inicial sobre la que se construye el edificio maravilloso del mundo, que eternamente busca reposo y equilibrio,

obediente a las leyes fundamentales de los procesos naturales.

Busca, pero no lo encuentra ni lo hallará jamás, porque en la naturaleza no hay reposo, sino que sólo existe eterna materia en eterno movimiento...

## **Capítulo XXXIV**

### **DE LA HISTORIA DE LAS IDEAS GEOQUIMICAS**

No quisiera que el lector pensase que ahora ya está todo claro para nosotros, que todo es conocido, que se han descubierto todos los elementos. Que no se crea que nuestros conocimientos se obtuvieron fácilmente, que la ciencia de la Química de la materia se desarrolló por sí sola, sin lucha y búsquedas, sin largos y tenaces trabajos.

No, amigos. El pasado de la ciencia nos enseña que millares de gentes lucharon durante muchos centenares de años por las verdades científicas, cometieron errores, buscaron nuevos caminos, trabajaron día y noche en viejos laboratorios subterráneos, combatieron la ignorancia, contra el yugo de la iglesia y los monasterios, lucharon por la comprensión de la naturaleza.

¡Y esta comprensión no se consiguió de golpe! Recuerdo una ocasión en que nos encontrábamos en la costa del lago Vudiyavr, en la península de Kola. Ante nosotros una ciudad, a la que llevaba una carretera circulada por automóviles. Y sólo con un gran esfuerzo pude evocar en mi imaginación el cuadro de la tundra salvaje y hosca, casi sin vida, fría, como yo la vi por primera vez sólo diez años antes.

Un recién llegado, viendo ahora la populosa ciudad, las amplias y rectas carreteras, los camiones que transitan velozmente por ellas, la comarca ya poblada, no podría figurarse que hace poco aún esto era una apartada tundra. ¿Acaso pensaría él en los investigadores que hace unos años deambulaban aquí por veredas intransitables a la busca de yacimientos y minerales? ¿Y cuántas privaciones y trabajo costó indagar las riquezas ocultas en la severa tundra para despertar a la vida esta región?

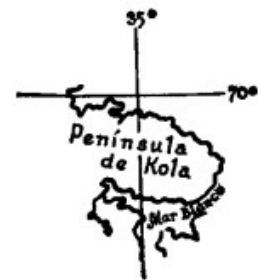
Así ocurre también con la ciencia. Al estudiar los progresos del pensamiento científico moderno, mirando desde las cúspides conquistadas las halagadoras perspectivas del futuro próximo, nos olvidamos de cuán dificultosa y lentamente, a fuerza de cuántos sacrificios y privaciones, fue desbrozado el bosque espeso de la ignorancia.

La ciencia que denominamos Geoquímica nos habla de la historia de los elementos químicos de nuestro planeta. Unicamente pudo formarse de modo definitivo en los últimos tiempos, no sólo cuando se hizo real la noción de la construcción atómica de la materia, sino cuando la ciencia penetró profundamente en la configuración del átomo y aclaró los rasgos generales de su estructura.

La Geoquímica contemporánea surgió a principios del siglo XX. Pero en un sentido más amplio, las ideas geoquímicas que examinan la noción del elemento químico, la composición química de los minerales y síntomas de reconocimiento de las menas y minerales útiles, existían ya y se desarrollaron durante los últimos tres o cuatro siglos. Base de la Geoquímica fueron la Mineralogía y la Química, que en su desarrollo atravesaron numerosas etapas antes de alcanzar su estado actual.

En su lucha por la existencia, el hombre aprendió ya en tiempos prehistóricos a buscar piedras que le sirvieran para la preparación de armas e instrumentos de producción. Y ya entonces hirió su imaginación la belleza de las gemas preciosas.

En períodos más avanzados de su progreso, empezó a interesar al Hombre qué es la Tierra y cómo surgió. Comenzaron a germinar leyendas sobre el origen del mundo, llamadas cosmogonias, que poco a poco se trocaron en concepciones más positivas. En los pueblos más cultos de la antigüedad, a las márgenes del Mediterráneo, existían ya hipótesis bastante avanzadas, expresadas, por tales pensadores como Demócrito, Aristóteles y Lucrecio.



De singular interés son los puntos de vista del más grande naturalista de la antigüedad.

Aristóteles (384-322 a. n. e.) que ya consideraba la tierra como de forma esférica: el mundo tiene forma de esfera y la tierra, como más pesada ocupa el centro; alrededor de ella está el agua, después la envoltura de aire que forma la geosfera. El elemento más ligero es el fuego y después el éter. Tierra, aire, agua, fuego y éter constituye, los cinco elementos cualitativos. Pese a lo erróneo de muchas concepciones de Aristóteles, su influencia en el desarrollo de las ciencias naturales fue exclusivamente grande. Marx le consideraba el mayor de los pensadores de la antigüedad, que supo sintetizar en sus obras todas las ciencias naturales de su época.



**Aristóteles**

Teofrasto (371-286 a. n. e.), discípulo de Aristóteles, hizo las primeras listas de los minerales conocidos en aquel tiempo y llevó a cabo un intento de su clasificación. Con pleno derecho se le puede considerar como el fundador, no sólo de la Mineralogía, sino también de la ciencia que estudia el suelo y las plantas.

En el siglo I de nuestra era se destaca un trabajo, notable para su época, del investigador romano Plinio el Viejo que pereció durante la erupción del volcán Vesubio en el año 79. En este trabajo, junto a tradiciones fantásticas, se comunican muchos datos exactos sobre diferentes minerales, algunas de cuyas denominaciones se conservan hasta nuestros días.

Con el comienzo de la Edad Media se detuvo el desarrollo de las ciencias exactas en Europa. En este periodo las ciencias naturales y la Química progresaron principalmente en Oriente.

En los originales tratados de los sabios árabes de los siglos IX y X encontramos indicaciones sobre la existencia de determinados metales en la naturaleza. Así Luca Ben Serapión, en la introducción a su obra *Libro de las piedras* hablaba de que "se encuentran piedras que se juntan con otras o que huyen unas de otras; piedras a las cuales otras alteran, igualmente que piedras a las que otras colorean".

Sin duda, la búsqueda de minerales y su tratamiento para obtener metales y aleaciones, fueron el aliciente constante para las ideas sobre las condiciones de acumulación conjunta de los elementos químicos. Las generalizaciones originadas por ello sobre el "afecto" y "odio" entre las distintas sustancias constituyeron las primeras leyes geoquímicas que no han perdido su significación hasta el presente.

Es interesante el trabajo del filósofo Avicena, natural de Bujará (985-1037), que escribió un tratado sobre minerales, en que los clasificaba:

- 1) piedras y tierras.
- 2) compuestos combustibles y sulfurosos,
- 3) sales y
- 4) metales.

Otro sabio destacado Al-Biruni (973-1048), nacido en Jorezm, escribió un libro notable en lengua árabe *Compilación de datos sobre el estudio de los minerales preciosos*, en el que recogió todos los datos de la Mineralogía de aquel tiempo.

Las obras de alquimia en árabe, aparecidas en el siglo IX, tienen gran importancia en la historia del progreso de la Química, por cuanto en ellas se plantean por primera vez tareas de investigación con métodos netamente químicos.

Los alquimistas se dedicaron especialmente a la síntesis, es decir, trataban de obtener nuevas sustancias a base de las ya conocidas.

La cuna de la alquimia fue Alejandría, de donde se extendieron a Siria los conocimientos y práctica de la Química. De los sirios la alquimia pasó a los árabes que la introdujeron en Europa a través de España.

Es costumbre considerar la alquimia como un falso artificio para obtener oro de otros metales. En efecto, los alquimistas medievales se dedicaron principalmente al enriquecimiento de los metales comunes, esforzándose por transformarlos en oro o plata. Sin embargo, no sólo les preocupaba la solución de este problema, sino que también buscaban medios curativos y la "piedra filosofal".

Paulatinamente, el fracaso de sus experiencias en transformación de metales impuso a los alquimistas la necesidad de buscar otras aplicaciones a su arte. Su atención se concentró en la salud humana y la alquimia se convirtió en auxiliar de la medicina.



Pese a que se les acusa de charlatanería, la aportación de los alquimistas al progreso de la Química fue enorme, ya que llevaron a cabo un sinnúmero de los más variados experimentos químicos y, aunque sus ideas motrices fueren erróneas, obtuvieron resultados considerables.

El célebre filósofo Leibniz escribió con gran acierto sobre los alquimistas: "...eran gentes habituales, de gran imaginación y práctica, pero su fantasía y su experiencia se hallaban en desacuerdo. Se alimentaban de puras ilusiones, lo que les conducía al fracaso o los dejaba en ridículo ante todos. Y frecuentemente, estos hombres sabían de la práctica y observación de la naturaleza más hechos y fenómenos que algunos sabios respetables".

Empieza la época del Renacimiento. Su advenimiento se señala por el paso a una nueva, más elevada etapa de cultura.

El primer impulso para el progreso de la Mineralogía fue el florecimiento de la industria minera en Hungría, Sajonia y Bohemia.

Los magníficos trabajos de Jorge Agrícola (1490-1555), médico y mineralogista del centro minero de Sajonia, crearon la base para una comprensión exacta y profunda del objeto de la Mineralogía y la Geoquímica. Su Verdadero nombre era Georg Bauer.

Dejó escritas numerosas obras que representan una recopilación de los conocimientos existentes en aquel tiempo sobre yacimientos minerales.

Sus libros más notables fueron *De natura fossilium* (1546) y *De re metallica* (1556?). Su clasificación de los minerales tiene ya un carácter científico. Por vez primera introduce en ella la noción de la complejidad de los compuestos, es decir, los principios químicos. Este sistema sirvió de fundamento para todos los trabajos mineralógicos posteriores, hasta el siglo XVIII inclusive.



El químico y mineralogista sueco Juan Jacobo Berzelius (1779- 1848) efectuó análisis químicos de minerales y fue el primero que les dio verdadera clasificación química y que empleó el término "silicatos".

Un gran papel en la historia de la Geología y la Mineralogía corresponde a las sociedades científicas y academias, sobre todo, la más antigua de ellas, la *Academia del Cimento* creada en 1657. En el año 1662 se organizó en Londres la *Sociedad Real*, que hasta el presente es la Academia de la Gran Bretaña.

Desde fines del siglo XVII y, principalmente, a principios del XVIII, las sociedades científicas y grandes museos de curiosidades alcanzan gran difusión. Un papel enorme en el progreso de las ciencias jugó la Academia de Ciencias sueca y después la rusa, fundada el año 1725 en Petersburgo.

Las ideas geoquímicas recibieron su primera expresión clara en Rusia en los trabajos de M. Lomonósov (1711-1765): *Sobre la constitución de las capas terrestres y Origen de los metales*. Lomonósov fue quien primero estableció las "peregrinaciones" que experimentan los metales y minerales. "Los metales se desplazan de un lugar a otro", fue su observación genial. Creó los fundamentos de una nueva concepción del mineral como producto resultante de la vida dala corteza terrestre, concepción que en el siglo XX sirvió de base a una nueva ciencia: la Geoquímica.

Sobre Lomonósov se han escrito decenas de libros, centenares de artículos. Los más destacados investigadores, sabios, escritores y poetas, dedicaron sus mejores páginas al análisis de este coloso de la mente rusa, sin que por ello se llegara a agotar el tema.

Lomonósov concebía la ciencia, no sólo como una simple descripción de fenómenos, sino también como el estudio y explicación de ellos. Consideraba que hay que estudiar no los cuerpos en si mismos, sino su estructura interna y las causas que la originan, así como las fuerzas que actúan en el interior de la materia. Entendía que la ciencia, en todos sus aspectos, depende de la resolución de una cuestión primordial: ¿Qué es la materia? ¿Cómo está construida y do qué se compone?

Y Lomonósov llega a la conclusión de que la materia se compone de partículas independientes que poseen atracción peculiar, inercia y movimiento. Unas de ellas, más pequeñas, son los átomos simples; otras, mayores, las moléculas. Todas ellas son imperceptibles para nuestro vista y se encuentran en un estado constante de rotación y movimiento. Esta hipótesis admirable, en esencia, concuerda son las actuales concepciones atomísticas.



*Figura 34.1 Exploración de yacimientos minerales. Dibujo de un libro de Agricola (1556)*

Lomonósov demostró, con cerca de medio siglo de anterioridad al gran químico francés Lavoisier, que en la naturaleza nada puede perderse, con lo que estableció en esencia la gran ley de la naturaleza, la ley de la conservación de la materia y la energía.

Ahondando paulatinamente en el estudio de la naturaleza de las partículas primordiales, Lomonósov pasa de la Física a la Química... La Química, que es la ciencia que estudia los cambios en la composición de los cuerpos, es, por tanto, una ciencia dependiente de fenómenos físicos y mecánicos.

En su brillante Discurso en favor de la Química, pronunciado en uno reunión general de la Academia de Ciencias en 1751, descubre las grandiosas perspectivas de la nueva Química.

Rechaza las viejas ideas de los alquimistas, surgidas de sus misteriosos laboratorios, y construye los cimientos del nuevo edificio de la Química, en el que dominan el número, el peso y las leyes matemáticas. Estas ideas las lleva también a la práctica.

En 1748, tras largos años de lucha, organiza al fin en Petersburgo, en la península Aptiéarski, el primer laboratorio científico de Química en Rusia, donde lleva a cabo el cálculo exacto de mediciones, peso y proporciones de la materia.

En los años 1752-1753, Lomonósov da un curso, el primero en el mundo de Química física. "La Química extiende ampliamente sus brazos en los asuntos humanos", dice, y trabaja tenazmente en la satisfacción práctica de las necesidades de su país. Obtiene una nueva composición de cristal óptico; después de tres mil experimentos, comienza la preparación de esmaltes de color para mosaicos y construye una fábrica especial de mosaicos: estudia la composición de los minerales de los Urales y se dedica a los problemas del salitre y el fósforo. Entre las primeras tareas del nuevo laboratorio experimental, Lomonósov plantea la preparación de sustancias puras. Esto le induce al estudio de los metales puros, sales y salitre, y las antiguas lecciones de Tecnología y Mineralogía renacen con forma nueva. Para él, el mineral es una mezcla de partículas primarias y sus cualidades dependen de la "unión mutua de las partículas".



Las piedras, como cualquier otra cosa, tienen su historia, su vida y su muerte, y Lomonósov invita al estudio de los minerales de la naturaleza aplicando métodos nuevos.

Relaciona las condiciones en que se verifica la formación de los minerales con los procesos geológicos, busca la clave de su explicación en las profundidades, en las hendiduras de los volcanes saturadas de vapores incandescentes de azufre. En la superficie considera las piedras como productos, procedentes de restos animales y vegetales. Así, en la mente de Lomonósov, en quien conviven el naturalista y el filósofo-químico, las piedras se animan a la luz de ideas nuevas. He aquí lo que escribe Lomonósov en su magnífico libro *Sobre las capas terrestres* el año 1763:

*"Ved cómo son las entrañas de la Tierra; he aquí las capas y las vetas de distintas materias originadas en las profundidades por la naturaleza. Que adviertan su variada disposición, color y peso y empleen en el razonamiento el consejo de las Matemáticas, de la Química y, en general, de la Física."*

Esto no es ya la vieja y monótona Mineralogía descriptiva, sino una ciencia nueva, la Geoquímica, la Química de la Tierra. Y, de manera similar a cómo por primera vez en la historia del pensamiento científico él construyó en el lindero de la Física y la Química el poderoso edificio de la Química física, así, en la frontera entre la Química y la Geología, crea una ciencia nueva, que en aquel tiempo no tenía aún nombre. Hubieron de transcurrir aún 70 años hasta que la palabra *Geoquímica* sonase por vez primera el año 1838 en labios del gran naturalista de principios del siglo XIX, el químico suizo Cristián Federico Schoenbein (1799-1868), que escribía 4 años más tarde:

*"Hace ya varios años que expresé públicamente mi convicción de que debemos poseer la Geoquímica antes de hablar de verdadera ciencia geológica, que debe dedicar su atención a la naturaleza química de las masas constituyentes de la esfera terrestre y a su procedencia, por lo menos, en cuanto respecta a la antigüedad relativa de estas formaciones y los restos de vegetales y animales antediluvianos en ellas sepultados. Puede afirmarse con toda seguridad que los geólogos no seguirán eternamente la*



*dirección de que ahora son partidarios. Para poder ampliar su ciencia, en cuanto los restos petrificados no les sirvan en grado suficiente, ellos habrán de buscar nuevos predios auxiliares e introducirán indudablemente en la Geología las investigaciones químico-mineralógicas. Creo que esto ocurrirá en un tiempo ya no lejano."*

La historia de la ciencia nos muestra que como resultado del anterior progreso del pensamiento se crean nuevas nociones y se alcanzan nuevos éxitos.

**1752-1753**

Para que las amplias leyes químicas pudieran generalizarse en las reglas geoquímicas, para que geniales conjeturas se convirtiesen en principios científicos firmemente establecidos y comprobados, fue necesario un minucioso y prolongado trabajo práctico.

En este sentido es inmenso el mérito del sabio ruso Dmitri Mendeléev (1834-1907), que con el descubrimiento de la ley de la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos, aportó una base real a la idea, infructuosa hasta entonces, sobre la unidad estructural de todo el universo.



*Figura 34.2 El sabio ruso Mijaíl Lomonósov (1711-1765). Primer investigador en el campo de la Geología que ligó los problemas sobre el estudio de minerales y rocas con las tareas de la Química y la Física. Fundador de las ideas geoquímicas y fisicoquímicas en Rusia*

Mendeléev comienza sus actividades como químico en la década del cincuenta del siglo XIX, cuando la industria rusa comenzó a desarrollarse enérgicamente. Mendeléev que amaba ardientemente a su patria, no se aparta de la labor práctica y se entrega a ella con toda la energía que siempre le caracterizó.

Escribe sobre el empleo del petróleo, de la hulla, sobre sus reservas y origen, halla la composición de la pólvora sin humo, estudia las posibilidades de desarrollar la industria del hierro.

Consideraba como objeto final del estudio científico "la previsión y el provecho".

La obra principal de Mendeléev es sus *Principios de Química*, publicada por vez primera en 1869, que ya durante su vida llegó a 8 ediciones, y numerosas veces reeditada después de su muerte.

Este libro fue la creación preferida de Mendeléev. "En él están mi imagen, mi experiencia de pedagogo y mis más íntimos pensamientos científicos.

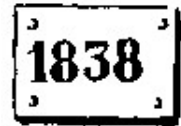
En los *Principios de Química* he colocado mis fuerzas espirituales y mi herencia para la juventud", escribía en 1905.

El descubrimiento del sistema periódico de los elementos químicos, indiscutiblemente abrió nuevos caminos al progreso de la Química y concedió a Mendeléev fama mundial. Una apreciación remarcable de esta ley fue dada por F. Engels <sup>1</sup>:

*"Mendeléev mostró que en las filas de elementos semejantes distribuidos por arder, de sus pesos atómicos, existen distintos lugares vacíos que nos dicen que aquí deben ser aún descubiertos nuevos elementos. Predijo las propiedades químicas generales de uno de estos elementos desconocidos... Varios años después Lecoq de Boisbaudran descubrió en efecto este elemento... Mendeléev, aplicando de un modo inconsciente la ley hegeliana del tránsito de la cantidad a la calidad, realizó una proeza científica..."*

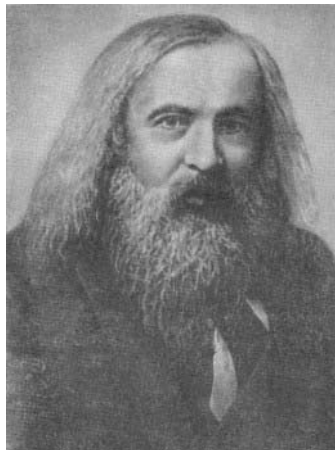
Mendeléev predijo nuevos elementos químicos, corrigió los pesos atómicos y dio fórmulas correctas a muchas combinaciones químicas.

Mendeléev fue quien primero comparó los átomos con los cuerpos celestes, estrellas, sol y planetas, planteando la hipótesis de que la estructura del átomo es análoga a la de los sistemas celestes, como el sistema solar o los sistemas de estrellas dobles.



Para la Geoquímica, la ley periódica fue la base que hizo posible el estudio sistemático de las leyes de la combinación de los elementos químicos en condiciones naturales.

La ley fue descubierta. Pero para aclararla, señalar su sentido y su significado para la concepción que poseemos del mundo fue necesario que pasaran aún 75 años que transcurriese todo un período de grandiosa labor investigadora, período de lucha entre distintas tendencias; fue necesario que se realizasen aún muchos experimentos nuevos.



*Figura 34.3 El químico ruso Dmitri Mendeléev (1836-1907), creador del sistema periódico de los elementos*

Estableciendo un profundo enlace entre los fenómenos físicos y químicos, Mendeléev verificó las célebres palabras de Lomonósov:

*"El químico sin conocimiento de la Física, es como un hombre que debe buscarlo todo a tientas. Y estas dos ciencias están tan unidas que la una sin la otra no puede ser perfecta".*

¿Por qué la ley periódica de los elementos químicos jugó, juega y ha de jugar un papel tan excepcional en la historia de la ciencia? Porque la Tabla de Mendeléev es muy simple y representa una sencilla alineación de hechos naturales, justamente correlacionados unos con otros, según determinados lazos espaciales, cronológicos, energéticos y genéticos. En ella no hay nada artificioso. Es la naturaleza misma. El mundo real que nos rodea, accesible a nuestra percepción, es en esencia una tabla grandiosa desarrollada en largos períodos, dividida en varias partes.

Es cierto que aparecerán y morirán nuevas teorías; reglas brillantes y nuevas ideas remplazarán las concepciones anticuadas y abrirán horizontes inverosímiles por su amplitud y novedad. Todo eso vendrá y se irá, pero la ley periódica de Mendeléev siempre vivirá, desarrollándose, concretándose y orientando las búsquedas científicas.

Mendeléev en sus obras llamaba a todos al desarrollo ulterior de su ley.

En una de las introducciones a los *Principios de Química* escribía:

*"Conociendo cuán libre y feliz se vive en los dominios de la ciencia, instintivamente surge el deseo de que acudan muchos a ella, y a este fin supedito mi exposición. Por ello muchos lugares de mi libro están llenos del deseo de que la mentalidad química que yo me esforcé en desarrollar en el lector, le incitase al estudio posterior de la ciencia. Y que este reclutamiento para el servicio de la ciencia entre la joven generación no asuste a aquéllos que comprenden la imperiosa necesidad que siente la patria de actividades prácticas en el terreno de la agricultura, en la industria y las fábricas. Sólo entonces, cuando se conocen las verdades mismas en sí, en su pureza absoluta, es cuando se pueden aplicar a la vida".*

Este llamamiento a la generación joven siempre suena en Mendeléev. A sus lecciones aflúan estudiantes de todas las facultades. Su palabra subyugaba a los oyentes y su auditorio siempre estaba repleto. Los estudiantes acudían no a escuchar preparados esquemas sino para escuchar cómo piensa, razona y crea su maestro.

En el siglo XIX, el estudio del proceso químico puso la Mineralogía en contacto con la Química física y dio un contenido nuevo, más exacto, a la interpretación de las reagrupaciones de átomos que se verifican en la corteza terrestre.

Esta tendencia, que se acentúa en los últimos años del siglo XIX, preparó el terreno a las ideas geoquímicas, planteando la necesidad de dedicar atención en el análisis del proceso de formación de los minerales a los elementos que los integran.

Y aún así, la geoquímica no podía nacer en tanto que se mantuviese confusa la propia noción del átomo, elemento o cristal.

Sólo la ley periódica de Mendeléev, los progresos de la Física y, sobre todo, de la Cristalografía hicieron real al átomo, la red cristalina un hecho, fenómeno de la naturaleza, y relacionaron los elementos químicos y sus propiedades con la estructura del átomo.

El terreno para la creación de la Geoquímica estaba preparado, pero aún fue necesaria una inmensa cantidad de hechos y observaciones, fue preciso poner en orden un enorme trabajo experimental en una serie de institutos en los que, ya no centenares, sino millares de determinaciones complejas y difíciles, indicaban el camino acertado para el trabajo.

Sólo estas nuevas conquistas de la práctica unidas a los progresos teóricos de los físicos y cristalógrafos, abrieron camino ante la Geoquímica actual.

Y entonces, con los trabajos de investigadores rusos principalmente y también noruegos y norteamericanos, se creó esta rama científica independiente que tiene por objeto el estudio del átomo y su destino en la situación real de la naturaleza que nos circunda. La Geoquímica, en contraposición a otras ramas de la Geología, no estudia el destino y propiedades de las moléculas, combinaciones químicas, minerales, rocas y sus complejos geológicos; ella estudia el destino del átomo mismo ante todo en las condiciones de la corteza terrestre, accesibles a experimentos exactos, estudia su comportamiento, procesos de desplazamiento, migración, conjunción, dispersión y concentración.



*Figura 34.4 Los académicos Vladimir Vernadski (1863-1945) y Alexandr Fersman (1883-1945), fundadores de la escuela rusa de geoquímicos.*

La Geoquímica debe, no sólo dibujar y revelar toda la larga y compleja historia de cada elemento del sistema periódico de Mendeléev, sino que también debe relacionarla con las propiedades de sus átomos de las cuales depende el destino vital del elemento.

La Geoquímica recibió su determinación exacta y desarrollo en nuestro país y los sabios rusos jugaron aquí un papel exclusivo. Se lograron tales éxitos, que en la ciencia geoquímica mundial, la Geoquímica soviética ocupa decididamente el primer puesto de honor.

La escuela geoquímica rusa fue iniciada en la Universidad de Moscú por los académicos V. Vernadski y, el autor de este libro, A. Fersman.

Entre los químicos y geólogos de EE.UU. Alemania y Noruega también se formaron escuelas, pero su trabajo tuvo un carácter más estrecho.

Hay que señalar especialmente al geólogo de Washington Frank Clarke (1847-1931), que en 1908 publicó su obra *Datos sobre Geoquímica (Data of geochemistry)*. Clarke se ocupó 36 años en reunir análisis químicos de rocas y minerales y en su libro, revisando un considerable material práctico, hizo conclusiones generales sobre la composición química media de distintas formaciones rocosas y de la corteza terrestre en su totalidad.

Pero Clarke no consideraba sus datos como base para el estudio de los procesos terrestres.

Una gran influencia en el desarrollo de la Geoquímica tuvieron los sabios noruegos Iogan Fogt (1858-1932) y Víctor Mauricio Goldschmidt (1888-1947).

I. Fogt estableció el fundamento de la Petrografía fisicoquímica que constituye la base de los procesos magmáticos y da amplias posibilidades para el cálculo de la composición química de la corteza terrestre. Enlazando estrechamente la Cristalografía con la Física de los cuerpos sólidos,

Goldschmidt creó las bases de la actual Química cristalográfica e hizo mucho en el terreno del estudio geoquímico de las capas profundas de la corteza terrestre. Es muy conocida su serie de trabajos *Leyes de la distribución de los elementos químicos en la corteza terrestre*.



A diferencia de Clarke y Goldschmidt, la escuela geoquímica rusa utiliza ampliamente las ideas geoquímicas para resolver cuestiones prácticas. Nuestros geoquímicos procuran cumplir en todo el legado de Lomonósov, llevar al análisis de la naturaleza circundante "el consejo de las

Matemáticas, la Física y la Química", realizando también un profundo análisis geoquímico del sistema periódico de Mendeléev.

Investigador notable de la naturaleza viva y muerta, iniciador de nuevas corrientes científicas, creador de la Mineralogía rusa y la Geoquímica mundial, es el académico Vladimir Vernadski. Estudió en la Facultad Fisicomatemática de la Universidad de San Petersburgo y la terminó el año 1885.

Un papel destacado en la vida de la Universidad jugaba en aquel tiempo Mendeléev. Estos fueron los años de apogeo de su talento.

Las conferencias de Química de Mendeléev eran escuchadas apasionadamente por el joven Vernadski, embargado por los pensamientos nuevos de su maestro. El ya apreciaba entonces la importancia de los experimentos para las ciencias exactas.

En estos años magníficos de lucha por la ciencia, la segunda persona que ejerció enorme influencia sobre Vernadski fue V. Dokucháev, persona de iniciativa y actividad inusitadas. De sus conferencias aprendió Vernadski a comprender el valor de los conocimientos exactos y de los métodos precisos de investigación.



Figura 34.5 El académico V. Vernadski, entre sus jóvenes discípulos en la Universidad de Moscú. En el centro, sentado, V. Vernadski; a la derecha de pie, A. Fersman

El trabajo clásico de Dokucháev, *Tierras negras rusas*, sugirió a Vladimir Vernadski la idea profunda del suelo como cuerpo histórico y natural, y muchas de sus concepciones biogeoquímicas nacieron bajo la influencia de los pensamientos científicos de Dokucháev.

Toda la larga vida de Vernadski (1863-1945), fue un camino de labor tenaz y luminosos pensamientos creadores, camino que descubrió nuevos terrenos en la Ciencia y jalonó direcciones nuevas a las Ciencias naturales en nuestro país.

Vernadski jugó también un papel enorme como historiador de la ciencia, poniendo siempre el principio y método histórico como la base de las Ciencias naturales.

Siempre exigía de sus alumnos un profundo conocimiento de la historia de la cuestión tratarla. Decía:

*"Nosotros los naturalistas, debemos aprender de los historiadores los profundos métodos históricos de comprensión de los destinos pasados de la humanidad. Sólo empleando estos métodos podremos hacernos historiadores de la naturaleza".*

Desde el año 1890 hasta 1911, es decir, casi 20 años de su vida, V. Vernadski estuvo ligado a la Universidad de Moscú, donde trabajó como catedrático de Mineralogía y Cristalografía.



Figura 34.6 La Geoquímica entre las ciencias próximas

Hay que decir que la enseñanza de Mineralogía en la Universidad de Moscú, antes de Vernadski, se limitaba a descripciones áridas de los minerales. Las colecciones se hallaban en desorden y no sólo las puso en orden, sino que las enriqueció con ejemplares propios, seleccionados durante sus numerosos viajes y excursiones. Viajaba con mucha frecuencia por Rusia y el extranjero en unión de sus discípulos, concediendo una gran importancia a estas excursiones para la tarea de preparación de los futuros hombres de ciencia. Vernadski transformó de manera radical la enseñanza de la Mineralogía; en lugar de una árida disciplina descriptiva, creó la Mineralogía química sobre una base histórica con un curso aparte de Cristalografía. Fundó el primer círculo científico mineralógico, que abarcó a todos los mineralogistas Moscú. Al mismo tiempo introduce en la práctica de sus colaboradores y discípulos la ejecución obligatoria de trabajos experimentales de descripción fisicoquímica de combinaciones químicas y minerales, práctica que jugó un papel tan grande en la creación de la escuela de mineralogistas-naturalistas.

Así surgieron las fuentes de la Mineralogía química rusa y, después, de la Geoquímica y se formó la escuela de discípulos de Vernadski, mineralogistas geoquímicos, en la Universidad de Moscú.

Como resultado de investigaciones sistemáticas y profundamente meditadas y del reconocimiento de numerosos yacimientos minerales, aparece en 1906 el primer libro de su publicación de muchos tomos *Ensayo de Mineralogía descriptiva* (concluida en 1918), obra fundamental y clásica de Mineralogía.

El año 1909 Vernadski fue elegido miembro de número de la Academia de Ciencias. En 1911 se trasladó a San Petersburgo.

Comienza una nueva etapa de su vida. Si los primeros 20 años fueron años de creación de una nueva escuela científica, los siguientes, el período de San Petersburgo, fueron años de gran trabajo de organización científica.

Este cambio no fue nada fácil. Vernadski echaba de menos Moscú. Se retiró de las actividades pedagógicas y se entregó de lleno a la labor de investigación científica, concentrándola entre los muros de la Academia de Ciencias. Ingresó en la Academia cuando a la cabeza de la Geología se hallaba A. Karpinski, sabio ruso, iniciador del estudio geológico de la estructura de las llanuras rusas.

Vernadski llevó a cabo en gran escala investigaciones espectroscópicas de la difusión de elementos químicos raros y dispersos en las rocas y minerales de Rusia y planteó por primera vez la cuestión de la necesidad de un amplio y metódico estudio de los fenómenos de radiactividad en el territorio de Rusia.

En 1922, junto con el académico V. Jlopin creó el Instituto del Radio, donde se elaboró el método exacto para calcular la edad de las rocas por el plomo y el helio en ellas contenidos.

Parecen sonar hoy las palabras pronunciadas por Vernadski:

*"Nos acercamos a un gran cambio en la vida de la humanidad, incomparable con todo lo vivido hasta el presente. No está lejos el día en que el hombre tome en sus manos la energía atómica, manantial de fuerza que le permitirá construir su vida con arreglo a sus deseos. Esta puede ocurrir en los años próximos, puede ocurrir dentro de un siglo. Pero es evidente que esto se realizará ¿Será capaz el hombre de aprovechar esta fuerza, de dirigirla hacia fines buenos y no de autodestrucción? ¿Ha progresado lo suficiente para saber emplear esta fuerza que inevitablemente le donará la ciencia? Los hombres de ciencia no deben cerrar los ojos ante las posibles consecuencias de su labor científica, del progreso de la ciencia. Ellos deben sentirse responsables de las consecuencias de sus descubrimientos. Ellos deben subordinar su trabajo al objeto de conseguir una organización mejor de la humanidad entera" (Ensayos y discursos. 1922).*

Como resultado, él crea en la ciencia una nueva corriente radiogeológica y los trabajos sobre el radio adquieren una gran amplitud científica. Algo más tarde comienza la impresión de su obra de numerosos volúmenes *Historia de los minerales de la corteza terrestre* (1923-1936) que tiene un interés científico exclusivo. Por desgracia este trabajo quedó sin concluir. Al mismo tiempo recopila sus excelentes ideas geoquímicas y publica un libro bajo la denominación *Ensayos de Geoquímica* (1927-1934).

En su trabajo, Vernadski mostró en una serie de elementos aislados, cuán importante es abandonar el antiguo punto de vista del estudio de los minerales como moléculas complejas y pasar al estudio del átomo y sus vías de migración en la Tierra y en el Cosmos.

En 1928 creó en la Academia de Ciencias el Instituto Biogeoquímico y se convierte en fundador de una nueva rama de la Geoquímica: la Bioquímica. Esta ciencia se ocupa del estudio de la composición química de los organismos vivos y participación de la sustancia viva y sus

productos de descomposición en los procesos de migración, distribución, dispersión y concentración de los elementos químicos en la corteza terrestre

En el año 1935 la Academia de Ciencias fue trasladada a Moscú. En el segundo período moscovita de su actividad, Vernadski dedica la mayor atención al trabajo del laboratorio biogeoquímico. El mismo realiza investigaciones sobre el papel biogeoquímico del carbono, aluminio y titanio, y plantea la cuestión sobre la necesidad de crear un mapa geoquímico de la biosfera.

Más de cien años atrás fue pronunciada la palabra "geoquímica", pero la verdadera ciencia geoquímica nació sólo en los últimos 30 años, años de tempestuosas búsquedas; y en este camino jugó y juega ahora un importante papel la ciencia soviética, que valientemente marcha hacia adelante, desarrollando nuevos sectores del saber y que en sus éxitos y afanes combina la teoría con la práctica.



---

<sup>1</sup> F. Engels, *Dialéctica de la Naturaleza*.



**Capítulo XXXII****LOS ATOMOS EN LA CELULA VIVA**

A simple vista puede verse que los carbones se componen de restos vegetales. Los restos fósiles de conchas de moluscos marítimos crean con frecuencia capas calizas.

Pero si observamos al microscopio las calizas, la creta, la diatomita y muchas otras rocas de las llamadas sedimentarias, veremos que con frecuencia están constituidas en su totalidad por restos de esqueletos de organismos de dimensiones microscópicas.



En una palabra, en la Geología hace mucho que se reconoce el inmenso papel de los organismos que pueblan la esfera terrestre en todos los procesos que se verifican en la superficie de la Tierra.

La sustancia viva toma más o menos parte en los procesos geoquímicos tales como formación de rocas, concentración o dispersión de distintos elementos químicos, precipitación de sustancias del agua, formación de calizas a base de los esqueletos calcáreos de los organismos.

Pero no todos los organismos marinos tienen el esqueleto de cal. En algunos, por ejemplo, en las esponjas, el esqueleto es de sílice.

Pero lo más esencial es que en el proceso vital todos los organismos de la Tierra, vegetales y animales, extraen, absorben o se alimentan y de nuevo desprenden una cantidad enorme de diversas sustancias.

La velocidad de este proceso es especialmente grande en los organismos más diminutos: bacterias, algas simples y otros organismos inferiores. Esto está en relación con la gran velocidad de su multiplicación. Se subdividen cada cinco o diez minutos.

Pero su vida es de corta duración.

El cálculo muestra que en este proceso de multiplicación de células interviene una cantidad de sustancias mayor en muchos miles de veces que la cantidad contenida en cada momento dado en todos los organismos de la Tierra, plantas y animales, o, como se dice, en toda la sustancia viva del planeta.

Recordemos que las plantas verdes expuestas a la luz desprenden oxígeno de sus hojas y absorben anhídrido carbónico. El oxígeno del aire, creado de tal modo, oxida los restos vegetales y a ciertos minerales y es absorbido por los animales a través de la respiración.



*Figura 32.1 Aspecto general de un mineral oolítico de manganeso*

En las plantas, el anhídrido carbónico se transforma en hidratos de carbono, proteínas y otros compuestos. Figurémonos por un momento que desapareciesen los organismos de la superficie terrestre, de sus mares y océanos, en los valles y las montañas. ¿Qué ocurriría?

El oxígeno se ligaría a los restos de sustancia orgánica y desaparecería de la atmósfera. La composición de ésta sería diferente.

No existirían los organismos marinos microscópicos con sus esqueletos calcáreos, dejarían de formarse, por consiguiente, los estratos de calizas y creta, cesarían de elevarse las montañas de creta. La faz de la Tierra cambiaría por completo y sería diferente.

La actividad geoquímica de los organismos es extraordinariamente variada.

Organismos diversos pueden participar en los procesos más diferentes.

Para poner en claro el papel geoquímico que desempeñan los organismos hay que conocer antes que nada su composición química. Los organismos construyen su cuerpo a base de las sustancias extraídas de una a otra forma, del medio que les circunda, del agua, del suelo y del aire.

Desde hace mucho quedó establecido que el componente principal de los organismos es el agua,  $H_2O$ , en término medio el 80%, algo más en las plantas y un poco menos en los animales.

Por eso el elemento oxígeno ocupa el primer lugar (en masa) en los organismos.

Un papel exclusivo juega el carbono en la construcción del cuerpo de los organismos.

El carbono origina muchos miles de compuestos diversos con el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo, de los cuales se componen a su vez las proteínas, grasas, hidratos de carbono y el cuerpo de los organismos.

En la sustancia viva, la fuente principal para la formación de estas combinaciones carbonadas es el anhídrido carbónico. Además, los organismos contienen una cantidad considerable de nitrógeno, fósforo y azufre en forma de complejas combinaciones orgánicas.

Finalmente, en los organismos siempre hay calcio, sobre todo en los esqueletos, potasio, hierro y otros elementos.

Al principio se suponía que para todos los organismos tienen una importancia exclusiva los diez o doce elementos que se encuentran en ellos en mayor proporción.

Pero más tarde resultó que existen organismos que, aparte de estos diez o doce elementos químicos más frecuentes, acumulan hierro, manganeso, bario, estroncio, vanadio o muchos otros elementos químicos raros.

Así, por ejemplo, se descubrió que el silicio desempeña un papel importante en la vida de las esponjas silíceas, de los microscópicos radiolarios y algas diatomeas, cuyos esqueletos se forman de óxidos de silicio,

Las bacterias de hierro concentran este elemento en sus cuerpos. Se han descubierto bacterias que acumulan de manera análoga el manganeso y el azufre.

En los esqueletos de ciertos organismos marinos se ha hallado, en vez de calcio, bario y estroncio.

Algunos organismos, por ejemplo, los capsulógenos marinos invertebrados, seleccionan y concentran átomos de vanadio del agua marina y del limo marino, en los que existen sólo indicios insignificantes de este elemento.

Al morir estos organismos, el vanadio, en forma concentrada, se acumula en los sedimentos marinos.

Otros, como por ejemplo, las algas, extraen del agua del mar el yodo, existentes aquí en millonésimas por ciento. Después el yodo, junto con los residuos de las algas marinas, pasa al fondo del mar. En las rocas que más tarde se forman a base de este fondo, se originan aguas

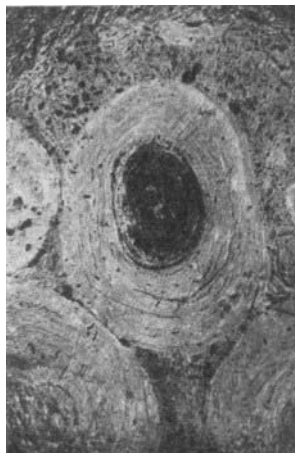


mineralizadas yodadas. Y nosotros obtenemos el yodo de las capas acuosas subterráneas, taladrando profundamente las rocas allí donde en sus tiempos hubo un mar.

La importancia geoquímica de tales *organismos concentradores* es enorme.

Cuanto más se perfecciona la técnica de investigación de la composición de los organismos, tanto mayor es el número de elementos químicos que encontramos en ellos, cierto es que en cantidades muy pequeñas.

Hubo un tiempo en que se consideraba que la plata, rubidio, cadmio y otros elementos químicos hallados en los organismos, eran simplemente impurezas casuales, pero hoy se ha establecido con toda firmeza que en la composición de los organismos prácticamente intervienen todos los elementos químicos. La cuestión consiste en determinar qué cantidad de cada uno de ellos contienen los distintos organismos. En la actualidad es precisamente este problema el que ocupa a los científicos.



*Figura 32.2 Cuadro microscópico de la estructura de oolitos en los minerales mangánicos, fotografiado con luz reflejada*

Podemos decir de antemano que la composición de los organismos no coincide con la del medio circundante: rocas, agua y gases tomados en conjunto.

Por ejemplo, los terrenos y rocas contienen en proporción considerable titanio, torio, bario y otros elementos químicos, en tanto que la cantidad de titanio existente en los organismos es decenas de miles de veces menor que en el suelo.



*Figura 32.3 Concha de amonita, convertida en el mineral marcasita (FeS<sub>2</sub>). Alrededores de la ciudad Ulianovsk en el Volga*

Por el contrario, en los terrenos y aguas hay poco carbono, fósforo, potasio y otros elementos químicos que se concentran en los organismos en cantidades considerablemente mayores. Desde el punto de vista geoquímico, en la actualidad queda claro que la masa fundamental del cuerpo de los organismos se compone de aquellos elementos químicos que en las condiciones de la superficie de la Tierra, o biosfera (región en que habitan los organismos de nuestro planeta), crean combinaciones móviles o gases. En efecto, el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , son gases o líquidos dotados de gran movilidad, asequibles para los organismos en el proceso de su vida. El yodo, potasio, calcio, fósforo, azufre, silicio y muchos otros forman con facilidad combinaciones solubles en el agua.



En cambio, el titanio, bario, circonio y torio, a pesar de encontrarse en cantidad suficiente en los suelos y rocas, no forman en la biosfera compuestos fácilmente solubles en el agua y, por tanto, privados de movilidad. Son menos accesibles o totalmente inaccesibles para los organismos que no los concentran. Se hallan en ellos en cantidades desproporcionadamente pequeñas.

En los organismos también hay poca cantidad de aquellos elementos insuficientes en la biosfera como, por ejemplo, radio y litio.

Los elementos químicos que se encuentran en los organismos en cantidades muy pequeñas (del orden de centésimas por ciento o menos) suelen denominarse microelementos.

En la actualidad se reconoce que el papel fisiológico de los microelementos es muy importante.



Figura 32.4 El hombre se compone de los mismos elementos químicos que constituyen la naturaleza muerta

Muchos microelementos entran en la composición de sustancias fisiológicamente importantes de los organismos, de modo análogo a cómo el hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre, el

yodo entra en la composición de la hormona de la glándula tiroides de los animales, y el cobre y el zinc en la de los fermentos de los animales y plantas.

Podría componerse el mapa de la construcción anatómica de los organismos con indicación de dónde, en qué órganos y tejidos se concentran los elementos químicos. Pero a nosotros ahora nos interesa sólo el papel geoquímico de los organismos.

Debemos reconocer que los distintos organismos cumplen diversas funciones geoquímicas en dependencia de su capacidad de concentrar uno a otro elemento químico, o sea, dicho de otro modo, según sea su composición elemental química.

Los organismos "cálcicos", de cuyos esqueletos se originan las calizas, participan en la historia geoquímica del calcio y en la biosfera; los organismos que concentran silicio, vanadio y yodo juegan un papel importante en la historia de estos átomos.

Ante nosotros se plantea la tarea de estudiar la influencia de los organismos en la historia geoquímica de los distintos átomos en la biosfera, apreciar esta influencia y utilizarla.

Actualmente es ya posible hallar yacimientos de metales, observando el carácter de la vegetación del lugar dado y encontrando plantas conocidas concentradoras de estos metales. El mineral existente bajo el suelo contagia todo el terreno. En tales terrenos aumenta el contenido de níquel, cobalto, cobre y zinc y, en consecuencia, se eleva su contenido en las plantas.

Por esto ahora se analiza el contenido de estos elementos en las plantas. Si es elevado, se cavan zanjas y se perforan los pozos de sondeo. Así fueron descubiertos algunos yacimientos de cinc, níquel, molibdeno y otros.

Los organismos, vegetales y animales, están "habitados" a una determinada concentración de unos a otros elementos químicos en su medio (agua, suelo, rocas). Allí donde se hallan en cantidad mayor o, al contrario, menor, los organismos responden con cambios en su forma o tamaño. La escasez de yodo en las aguas, terrenos y productos alimenticios en ciertas regiones montañosas provoca en los hombres y animales el bocio endémico y la insuficiencia de calcio es causa de la fragilidad de los huesos, etc.

Todo esto muestra la estrecha relación de dependencia existente entre la naturaleza llamada muerta y la sustancia viva.

Las liga entre sí, la historia común de los átomos de los elementos químicos.

Y cuanto mejor y más detalladamente conozcamos la historia de las mutaciones y desplazamientos que experimentan los elementos químicos, los átomos, en la Tierra, con tanta mayor claridad y precisión podremos representar la actividad geoquímica de los organismos vivos, para lo cual antes que nada es necesario conocer su composición química elemental cuantitativa.



**Capítulo XXXIII****LOS ATOMOS EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD**

Siguiendo el curso de la historia de los descubrimientos de los elementos químicos nos encontramos con cosas extrañas y sorprendentes.

Los primeros elementos los conoció el hombre de paso, sin pensar en ellos, sin sospechar siquiera que poseía la clave con que una inteligencia aguda podía descubrir secretos importantísimos de la naturaleza. Con dificultad, con esfuerzos colosales fue penetrando en la conciencia, la idea deducida de la práctica sobre las sustancias simples que constituyen la base de la estructura de toda materia.

Los alquimistas no conocían la forma de diferenciar los cuerpos simples de los compuestos, sin embargo, conocían los metales y algunas otras sustancias, por ejemplo, el arsénico y el antimonio.

Los alquimistas y, algún tiempo después, los químicos denominaron a los metales con nombres de planetas. Al oro le llamaron Sol; a la plata, Luna; al mercurio, Mercurio; al cobre, Venus; al hierro, Marte; al estaño, Júpiter; al plomo, Saturno. Al arsénico y antimonio no se les consideraba como metales, a pesar de que se conocían muy bien sus propiedades de oxidarse y sublimarse al ser calentados.



Por desgracia, los alquimistas enmascaraban frecuentemente sus recetas con alegorías absurdas, y a veces indescifrables.

Tomemos, por ejemplo, la "mano filosófica de los alquimistas". En la palma se ve un pez, símbolo del mercurio, y fuego, símbolo del azufre. El pez en el fuego, es decir, el mercurio en el azufre, era, según la opinión de los alquimistas, la fuente originaria de todas las formas de sustancias.

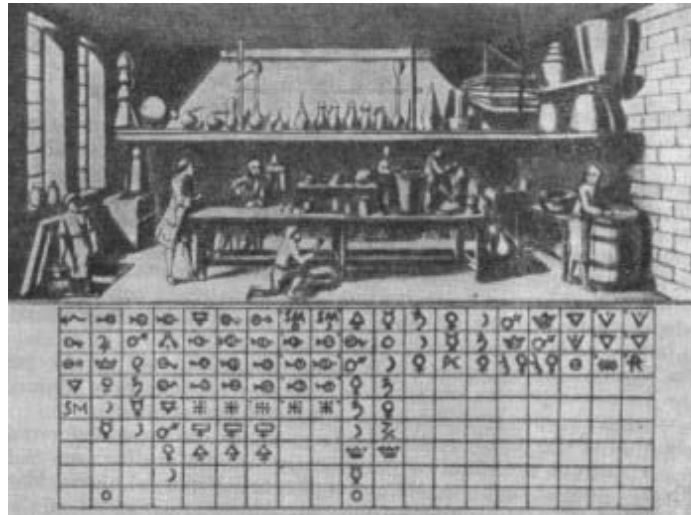
De las combinaciones de estos elementos, como los dedos de la mano, surgen cinco sales fundamentales, cuyos signos representativos están en las puntas de los dedos: una corona y la Luna, símbolo del salitre; una estrella de seis puntas, el sulfato ferroso; un Sol, el amoníaco; un farol, símbolo del alumbre; una llave, la sal común o de cocina.

Ahora se comprende que cuando un alquimista escribía: "al tomar el rey hay que hervirlo", tenía en cuenta el salitre, y al colocar en la retorta "una libra del dedo largo", pensaba en el amoníaco... Los alquimistas conocían también que a cada metal le corresponde su "tierra" o su "cal" y sabían obtener, empleando los ácidos, de todos los metales estas "cales" (o como ahora decimos, "óxidos"). Sin embargo, ellos creían que las "cales" eran cuerpos simples, mientras que los metales eran compuestos de "cales" con flogisto, principio especial volátil del fuego.

Fueron necesarios el genio e inmenso amor al trabajo que caracterizaban a Lomonósov y Lavoisier para demostrar que, por el contrario, la "cal de mercurio" era un cuerpo compuesto, formado por el mercurio y el gas oxígeno, recién descubierto por Priestley, y que el peso de este gas era exactamente igual al aumento en peso de la "tierra mercurial". Por ello, con razón se consideran los años de este descubrimiento (1763-1775) como los años del comienzo de la Química moderna y derrumbamiento de las fantasías alquimistas, que hacía ya tiempo obstaculizaban el estudio científico de la naturaleza.

En aquel entonces conocíanse varias decenas de elementos químicos; ya en 1669 Brandt descubrió el fósforo, a mediados del siglo XVIII fueron descubiertos el níquel y el cobalto, y se aprendió a obtener el metal zinc de la "tierra cínica". Finalmente, en América, el año 1748 Antonio de Ulloa describió un nuevo metal parecido a la plata, el platino.

Pero una verdadera revisión de todos los cuerpos "simples" comenzó solamente en el último cuarto del siglo XVIII y principios del XIX. En 1774 fueron descubiertos el oxígeno y el cloro. Diez años después, el sabio inglés Cavendish, al descomponer el agua por la corriente de baterías galvánicas, descubrió el hidrógeno y puso en claro la composición del agua. Los descubrimientos ulteriores de nuevos elementos prosiguieron regularmente: se tomaba un nuevo cuerpo natural y se descomponía en sus componentes. En varios casos se tropezó con elementos nuevos.



*Figura 33.1 Laboratorio químico del siglo XVIII. En la tabla inferior están representados los signos convencionales con que los científicos de aquel tiempo designaban diversas sustancias químicas. El primer signo de la primera columna de la izquierda representa el ácido; el más inferior de la columna segunda, el oro, etc.*

De esta forma fueron descubiertos el manganeso, molibdeno, wolframio, uranio y circonio, así como otros elementos.

En 1808, el sabio inglés Davy perfeccionó el método electrolítico, que mostró su fuerza y posibilidades en manos del sabio ruso Yakobi. Davy intensificó la potencia de la corriente y halló la forma de proteger contra la oxidación los productos resultantes de la electrólisis, utilizando petróleo y aceites minerales. De esta forma se obtuvieron los metales alcalinos en estado puro, descubriéndose el sodio, potasio, calcio, magnesio, bario y estroncio.



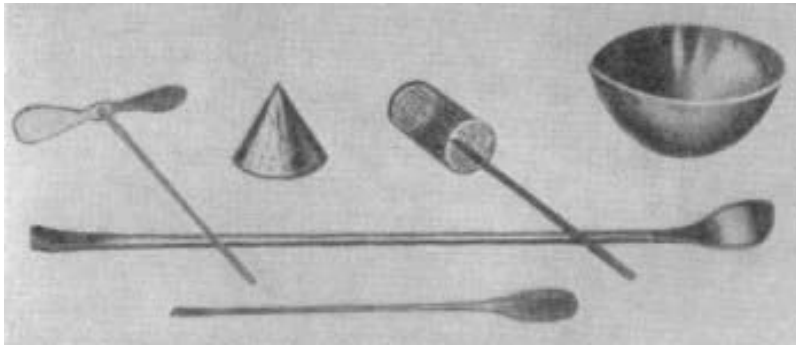
En el transcurso de 14 años, desde 1804 a 1818, se descubrieron 14 elementos (aparte de los ya mencionados, fueron descubiertos el yodo, cadmio, selenio y litio). A estos siguieron el bromo, aluminio, torio, vanadio y rutenio. Después viene una pausa; se requerían nuevos métodos de investigación, los antiguos habían ya agotado todas sus posibilidades.

Sólo en 1859, al descubrirse el análisis espectral, se reanudaron los descubrimientos, pero ahora los de elementos semejantes por sus propiedades a los ya conocidos y estudiados, pues su diferenciación no era posible utilizando los antiguos métodos científicos de investigación. Fueron descubiertos el rubidio, cesio, talio, indio, erbio, terbio y algunos otros. Cuando Mendeléev descubrió en 1868 su famosa ley eran ya conocidos 60 elementos.

A partir de este momento, la ciencia adquirió la firme convicción de la existencia de unos a otros elementos.

Resultó que a cada elemento le corresponde un lugar determinado en la Tabla periódica, que el número total de elementos existentes es limitado y que las casillas vacías pertenecen a elementos todavía no descubiertos.

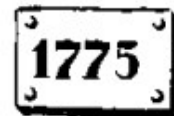
Mendeléev predijo las principales propiedades físicas y químicas de tres de ellos: el eka-aluminio (casilla N°31), el eka-silicio (N°32) y el eka-boro (N°21). Sus predicciones fueron plena y brillantemente confirmadas al ser descubiertos estos elementos. El eka-boro fue denominado escandio; el eka-aluminio, galio; y el eka-silicio, germanio.



*Figura 33.2 Recipientes químicos de tantalio. Son tan resistentes como los de platino, pero más baratos*

Sin embargo, no debe pensarse que el hombre conoció primero aquellos elementos que se encuentran con más frecuencia en la corteza terrestre, y después los más escasos o raros. Nada de eso. Por ejemplo, el oro, cobre y estaño existen en cantidades muy pequeñas en la corteza terrestre y, no obstante, fueron los primeros metales que conoció el hombre y que se emplearon en el progreso técnico. Mientras tanto, la proporción media de estaño en la superficie terrestre es de varias millonésimas partes, de cobre varias diezmilésimas, y de oro, tan sólo una o dos milmillonésimas.

Por el contrario, los elementos más difundidos en la corteza terrestre, como, por ejemplo, el aluminio que constituye el 7,5% de la corteza, fueron descubiertos mucho más tarde. Hasta principios del siglo XX, el aluminio se consideraba como un metal raro.



La causa es otra y reside precisamente en la facilidad que posee el metal para presentarse en estado nativo y en la frecuencia con que se encuentran acumulaciones naturales con predominio de este metal, lo que llamamos "yacimientos".

La capacidad de reunirse, concentrarse en un lugar dado es lo que facilitó el descubrimiento y utilización de los metales en la técnica para las necesidades de la humanidad.

El descubrimiento de cada elemento nuevo significa el comienzo del estudio de sus propiedades, en primer lugar, por parte de los químicos en sus laboratorios. Esto constituye, por decirlo así, los primeros conocimientos. Los químicos buscan lo específico del elemento, sus rasgos distintivos y originales.

Por ejemplo, ¿acaso no es curioso que el peso específico del litio sea 0,53, debido a lo cual este metal flota incluso en la bencina? El del osmio, por el contrario, es 22,5, o sea, es cuarenta veces más pesado que el litio. ¿No es interesante que el galio se funde sólo a 30°C, sin embargo, es casi imposible conseguir su ebullición, pues la temperatura que se requiere (2.300°) está más allá de los límites de temperaturas elevadas que suelen emplearse en la técnica? "¿Qué tiene esto de curioso?" preguntarán ustedes. Tratemos de describirlo.



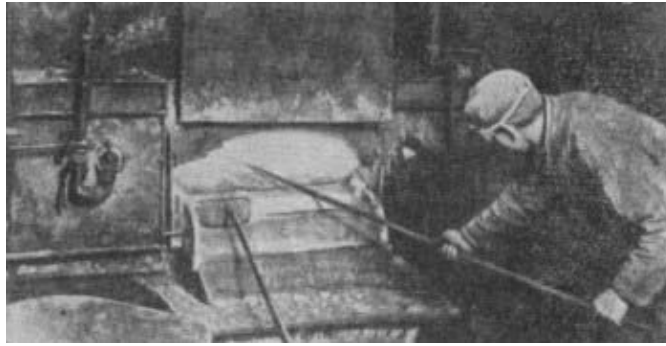


Figura 33.3 Horno para fundir mineral de wolframio

Ocupémonos primero del galio. Los ingenieros y químicos utilizan en las fábricas y laboratorios intensos calentamientos y siempre desean saber hasta qué temperatura se calienta la prueba o pieza sometida a ensayo. Naturalmente, antes de nada es necesario medir la temperatura. Y qué desgracia: hasta  $360^{\circ}$  la medición se efectúa con facilidad, pero en el caso de temperaturas más elevadas la cuestión se complica. El mercurio hierve a  $360^{\circ}$ , por lo cual los termómetros de mercurio no pueden utilizarse. Y he aquí que el galio nos sirve. Si

tomamos vidrio refractario de cuarzo y llenamos con galio fundido un tubo graduado de este mineral, con semejante termómetro podremos medir tranquilamente temperaturas hasta casi de  $1.700^{\circ}$  y el galio no piensa aún en hervir. Si se emplea un vidrio todavía más refractario, podemos medir temperaturas hasta de  $2.000^{\circ}$ .

Hablemos ahora del peso. El peso, la gravedad, es algo oprimente que atrae hacia la Tierra. El peso se opone al movimiento, a la velocidad, a la ascensión a alturas desconocidas. Pero el hombre desea moverse de prisa por el suelo, anhela volar por el aire como los pájaros. Para esto hay que vencer a la gravedad y el hombre busca estructuras consistentes y ligeras construidas de material liviano y firme. Dos

metales resultaron especialmente adecuados para este fin: el aluminio, con peso específico 2,7, y el magnesio, cuyo peso específico es 1,74.

En los aviones modernos, la mayor parte de las piezas son de aluminio, mejor dicho, de sus aleaciones con cobre, zinc, magnesio y otros metales. Pero el aluminio adquirió su posición dominante no de repente, sino a base de una lucha tenaz por el mejoramiento de sus cualidades: solidez, dureza, elasticidad y resistencia ante el fuego y la corrosión. Cuando fueron superadas las dificultades para la obtención del aluminio metálico, este conquistó en primer lugar las cocinas.

En la fabricación de cacerolas, cucharas y jarros ligeros, limpios e inoxidables, fue en lo que se gastaron sus primeras reservas. Al principio no se le aplicaba en la técnica. ¿Para qué podía servir, dónde podría emplearse este metal blanco, no muy consistente, insoldable y muy fusible? El aluminio conquistó el mundo sólo después de descubrirse el duraluminio, dura aleación que se obtuvo por el "procedimiento de cocina", o sea, en un crisol con aluminio fueron adicionados alternativamente diferentes metales en distintas proporciones y cada nueva muestra de aleación se experimentaba, comprobando su tenacidad y otras propiedades.

En aquel tiempo nadie podía explicarse por qué el 4% de cobre, 0,5% de magnesio, mezclados con ínfimas cantidades de otros metales transforman el metal aluminio, blando y maleable, en dural, dotado de gran rigidez y capaz de templarse lo mismo que el acero. Las notables



propiedades del duraluminio no aparecen en el acto, lo que facilita y simplifica considerablemente su tratamiento ulterior. Una vez templado, el dural se mantiene blando todavía algunos días. Durante este tiempo "acumula fuerza", hasta que en el interior de la aleación se verifica la transposición de las partículas de cobre, que son las que constituyen el esqueleto del duraluminio.



*Figura 33.4 Moscú. Puente de Crimea, construido de duraluminio*

Pero existen otras aleaciones mejores incluso que el dural, por ejemplo, el "kolchugaluminio" ruso, que supera en rigidez al dural.

La aplicación industrial del dural y otras aleaciones ligeras tiene una importancia colosal para todos los tipos de transporte. El peso de un vagón de metropolitano o de tranvía construido de aluminio, es un tercio menor que el de otro semejante fabricado de acero. En un vagón de tranvía de acero, a cada plaza de pasajero corresponden cerca de 400 kilogramos de peso muerto. Si la estructura metálica del vagón se hace de aluminio, el peso por cada plaza de pasajero disminuye hasta 280 kilogramos.

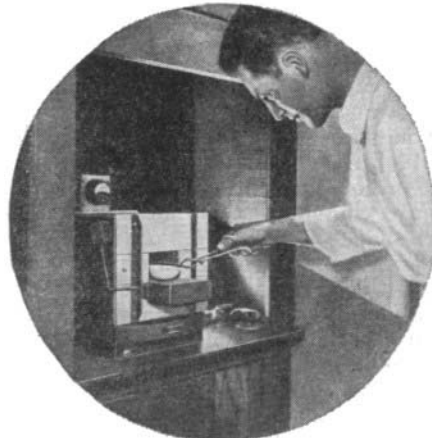
Muy interesante es la historia del magnesio: este metal puede decirse que fue descubierto dos veces. La primera vez lo descubrió Davy y, a partir de entonces, durante más de cien años se le consideró como uno de los metales más inútiles. Se le empleaba sólo para fines pirotécnicos, en forma de cintas y polvo. Pero en el siglo XX se descubrió que este metal de "juguetería" posee tan nobles propiedades que su aplicación podía provocar una verdadera revolución en distintas ramas de la técnica.

El aluminio dio al hombre verdaderas alas. Pero para el hombre simplemente volar es poco; hay que volar lo más lejos posible. Y he aquí que si el peso del metal de que se construye el avión se rebaja, por ejemplo, en un 20%, esto supone una tonelada más de bencina de reserva, o sea, miles de kilómetros más de vuelo. Pero ¿dónde encontrar un metal más ligero que el aluminio?

Y entonces se acordaron del magnesio, cuyo peso específico es 1.74, es decir, el 35% menor que el del aluminio. Sin embargo, el magnesio no posee las cualidades que debe tener un metal destinado a la construcción, esto es rigidez y, sobre todo, resistencia a la oxidación. El magnesio se descompone incluso por la acción del agua hirviendo, de la que toma el oxígeno, convirtiéndose en polvo blanco, el óxido magnésico. Y en el aire arde mejor que la madera. Pero los químicos e ingenieros constructores no se desanimaron; ellos sabían que las aleaciones les ayudarían a encontrar un metal con las cualidades requeridas. Y, en efecto, resultó que una pequeña adición de cobre, aluminio y zinc privan al magnesio de su combustibilidad y le

conceden una rigidez análoga a la del dural. Todas las aleaciones que contienen más del 40% de magnesio, se denominan "electros". En la composición de los "electros", aparte del magnesio, entran el aluminio, zinc, manganeso y cobre.

Así es como ahora, en el siglo XX, el magnesio fue descubierto por segunda vez y en seguida se conquistó un lugar firme como el metal de la construcción de aviones. Especialmente amplia es su aplicación en los motores de aviación. Las piezas de aleaciones de magnesio poseen una gran rigidez y resistencia a la fatiga.



*Figura 33.5 Horno para la obtención de molibdeno metálico*

¿Es que acaso los metales "se fatigan"? Sí, por desgracia. El muelle de acero que se estira y se encoge cientos de miles de veces pierde su elasticidad, se vuelve frágil y se rompe: "se cansa". El eje de un motor al "envejecer" se rompe. Y la técnica ha descubierto que algunas aleaciones son "incansables"; en ellas los átomos de distintos metales se adaptaron tan bien unos a otros, que su ligazón no se debilita a pesar de los golpes. Tales son las aleaciones de magnesio. Claro está, que con la construcción de aviones no se agotan las posibilidades de utilización del magnesio. Se emplea también ampliamente en la construcción de automóviles. Los instrumentos y piezas, hechos (de aleaciones de magnesio, se distinguen por su gran solidez y ligereza; son cinco o seis veces menos pesados que los de acero, poseyendo la misma tenacidad y, a veces, incluso mayor. El magnesio es un metal muy difundido en la corteza terrestre: se le encuentra en todas partes. Lo mismo que el hierro, forma con facilidad grandes concentraciones, de donde no es difícil su extracción. Le contienen en gran cantidad el agua de mar y los lagos salinos.

El principal mineral magnésico es la carnalita (cloruro doble de potasio y magnesio), extraordinariamente abundante en la Unión Soviética. Grandes reservas existen en los yacimientos de Solikamsk, donde se encuentra formando capas bajo el suelo a profundidades de 100-200 metros de la superficie. La carnalita se vuela con amonal, se tritura en el fondo de las minas con machacadoras mecánicas y se envía a la superficie.

El proceso de separación del magnesio del cloro es muy laborioso, pues ambos elementos están ligados íntimamente entre sí. Para esto se funde la carnalita y se somete a electrólisis haciendo pasar corriente continua. La electricidad rompe los lazos que unen entre sí al magnesio y al cloro, y el metal blanco, en estado líquido, fluye en forma de chorro vivo, siendo recogido en lingoteras. Ahora ha llegado el momento de obtener magnesio del agua marina cuyo contenido salino alcanza el 3,5%, del cual la décima parte corresponde al magnesio. Por consiguiente, 1 metro cúbico de agua de mar contiene 3,5 kilogramos de magnesio metálico.

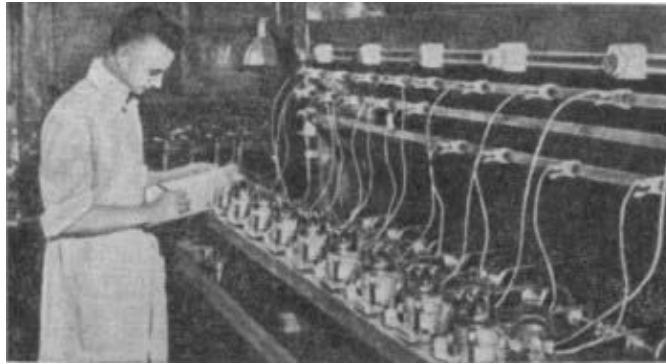


Figura 33.6 Comprobación de contactos de wolframio en un laboratorio especial

El proceso de obtención es muy simple. El agua de mar se filtra, se vierte en cubas especiales y se añade cal apagada en polvo, con lo cual se deposita, en forma de lodo, el hidrato magnésico. Se le deja reposar para que sedimente y se decanta el agua. Los sedimentos se secan en filtros, se neutralizan con ácido clorhídrico y se les deshidrata definitivamente. El cloruro de magnesio



obtenido pasa a la electrólisis en estado fundido, a  $700^{\circ}$  aproximadamente, como la carnalita. En esto consiste todo el proceso. Pero el magnesio no es sólo un metal para la construcción. La técnica no olvida que arde, alcanzando una temperatura hasta de  $3.500^{\circ}$ . El magnesio es uno de los componentes principales en los broncees especiales, en el polvo aluminomagnésico, la mezcla más enérgica para bombas incendiarias. El magnesio es muy necesario para la industria y tiene por delante un brillante porvenir.

Ocupémonos nuevamente de los aviones. Hay otro metal "volador" del cual comienzan a ocuparse los constructores de aviones. Se trata del berilio. Su peso específico es 1,84, pero es más estable y "fuerte" que el magnesio.

Las aleaciones de berilio superan en calidad a todas las aleaciones empleadas hasta ahora en la construcción de aviones. Las herramientas hechas de estas aleaciones funcionan sin ruido y no producen chispas.

El berilio eleva la calidad de las aleaciones de magnesio, comunicándoles extraordinaria rigidez y resistencia a la oxidación. Una adición insignificante de berilio al magnesio evita la necesidad de proteger a este metal de la oxidación durante el vaciado en moldes.

Y surge la pregunta: ¿no hay aleaciones aún más ligeras?

Recordemos el metal litio, cuyo peso específico es 0,53, aproximadamente igual al del corcho. La adición de pequeñas cantidades de litio a las aleaciones de aluminio y magnesio les trasmite especial dureza.

Por desgracia, todavía no se han conseguido aleaciones resistentes con gran cantidad de litio. Pero vale la pena buscarlas porque el litio es un metal abundante que existe en la corteza terrestre en la misma proporción que el cinc, y se encuentra en cantidades considerables en algunos yacimientos en forma de espodúmenos y micas de litio.

En consecuencia, si, por ejemplo, las aleaciones de litio y berilio resultan convenientes, puede obtenerse el litio en cantidad suficiente. Pero los trabajos dedicados al estudio de las aleaciones de litio aún no han sido coronados por el éxito y constituyen una tarea del día de hoy.



El litio se encuentra en las aguas minerales, y los médicos adjudican a las aguas ricas en litio (como, por ejemplo, las aguas de Vichy, en Francia) especiales cualidades curativas. Pero la perspectiva más verosímil es la de obtener un metal ligero, consistente e inoxidable para los aviones.

Pero los metales y aleaciones ligeros no han sustituido aún ni con mucho a los metales ferrosos (hierro, acero y sus aleaciones), ni en el transporte ni en otros muchos aspectos de la industria. Hablaremos de estos "viejecitos" que a pesar de todo se sienten aún muy jóvenes y fuertes y dan constantemente nuevas aleaciones de excelente calidad.



Si tenemos en cuenta todos los aceros complejos (llamados de aleación), vemos que se componen de una serie de metales semejantes entre sí: hierro, titanio, níquel, cobalto, cromo, vanadio, manganeso, molibdeno y wolframio. Todas estas aleaciones son aceros, esto es, hierro carbonado cuya calidad se mejora esencialmente con la adición de los metales raros.

Siguiendo el camino de sustituir partes de hierro por metales raros, llegaron los tecnólogos a aleaciones que ya no contienen hierro. Así, por ejemplo, la estelita constituida de wolframio, cromo y cobalto. Esta aleación fue la iniciadora de una serie de aleaciones extrarrápidas muy conocidas en la actualidad, que aportaron a la técnica velocidades sin precedentes en el corte de metales: al principio de 70-80 y ahora de centenares y millares de metros por minuto.

El wolframio dio nacimiento a las aleaciones extrarrápidas y con ello a la potente técnica de corte de metales.



*Figura 33.7 En el aeropuerto de Moscú Vnúkovo. Avión de reacción*

El wolframio y el molibdeno proporcionaron cientos de tipos nuevos de aceros, extraordinarios por su resistencia mecánica, estabilidad térmica y capacidad perforante, que se utilizan para la fabricación de blindajes, ballestas, proyectiles, etc.

Seguramente no existe ninguna rama de la técnica en que no se hayan verificado modificaciones cardinales relacionadas con el descubrimiento de las propiedades de tales metales raros como el wolframio, molibdeno y otros.

Y, a propósito, la denominación "raros" para ellos es ya un anacronismo. Si tomamos en consideración su abundancia en la corteza terrestre, de molibdeno hay dos veces más que de plomo, y de wolframio incluso siete veces más. ¿De dónde son "raros"? En la industria también

se van haciendo habituales y su producción anual aumenta rápidamente, alcanzando a la de otros metales corrientes, no "raros".

Las aleaciones de acero al molibdeno se emplean en la fabricación de tubos de cañones y cureñas. El acero al molibdeno-manganeso se utiliza como material para blindajes y proyectiles perforadores.

Los constructores de automóviles y aviones presentan tres exigencias fundamentales al metal: elasticidad máxima, gran maleabilidad y alta resistencia a conmociones prolongadas y golpes frecuentes.



*Figura 33.8 Yacimiento de molibdeno en Climax (montañas del Colorado). Aquí el molibdeno se halla formando capas en la masa de granito. A la derecha se ve una fábrica de enriquecimiento.*

El aumento del consumo de molibdeno en estos últimos años se explica precisamente por su amplia aplicación en los ejes, bielas, mecanismos de apoyo, motores de aviación y tuberías, sobre todo aleado al cromo y al níquel.

Otro aspecto de la utilización del molibdeno es en la fundición gris de alta calidad. Una adición insignificante de 0,25% de molibdeno aumenta las propiedades físicas del hierro colado, entre ellas la resistencia a la flexión y a la tracción, así como su dureza.

El wolframio y el molibdeno, en forma de filamentos finos, se usan en gran escala en electrotecnia para las lámparas de vacío. Los filamentos de las lámparas de incandescencia se hacen de wolframio. La temperatura de fusión del wolframio ( $3.350^{\circ}$ ) es la más alta de todos los metales. El carbono es el único elemento que funde a temperatura todavía más elevada,  $3.500^{\circ}$ .

Próximos al wolframio, por lo que respecta a la temperatura de fusión, se encuentran dos elementos: el tantalio ( $3.030^{\circ}$ ) y el renio ( $3.160^{\circ}$ ). Con el molibdeno, cuya temperatura de fusión es  $2.600^{\circ}$ , se hacen los ganchitos que sujetan la espiral incandescente de wolframio en las bombillas eléctricas.

La demanda de compuestos y aleaciones termorresistentes ha aumentado bruscamente al desarrollarse la aviación ultrasónica. Para salvar la "barrera térmica", es decir, el calentamiento y reblandecimiento de la estructura de los aviones que produce el roce con la atmósfera, los constructores necesitan materiales nuevos de propiedades desconocidas hasta ahora.

Como vemos, descubrir un elemento no es suficiente, hay que estudiarlo y hallar en él la cualidad que le haga valioso para la elaboración de artículos determinados, y entonces el elemento, como si dijéramos, se descubre por segunda vez y se vuelve útil y necesario. Así son, por ejemplo, los



contactos de wolframio en los motores de automóvil, donde una lámina fina de una décima de milímetro de este metal asegura un buen contacto en el interruptor que funciona sin fallos cientos de horas.

¿Acaso no es interesante otro ejemplo, el niobio? El niobio se consideraba un elemento inútil que "impurificaba" al tantalio. Ambos, por lo general, se encuentran juntos en la naturaleza. Pero cuando se descubrió que el acero con "impurezas" de niobio constituye un maravilloso material para la soldadura eléctrica de objetos de acero, con una gran solidez de la junta de soldadura, el niobio se hizo tan necesario como el tantalio.

El empleo de los elementos nuevos en la industria se halla, naturalmente, muy lejos de ser definitivo, ya que el avance del progreso técnico es ilimitado. Aquí les corresponde un lugar de honor a los químicos y a los geoquímicos.

Pero ¿cuál es la influencia del progreso técnico sobre la Tierra, que constituye el manantial de todas las sustancias imprescindibles para la industria? El hombre se afana a su modo por revolver la corteza terrestre, sacando de ella todo lo que le es necesario, sin pensar en que lo que toma ya no vuelve más. ¿No agota el hombre la Tierra?



*Figura 33.9 Extracción de mineral por medio de excavadoras*

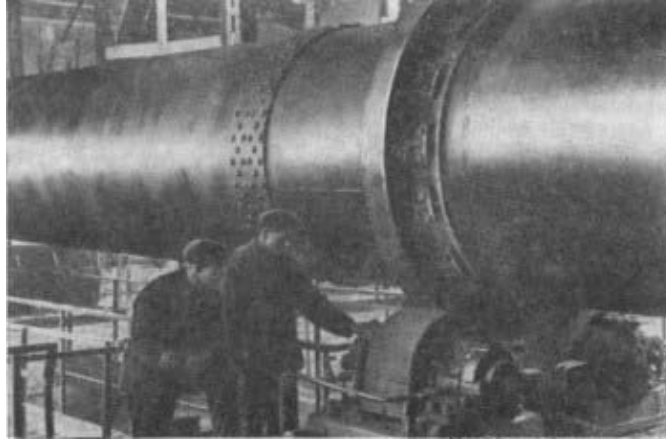
He aquí cuestiones que acuden a la mente cuando observamos el desarrollo general de la humanidad en la Tierra. Y existe aún una circunstancia que incita a plantear esta pregunta: el aumento constante de la cantidad de productos útiles que se extraen anualmente de las entrañas de la Tierra.

Recuerdo el relato de un ingeniero que frecuentó las explotaciones mineras. Se alojó en una casita cerca de una montaña de magnesita y al cabo de dos o tres semanas la montaña ya no existía: había sido transportada a la fábrica metalúrgica.

Basta con observar las montañas de escoria arrojadas por nuestras fábricas metalúrgicas para comprender que la actividad humana es un factor geológico modificador de la corteza terrestre. Uno de los problemas más importantes de la economía química mundial es el destino del carbono, en el que el hombre interviene con especial energía. El carbono se halla en la naturaleza en tres formas: como sustancia viva, como depósitos de carbón y petróleo en la zona superficial de la corteza terrestre, y en forma de óxido, anhídrido carbónico, existente en la atmósfera y en

las aguas de los ríos y océanos. Pero el anhídrido carbónico unido al calcio se encuentra más que nada en las duras calizas.

En la atmósfera hay más de dos billones de toneladas de gas carbónico y, en consecuencia, 600.000 millones de toneladas de carbono.



*Figura 33.10 Horno giratorio para la calcinación de materiales carboníferos, instalado en el taller electrodico de una fábrica de aluminio*

El hombre extrae anualmente más de mil millones de toneladas de carbón y cientos de millones de toneladas de petróleo y turba. Uno y otro son quemados por él, transformando el carbono en anhídrido carbónico. De tal modo, en la atmósfera ingresan al año varios mil millones de toneladas de anhídrido carbónico, y después de doscientos o trescientos años debiera duplicarse su cantidad si no existiesen otros procesos contradictorios, como son su disolución en el agua de los océanos y su absorción por las plantas.

Empleando el carbono de las capas carboníferas, el hombre facilita la dispersión y difusión de este elemento, lo que se verifica en escala tan considerable, que su actividad adquiere proporciones de verdaderas transformaciones geológicas.

Con energía análoga interviene el hombre en la suerte de los metales. Tiene en circulación cerca de mil millones de toneladas de hierro y objetos de hierro, en forma inestable de metal nativo que se oxida.

La oxidación o corrosión desvaloriza, en un determinado período de tiempo, casi tanto hierro como el que se obtiene en este mismo plazo, así que la acumulación de reservas de hierro no consigue superar a su dispersión.

Algo mejor es la situación en el caso del oro. Al año se consume en reactivos, dorados y pérdidas por el uso cerca de una tonelada, es decir, mucho menos de lo que se extrae (cerca de 600 toneladas).

Y metales tales como el plomo, estaño y zinc, son extraídos por el hombre de los depósitos naturales casuales, los llamados yacimientos, solamente para que en el proceso de su aplicación resulten dispersados para siempre.

Las actividades ingenieriles y agrícolas del hombre son también comparables por su magnitud con la influencia de los procesos naturales.

Una enorme importancia geoquímica tiene el laboreo de la superficie superior de la tierra, o sea, el terreno de cultivo, para las necesidades de la agricultura, ya que como resultado de esta labranza más de tres mil kilómetros cúbicos de tierra se hacen asequibles anualmente a la acción enérgica del agua y aire atmosféricos.





*Figura 33.11 Laboratorio para el ensayo de las propiedades físicas de los minerales*

Las plantas de cultivo extraen del terreno enorme cantidad de sustancias minerales: 10 millones de toneladas de anhídrido fosfórico y 30 millones de toneladas de nitrógeno y potasio. Esta cantidad es muchas veces mayor que la que se introduce en el terreno por medio de fertilizantes. Los elementos extraídos se incorporan al ciclo del mundo animal y, al fin y al cabo, son diseminados.

En consecuencia, el hombre, con su actividad agrícola y técnica, verifica la dispersión de las sustancias. Anualmente se extrae de las minas más de un kilómetro cúbico de minerales. Si añadimos a esto la construcción de diques, canales de irrigación, etc., esta cifra puede duplicarse y hasta triplicarse.

La cantidad de escorias de todos los hornos metalúrgicos del mundo también alcanza seguramente el kilómetro cúbico. Y ¡cuántos residuos de la industria química arroja el hombre a la superficie terrestre!

Si comparamos estas cifras con los 15 kilómetros cúbicos de sedimentos arrastrados anualmente de la corteza terrestre por las corrientes fluviales, habrá que reconocer que la actividad humana puede ser considerada como un factor tan serio como la actividad de los ríos.

En el presente nuestra actividad influye en la naturaleza que nos rodea en tal escala que la humanidad ya no puede contemplar con indiferencia los cambios que se producen en la biosfera, cuyas consecuencias resultan perjudiciales para nuestro futuro.

Y en la edificación, ¡cuántas piedras y cemento se gastan anualmente! En la URSS, la intensa construcción urbana emplea al año más de mil millones de toneladas de distintos materiales.

La transformación de la naturaleza por el hombre adquiere un ritmo cada vez más acelerado. Si consideramos las reservas totales de metales en la Tierra, son tan grandes que por ahora no merece la pena hablar de su agotamiento. Pero de estas reservas, no todas pueden ser utilizadas, ya que en la práctica la industria sólo puede explotar las concentraciones ricas de uno a otro metal. Y estas no son tantas.

Las reservas reales de muchos metales apenas satisfacen las exigencias de la industria. Por esto, todo un ejército de geólogos exploradores y geoquímicos deben buscar intensamente metales para abastecer la creciente demanda de la industria.



**Capítulo XXXV****¿COMO FUE DADA SU DENOMINACION A LOS ELEMENTOS QUIMICOS y A LOS MINERALES?**

He aquí una cuestión que a todos nos debe interesar. Porque no es fácil recordar centenares y miles de nombres distintos de elementos, minerales y rocas. Pero conociendo el significado de cada nombre es ya más fácil recordarlos.



Puede ser que a alguno de los lectores les haya caído a mano mi libro Memorias sobre las piedras, donde se describe un relato humorístico de cómo se dieron las denominaciones de nuevos minerales y de las nuevas estaciones del ferrocarril de Kírov. Sobre todo, se ridiculiza allí a los viejos ferroviarios que, por ejemplo, denominaron una estación Africanda, sólo porque llegaron allí en un día muy caluroso, como si fuese en Africa.

Otra estación fue nombrada Titanio, aunque en sus proximidades no' se hallaron ni vestigios del mineral de este metal.

Sin embargo, hay que reconocer que así se comportaban no sólo nuestros viejos ferroviarios; también hicieron y hacen así los químicos y mineralogistas cuando descubren algo nuevo; cada uno le da el nombre que quiere. Y nosotros ahora tenemos que recordar con exactitud estas denominaciones. En la Química, esto es cierto, la cuestión es más sencilla: allí sólo se conoce un poco más de un centenar de elementos químicos a los que hubo que buscar un nombre. Mucho más complicado es el caso de la Mineralogía, donde ya ahora conocemos cerca de dos mil minerales y cada año se descubren veinte o treinta nuevos.

Examinemos en primer lugar la denominación de los elementos químicos, a base de los cuales está construida toda la ciencia química. De las iniciales de estos nombres en latín se componen sus símbolos químicos: Fe (ferrum, hierro), As (arsenicum, arsénico), etc.

Con la mayor frecuencia los químicos y geoquímicos denominaron los elementos descubiertos según el nombre del país o la ciudad donde se realizó el descubrimiento o donde por primera vez se halló una combinación de la substancia dada. Por ello son perfectamente comprensibles tales nombres como europio, germanio, galio (del antiguo nombre de Francia, Galia), escandio (Escandinavia). Estos nombres pueden recordarse bien, pero es mucho más complicado en otros casos, cuando se emplean antiguas denominaciones de países o ciudades. A veces es muy difícil adivinar de dónde provienen estos nombres.

Así ocurrió cuando el año 1924 en Copenhague descubrieron un nuevo elemento y lo nombraron hafnio, según la antigua denominación de la capital de Dinamarca, que nadie conoce. De manera análoga fue bautizado el lutecio, que recibió este nombre de la antigua denominación de París. El metal tulio recibió su nombre de la antigua denominación escandinava de Suecia y Noruega. Al metal rutenio, hallado en Kazán por el químico R. Claus, se le dio tal nombre en honor de Rusia, aunque, por desgracia, incluso muchos químicos expertos no adivinan que el término "rutenio" significa "ruso".

Es muy interesante lo que ocurrió con unas minas (le feldespato cerca de Estocolmo, en Suecia; la veta de pegmatita de Itterby dio una gran cantidad de nuevos elementos, que fueron denominados con variaciones de este nombre: iterbio, itrio, erbio y terbio.

Muchos nombres de elementos químicos se les dieron a base de sus propiedades físicas y químicas. Esto parece lo más racional, pero estos nombres se hacen comprensibles y se recuerdan sólo cuando se conoce bien el griego antiguo o el latín. Como toda una serie de elementos fueron descubiertos por las líneas coloreadas que mostraban en el espectroscopio, recibieron su

denominación del color de estas líneas: el indio, por su línea azul; el cesio, azul lazur; el rubidio, roja; el talio, verde.



*Figura 35.1 Estibnita o antimonio brillante*

Otros elementos obtuvieron su denominación del color de sus sales; por ejemplo, el cromo (de la palabra griega "color"), debido al vivo colorido de sus sales, o el iridio, por el aspecto abigarrado del color tornasolado de las sales de este metal.

Muchos químicos aficionados a la Astronomía denominaron los elementos por los planetas o las estrellas. De aquí los nombres del uranio, paladio, cerio, telurio, selenio y helio. Sólo este último tiene un significado aún más profundo porque el helio ("helios" = sol) fue descubierto por primera vez en el Sol.

Aún es mayor la cantidad de nombres dados en honor de dioses y diosas de la antigüedad. Así, el vanadio, en honor de la diosa escandinava Vanadis; el cobalto y el níquel (los perniciosos acompañantes de los minerales argentíferos) recibieron su nombre de los gnomos perversos que se dice habitaban en las minas de Sajonia.



Las denominaciones del tantalio, niobio, titanio y torio fueron tomadas sin gran fundamento de los nombres de la mitología antigua. El antimonio en la Edad Media se llamaba "antimuanos", lo que seguramente procede de la palabra griega "flores", ya que los cristales de "antimonio brillante" o estibnita se agrupan en haces que recuerdan las flores de las plantas compuestas. Según otra versión, antimonio procede de la palabra "antimonacal", como si el antimonio ejerciese una influencia perjudicial sobre el espíritu retirado de los monjes.

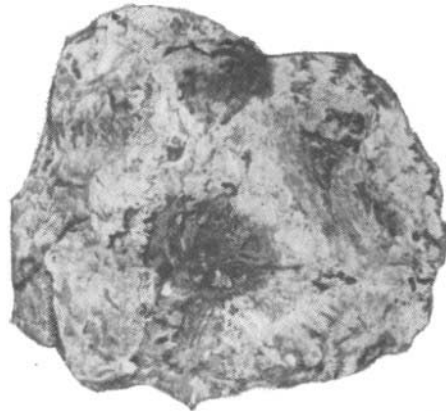
Mucho menos atención se dedicó a los nombres de grandes sabios e investigadores de fama mundial. En honor del profesor ruso A. Gadolin se llama el mineral gadolinita, y del mineral, el elemento gadolinio. La denominación "samario" vino del mineral en que fue descubierto, la samarsquita, hallado por primera vez en los montes de Ilmen, en los Urales, y llamado así en honor del ingeniero de minas Samarski.

El rutenio, el gadolinio y el samario son elementos de procedencia rusa.

Aparte de todas estas complicadas y poco justificadas denominaciones, cerca de treinta elementos químicos poseen en la raíz de sus nombres diversas palabras antiguas árabes, indias o latinas.

Muchas controversias suscita el origen de las palabras "oro" (aurum), "plomo" (plumbum), "arsénico" (arsenicum) y otras. Finalmente, los nuevos elementos transuránicos: el N° 93

neptunio (Np) y el N° 94 plutonio (Pn) recibieron su denominación de los planetas, el N°95 americio (Am) de la palabra "América" y el N°96 curio (Cm) en honor de Marie Curie.



*Figura 35.2 Mineral samarsquita (negro)*

El berkelio (N°97) y el californio (N°98) se llaman así por el lugar en que fueron obtenidos por primera vez artificialmente, mientras que los transuránicos siguientes, el einstenio, el fermio, el mendelevio, el laurencio, y el kurchatovio por los nombres de los sabios. El elemento N° 102 fue llamado nobelio por los suecos en honor del inventor Nobel, fundador del premio que lleva su nombre, pero muchos científicos que consideran dudosos los resultados obtenidos por sus colegas suecos no están de acuerdo con esta denominación.



¡Véase qué caos y qué desorden! Raíces griegas, árabes, indias, persas, latinas, eslavas; dioses, diosas, estrellas, planetas, ciudades, países y apellidos, frecuentemente sin un profundo sentido ni orden alguno.



*Figura 35.3 Topacio de los yacimientos de Murzinka (Urales orientales)*

Es cierto que hubo intentos de poner un cierto orden en el sistema de denominación de los elementos, pero estos son tan pocos que no vale la pena hacerlo. Una cuestión completamente distinta es la de los nombres de los minerales.

Aquí los geoquímicos y mineralogistas deben cambiar radicalmente sus hábitos. En efecto, cada año hay que denominar más de 25 minerales nuevos. Y ¿acaso es admisible que combinaciones como la laurita fuesen denominadas con el nombre de la novia del químico que la descubrió, Laura; que toda una serie de minerales recibiesen su nombre de sentimientos de fidelidad, en honor de diversos príncipes y condes que no tuvieron ninguna relación con los minerales, como la uvarovita? Por último, algunas denominaciones son tan disparatadas que nuestra lengua las pronuncia con dificultad; por ejemplo, "ampangabeita", llamado así por el lugar en que fue hallado, en Madagascar. La nominación de los minerales es una página interesantísima de la historia de la Mineralogía y la Química. Hasta ahora se desconoce por completo la procedencia de una serie de nombres de minerales y muchos de ellos tienen sus raíces en la antigua India, Egipto o Persia. Persia nos obsequió con la turquesa y la esmeralda (smaragd); la Grecia antigua, con el topacio y el granate. La India dio el rubí, el zafiro y la turmalina.



Una gran cantidad de minerales fueron denominados por el lugar de su hallazgo. Así, para nosotros, los soviéticos, son bien conocidos y comprensibles los nombres "ilmenita" (montes Ilmen, en los Urales meridionales), "baikalita" (lago Baikal), "murmanita" (región de Murmansk). Pero el nombre más interesante para nosotros está ligado con Moscú, es la moscovita o muscovita, la famosa mica potásica que tan importante papel desempeña en la industria eléctrica. Muchísimos nombres se dieron en honor de conocidos investigadores, notables químicos y mineralogistas. Recordemos la scheelita, así llamada en memoria del célebre químico sueco Scheele: la goethita, en honor del poeta y mineralogista Goethe y las mendeleevita y vernadskita bien conocidas para nosotros.

Hay que reconocer como acertados también los nombres dados a minerales con arreglo a sus colores, aunque en estos casos con frecuencia haya que conocer el latín o el griego para comprenderlos. Así son, por ejemplo, el aguamarina (color de agua de mar), auripigmento (coloración de oro), leucita (de la palabra griega "leikos", blanco), criolita (hielo, en griego), celestina (del latín, "cielo").



*Figura 35.4 Cristales de espato calizo*

Muchas denominaciones provienen de las propiedades físicas y químicas de los minerales. Por ejemplo, los minerales denominados "brillantes", se llaman así por su brillo parecido al de la plata; las piritas, por su analogía con el cobre y el bronce; los espatos, por la propiedad que poseen de hendirse a lo largo de planos orientados en direcciones determinadas (crucero); las blendas, minerales que contienen metal, cosa difícil de adivinar por su aspecto exterior engañoso.



El diamante recibió su denominación de la palabra griega "ádamas", esto es "insuperable", "invencible", "inexpugnable". Finalmente, hay que reconocer que muchos minerales recibieron nombres apropiados, según los elementos químicos que predominan en su composición. Así, por ejemplo, la fosforita, calcita, wolframita, molibdenita, etc.

Pero existe una serie de nombres que suscitan gran interés. Con algunos de ellos están relacionadas leyendas enteras; el sentido de otros se oculta en lo profundo de los laboratorios de los alquimistas. De tal modo, el asbesto recibió su nombre de la palabra griega "incombustible". La nefrita debe su denominación al error medieval que consideraba que sirve para curar los riñones. La fenacita, "falsa", se llama así por que su bello color rojo-vinoso desaparece, en el sol, después de varias horas.



*Figura 35.5 Mercader oriental de piedras preciosas. Grabado del siglo XVII*

La apatita o "engañososa" se llama así por ser difícil de distinguir de otros minerales; y, por último, la amatista lleva su denominación aún desde la Edad Media, cuando se le adjudicaba la misteriosa cualidad de servir de defensa contra la embriaguez. Se ve por nuestra breve descripción de qué manera tan complicada se fueron estableciendo las denominaciones de los minerales.

¿Acaso no es posible poner orden en este asunto? Acaso no puede constituirse una comisión internacional que confirme la denominación de los nuevos minerales, atendiendo a que su significado corresponda a las propiedades del mineral, que sean fáciles de recordar, que los nombres mismos formen un cierto sistema y verifiquen la clasificación (te cientos y miles de especies minerales? Confiamos que en el florecimiento futuro de las ciencias químicas y geoquímicas se encontrará sitio para nuestra modesta proposición: reflexionar cómo hacer para no martirizar a los estudiantes con prolongadas, difíciles de recordar e incomprensibles denominaciones y dar nombres estrechamente ligados a las propiedades típicas de cada piedra, planta o animal, que penetren bien en la mente de cualquiera.

**Capítulo XXXVI****LA QUIMICA Y LA GEOQUIMICA EN NUESTROS DIAS**

Vivimos años de extraordinarios progresos de la Física y la Química.

El antiguo metal, el hierro, comienza a substituirse por otros o se combina con una serie de rarísimas sustancias metálicas.

Los complejos compuestos de silicio en forma de vidrio, porcelana, ladrillos, hormigón y escorias vienen a remplazar al hierro de las construcciones metálicas del pasado.

La Química orgánica, Química del carbono, alcanzó en los últimos años éxitos grandiosos, y grandes fábricas reemplazan ya a los extensos campos de índigo y plantaciones de caucho.

En estas fábricas se produce caucho sintético y colorantes de los productos de la destilación del carbón, que ya en la actualidad, no sólo substituyen a los colorantes vegetales naturales, sino que dan una gama de colores considerablemente más amplia.

Efectivamente, el mundo entero marcha por el camino de la aplicación en gran escala de la Química en la ciencia, la economía y la vida. La Química penetra en todas las menudencias de nuestra vida cotidiana, en todos los detalles del complicado aparato de la producción industrial. Se comprende que, simultáneamente con la aplicación de la Química en todos los órdenes de la vida, se verifica, cada vez con mayor amplitud, el estudio a investigación de las riquezas naturales y materias primas minerales que se necesitan en cantidades enormes para la economía y la industria.

La Geoquímica está estrechamente ligada con la Química y con frecuencia es difícil marcar el límite entre estas dos ramas de la ciencia.

La creación de institutos especiales de investigación científica y laboratorios es hoy la base del progreso de la industria química. Recordamos reconocidos las palabras del célebre biólogo francés Pasteur, que decía en 1860:

"Les ruego que dediquen más atención a los refugios sagrados que llamamos laboratorios. Insistid para que haya más y para que estén mejor equipados. Estos son los templos de nuestro porvenir, de nuestra riqueza y de nuestro bienestar".

Después de la Gran Revolución Socialista de Octubre, en el País Soviético se desarrolló una amplia red de institutos de investigación científica que trabajan en el dominio de la Química. Se crearon potentes institutos especiales químicos. Muchos de ellos trabajaron también sobre problemas geoquímicos. Unos desarrollaron con éxito esquemas tecnológicos del empleo de los minerales de aluminio, otros resolvieron de manera brillante el problema de la utilización del boro y sus carburos, otros se dedicaron al estudio en gran escala de las sales en los yacimientos patrios y de numerosos elementos: tierras raras, platino, oro, niobio, tantalio, níquel, etc.

Fundado para tratar de problemas geológicos más específicos, el Instituto Geoquímico de la Academia de Ciencias de la URSS realizó una serie de investigaciones y como resultado de su labor se cimentó el pensamiento colectivo geoquímico en el país.

En la Sociedad Mendeleeviana, continuadora de las gloriosas tradiciones de la Sociedad Físicoquímica Rusa, se realiza una amplia divulgación de las ideas químicas. Esta sociedad reúne en sus instituciones y filiales varios miles de personas.

No podemos pasar aquí por alto la Sociedad Mineralógica de la URSS, fundada en Petersburgo en 1817, que hasta el presente trabaja intensamente sobre problemas de Mineralogía, Petrografía y el estudio de yacimientos útiles.



La Geoquímica obtuvo un reconocimiento general y el pensamiento geoquímico se fue introduciendo en todos los trabajos científicos dedicados al estudio de los yacimientos de minerales útiles.

En la actualidad son varios los institutos de la Academia de Ciencias de la URSS que se dedican a hacer investigaciones en el campo de la Geoquímica, entre ellos figuran: el Instituto de Geoquímica y Química Analítica V. I. Vernadski, el Instituto de Geología de las Minas, Petrografía, Mineralogía y Geoquímica, el Instituto de Mineralogía, Geoquímica y Cristaloquímica de los elementos raros, las universidades, etc.

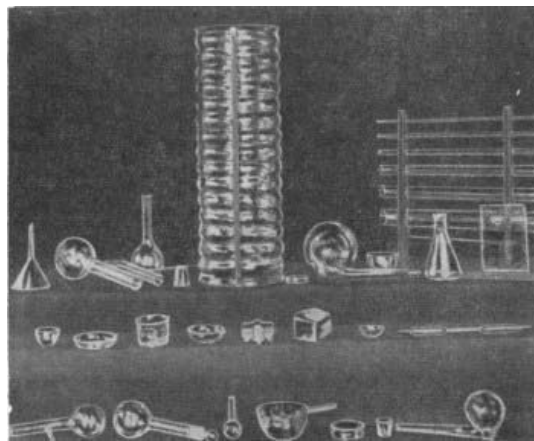
Un químico soviético ha calculado que en los últimos treinta años se han publicado en diversas revistas más de un millón de trabajos científicos sobre problemas químicos; sólo en los últimos años la cantidad de trabajos científicos sobre Química se eleva a 60.000-80.000. Para ordenar tan enorme material escrito existen revistas especiales donde se resumen los artículos que se publican en todo el mundo en más de treinta idiomas y en tres mil revistas de Química.

Sin embargo, cuando hablamos de las numerosas investigaciones efectuadas en los últimos años, no debemos olvidar que su aplastante mayoría se refieren a compuestos del carbono, que muchas de ellas tratan problemas puramente técnicos y solamente cerca del dos por ciento de ellas se hallan próximas a las cuestiones geoquímicas, a los problemas del estudio de la materia en la corteza terrestre, de su difusión, migración, estructura, combinación y creación en los minerales de concentraciones con las que trabaja la industria.



En relación con el incremento del trabajo científico en los institutos de investigación y asociaciones sociales y con el desarrollo de las publicaciones, se definen con más precisión y amplitud las tareas fundamentales planteadas a las ciencias químicas. Aunque han pasado ya doscientos años desde que murió Lomonósov, aún puede mantenerse hoy como divisa fundamental de la labor

química el primer párrafo de su introducción a las conferencias de Química física pronunciadas por él en 1751; "El estudio de la Química puede tener un doble objetivo; uno, el perfeccionamiento de las ciencias naturales; otro, el aumento de los bienes de la vida".



*Figura 36.1 Recipientes químicos de cuarzo*

En efecto, la Química, junto con la Física, no sólo perfeccionó las Ciencias Naturales, sino que, además, nos descubrió los secretos de la naturaleza escondidos a nuestra vista; la ciencia y la técnica supieron descubrirnos la diversidad de átomos de que se compone el mundo.

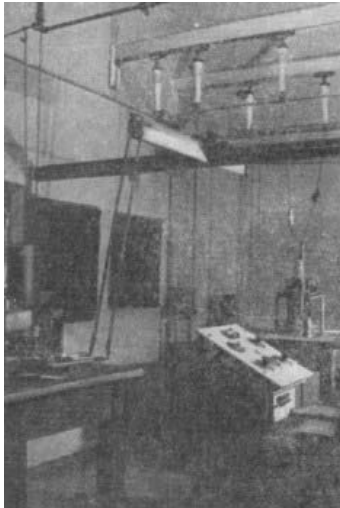
Gracias al progreso de las ciencias químicas, la industria moderna obtiene cerca de cincuenta mil combinaciones de diversos elementos y el número de compuestos orgánicos sintetizados y



estudiados en los laboratorios llega a un millón. Y no tiene límite la cantidad de compuestos nuevos que se preparan en los laboratorios.

¡Qué grandiosas son estas cifras en comparación con las 2.500 combinaciones diferentes que conocemos en la naturaleza! Y fue precisamente la naturaleza nuestro primer maestro de ciencia química. La base de nuestra industria son las materias primas minerales. Ellas determinan la dirección del trabajo en los laboratorios químicos; y la estructura de la sustancia y la marcha de las reacciones químicas fueron estudiadas sobre materiales naturales.

Precisamente por esta causa, la Geoquímica tendió un puente entre las ciencias químicas y las geológicas. Estudiando las propiedades y reservas de minerales en el mundo, la Geoquímica no sólo descubrió en colaboración con la Cristalografía la estructura de los cristales, sino que también determinó las vías de progreso industrial.



*Figura 36.2 Laboratorio roentgenométrico*

De tal modo se eslabonaron una serie de disciplinas científicas, desde la Geología hasta la Geoquímica, desde la Geoquímica a las ciencias químicas y a la Física. El objetivo final de todas estas disciplinas era, además de perfeccionar las ciencias naturales, multiplicar, como dijo Lomonósov, los bienes de la vida, en cuya creación trabaja el hombre.

Precisamente esto, la creación de nuevas sustancias útiles, la conquista de nuevas fuentes de materias primas para la economía nacional, constituye en nuestros días el gran estímulo fundamental de la ciencia. La tecnología se conectó estrechamente con la Geoquímica, estudiando las propiedades de minerales y sales, aclarando la difusión en ellos de elementos raros, buscando el camino de una mejor y más completa utilización de nuestro subsuelo. La unión de la Química, Geoquímica y Tecnología posibilitó el progreso actual de la industria química.

No vamos a fijar más la atención a cuántos bienes dio y sigue dando a la humanidad el desarrollo de las disciplinas químicas; sobre esto hemos hablado antes, cuando escribíamos sobre la historia del átomo en la historia del hombre; a este tema volveremos en el capítulo siguiente, donde intentamos esbozar el cuadro del porvenir de nuestra ciencia y sus progresos.

Ahora nos interesa otra cosa completamente distinta: cómo es y debe ser el investigador químico moderno, el hombre que impulsa hacia adelante la ciencia, crea laboratorios científicos y, con ello, conquista el mundo circundante.

Los químicos de los siglos pasados tomaban de las rocas sustancias aisladas, elementos, y los estudiaban en sus laboratorios y gabinetes con abstracción del tiempo y el espacio, fuera de la relación que estos elementos tienen con toda la naturaleza.

En la actualidad el hombre concibe el mundo como un sistema complejo en el que sus diferentes partes se hallan estrechamente ligadas entre sí, donde, como en un enorme laboratorio, chocan, se unen y luchan fuerzas diversas, y donde, sólo como resultado de esta lucha de átomos aislados y campos eléctricos y magnéticos, se crean sustancias en un sitio y se destruyen en otro.

El mundo es un laboratorio inmenso, donde todo se encuentra en mutua relación, como los engranajes de una máquina. Y el químico moderno, que vino en lugar del antiguo enclaustrado de laboratorio, considera de una manera nueva cada átomo, relacionando estrechamente su destino con el de todo el universo. Por esto hoy está tan cerca la Química de la Geoquímica.

Las tareas del científico han cambiado; a él no le basta describir fenómenos aislados, hechos sueltos de la naturaleza circundante; para él es poco observar los resultados de ciertos experimentos en el laboratorio. Él estudia la materia, es decir, debe comprender cómo y por qué se creó y qué será de ella en adelante.

Para él son insuficientes las reflexiones de los filósofos sobre las leyes de la naturaleza; él debe estudiar la marcha secular de estas leyes en los fenómenos que nos rodean, debe descifrar el complejo enlace entre distintos fenómenos.

El investigador no debe dibujar o fotografiar insensiblemente fenómenos aislados de la naturaleza; debe esforzarse por dominarlos y supeditarlos a su voluntad. El investigador de nuevo tipo no debe ser un artesano en su laboratorio, sino forjador de nuevas ideas nacidas en la lucha con la naturaleza por la conquista del mundo.

En la actualidad, el químico, como el astrónomo, debe saber prever; su experiencia no reside en las reacciones aisladas casuales que realiza en las retortas del laboratorio; su experiencia nace como fruto de pensamientos creadores, fantasía científica y profundas investigaciones. El químico moderno debe comprender que los éxitos científicos no se logran de golpe, sino que germinan gradualmente a lo largo de un camino en el cual se conciben y comprueban prolongadamente ideas determinadas; que se consiguen como resultado de búsquedas porfiadas en el transcurso de tiempo que a veces abarca varias generaciones de hombres de ciencia, y que con frecuencia son la gota que colma el vaso ya lleno.



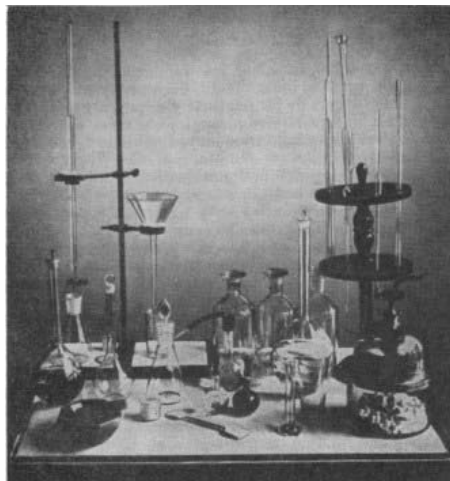
Por esto es frecuente en la ciencia actual que los descubrimientos se produzcan simultáneamente en distintos países, y las más grandes ideas sobre la conquista de la naturaleza que nos circunda nacen casi en los mismos años en la mente de distintos hombres de ciencia.

El éxito del trabajo consiste en saber observar y recopilar hechos y datos. En la esfera de la Geoquímica, esta es una de las tareas fundamentales. Hay que reconocer que a veces los investigadores, arrastrados por la teoría, las reglas y generalizaciones lógicas al parecer, cesan de observar y no perciben lo que hay confuso, disconforme con sus concepciones anteriores, que es precisamente la clave para descubrir lo nuevo. Saber advertir lo nuevo y renunciar a tiempo a las hipótesis antiguas y habituales es una calidad imprescindible para el verdadero hombre de ciencia.

Son muchos quienes consideran que los descubrimientos se hacen por casualidad, que Roentgen advirtió casualmente la acción de los rayos X sobre la pantalla iluminada, que por casualidad se encontraron en la lejana Siberia las grandiosas concentraciones de carbonato de manganeso. Pero estos casos no son otra cosa que una muestra de la fina capacidad de percibir lo nuevo.

¡Cuántos investigadores pasaron durante muchos años junto a los minerales blancos considerándolos simples calizas, los trataron con ácido clorhídrico, vieron que se producía

efervescencia y siguieron de largo! Había que fijarse en que en algunas partes de estos minerales, en las grietas y en la superficie, el blanco se recubre de una corteza negra que no es externa sino que parece provenir de la piedra misma. Así fueron descubiertos los grandísimos yacimientos de manganeso en Siberia. Y no los descubrió la casualidad, sino que atentas y consecuentes observaciones y un profundo conocimiento de los hechos condujeron a este hallazgo. En esta capacidad de observación hay un aspecto que señaló muy bien Lomonósov. Él decía que de la observación hay que establecer la teoría y a través de la teoría corregir la observación; y tenía toda la razón ya que las observaciones más sagaces y precisas nacen de la teoría y cada teoría adquiere sentido sólo después de apoyarse en un cúmulo de hechos exactamente observados y exactamente descritos.



*Figura 36.3 Recipientes químicos de vidrio*

¿Cómo debe de ser el verdadero geoquímico?

Debe de ser decidido, marchar sin vacilación hacia el objetivo determinado, debe ser observador atento, debe poseer una imaginación viva, joven, con la frescura de pensamiento y alma que no depende de la edad, sino de la propia sensibilidad natural. Debe tener enorme paciencia, dominio de sí mismo y laboriosidad, y, ante todo, debe saber llevar las cosas hasta el fin.

No en balde, Franklin, uno de los sabios más eminentes, decía que el genio es la capacidad de trabajar ilimitadamente.

El hombre de ciencia debe poseer a un tiempo sentido común y fantasía científica. Debe tener fe en su causa, en su idea, estar convencido de su justeza, defenderla con valentía, entregarse por completo a su trabajo y amarlo. El entusiasmo en el trabajo es una de las condiciones básicas del éxito. Los artesanos de la ciencia no hicieron ningún descubrimiento importante.

Sin entusiasmo no puede conquistarse el mundo, y este entusiasmo nace, no tanto de la propia pasión creadora, como de la conciencia de la tarea responsable, del papel que juega el hombre con su trabajo creador.

Apasionamiento por la idea de perfeccionar la vida humana, ansia ardiente de victoria sobre las fuerzas oscuras, tendencia a construir un mundo nuevo, mejor, hacerle donde recursos nuevos y posibilidades de dominar los antiguos, estos son los objetivos del hombre nuevo en el país nuevo y libre.

Y solamente así es posible conquistar el mundo circundante.

Carlos Darwin escribió en su autobiografía:

"Mis éxitos como hombre de ciencia, cualesquiera que hayan sido, dependieron, por cuanto yo puedo juzgar, de complejas y variadas condiciones de vida y cualidades intelectuales. De estas cualidades, las más fundamentales fueron sin duda: amor a la ciencia, paciencia ilimitada en la reflexión de cualquier problema, perseverancia en la observación y selección de datos y una porción suficiente de inventiva y lucidez".

¡Estos son los rasgos que quisiéramos ver ahora en el geoquímico! Ellos no se crean en el hombre de repente, sino a base de un trabajo tenaz; no nacen con el hombre, hay que educarlos y se forman con la vida creadora.

Ante nuestros ojos se efectúan grandes conquistas del pensamiento químico, y miles de ejemplos nos muestran cómo vencen la naturaleza los entusiastas de la ciencia.

**Capítulo XXXVII****VIAJE FANTASTICO POR LA TABLA DE MENDELEÉV**

"¿Qué le parece a usted qué podría mostrarse, como el mayor éxito de la ciencia rusa?", me preguntó una vez uno de los organizadores de la Exposición de Ciencia y Técnica de la URSS, que se preparaba en Moscú.

"¡Hay que exponer algo que no exista en el mundo y que muestre la gloria y la potencia de la ciencia soviética en su gradual desarrollo, desde los tiempos de Lomonósov hasta nuestros días!" Nos interesó esta idea y después de cambiar impresiones con varios químicos y geólogos presentamos nuestra proposición. De principio ésta pareció demasiado grandiosa y fantástica, pero más tarde los críticos quedaron conformes, les gustó la idea y se pusieron a desarrollarla junto con nosotros.

\* \*

Imaginemos un edificio con el aspecto de enorme cono o pirámide de acero cromado, de una altura de 20-25 metros aproximadamente, como una casa de cinco o seis pisos. Alrededor de este cono va enrollada una espiral grandiosa dividida en casillas cuadradas que se disponen tal como en el sistema de Mendeléev, formando largas filas y grupos verticales. Cada casilla, como una pequeña habitación, se destina a un elemento distinto. Miles de espectadores descienden por la espiral, contemplando en cada casilla el destino de cada elemento, igual que se observan distintas fieras en las jaulas de un parque zoológico.

Para subir hasta el vértice del enorme cono de la tabla mendeleeviana hay que entrar en la planta baja del "elementarium". Al principio nos rodea una oscuridad tenebrosa y sólo unas lengüecillas rojas comienzan como a lamernos los pies y, poco a poco, alrededor empieza a derretirse una masa hirviente de fundición ígnea.

Nos encontramos en la cabina de cristal de un gran ascensor. Por debajo y alrededor nuestro, el océano fundido de las profundidades de la Tierra. La cabina se eleva lentamente entre lenguas de fuego y torrentes de masas fundidas.

Se presentan los primeros puntos de sustancias magmáticas solidificadas y cristalizadas. Flotan aún sobre la fundición, en masas enteras, y, gradualmente, van acumulándose en determinados lugares en forma de minerales refulgentes y rocas duras.

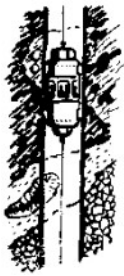
Por la derecha la cabina alcanza ya un magma enfriado y consolidado. Vemos una roca fundamental, oscura, con puntos aún incandescentes, rica en magnesio y hierro. Puntos negros de hematites de cromo y entre ellos refulgen como estrellas cristalitos de platino o iridio con osmio, los primeros metales del fondo.

Poco a poco, la cabina avanza a lo largo de esta masa pétreo de color verde-oscuro que tantas veces se disgregó en su larga historia y de nuevo fue soldada por la masa ígnea líquida. Entre los oscuros cristales verdes brillan otros cristalitos de piedra transparente. Son los cristales de diamante arrastrados al exterior por las masas derretidas, que formaron las chimeneas diamantíferas del Africa del Sur.

La cabina va ascendiendo cada vez más de prisa. En el fondo quedan los minerales verde-oscuros de hierro y magnesio. Aparecen masas compactas de rocas grises y pardas: dioritas, sienitas y gabro; entre ellas brillan a veces vetas blancas. De repente la cabina vira bruscamente a la derecha y penetra en la fundición de granito, saturada de gases, vapores y metales raros, impregnada toda la masa de niebla caliente. Cuesta mucho trabajo distinguir los cristales aislados en el caos del granito derretido. ¡Aquí la temperatura alcanza 800°!



Torrentes tempestuosos de vapores volátiles calientes se abren camino con explosiones hacia arriba. La masa granítica solidificada es estriada por los restos derretidos del propio granito. Estas son las famosas pegmatitas de las que nacen magníficos cristales de gemas preciosas, crecen los



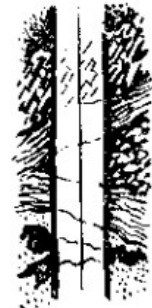
moriones ahumados, los verdes berilios, celestes topacios, cristal de roca y amatista. A través de una niebla de vapores condensados, la cabina pasa junto al magnífico cuadro de las cavidades pegmatíticas. He aquí grandes cuarzos ahumados de más de un metro de diámetro y, junto a ellos, cristales de feldespatos. Lentamente crecen en su superficie láminas de mica y más arriba alumbran los cuarzos ahumados. Maravillosos cristales de roca atraviesan dichas cavidades como un bosque de lanzas transparentes.

La cabina se eleva a mayor altura. Escobillas de color lila de amatista la rodean por todos lados. Dando un fuerte tirón se abre paso a través de la veta de pegmatita y al salir de ella observamos nuevos cuadros que atraen nuestra atención; a derecha e izquierda se ramifican vetas de distinto espesor, bien columnas enteras y compactas de minerales blancos y brillantes compuestos sulfurados, bien vetas finas, apenas perceptibles, parecidas a las ramitas de un árbol. Sectores enteros de rocas graníticas se ven llenos de cristalitos pardos de piedra estannífera y masas rosa-amarillentas de scheelita.

Se apaga en la cabina la luz eléctrica. Nos hallamos en la oscuridad. Accionando unas palancas comienza a funcionar una potente máquina que desprende invisibles rayos ultravioletas y en las oscuras paredes del túnel empiezan a encenderse nuevas luces; arden con suave luz verde los cristales de scheelita y fulguran con fuego amarillo los granos de calcita. Los minerales tornasolan, se alumbran y refulgen con luz fosforescente y entre ellos quedan las manchas negras, tenebrosas, de las combinaciones de metales pesados.

De nuevo se enciende la luz. La cabina abandona las zonas de contacto de los granitos y marcha por uno de los grandes túneles que se elevan desde el macizo de granito. Aminoramos la marcha y subimos por un verdadero filón mineral. Después, la cabina penetra en un compacto cuerpo de cuarzo. Los agudos cristales negros de minerales wolfrámicos atraviesan el cuarzo y después de varios cientos de metros aparecen los primeros brillos de las piritas, cristales amarillo-plateados compuestos de sulfuros de hierro. Les siguen piritas ele vivo y deslumbrante color amarillo.

"¡Mirad, oro!" -grita uno de nosotros. Finos nervios atraviesan el cuarzo de nívea blancura. La cabina se eleva aún varios centenares de metros. En lugar del oro aparecen cristales de galenas plumbíferas de brillo acerado, después la blenda de zinc, brillante como el diamante, distintas rocas sulfuradas difumando los colores de todos los metales, minerales de plomo, plata, cobalto y níquel. Más arriba las vetas se hacen más claras. La cabina atraviesa blando espatos calizo, cruzado por agujas cristalinas de estibnita y argentita y, a veces, por cristalitos rojo-sangre de cinabrio. Más adelante hay masas compactas amarillas y rojas de compuestos arsenicales.



La cabina se abre camino cada vez con más facilidad. Las masas fundidas calientes fueron hace mucho remplazadas por vapores calientes, después por soluciones, también calientes. Hasta la cabina salpican los surtidores de las fuentes minerales calientes. Hierven y bullen en ellos las burbujas de anhídrido carbónico, irrumpiendo entre las rocas sedimentarias que sirven de fundamento a la corteza terrestre. Vemos cómo corroen las paredes calizas dejando en ellas incrustaciones de minerales de zinc y plomo. Estos surtidores minerales calientes empujan la cabina más arriba, alrededor cuelgan de las paredes bellas concreciones calcáreas formadas por infiltración: estalactitas de aragonita parda (piedra de Karlsbad) o depositaciones de ónice marmóreo de abigarrado colorido.

Los surtidores minerales se ramifican y en chorros delgados se abren camino hasta la superficie terrestre, originando los géiseres y fuentes de aguas minerales. Nuestra cabina pasa por capas de rocas sedimentarias, atraviesa estratos de carbón, penetra en las capas de sales pertenecientes al Pérmico y ante nosotros se abre el panorama del remoto pasado de la superficie terrestre. Sobre los cristales de la cabina caen, manchándolos, pesadas gotas líquidas de la nafta y diversos betúmenes contenidos en las arenas de las rocas de sedimentación. La cabina atraviesa distintos niveles.

De nuevo moja sus paredes la lluvia de las aguas subterráneas; su camino pasa por una espesa pared de arenales duros; blandas calizas y pizarras arcillosas nos rodean, con la abigarrada sucesión de los períodos de la historia de la Tierra. Nuestra cabina avanza acercándose a la superficie. Un tirón más en su rápido movimiento y la cabina se detiene.

Llamas luminosas se levantan a nuestro encuentro y nubes blancas de vapor de agua de formas fantásticas cubren todo el cielo.

Hemos subido hasta la cúspide de la Tabla de Mendeléev. En el aire arde el elemento químico hidrógeno, convirtiéndose en nubes de vapor de agua.

\* \*

Estamos en la plataforma superior de la Tabla de Mendeléev. La empinada espiral nos conduce hacia abajo. Nos apoyamos en el pasamanos de acero cromado y comenzamos el camino.



He aquí el primer compartimento. Sobre él está escrito con grandes letras "Helio". Este gas noble, elemento raro descubierto por primera vez en el Sol, impregna toda la tierra, las piedras, el agua y el aire. El helio, gas existente por doquier, es buscado por nosotros para llenar los dirigibles. Aquí, en esta pequeña habitación dedicada al helio puede verse toda su historia, desde las líneas de color verde vivo de la corona solar hasta la negra y deslucida cleveíta,

piedra de las vetas escandinavas, de la que puede extraerse con una bomba aspirante el gas del Sol, el helio.

Asomándose con cuidado por la balaustrada pueden verse bajo el cuadrado del helio otros cinco compartimentos. En ellos lucen con letras de fuego los nombres de otros gases nobles: neón, argón, criptón, xenón y la emanación del radio, radón.

De repente se encienden las líneas espectrales de los gases nobles y todo comienza a arder con vivos colores. Los tonos anaranjados y rojos del neón se cambian por los azul-celeste del argón. Largos y temblorosos trazos de los azulados gases pesados completan este cuadro. En las ciudades lo conocemos muy bien por los anuncios luminosos de los comercios.

De nuevo se enciende la luz. Estamos ante la casilla del litio, el más ligero de los metales alcalinos. Vemos toda su historia, incluso hasta los aviones del futuro. Inclinandonos de nuevo hacia abajo vemos lucir los nombres de sus análogos: de color amarillo, el sodio; de color violeta, el potasio; el título del rubidio arde con coloración reja y el del cesio, con luz azul-celeste.



Así, gradualmente, paso a paso, elemento tras elemento, recorreremos la espiral de la gran Tabla de Mendeléev y todo lo que narramos en las páginas de este libro, toda la historia de los diferentes elementos químicos se dibuja aquí, no como aisladas palabras e ilustraciones, sino como imágenes vivas, verdaderas, en la propia historia de cada elemento.

¡Qué puede haber más fabuloso que la casilla del carbono, base de la vida y del mundo entero! Toda la historia de la sustancia viva desfila aquí ante nuestros ojos y toda la historia de la muerte de esta sustancia, cuando la vida enterrada en las profundidades se transforma en carbón y el protoplasma vivo, en nafta líquida. En el cuadro magnífico del mundo complejo de cientos de miles de las combinaciones químicas del carbono, llama nuestra atención su principio y su fin.



Aquí hay un enorme cristal de diamante. No, este no es el famoso Cullinan, cortado en pedacitos para el rey inglés; éste es Orlov, que engarzado en un bastón de oro fue el cetro de los zares rusos.

Y allá, en un extremo de esta misma habitación hay una capa de carbón. El perforador neumático horada el carbón y trozos de esta piedra opaca son elevados a la superficie terrestre por medio de una cadena transportadora.

Este es el "pan de la industria", como dijo V. I. Lenin.

Seguimos descendiendo y después de dar dos vueltas a la espiral nos hallamos ante una habitación de vivos colores; piedras amarillas, verdes y rojas refulgen con todos los colores del iris. Aquí vemos las minas del Africa Central y las grutas oscuras de Asia. Lentamente gira una película cinematográfica, mostrando cuadros de distintas minas, descubriendo el origen de los metales. Aquí está el vanadio, así llamado en honor de la antigua diosa legendaria, ya que es fabulosa la fuerza que él transmite al hierro y al acero, dándoles dureza y rigidez, viscosidad y elasticidad, indestructibilidad, imprescindible para los ejes de los automóviles. Ante nosotros, en esta misma habitación, hay ejes de acero al vanadio con millones de kilómetros recorridos y junto a ellos otros de acero común deteriorados y rotos que no resistieron incluso ni siquiera diez mil kilómetros de marcha.

De nuevo recorremos varias vueltas de la espiral. Los cuadros van cambiándose uno tras otro. Bien el hierro, fundamento del mundo y de la industria; bien el yodo, que se halla en todas partes llenando el espacio con sus átomos; bien el estroncio, refulgiendo en las rojas bengalas; o el brillante metal galio que se funde en la mano del hombre.

¡Qué hermosa es la habitación del oro! Reluce con miles de luces. Oro en las vetas de cuarzo blanco; oro plateado, casi verde, de las minas de la Transbaikalia. Corre ante nuestros ojos un chorro de oro en el pequeño modelo de la fábrica de enriquecimiento de Leninogorsk, en Altái; soluciones de oro de todos los colores del iris; el oro en la historia de la humanidad y de la civilización. ¡Metal de la fortuna y del crimen, metal de la guerra, del saqueo y de la violación! Con vivos colores desfilan ante nosotros los sótanos de los Bancos estatales con sus lingotes de oro, los cuadros impresionantes de los obreros trabajando como esclavos en las célebres explotaciones de Witwatersrand, los jefes bancarios que deciden la suerte de las compañías anónimas y el precio de la valuta oro.

Damos un paso más y nos encontramos en la habitación de otro metal, el mercurio líquido. Igual que en la famosa Exposición de París de 1937, en el centro del departamento hay una fuente donde corre, en lugar de agua, el líquido y plateado mercurio. En el rincón de la derecha una pequeña máquina de vapor marca los tiempos con sus émbolos, accionados con gas de mercurio, y a la derecha se muestra toda la historia de este metal volátil, su difusión por la corteza terrestre, gotas rojo-sangre de cinabrio de los arenales del Donbass y gotas de mercurio líquido de las minas de España.

Seguimos adelante. Tras los departamentos del plomo y el bismuto empieza un cuadro que nos resulta inexplicable. Los elementos y sus casillas se confunden entre sí. Aquí se pierde la claridad y precisión de cada compartimento. Entramos en la zona de átomos especiales del sistema de



Mendeléev. Aquí ya no hay ni rigidez ni estabilidad. Algo confuso y nuevo se presenta a nuestra vista y de pronto, entre la niebla, comienza a esbozarse un cuadro fabuloso.

Los átomos de uranio y torio no permanecen en sus sitios. De ellos se desprenden ciertos rayos y aparecen átomos de helio. Nuestros átomos abandonan sus lugares habituales y saltan a la casilla del radio, emitiendo una luz viva y enigmática, se transforman, como en los cuentos, en el gas invisible radón, comienzan después a correr en sentido contrario por la Tabla de Mendeléev y ante nuestros ojos vienen a morir al departamento del plomo.

Pero, he aquí que otro cuadro, aún más horrible, viene a substituir el anterior: ciertos átomos en rápido vuelo se lanzan sobre el uranio, lo parten en trozos golpeándole ruidosamente, el átomo de uranio se deshace en rayos brillantes, arde en lo alto de nuestra espiral en el departamento de las tierras raras, y después corre de nuevo hacia abajo por la espiral, deteniéndose en algunas casillas de metales ajenos a él, yendo a morir paulatinamente en las cercanías del platino.

¿Qué es lo que ha ocurrido con nuestros átomos? ¿Acaso no es esto una infracción de nuestras leyes y nuestras convicciones de que cada átomo es el ladrillo permanente e inalterable del edificio de la naturaleza, que nada puede cambiarlo ni transformarlo, que el estroncio es siempre estroncio, y el átomo de zinc, siempre átomo de zinc?

Nos sentimos cerca de una cruel desilusión. A pesar de todo lo que decíamos antes resulta que el átomo es inestable. Hemos entrado en un mundo nuevo donde el átomo no es inalterable, donde se le puede disgregar, no destruirlo, pero sí convertirlo en otro.

A través de la niebla del final de la Tabla de Mendeléev, entre las chispas refulgentes de los átomos voladores de helio y rayos X, bajamos por los últimos peldaños de la espiral hacia una profundidad desconocida.

Pero ahora, no es al fondo de la tierra donde bajamos, sino al fondo de las ardientes estrellas que fulguran en el cielo. Allí donde las temperaturas se miden en cientos de millones de grados, las presiones no pueden expresarse por ningún número de nuestras atmósferas y los átomos, en un caos vertiginoso, se inflaman y descomponen.

¿Entonces qué, quiere decir que todo lo que asegurábamos no es cierto?

¿Quiere decir que tenían razón los alquimistas, queriendo hacer del mercurio oro, y del arsénico y la "piedra filosofal" elaborar plata? ¿Tenían razón los fantaseadores de la ciencia que aún cien años atrás decían que los átomos se transforman uno en otro y que, en mundos complejos, inalcanzables para nosotros, nacen unos de otros?

La Tabla de Mendeléev está muy lejos de ser una tabla muerta compuesta simplemente de casillas. Representa no sólo el cuadro del presente, sino también del pasado y del futuro. Es el cuadro de los enigmáticos procesos del mundo en que se verifica la transformación de unos átomos en otros. Es el cuadro de la lucha por la existencia que domina en el mundo de los átomos.

¡La Tabla de Mendeléev es la tabla de la historia y la vida del universo! Y el átomo mismo es una partícula del universo que cambia eternamente de lugar en las complicadas filas, grupos y casillas de la Tabla de Mendeléev.

Aquí alcanzamos el panorama más maravilloso del mundo que nos rodea.



## Capítulo XXXVIII LAS CONQUISTAS DEL FUTURO

El impetuoso desarrollo actual de la Física y la Química es sólo el comienzo, la etapa inicial del grandioso progreso que se vislumbra, cada vez con mayor claridad, para la ciencia, la industria y la economía, que consistirá, como acostumbramos a decir, en la quimización, o sea, en la introducción y aplicación intensísima de la Química en todas las ramas de la ciencia y la Técnica. Pienso que se inicia el siglo de la Química, en el que, no sólo todos los elementos químicos serán subordinados al genio humano, sino que también, se despertarán todas las fuerzas del átomo y se utilizarán las grandiosas reservas de energía que se ocultan en cada molécula, átomo y corpúsculo eléctrico. Parecerán un poco fantásticas las páginas que siguen, pero la fantasía del presente se convierte con frecuencia en la técnica del futuro.

¡Las fantasías de Julio Verne que aún ahora nos apasionan, se han hecho realidad el día de hoy! El notable sabio ruso K. Tsiolkovski nos muestra una fantasía todavía más alada y, a pesar de que ha transcurrido no mucho más de medio siglo desde el momento que anunció sus atrevidas profecías, mucho de lo que él escribió entonces se ha convertido en realidad. Por ello no deben asustarnos las fantasías científicas, aunque tampoco debemos considerarlas como algo ya existente debemos luchar por ellas, ya que la fantasía es uno de los métodos del trabajo científico. No en balde Lenin dijo que la fantasía es una cualidad de grandísimo valor. En vano se piensa que sólo es necesaria para el poeta. Hasta en las matemáticas es precisa, e, incluso, el descubrimiento del cálculo diferencial e integral hubiera sido imposible sin ella. Así, pues, vamos a fantasear junto con ustedes sobre lo que será de nuestra técnica en la era del florecimiento de las ciencias químicas.



Antes que nada será vencido el elemento aéreo, no sólo porque los aviones y cohetes, elevándose por encima de las nubes a alturas de cincuenta y cien kilómetros, volarán con velocidades muy superiores a la del sonido, sino también porque la Química dominará a la substancia aérea y la supeditará al poder del hombre.

En las grandes fábricas diseminadas por toda la tierra, se extraerá el helio del aire, se separará el oxígeno y el nitrógeno, y ríos enteros de oxígeno líquido correrán por tuberías refrigeradas artificialmente hasta las potentes fábricas metalúrgicas donde la fundición de metales en los altos hornos se verificará con

tanta sencillez como la vaporización del agua en una probeta de laboratorio.

En tales fábricas se obtendrá nitrógeno puro, transformándolo mediante fuertes descargas eléctricas en ácido nítrico. El nitrógeno vitalizador, en forma de abonos, se llevará en enormes cantidades a nuestros campos, duplicando y triplicando sus cosechas. Y por otros tubos de estas instalaciones de la industria del aire fluirán torrentes de gases nobles, el neón, el criptón y el xenón en estado líquido que a través de tubos delgados pasarán a las fábricas de bombillas eléctricas.

Pero aún más maravillosa será la victoria sobre las capas ozónicas que se forman por influencia de los rayos ultravioletas del sol a altura de decenas de kilómetros.

Sabemos que estas capas de ozono envuelven la Tierra como un espeso manto, rechazando las radioondas y reteniendo la acción vivificadora de las vibraciones ultravioletas.

Y figurémonos el cuadro fantástico siguiente: enormes columnas electrificadas de compuestos amoniacales se elevan a una altura de varios centenares de kilómetros, hasta alcanzar las famosas capas de ozono; éste se descompone y se forman



"ventanas" a través de las cuales se infiltrarán libremente desde el Sol las ondas electromagnéticas de los rayos ultravioletas. En unos lugares destruirán la vida, en otros le transmitirán fuerza vigorosa, sirviendo de manantial de nueva energía viva.

Pero aún más fantástica nos parece la conquista de las profundidades. Océanos de magmas hirvientes bajo nuestros pies, cantidades colosales de calor ocultas en las entrañas terrestres, todo esto se hará accesible para el hombre.

Por tuberías especiales, a profundidades de 20-30 kilómetros, el hombre alcanzará capas calentadas hasta 500-1000° y utilizará el calor del seno terrestre en las termocentrales. Cesará la destrucción de los bosques y no se quemará inútilmente el carbón, tan necesario para los procesos químicos. Se acabará con el uso del petróleo en las instalaciones caloríficas.

Millones de calorías traerán los tubos desde las profundidades hasta la superficie terrestre.

Además de dar calor a las viviendas y fábricas, calentarán regiones enteras con su cálido aliento, fundirán los hielos de los países polares, cambiarán el clima. Potentes instalaciones frigoríficas colocadas en distintos lugares de los desiertos los convertirán en florecientes oasis.

Pero para el hombre esto será insuficiente. ... Para el hombre será poco el calor que por orden suya se derrame por toda la superficie terrestre corrigiendo los errores del Sol. El extraerá del subsuelo las riquezas que allí se esconden.

Ahora ya, según la profecía genial de Mendeléev, empieza en nuestro país una etapa nueva en la lucha por el dominio del subsuelo.

En profundidades inalcanzables para los túneles de las minas se quema el carbón y los productos de su ignición se elevan a la superficie por tubos y se emplean en la industria. No hacen falta minas, ni el duro trabajo de los obreros perforadores y demás mineros del carbón; el camino largo y complicado de la automecanización y telemecánica nos da la posibilidad de poseer las reservas carboníferas sin necesidad de bajar a las minas.

El hombre saca ya el azufre de la profundidad de los yacimientos terrestres. El vapor de agua derrite el azufre en el fondo y sus chorros líquidos emergen a la superficie; si el vapor de agua, sobrecalentado hasta 500-600°, se dirige a las velas minerales en que se concentran los pesados sulfuros metálicos, entonces, en lugar de azufre, se elevarán por los tubos, construidos de un nuevo material resistente, los compuestos sulfurados de plata, plomo y zinc.



Potentes capas de pizarras serán quemadas en la profundidad, llevando a la superficie gases combustibles. Las sales serán disueltas y extraídas a la superficie en forma de soluciones líquidas. Soluciones ácidas concentradas disolverán las sustancias naturales, dando sales ya preparadas para las

fábricas electrolíticas. Toda la corteza terrestre será atravesada por millones de tubos de acero que extraerán de las distintas profundidades las sustancias necesarias para el hombre.

Todavía más decisiva será la victoria sobre la materia cuando la Química aprenda a reunir los átomos dispersos de uranio y utilizar su energía.

Actualmente los físicos dicen que las reservas mundiales de energía del uranio son colosales. Aprendiendo a fisiónar estos átomos desintegrables de uranio, el hombre construirá nuevos motores, que trabajarán sin fallos y sin descanso miles de años, sirviendo de fuente de energía fabulosa y que pondrán en movimiento aviones y navíos.

En las nuevas instalaciones químicas toda la energía del mundo se pondrá al servicio del hombre. Los rayos solares que tan estérilmente caen sobre la superficie terrestre serán recogidos y concentrados por enormes espejos y transformados en calor. Las cocinas solares de California y la URSS, primeros ensayos de aplicación de la energía del Sol, se harán habituales para cada persona.

Se utilizarán totalmente las fuentes de carbón blanco y azul, cuya energía será capturada por centrales enormes dispuestas en las orillas de los océanos, mares y ríos. ¡El hombre será dueño de tan inmensas cantidades de energía que podrá hacer verdaderos milagros! ¡Y entonces el hombre dominará el espacio, la distancia y el tiempo!... Velocidades de varios miles de kilómetros por hora se harán usuales; las distancias entre las ciudades se reducirán al mínimo y dejarán de aislar a las personas. Nuevas formas de vida, nueva reorganización social del mundo, podrán borrar con el tiempo todas las fronteras del mundo. La vida del hombre constituirá el objetivo fundamental de la creación científica. El hombre aprenderá a fisiónar los átomos utilizando métodos precisos, podrá, con la ayuda de los rayos radiactivos y las partículas emitidas por enormes ciclotrones, hacer con los átomos todo lo que crea necesario: romperlos en pedazos, transformar los átomos pesados en ligeros y, al revés, de los ligeros hacer pesados. Obteniendo por vía artificial distintos tipos de átomos, el hombre aprenderá a emplearlos. Los átomos que viven solamente un segundo o un minuto serán introducidos en el organismo como nuevos recursos curativos para la lucha contra los virus y bacterias perniciosas. El hombre dominará la célula viva gobernándola con ayuda de la nueva Química. Pero para los grandes procesos químicos sabrá emplear también los microorganismos. Ya hoy se cultivan en los institutos microbiológicos, en pequeños matraces con gelatina, muchas bacterias útiles y necesarias.

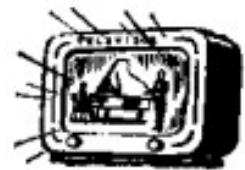


*Figura 38.1 Universidad de Moscú, erigida sobre los montes de Lenin*

El hombre aprenderá a obtenerlas en cantidades enormes y a diseminarlas por los campos de cultivo. Las bacterias darán al campo fertilizantes, ácido nítrico, y descomponiendo el yeso extraerán el azufre. El hombre convertirá las bacterias en fuerza vital, en un agente poderoso de la Química y las utilizará para la obtención de los metales dispersados en los mares, como hacen algunos diminutos acantáridos, que absorben y concentran en sus cuerpos el estroncio de las soluciones marinas.

En la lucha por el subsuelo será utilizada toda la masa mineral. ¡Nada de residuos, nada de desperdicios! Todo estará al servicio de la industria, toda la Tabla de Mendeléev será utilizada y los elementos más difundidos, el silicio y el aluminio, se harán base de la vida.

Las sustancias "ultrararas" perderán el sentido de su denominación, penetrando firmemente en nuestra vida. Con su ayuda fabricaremos pantallas de televisores y podremos, sentados en nuestra



habitación, mantener conversaciones con un lejano auditorio que veremos ante nuestros ojos en la pantalla del televisor. Los elementos más raros servirán para las reacciones químicas que en las grandes fábricas podrán transformar las sustancias en productos necesarios para la vida.

Una importancia especial adquiere la Química orgánica. En lugar de los centenares de miles de compuestos carbonados conocidos hoy, el hombre obtendrá millones de nuevas estructuras, cuando sepa utilizar en sus nuevas instalaciones temperaturas próximas al cero absoluto, temperaturas de millones de grados y presiones de cientos de miles de atmósferas.

Esta será la nueva Química del carbono. No serán sólo los materiales plásticos con los que pueda elaborarse cualquier cosa (desde botones hasta aviones ligeros), no sólo el caucho artificial que comienza a substituir al natural con éxito, no sólo los magníficos colores que hacen innecesarias las plantaciones de índigo; no, éstas serán sustancias absolutamente nuevas, próximas a la verdadera molécula orgánica, al protoplasma, a la albúmina... Serán sustancias alimenticias artificiales que harán innecesario el complejo laboratorio químico en el organismo de los animales.

La nueva Química sintética sabrá emplear también otros elementos para edificar compuestos complejos como los que supo construir del carbono, oxígeno e hidrógeno la Química orgánica. Nuevas moléculas de silicio, germanio, boro y nitrógeno ya se me dibujan ahora en los magníficos compuestos que lograron obtener los químicos durante los últimos años, construyendo el ciclo bencénico, no de carbono e hidrógeno, sino de otros dos elementos terrestres: el nitrógeno y el boro.

Pero para que la Química conquiste el mundo se necesita un gran trabajo científico; hacen falta muchos y potentes institutos científicos con instalaciones perfeccionadas que permitan trabajar a altas temperaturas y presiones, institutos que deberán fusionarse con los laboratorios industriales. Aquí, la victoria será lograda por gentes nuevas audaces, pertrechadas de valiente imaginación científica, ardiendo en el fuego de nuevas búsquedas. Con tales colores se me representa el porvenir a la luz del día de hoy. Pero estos colores son tomados de la naturaleza que nos rodea y de nuestros conocimientos. Aún más majestuosos serán los cuadros de un futuro más lejano; pero para esto, para describirlos, nos faltan por ahora palabras, colores e imágenes...



El objeto fundamental de las búsquedas apasionadas e investigaciones audaces es la felicidad humana. La vida nueva nace como resultado de las victorias sobre la naturaleza y sobre las rutinas del propio hombre.

Una lucha difícil y obstinada espera al hombre en este camino. Pero los jalones del futuro ya están puestos y las tareas marcadas. La lucha por la naturaleza, por el dominio de sus fuerzas, por la conversión de todo lo inútil en útil, es una de las palancas más poderosas para la creación de una vida nueva.

## Capítulo XXXIX FINAL DEL LIBRO

He aquí el fin del libro. Hubimos de convertirnos, junto con ustedes, en un pequeño átomo "viajero" para poder recorrer los complejos caminos de "peregrinación" de los elementos, mirar al fondo de la Tierra e, incluso, al cielo, a los astros



incandescentes, para observar cómo se comportan los diversos átomos en el universo, en las manos del hombre, y qué es lo que con ellos se hace en la industria y economía nacional.

Largo es el camino que recorre el átomo en su historia y no conocemos ni el principio ni el fin. Aún es para nosotros un enigma el nacimiento de los átomos y el comienzo de su "peregrinación" en la Tierra. Tampoco es claro para nosotros su destino en el futuro, en el complicado porvenir de nuestro planeta.

Sabemos solamente que unos átomos vuelan fuera de los límites de la Tierra y se difunden en los espacios interestelares, donde por cada metro cúbico no hay más de un insignificante átomo y donde éstos ocupan tan poca parte del espacio universal, que su magnitud tendría que expresarse por la unidad colocada detrás de treinta Ceros después de la coma.

Sabemos que otros átomos se difunden en la propia corteza terrestre, en sus terrenos, aguas y océanos; hay otros que lenta y gradualmente vuelven a la profundidad obedeciendo a las leyes de la gravitación universal.

Unos átomos son constantes, invariables, tan consistentes como las bolas de hueso del billar, limpias y blancas; otros, por el contrario, elásticos como pelotas de goma, se aplastan, chocan unos contra otros, se entrelazan en complejas estructuraciones, circundados por campos eléctricos; unos terceros se desintegran hasta el fundamento, hasta el fondo mismo de sus núcleos, emitiendo energía y transformándose en insólitos gases, cuyo plazo de vida se determina exactamente por las leyes de la desintegración y se miden en millones de años para unos, años para otros, segundos e insignificantes fracciones de segundo para los terceros.

El mundo que nos rodea se compone de más de cien elementos químicos y ¡qué gran variedad, cuán distintos son los rasgos de estos átomos y qué diversas son las combinaciones que forman entre sí!



*Figura 39.1 Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS*

Sólo ahora comenzamos a leer de manera nueva estas páginas magníficas de la historia de los elementos químicos de la Tierra.

La Geoquímica sólo ha entreabierto un mundo nuevo de la naturaleza; sólo ha comenzado un trabajo pertinaz, la observación de la conducta de cada elemento en la corteza terrestre, y ha surgido ya la necesidad de abrir un registro sobre el comportamiento de cada átomo, profundizar en sus rasgos característicos, conocer sus defectos y virtudes, en una palabra, estudiar con el mayor detalle y profundidad cada átomo y constituir, a partir de hechos sueltos, la historia de su destino, la historia del universo.

Cada eslabón de esta historia depende de propiedades aún no descubiertas del átomo, y leyes complejas y profundas regulan su destino tanto en todo el Cosmos, como en la Tierra y en manos del hombre.

Necesitamos conocer los caminos seguidos por los átomos, no por simple curiosidad de saber cómo se conducen en la Tierra, no nos hace falta aprender a manejarlos de la manera que más convenga a la humanidad para su progreso técnico, económico y cultural. Engels decía que debemos estudiar la naturaleza para transformarla. En esto reside la tarea, grande y honrosa, de los geoquímicos.

Sí, debemos dominar los átomos hasta el fin y saber hacer con ellos todo lo que se quiera; por ejemplo, obtener aleaciones especiales que sean más duras que el diamante, para lo cual hay que conocer cómo se disponen los átomos en sus complejas edificaciones.

Debemos aprender a descifrar las propiedades de las combinaciones metálicas.

No queremos ni debemos andar probando, sino saber con exactitud.

Debemos obtener y extraer la mayor cantidad posible de átomos, tales como

los átomos de cesio o talio que ceden con facilidad sus electrones exteriores.

Con ellos deseamos construir los más perfectos receptores de televisión, que se guarden en el bolsillo, aparatos de cine sonoro del tamaño de un libro corriente.

En una palabra, queremos supeditar el átomo por completo, someterlo a nuestra voluntad, la voluntad triunfante del hombre, transformador de todas las fuerzas feroces y nocivas de la naturaleza en fuerzas útiles. Queremos colocar a los pies de la humanidad trabajadora toda la naturaleza, la tabla entera de los elementos de Mendeléev.

Este es el sentido y la misión de nuestro trabajo geoquímico, he aquí el objetivo que perseguimos cuando queremos comprender y dominar el átomo.

Con estas palabras finalizamos nuestro prolongado relato.

Pero, amigos, ¿acaso puede haber fin para la ciencia o el estudio?

Seamos completamente sinceros.

Aquí, en el mismo final de nuestro libro, nos encontramos, en esencia, en el comienzo de nuestros conocimientos, e, incluso si releemos varias veces este libro, observamos atentamente diferentes ilustraciones e intentamos recordar el comportamiento de determinados elementos, debemos reconocer que estamos sólo en el principio.

Aún tenemos que leer, pensar y trabajar mucho hasta llegar a comprender algo de los secretos de la naturaleza que nos circunda.

¿Qué hacer en adelante? Antes que nada hay que estudiar las ciencias básicas: Química, Física, Mineralogía y Geología. Estas ciencias no pueden pasarse de largo y para convertirse en un buen investigador de las riquezas naturales de nuestro país hay que releer, medítadamente, muchas veces las páginas de estos libros y dominar los principios de las ciencias químicas y mineralógicas.



Hay que leer los libros con toda atención, introducirse reflexivamente en el destino de cada elemento, estudiar su comportamiento en la tierra, en el agua, en el aire, en la técnica, en la agricultura y en este camino siempre nos servirá de estrella polar la Tabla de Mendeléev. Observen la Tabla de Mendeléev que se adjunta en este libro, o, mejor aún, dibújenla en una hoja grande de papel, poniendo en cada casilla el símbolo químico y peso atómico del elemento químico correspondiente; escriban debajo la cantidad que de él existe en la corteza terrestre y cuelguen esta tabla en su habitación de manera que siempre esté a la vista.



La ley periódica de Mendeléev enseña mucho.

Ella muestra cómo están vinculados los átomos entre sí, no sólo en la Tabla, sino en la propia naturaleza.

Pero la Química y Geoquímica las aprenderán ustedes no sólo en los libros, cuadros y tablas. Podrán conocer las nuevas ideas químicas en los museos, cuyas exposiciones de Mineralogía y Geoquímica les enseñarán mucho, donde los ejemplares se seleccionan frecuentemente por elementos químicos aislados.

Las grandes fábricas químicas y metalúrgicas también les enseñarán Química, Mineralogía y Geología.

Cualquiera que haya visitado el combinado de Magnitogorsk, toda la vida recordará lo que se hace con el mineral de hierro y cómo de complejas combinaciones de elementos químicos, después de ser tratados convenientemente en los altos hornos y talleres especiales, nacen, primero hierro rico en carbono y, después, verdadero acero.



*Figura 39.2 Instituto de Minas de Leningrado*

En Solikamsk podemos conocer los destinos químicos y geoquímicos del potasio y el magnesio. En las fábricas de superfosfatos de Leningrado, Voskresensk (cerca de Moscú), Ucrania, los Urales y otros lugares, puede verse cómo los apatitos y las fosforitas se convierten, por medio del ácido sulfúrico, en abonos fosfatados.

Observando los procesos que se verifican en los hornos fogueantes de las fábricas de aleaciones férricas de Cheliábinsk, se comprende cómo se forman en las profundas entrañas de la Tierra los magmas fundidos y cómo de ellos se separa por cristalización la substancia.

En una palabra, por doquier en las grandes fábricas transcurren episodios sueltos de la historia de los átomos: los átomos de diversos metales se combinan entre sí a base de complicados procesos,



se obtienen diferentes sustancias, las cuales vuelven a unirse con otros elementos, formando nuevas combinaciones destinadas a la producción de aceros de aleación, complejos superfosfatos y sales de potasio, manganeso, vanadio y circonio.

La Química se aplica cada vez más en los procesos industriales. Para nosotros es ya poco labrar simplemente la piedra y tallar adoquines para el empedrado y puntas de flechas; ahora procuramos obtener de ella, aplicando diversos tratamientos químicos, la más alta calidad y mejor combinación de diferentes sustancias.

Los procesos químicos nos rodean a cada paso y debemos observarlos atentamente y aprender a descifrarlos.



*Figura 39.3 Un geoquímico estudia los afloramientos rocosos consistentes en torrentes de lava solidificados*

La Geoquímica y las nuevas ideas mineralógicas se las enseñará la propia naturaleza, sus yacimientos metálicos, salinos y minerales. En ningún lugar aprende el joven investigador las leyes de las transformaciones químicas tal como en la misma naturaleza; y por esto invitamos a todos a estudiar afanosamente, en primavera y verano, en invierno y otoño, los procesos químicos de la Tierra.



Contemplándolos, verán durante la temprana primavera cómo los dorados brillos de la pirita son difuminados por la eflorescencia verde-clara de las caparrosas en las arcillas negras de los sedimentos del período Jurásico, cerca de Moscú. Verán el cuadro grandioso de las mutaciones y formación de los minerales ferruginosos en las minas del monte de Magnítnaia, donde las antaño potentes formaciones de hierro magnético sobre la superficie terrestre fueron transformándose, primero, en una masa parda de mineral nontronita y, más tarde, se cubrieron de una capa de óxidos de hierro rojo-pardos y herrumbre.

En todas partes, en las minas y canteras, en las cúspides de las cordilleras y en los profundos valles a lo largo de las denudaciones de los ríos, por doquier se ve como cambia la substancia, cómo un mineral se transforma en otro, cómo la substancia nueva se cambia en una tercera. Hay que ser sólo atento en sus observaciones y pronto cada uno de ustedes podrá ver que todo cambia, a veces lenta, tranquilamente, a veces de repente, sometándose a las grandes leyes

de la naturaleza. "Todo fluye" -decían los antiguos filósofos griegos. "Todo se transforma y cambia"- dicen los geoquímicos de nuestros días.

## **Capítulo XL** **EL GEOQUÍMICO EN EL CAMPO**

### **INTRODUCCION**

El capítulo presente consta de dos partes. En la primera se expone una serie de consejos prácticos para el geoquímico que se dedica a la exploración de yacimientos útiles y al estudio geoquímico de una región determinada. En la segunda, se enumeran de forma breve los métodos fundamentales de trabajo en el orden en que deben ser realizados por el geoquímico durante su labor de investigación en el terreno.

Ambas están basadas en una regla bien estudiada y asimilada por los investigadores en estos últimos tiempos: el trabajo científico en el terreno se compone en general de tres etapas, a saber, 1°, etapa preparatoria, 2°, realización práctica de la investigación, 3°, traslado y elaboración ulterior de los materiales recogidos.

No cabe ninguna duda de que estas tres etapas son igualmente importantes y cada una debe ser estudiada y meditada con atención especial.



*Figura 40.1 Tiendas de campaña de geólogos en los límites del desierto de Kara-Kumi*

"Viaja bien quien mucho sabe y reflexiona" -dijo cierto explorador científico; otro añadió con mucha justeza, que el arma más aguda e importante de que dispone el explorador científico es su vista, de cuya atención y penetración no deben escapar los fenómenos y detalles más insignificantes, ya que de ellos se deducen con frecuencia grandes y fundamentales conclusiones.

### **PARTE PRIMERA**

#### **1. EL EQUIPO**

La elección correcta y bien calculada del equipo es una cuestión importantísima para el geoquímico, pues, además del instrumental geológico corriente, debe tomar consigo varios aparatos e instrumentos complementarios para las investigaciones de carácter químico y físico. Antes de nada, hay que tener en cuenta los medios de transporte de que dispone la región dada, y, con arreglo a ello, analizar escrupulosamente el peso y las dimensiones convenientes del equipo al elaborar el plan de la expedición. No debemos olvidar, que un equipo incompleto es peligroso para la expedición, sin embargo, en muchos casos tampoco es deseable un exceso del mismo que puede en el futuro dificultar el desplazamiento y movilidad de la expedición y crear

impedimentos que la obliguen a retrasarse e, incluso, la priven de la posibilidad de alcanzar ciertos sectores de difícil acceso.



El equipo general de cualquier explorador geológico debe contar antes de nada con martillos de diversos tipos y dimensiones. Para las rocas de sedimentación y blandas es preciso que el martillo reúna al mismo tiempo condiciones de martillo y de pico ligero; su mango debe tener unos 40 centímetros de longitud y estar encajado de modo que en las manos quede la parte delgada y que el extremo ancho no permita al martillo salirse al golpear. Para las rocas duras se necesitan martillos más pesados (de 1 a 2 kg) con mangos de unos 70 centímetros de longitud. El mango debe ir graduado en centímetros para tener siempre a mano una escala exacta de medición.

Para grandes trabajos hay que disponer, además, de un mazo pesado, hasta de 5 kg de peso, así como de un pequeño martillito de peso ligero y mango corto, de 20 ó 30 cm, para arrancar trozos pequeños o para dar a los ejemplares la forma determinada que se desee.

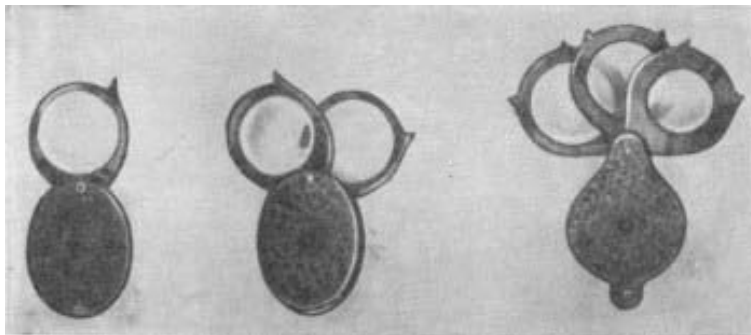


Figura 40.2 Lupas mineralógicas de distintos grados de amplificación

Además del martillo, hay que proveerse de un juego de cinceles de formas y dimensiones variadas. En el equipo debe haber también: cristal de aumento (lupa de amplificación no superior a 8), brújula, cinta métrica, cuchillo (cortaplumas), libreta de notas, lápiz, etiquetas preparadas y numeradas especialmente de dimensiones 6×4 cm., gran cantidad de papel de envolver y embalar, varios tarros de vidrio para guardar los cristales y los ejemplares delicados y valiosos, cajas sólidas y fuertes de distintos tamaños; para los cuerpos terrosos y de estructura poco consistente es importante llevar varias bolsas de lona numeradas de diferentes tamaños.

Aparte del equipo indicado es imprescindible un aparato fotográfico ligero, un barómetro aneroide y un completo de lápices de colores para el diseño de esquemas geológicos y geoquímicos.

Siempre es conveniente llevar consigo pequeños frascos con ácidos de distinta concentración, carbón vegetal de buena calidad, un alambre de platino, sosa y bórax. Para trabajos de carácter más permanente, este equipo debe completarse con una serie de instrumentos especiales.

Una operación a la que hay que prestar mucho cuidado es el empaquetamiento y distribución del equipo. Parte debe embalarse en sacos fuertes impermeables a la humedad, adaptados para llevarlos en la espalda (mochilas); otra parte debe embalarse en cajones apropiados a los medios de transporte existentes en la región dada. Esta cuestión requiere gran experiencia y máximo de atención para no incurrir en graves errores.



## 2. EMPAQUETAMIENTO DE LOS MATERIALES ESCOGIDOS

El empaquetamiento y transporte de los materiales mineralógicos hallados constituye una tarea seria y complicada a la que hay que dedicar la mayor atención.



*Figura 40.3 Pamir Oriental. Curso alto del río Langar*

El empaquetamiento hay que hacerlo con todo cuidado y envolver cada ejemplar en papel aparte con su etiqueta correspondiente. Debe tomarse como regla general el no envolver en un mismo papel varios ejemplares juntos por pequeños que estos sean, sino siempre empaquetar cada ejemplar por separado. ¡Cuántas colecciones magníficas se perdieron por culpa de un embalaje imperfecto, sobre todo, los ejemplares de minerales blandos! Por esto, es necesario previamente seleccionar los minerales, separando los duros de los blandos, y empaquetarlos aparte. Cada ejemplar debe ir envuelto en 2 ó 3 hojas de papel, pero en ningún caso deberán colocarse estas hojas juntas de antemano. La etiqueta de cada muestra, doblada en dos, se coloca, no directamente en contacto con el mineral, sino entre la primera y segunda hoja. Para escribir en las etiquetas se emplea lápiz corriente, en ningún caso hacerlo con lápiz tinta.

Los cristalitos aciculares frágiles y delicados deben envolverse primero en papel de seda y algodón y sólo después en una hoja grande de papel.

El empaquetamiento de los materiales reunidos por la expedición transcurre por una serie de fases a las que hay que prestar especial atención. La primera consiste en recoger y trasladar los ejemplares al campamento. Durante mis cincuenta años de actividad en este sentido, elaboré el siguiente método práctico. Durante la recolección de materiales mineralógicos y geoquímicos, todos los ejemplares hallados por cada grupo de la expedición se trasladan a un lugar cualquiera (por lo general, cerca del punto de estacionamiento provisional) en cantidad bastante mayor de la requerida.



*Figura 40.4 Orilla abrupta derecha del río Angrén en Tashkent, formada por sedimentaciones de loess*

Al terminar la jornada de trabajo, por la tarde, se selecciona todo el material reunido, se eligen los ejemplares mejores y más típicos, se les da forma, y se colocan con mucho cuidado en la mochila. Una vez en el campamento, se colocan los ejemplares en lugar seguro y seco.



*Figura 40.5 Cristales de turmalina negra*

Al cabo de determinado período de tiempo se examinan de nuevo, se seleccionan definitivamente, y se les prepara, envolviéndolos en papeles, para su embalaje posterior en

sólidos cajones, de forma que el peso total de cada cajón no exceda de 50 kilogramos. No es recomendable utilizar grandes cajas de embalaje porque se rozan y desgastan las piedras, además, durante la carga, descarga y transporte los cajones muy pesados pueden deteriorarse. Los materiales deben ser enviados directamente por la propia expedición. Dejar ejemplares al cuidado de la población local suele traer funestas consecuencias y las colecciones o llegan siempre con gran retraso a su destino o en muchos casos, se pierden.

Una vez recibidos los cajones con materiales, hay que seleccionar escrupulosamente todos los ejemplares y colocarlos, con sus etiquetas, en cajas convenientes. La confusión de las etiquetas causa daños irreparables y, frecuentemente, conduce a conclusiones erróneas y peligrosas.

La primera cuestión que se plantea ante el geoquímico durante su trabajo de recolección es: ¿de qué forma y en qué cantidad tomar los minerales? A esta pregunta es difícil contestar, pues una selección correcta del material mineralógico se asegura sólo a base de larga experiencia y gran conocimiento de la naturaleza. Indudablemente hay que poseer cierto instinto artístico para que el ejemplar elegido responda por su forma y color a las características del mineral en cuestión. Por esto, a ciertos ejemplares no se les puede dar una forma determinada, para otros, por el contrario, son deseables dimensiones y configuración definidas, por ejemplo, 9×12 ó 6×9 cm.

### 3. SELECCION DE MATERIALES EN LAS EXPLORACIONES GEOQUÍMICAS

La exploración y el propio método geoquímico de investigación requieren una selección especial de los materiales hallados. Por cuanto que el trabajo ulterior del geoquímico está ligado con investigaciones de carácter mineralógico, químico, espectroscópico y roentgenológico, la selección de materiales supone una tarea de gran responsabilidad, pues, de la calidad y justeza con que se efectúe depende en alto grado el éxito del análisis geoquímico. ¿Cómo debe realizarse esta recolección?



- Antes que nada hay que reunir una cantidad suficientemente grande de material, no sólo para las investigaciones ópticas, sino también para las determinaciones químicas, teniendo en cuenta que para realizar un análisis químico detallado, con frecuencia es preciso enriquecer la muestra objeto de estudio, liberándola de otros minerales ajenos y complementarios. Por ello se necesitan decenas de kilogramos de ejemplares de las rucas y compuestos minerales más característicos.

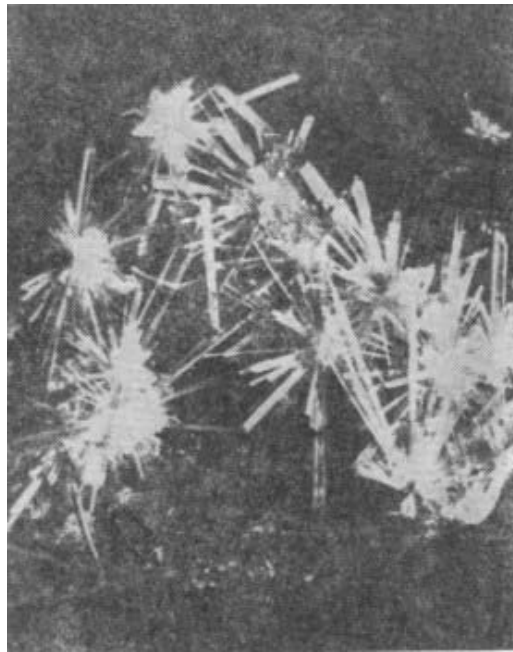
- Para las investigaciones mineralógicas también se requiere reunir minerales aislados. Esto es necesario para poder establecer el orden de sucesión en que se verificó la formación de los minerales, así como para seleccionar ejemplares buenos y puros de los minerales principales destinados al análisis.



- Es preciso reunir material no sólo para las investigaciones de laboratorio, sino también para la conservación de ejemplares típicos de museo. Esta tarea es importante no sólo para fines de carácter puramente expositivo: los ejemplares grandes y típicos permiten comparar estos minerales con otros ejemplares de estos mismos minerales, pero procedentes de otros yacimientos.



El análisis comparativo es uno de los métodos de investigación del naturalista. El investigador geoquímico no debe cometer los errores de la antigua escuela mineralógica, debe dedicar muy seria atención a todo indicio, por pequeño que sea, de cualquier elemento químico; incluso, las partículas más insignificantes, productos de la erosión por el aire y las aguas, deben ser recogidas y estudiadas escrupulosamente. En general, como regla directriz, hay que recomendar a todos los exploradores geoquímicos que recojan y lleven consigo todo el material posible, cuanto más mejor. Es preferible tirar después lo que sobre que no llegar a reunir todo el material correspondiente al complejo de minerales y elementos químicos de la región objeto de estudio.



*Figura 40.6 Cristales de yeso*

Al efectuar los trabajos de recolección de minerales no hay que tranquilizarse con la idea de que regresando otra vez a este lugar se recogerá nuevo material complementario. Estas esperanzas no siempre se realizan y, con frecuencia, se obtiene una colección incompleta, casual y en muchos casos, de poco valor.

#### **4. ANOTACION DE LAS OBSERVACIONES**

La anotación de las observaciones, durante el trabajo directo sobre el terreno, es una cuestión muy importante y seria. Cierta hombre de ciencia dijo, con perfecta justeza, que el viajero e investigador debe llevar siempre el lápiz colgado del cuello con una cuerda; cuanto más a mano se halle el lápiz, tanto más frecuentes serán las anotaciones. Estas pueden realizarse de dos maneras. Ante todo, en la etiqueta adjunta a cada ejemplar hay que apuntar no sólo las indicaciones exactas del lugar y fecha en que fue recogido el ejemplar, sino también las condiciones en que fue efectuado el hallazgo. Cuanto más precisas sean las anotaciones, tanto más fácil será utilizar el material recogido.

Sin embargo, el registro principal se hace en el diario de observaciones, que debe ser objeto de atención constante por parte del investigador. El éxito de muchas investigaciones depende en gran parte de la escrupulosidad, meditación y plenitud con que se hagan las observaciones diarias. Las anotaciones deber hacerse primeramente en el lugar de trabajo, abarcando todas las



observaciones hechas en dicho lugar y apuntando también las ideas que acuden a la mente. Al finalizar el día debe hacerse un resumen de todo el material, llevando al diario todo lo que se ha hecho durante este tiempo. Es de gran importancia incluir dibujos esquemáticos, hechos a mano, de los lugares donde se realizó el trabajo y donde fueron hallados los diferentes ejemplares. La plenitud y exactitud de las anotaciones en el diario son, en general, la mejor muestra del trabajo, y una de las más grandes faltas que pueden cometer los investigadores en su trabajo práctico consiste en confiar en su memoria. Añadir de memoria datos suplementarios en el diario o en las etiquetas conduce a conclusiones erróneas. Es necesario subrayar, que llevar bien el diario de observaciones es tarea francamente difícil. De ordinario el registro de las anotaciones se hace sólo por las tardes, al terminar el fatigoso trabajo del día, cuando el explorador está ya cansado y ansía descansar.



*Figura 40.7 Esquisto micáceo con inclusiones cristalinas de granate rojo*

A veces es precisa gran fuerza de voluntad para dedicar aunque sólo sea 15 minutos a apuntar las observaciones hechas durante el día. Con frecuencia se comienza a abandonar el diario a causa de la fatiga (a mí mismo me ocurrió esto en varias ocasiones). Entonces es preferible hacer un día de descanso y dedicar unas horas a poner con tranquilidad todo el material en orden.

Los libros con las anotaciones deben conservarse cuidadosamente; no entregarlos a nadie ni durante el trabajo ni después de éste, ya que constituyen el documento fundamental que debe llevarse siempre consigo junto con otros documentos importantes de la expedición.

Después de regresar de la expedición y de comprobar y poner en orden la colección, comienza la segunda fase, o sea, hacer el resumen de los trabajos realizados. A este momento le concedo una gran importancia y lo coloco, en muchos aspectos, por encima del resumen definitivo, ya que aquél contiene habitualmente las observaciones directas hechas sobre el terreno y por esto mismo adquiere un valor no siempre inherente al resumen definitivo elaborado con gran detalle, en el

que influyen la literatura leída, la opinión de otros investigadores y muchas otras circunstancias accesorias.

El resumen escrito bajo la primera impresión del propio viaje, es con frecuencia mucho más correcto y profundo, desde el punto de vista del planteamiento de los propios problemas, que el informe posterior premeditado y rehecho.

## PARTE SEGUNDA

### 1. METODOS Y ORDEN EN QUE DEBEN REALIZARSE LOS TRABAJOS



Antes de partir la expedición, el geoquímico debe realizar varios trabajos preliminares además de la preparación del equipo, del que ya hemos hablado antes. Estos trabajos preliminares consisten en lo siguiente:

Antes de nada es necesario ponerse al corriente de la literatura existente sobre la región y la cuestión cuyo estudio se proyecta. Si la tarea consiste en la búsqueda de un elemento químico determinado, entonces hay que estudiar con todo detalle sus propiedades químicas y sus combinaciones.



*Figura 40.8 Relieve característico de la región de Dzhatalal-Abad en la RSS de Kirguizia*

En todos los casos, el investigador debe además hacer conocimiento en los museos con los minerales característicos del elemento objeto de la investigación. Es especialmente importante conseguir, con la debida antelación, mapas topográficos y geológicos detallados o sus copias, con objeto de marcar en ellos con lápiz de color la ruta seguida durante la excursión y los lugares donde sean hallados los minerales más interesantes.

Antes de partir es también preciso hacer conocimiento detallado con todos los métodos prácticos de investigación del terreno y saber con precisión no sólo utilizar correctamente los instrumentos que se lleven consigo, sino también poder repararlos en caso de necesidad.



La segunda etapa de trabajo comienza al llegar el investigador al lugar de destino. Una vez allí, debe averiguar en las instituciones científicas, museos, bibliotecas y escuelas de la localidad todos los datos que se conozcan sobre la región dada. Es necesario reunir la mayor cantidad

posible de datos, preguntando a la población local, sobre los lugares donde se extraen minerales y donde existan afloramientos naturales. En ciertos casos es muy conveniente analizar las denominaciones geográficas que, con frecuencia, nos orientan sobre la existencia en dicho lugar de minas y puntos de extracción de minerales. Por ejemplo, en Asia Central la palabra kan nos habla de minas; kumish, de plata; kalba, de estaño o bronce, etc. Si en algún sitio se edifican casas o se pavimentan calles hay que preguntar de dónde son traídos los materiales; averiguar dónde se construyen nuevas carreteras, puentes o líneas férreas. Hay que interesarse por saber dónde se instalan los pozos, de dónde traen la arcilla para los hornos, la cal y las pinturas para las casas.



Con frecuencia, la población local recuerda los trabajos efectuados por otras expediciones en dicha región; muchos antiguos habitantes conocen muy bien la comarca y saben las clases de minerales que si, encuentran en una a otra región. Es muy importante indagar la existencia de antiguas excavaciones, escombreras de minerales y escorias. restos de hornos de

fundición, etc.

Naturalmente, el material más abundante para obtener un conocimiento preliminar del carácter mineralógico y geoquímico de la región, nos lo ofrecen, más que los afloramientos naturales, las escombreras que se hallan junto a los yacimientos y explotaciones mineras, las cuales proporcionan al mineralogista y geoquímico un material de investigación utilísimo y, además, completamente reciente. En los yacimientos mineros se acumulan enormes cantidades de las sustancias que acompañan a los minerales y, por ello, en las escombreras puede reunirse material muy interesante si en el transcurso de muchos días se investiga minuciosamente los ejemplares extraídos y se identifican a la luz del día los minerales que constituyen los ejemplares recién extraídos. Las escombreras y los montones de minerales y piedras extraídas dan, en general, al mineralogista y el geoquímico datos mucho más valiosos que las propias excavaciones subterráneas, pues en el fondo de las minas, en los tajos, es difícil realizar observaciones precisas. En las excavaciones a cielo abierto y en las minas es muy útil conversar con los mineros, preguntarles sobre los ejemplares interesantes que encuentran durante su trabajo y pedirles que separen y coloquen aparte todo lo que les llame la atención. Se puede y debe interesar a la población local, ponerla al corriente de nuestro trabajo, hablarles de los minerales útiles que pueden hallarse. La creación de un determinado estado de ánimo por parte de la población local, conquistar su simpatía y conseguir su cooperación, es uno de los factores primordiales para el éxito de los trabajos de exploración. La población comienza a interesarse, incluso los niños traen del río ejemplares de piedras y cantos rodados. Hay que decir que con frecuencia los descubrimientos más grandes de nuevos yacimientos los realiza la propia población, los aficionados de la localidad.

En cada afloramiento, cantera, excavación y mina hay que procurar recoger ejemplares de todos los cuerpos minerales distintos que allí existan, prestando atención, lo mismo a las acumulaciones grandes que a las huellas insignificantes que muestren la existencia de unos u otros procesos geoquímicos.

Naturalmente, la recolección de materiales debe ir acompañada de la observación de la estratificación de los minerales en las formaciones rocosas, determinación de sus proporciones mutuas, su antigüedad, etc. El conocimiento primario y general de la región dada permite al investigador orientarse correctamente y elegir con acierto el proceso geoquímico más adecuado a seguir en sus trabajos de exploración. A estas tareas de carácter puramente científico e investigativo está dedicada la exposición que sigue a continuación.

El geólogo y el petrógrafo comienzan su trabajo en el campo estudiando la situación geológica general, la tectónica y las relaciones mutuas existentes entre las rocas. Para este fin, de ordinario, es preciso primero abarcar un amplio territorio y después iniciar el estudio detallado del sector concreto dado.

La labor del geoquímico transcurre, por lo general, de otra forma. Su trabajo debe comenzar por el material concreto, es decir, el propio yacimiento. Una vez conocido el esquema geológico general de la región, debe comenzar su investigación en los montones de minerales extraídos y en las escombreras de rocas laterales. Este modo de proceder muestra de forma muy notoria la diferencia entre los métodos de trabajo que emplean los geólogos y los geoquímicos durante sus expediciones o excursiones. Al llegar a un yacimiento cualquiera, el geólogo se dirige inmediatamente a las galerías o a los pozos de las minas con objeto de examinar los tajos y observar los afloramientos de rocas aisladas, las denudaciones naturales, etc.

El geoquímico y el mineralogista, por el contrario, se dirigen en primer orden a los montones y escombreras.



*Figura 40.9 Extracción de minerales fosfóricos en el combinado químico-minero de Kara-Tau (RSS de Kazajia)*

Al tajo deben ir sólo cuando su vista se acostumbra a distinguir a la luz natural unos minerales de otros, puesto que la identificación de las diferentes especies minerales con la luz artificial que ilumina los tajos, es una tarea muy difícil y posible de realizar después de mucha práctica y larga experiencia.

Sólo después de estudiar con todo detalle los minerales en los montones y escombreras, el geoquímico está en condiciones de afrontar problemas genéticos y geoquímicos más amplios, dedicando su trabajo al estudio de los afloramientos naturales y a la investigación minuciosa de los propios tajos y de los diseños que se posean.

De lo dicho se comprende con completa claridad el por qué el mineralogista y el geoquímico, al llegar a una mina, se dirigen ordinariamente, incluso no a los montones de minerales, sino a las escombreras de rocas laterales.

Yo mismo advertí en diversas ocasiones la expresión de extrañeza e, incluso, de desagrado, por parte del personal técnico a ingeniero de la localidad, cuando, al llegar al yacimiento, no me dirigía a los pozos de las minas, sino que marchaba inmediatamente a las escombreras. No debemos olvidar que descifrar los problemas más



complicados referentes a los yacimientos y la comprensión correcta de su génesis, se consigue sólo a base de estudiar minuciosamente todos los complejos minerales que son objeto de observación, sus relaciones mutuas, su enlace con las rocas laterales, etc.



*Figura 40.10 Lago Serézkoie, en el Pamir, formado a causa de un gran desprendimiento en las montañas (RSS de Tadzhiquia)*

De esta forma se marca el siguiente orden de sucesión en la labor a realizar por el geoquímico durante la primera recolección de materiales científicos. Primero, examen detallado de las escombreras; después, de los montones de minerales; luego, de los tajos en las excavaciones a cielo abierto y de los afloramientos; y, solamente después de todo esto, pasar al examen de las excavaciones subterráneas y al estudio de las relaciones existentes entre los minerales en los tajos subterráneos recientes.

Como ya dijimos antes, la recolección de materiales debe ir acompañada, por lo que respecta al geoquímico, de un constante análisis de todas las relaciones mineralógicas y geoquímicas y por eso es necesario que agudice su atención para la confrontación de todas las observaciones realizadas. Recuerdo que mi teoría sobre el enlace existente entre los procesos pegmatíticos y la formación de piedras preciosas en las "Minas de esmeraldas", no encontré durante mucho tiempo apoyo, hasta que por fin varios cristales diminutos de columbita nos confirmaron que efectivamente se trataba de pegmatitas graníticas típicas.

Meditando todas sus observaciones, el geoquímico debe concebir las relaciones que ligan entre sí a minerales aislados, reconstruir con su mente las condiciones que les dieron origen, basándose en su propia experiencia, hacer un análisis comparativo de todos los resultados obtenidos y, de esta manera, llegar a la hipótesis de trabajo sobre la génesis del yacimiento dado. La concepción de semejante hipótesis es muy necesaria para el trabajo ulterior de busca y exploración, pero no hay que olvidar que la hipótesis de trabajo no debe ofuscar la imagen de los propios hechos; si los hechos se contraponen a la hipótesis, hay que desecharla. Durante el trabajo se requiere una

autocrítica y autoanálisis muy profundos, y el éxito de la investigación reside precisamente en saber construir y deducir, a base de hechos poco notorios, casi imperceptibles, las conclusiones que puedan enlazar todos los fenómenos entre sí e indicarlos que todavía no son conocidos.



*Figura 40.11 En el Pamir, junto a los orígenes del río Murgah*

Cualquier hipótesis de trabajo es correcta sólo cuando ella nos muestra nuevos caminos. Trato conscientemente de agudizar la atención del lector en esta cuestión, ya que con gran frecuencia los que se dedican a investigaciones en el terreno, se resisten a renunciar a su primera hipótesis de trabajo, incluso, cuando la aparición de nuevos hechos comienza a contradecirla de modo decisivo.

Al mismo tiempo, hay que hacer remarcar una circunstancia más que, por desgracia, en los últimos tiempos no se lleva a la práctica de forma suficientemente rigurosa. El investigador debe distinguir con claridad, por un lado, los propios hechos y sus observaciones, por otro, las conclusiones teóricas y generales. Tanto en el resumen de la labor práctica desarrollada en el terreno, como en el informe definitivo, el investigador debe diferenciar netamente estos dos aspectos, para que cada cual pueda ver y comprender dónde termina el material basado en la observación de hechos reales y dónde comienzan las concepciones lógicas y teóricas elaboradas por el autor. Es preciso poner en guardia a los jóvenes investigadores para que no caigan en este error y no coloquen en segundo plano el material real y concreto y se entusiasmen con conclusiones teóricas, pues en este caso dichas conclusiones quedan como en el aire.



He aquí por qué hay que remarcar con especial insistencia la necesidad de la observación escrupulosa y precisa de los propios fenómenos de la naturaleza.

Durante su trabajo en el campo, el investigador debe anotar todas las menudencias que le salten a la vista. Debe convertir su libro de notas en un diario que registre de forma constante sus propias

ideas y observaciones, y, sólo de este modo, conseguirá llegar a conclusiones y decisiones correctas y acertadas. Hay que hacer una distinción clara y terminante en lo que se refiere al carácter de los trabajos y de las anotaciones en el primer año que se visita un yacimiento o una región y en los años siguientes. Durante la primera visita es preciso dedicarse con especial atención a reunir materiales basados exclusivamente en hechos reales; durante la segunda, por lo general, surge la necesidad de comprobar la hipótesis de trabajo sugerida; por fin, durante la tercera visita se perfilan y se ponen en claro los problemas de carácter general y, como regla, este tercer año es el que aporta nuevos descubrimientos y marca el camino exacto a seguir en las búsquedas. Es posible que el acortamiento de estos plazos dependa de la experiencia personal de cada investigador y de la forma como fue estudiada, al iniciar él sus trabajos, la región o el yacimiento en cuestión desde el punto de vista mineralógico y geológico.

La deducción de conclusiones definitivas puede acelerarse considerablemente si se realizan (al mismo tiempo que se llevan a cabo las investigaciones sobre el terreno) determinaciones preliminares de los minerales y rocas halladas. Los laboratorios geoquímicos portátiles y la posibilidad de enviar los ejemplares, durante los trabajos en el campo, a laboratorios cercanos para determinar su composición cualitativa, facilitan en alto grado la marcha de las investigaciones y permite llegar con más rapidez a las conclusiones definitivas.

Como pueden ustedes ver, el registro de las observaciones y la documentación geoquímica y mineralógica constituyen una tarea muy seria e importante.

**Capítulo XLI****NOTAS BREVES SOBRE LOS ELEMENTOS QUIMICOS**

**Actínidos.** Son los elementos químicos, siguiente al actinio, que constituyen un grupo muy semejante por su composición química. En este grupo, como el grupo de las tierras raras o lantánidos, deben hallarse 16 elementos químicos (desde el N°89 al N°104), de los cuales doce han sido descubiertos u obtenidos artificialmente: actinio, protactinio, torio, uranio, neptunio, plutonio, americio, curio, berkelio, californio, einstenio, fermio, mendelevio, laurencio, kurchatovio.

Los elementos de este grupo se "unifican bajo la denominación común "actínidos". Sus propiedades químicas son muy parecidas a las de los lantánidos y ocupan una sola casilla en el III grupo de la Tabla periódica de Mendeléev, situada debajo del grupo de las tierras raras.

**Actinio** - Actinium (Ac). Número atómico, 89; peso atómico, 227. Descubierta en 1899 por Debierne en los minerales de uranio. Es un elemento radiactivo, producto de la desintegración del uranio. Período de vida media 20 años. Como resultado de la desintegración ulterior del actinio se forma consecutivamente una serie de elementos radiactivos, llamada serie del actinio. El producto final de la serie del actinio es el plomo no radiactivo con peso atómico 207. Tanto el actinio, como sus combinaciones están poco estudiados.

**Aluminio** - Aluminium (Al). Número atómico, 13; peso atómico, 26, 98. Es el elemento más difundido en la corteza terrestre, después del oxígeno y el silicio. Constituye el 7,5% en peso de la corteza terrestre. Metal muy ligero de color blanco argéntico. Interviene en la composición de las arcillas, feldspatos, micas y otros muchos minerales. La masa fundamental de aluminio está concentrada en los aluminosilicatos, minerales compuestos de aluminio, silicio, oxígeno y ciertos metales. Especialmente ricas en aluminio son las bauxitas, óxidos hidratados de aluminio. El aluminio se obtiene, principalmente, a partir de la bauxita y, también, de la nefelina. Las aleaciones de aluminio se aplican en gran escala en la construcción de aeronaves. En estado libre, fue obtenido por Wöhler en 1827. Su denominación proviene de la palabra "alumen" -"alumbre".

**Americio.** - Americium (Am). Número atómico, 95; peso atómico del isótopo más estable con período de semi-desintegración aproximado de 10.000 años, 243. Fue obtenido por vía artificial en 1944 bombardeando el uranio con partículas alfa. En la actualidad se conocen 5 isótopos. Por lo que respecta a sus propiedades químicas es muy parecido a las tierras raras.

**Antimonio** - Stibium (Sb). Número atómico, 51; peso atómico, 121,76. Se conoce desde la antigüedad. En estado libre fue obtenido por Vasilio Valentino en el siglo XV. Es un metal muy frágil. En la naturaleza se encuentra combinado con el azufre. Se usa como componente de la aleación tipográfica y en medicina. La adición de antimonio al plomo eleva considerablemente su dureza, lo que se utiliza para preparar el metal de imprenta y en la fabricación de municiones. Las combinaciones de antimonio se emplean en las industrias de cerillas, del caucho y del vidrio.

**Argón** - Argon (Ar). Número atómico, 18; peso atómico, 39, 944. Pertenece al grupo de los gases inertes, que no se combinan entre sí, ni con ninguna otra sustancia, propiedad que los distingue de todos los demás elementos. Por la pasividad química que le caracteriza recibió su nombre, del griego "argos", que significa "inactivo". Fue descubierta por Ramsay y Rayleigh en 1894. En la naturaleza se encuentra en el aire atmosférico, del que constituye aproximadamente el 1 % en volumen. El argón se emplea para llenar lámparas eléctricas de descarga gaseosa, dando iluminación azulada.

**Arsénico** - Arsenicum (As). Número atómico, 33; peso atómico, 74, 9. Su denominación proviene de la palabra latina "arsenicum", "colorante mineral". Se conoce desde tiempos remotos. Es un metal frágil, volátil, de color negro pardusco con olor de ajos. Se sublima, sin fundirse, a 633°. Funde a 818°



bajo una presión de 36 atmósferas. Tanto él, como sus sales solubles, son tóxicos. Se utiliza para la fabricación de aleaciones con el plomo y el cobre, en agricultura como insecticida (fungicida). También se emplea para decolorar el vidrio.

**Astatino** - Astatine (At). Número atómico, 85; el peso atómico del isótopo con período de semi-desintegración de mayor duración (8,3 horas) es igual a 210. Por primera vez fue obtenido en 1940 bombardeando el bismuto con partículas alfa. Su denominación proviene de la palabra griega "astatos", "inestable". Se conocen 20 isótopos. Sus propiedades coinciden exactamente con las predicciones de Mendeléev, el cual le dio el nombre de eka-yodo.

**Azufre** - Sulfur (S). Número atómico, 16; peso atómico, 32,066. Se conoce desde tiempos remotos. Existe en varias formas: rómbica, monoclinica y amorfa. Los cristales de azufre son de color amarillo débil. Está extendido amplia y abundantemente en la naturaleza, tanto en estado nativo, como combinado, formando sulfuros y sulfatos (yeso anhidrita, etc.). Se utiliza para la fabricación de ácido sulfúrico, como insecticida en agricultura (contra la filoxera), en la industria del caucho. Interviene en la composición de la pólvora de caza, cerillas, bengalas luminosas, ultramarino (pintura azul). Se usa también en medicina.

**Bario** - Barium (Ba). Número atómico, 55; peso atómico, 137,36. Descubierta por Scheele en 1774, en 1808, Davy lo aisló en estado puro. Su denominación procede del mineral barita, del que fue obtenido ("barys" = "pesado"). Metal de color blanco argéntico, de dureza igual a la del plomo, tiñe la llama con color amarillo verdoso característico. Las sales de bario se utilizan como pintura blanca de buena calidad.

**Berilio** - Beryllium (Be). Uno de los metales más ligeros. Número atómico, 4; peso atómico, 9,013. Fue descubierta en el año 1797 por Vauquelin, que lo denominó glucinio debido al sabor dulzaino que tienen sus sales. Esta denominación se conserva sólo en Francia. La palabra "berilio" proviene del mineral berilo. EL berilio es un metal blanco muy duro y ligero (peso específico, 1,85), no se altera en el aire. Se utiliza para la obtención de aleaciones con el cobre (bronces berílicos) y con otros metales. Estas aleaciones son duras como el acero e "infatigables" ante los cambios bruscos de carga (resortes de reloj). En la naturaleza es raro encontrar grandes acumulaciones de minerales berílicos.

**Berkelio** - Berkelium (Bk). Número atómico, 97. Este elemento fue obtenido artificialmente bombardeando el isótopo del americio con peso atómico 241. Los períodos de semi-desintegración de los isótopos del berkelio descubiertos hasta la actualidad, no exceden de varias horas. Recibió su nombre en honor de la ciudad Berkeley en el Estado de California (EE.UU.).

**Bismuto** - Bismuthum (Bi). Número atómico, 83; peso atómico 209,00. Metal frágil, de color blanco rojizo. Las combinaciones del bismuto ya eran conocidas en la antigüedad, pero en aquellos tiempos el bismuto no se diferenciaba del plomo; en estado nativo lo obtuvo por primera vez el alquimista Vasilio Valentino en el siglo XV. Fácilmente fusible. Entra en la composición de las aleaciones empleadas en tipografía y se emplea en diferentes aparatos contra incendios. Es interesante su superconductividad eléctrica a temperaturas próximas al cero absoluto.

**Boro** - Borum (B). Número atómico, 5; peso atómico, 10,82. Descubierta en 1808 por Davy en Inglaterra, y Gay Lussac y Thenard en Francia. Su denominación proviene de la palabra persa "biirah", "bórax". EL boro cristalino, obtenido a partir de su aleación con aluminio, posee una dureza próxima a la del diamante. EL boro se encuentra en la naturaleza en forma de ácido bórico, bórax y en ciertos silicatos (sales del ácido silícico). Se emplea, principalmente, para la preparación de esmaltes, y, también, en medicina. Las combinaciones del boro con el carbono y con el nitrógeno son de dureza extraordinaria.

**Bromo** - Bromum (Br). Número atómico, 35; peso atómico, 79,916. Descubierta por Balard en 1826, recibió su nombre por el olor desagradable que posee ("bromos", "fétido"). Es un líquido

pesado de color rojo oscuro; a semejanza de todos los halógenos es un elemento muy activo capaz de reaccionar con casi todos los elementos; especialmente enérgica es su reacción con los metales. Al contacto con la piel produce graves quemaduras. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, en combinación con los metales potasio, sodio y magnesio. Los lagos salados de Crimea son ricos en bromo. Se utiliza en medicina y en la técnica fotográfica.

**Cadmio** - Cadmium (Cd). Número atómico, 48; peso atómico, 112,41. Es un metal de color blanco argéntico. Descubierto en 1817 por Stromeyer. Su denominación proviene de la palabra griega "kadmeia", "mineral de zinc". Por lo que respecta a sus propiedades se parece mucho a zinc y en la naturaleza siempre le acompaña. Se usa, en lugar del zinc, para el revestimiento del hierro a fin de protegerlo contra la corrosión, se adiciona al cobre para aumentar la tenacidad de los alambres de este metal, es un frecuente constituyente de las aleaciones fusibles y se emplea, también, para la obtención de pinturas amarillas.

**Calcio** - Calcium (Ca). Número atómico, 20; peso atómico, 40,08. Fue descubierto en 1809 por Davy y Berzelius. Su nombre proviene de la palabra "calx", "cal". Pertenece al grupo de los metales alcalinotérreos. Es un metal blanco, bastante duro y maleable, funde a unos 800, hierve a 1240°. Es muy abundante en la naturaleza en forma de carbonatos, sulfatos y silicatos. Constituye el 3,4% de la corteza terrestre hay sólo cuatro elementos (O, Si, Al y Fe) que se encuentran en mayores cantidades. El metal puro, hasta la fecha no tiene gran aplicación.

**Californio** - Californium (Cf). Número atómico, 98. Fue obtenido artificialmente bombardeando con partículas alfa al isótopo del curio con peso atómico 242. El período de semi-desintegración del californio con peso atómico 246 es de 35 horas. Recibió su denominación por el nombre del Estado de California en EE.UU.

**Carbono** - Carboneum (C). Número atómico, 6; peso atómico, 12,011. Se conoce desde tiempos remotos. Su denominación proviene de la palabra latina "carbo", "carbón". Se encuentra en la naturaleza como diamante, grafito, carbones fósiles, hidrocarburos diversos (petróleo, gases naturales) y en las sustancias orgánicas. Todavía mayor cantidad existe en los carbonatos (sales del ácido carbónico): calizas, mármoles, etc., así como disuelto en el agua y en el aire (en forma de anhídrido carbónico). Sus aplicaciones: el diamante, para las perforaciones, corte y pulimentación del vidrio y como adorno; el grafito, como material refractario (crisoles de grafito), lubricante, en forma de polvo para diferentes usos, en la fabricación de reóstatos y electrodos para hornos voltaicos; el carbón y el petróleo como combustible, como fuente importantísima de energía. El polvo fino de carbón (hollín) se emplea para la preparación de pinturas y tintas (tinta china). Sometiendo el carbón a diferentes tratamientos se obtienen numerosos productos químicos, por ejemplo, anilina, medicamentos (aspirina estreptocito, sacarina), explosivos (trinitrotolueno o trilita), etc.

**Casiopio** - Cassiopeum (Cp). Denominación del elemento lutecio, aceptada en algunos países. Véase lutecio.

**Cerio** - Cerium (Ce). Número atómico, 58; peso atómico, 140,13. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto en 1803 por Hisinger, Klaproth y Berzelius. Recibió su denominación del nombre del asteroide Ceres. Es componente de la mezcla empleada en la preparación de piedras de mecheros, se emplea en medicina, así como en artillería para los proyectiles trazadores. Se extrae de la monacita como residuo de la obtención del torio.

**Cesio** - Caesium (Cs). Número atómico, 55; peso atómico, 132,91. Pertenece al grupo de los metales alcalinos. Peso específico, 1,87; temperatura de fusión, 28,5. Su nombre se debe al color azul celeste característico de las líneas espectrales del cesio ("caesium" = "cielo azul"). Fue el primer elemento descubierto mediante el análisis espectral (Bunsen en 1860). Tiñe la llama de

color violeta. En la naturaleza se conoce solamente un mineral de cesio, la polucita. El cesio se emplea como componente principal de las células fotoeléctricas.

**Cloro** – Chlorum (Cl) Número atómico 17; peso atómico 35,457. Descubierta por Scheele en 1774. Recibió su denominación de la palabra “chloros”, “verde”. Es un gas de color amarillo verdoso, más pesado que el aire. En la naturaleza se encuentra en forma de sales de sodio y potasio, disueltas en el agua de los mares, o formando depósitos de sal gema (NaCl). Es uno de los elementos fundamentales de la industria química, sobre todo, para la obtención de cloruro de cal; desempeña un importante papel en la producción de pinturas muchos medicamentos y sustancias tóxicas. EL cloro se emplea en grandes cantidades para el blanqueo de tejidos y papel, para esterilizar el agua potable y como insecticida en agricultura. La sal sódica (NaCl) se utiliza en cantidades enormes en los alimentos (cada persona consume al año de 2 a 10 kilogramos de sal).

**Cobalto** - Cobaltum (Co). Número atómico, 27; peso atómico, 58,94. Descubierta en 1735 por Brandt. Recibió su denominación de la palabra "kobold" que significa "duende de la montaña", "gnomo". Es un metal de color blanco grisáceo, muy duro, maleable, dúctil, funde a 1490°C. Posee propiedades magnéticas, pero más débiles que el hierro. Finalmente dividido puede absorber grandes cantidades de hidrógeno. Por sus propiedades físicas y químicas es semejante al hierro. En la naturaleza se encuentra en los meteoritos, aleado con níquel y el hierro, y en la corteza terrestre formando, además, combinaciones con el arsénico y el azufre. Se utiliza para la obtención de aceros especiales, para colorear el vidrio y el esmalte de color azul, y como catalizador para obtener carburantes de la hulla.

**Cobre** - Cuprum (Cu). Número atómico, 29; peso atómico, 63, 54. Se conoce desde tiempos remotos. Su nombre proviene de la isla de Chipre, donde existía en la antigüedad una gran producción de objetos de cobre. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, combinado con el azufre; en estado nativo se presenta con gran rareza. Es un metal maleable de color rojo. El cobre puro se emplea en electrotécnica debido a su alta conductividad eléctrica y térmica. Tienen gran aplicación sus aleaciones con estaño y zinc (latón, bronce).

**Criptón** - Kriptón (Kr). Número atómico, 36; peso atómico, 83, 80. Gas inerte, descubierta en 1898 por Ramsay y Travers, su denominación proviene de la palabra griega "kryptos", "oculto". Se encuentra como componente del aire atmosférico, que lo contiene en cantidad insignificante.

**Cromo** - Chromium (Cr). Número atómico, 24; peso atómico, 52,01. Descubierta por Vauquelin en 1789 al descomponer el mineral crocoita, traído por Pallas de una mina de los Urales. Su nombre proviene del griego, "chroma" = "color", debido a la diversidad de colorido que presentan sus diferentes combinaciones. Es un metal muy frágil y duro, muy resistente a la acción del aire y el agua. Peso específico, 7.1; temperatura de fusión, 1765°. En la naturaleza se encuentra frecuentemente formando el mineral hierro cromado (hematites de cromo). Se emplea, principalmente, en la industria del acero. Los aceros al cromo poseen gran dureza y tenacidad, se usan para la fabricación de herramientas, tubos para cañones y fusiles. Con cromo se recubre la superficie de otros metales con objeto de protegerlos contra la corrosión.

**Curio** - Curium (Cm). Número atómico, 96. Fue obtenido en 1944 por vía artificial. En la actualidad se conocen 8 isótopos. El isótopo con período de vida más largo es el de peso atómico 245. Su período de semi-desintegración es mayor de 500 años. Por sus propiedades químicas, el curio se parece a los elementos de las tierras raras. Recibió su nombre en honor de Marie y Pierre Curie y Frederic e Irene Joliot-Curie.

**Dimanganeso** - Véase renio.

**Disproσιο** - Dysprosium (Dy). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 66; peso atómico, 162,46. Descubierta por Lecoq de Boisbaudran en 1886. Su denominación proviene de la palabra griega "dysprositos" = "inaccesible".

**Einstenio** - Einstenium (Es). Se descubrió al mismo tiempo que el fermio. Número atómico 99. Su período de semi-desintegración varía, para los distintos isótopos, desde varios minutos hasta un año. Recibió su nombre en honor del gran físico alemán, creador de la teoría de la relatividad, Albert Einstein.

**Eka-aluminio** - Véase galio

**Eka-boro** - Véase escandio

**Eka-cesio** - Véase francio

**Eka-manganeso** - Véase tecnecio

**Eka-silicio** - Véase germanio

**Eka-yodo** - Véase astatino

**Elementos radiactivos.** Se llaman radiactivos a los elementos químicos que poseen la propiedad de emitir espontánea y constantemente rayos invisibles, que atraviesan, como los rayos X, diferentes sustancias, hacen al aire conductor de la electricidad, impresionan las placas fotográficas, etc. Las radiaciones despididas por estos elementos se dividen en rayos alfa, beta y gamma. Son radiactivos el isótopo del potasio con peso atómico 40, uno de los isótopos del rubidio, indio, lantano, samario, lutecio y renio, el uranio, torio, polonio, radio, protactinio y todos los elementos transuránicos.

**Elementos transuránicos.** Transuránicos o transuranianos se llaman los elementos que se hallan en el sistema periódico de Mendeléev después del uranio, con pesos atómicos 93 o más elevado. Todos han sido obtenidos por vía artificial. Primeramente fue estudiado El neptunio (en 1939). Los elementos transuránicos son radiactivos. La duración de sus vidas es considerablemente menor que la edad de la Tierra. Por esta causa no fueron descubiertos en la naturaleza. En la actualidad se conocen los siguientes elementos transuránicos; neptunio, plutonio, americio, curio, berkelio, californio, einstenio, fermio, mendelevio, nobelio, laurencio y kurchatovio.

**Erbio** - Erbium (Er). Número atómico, 68; peso atómico 167,2. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierta por Mosander en 1843. Su nombre proviene de Itterby, ciudad sueca.

**Escandio** - Scandium (Sc). Número atómico, 21, peso atómico, 44,96. Uno de los elementos más dispersos en la naturaleza. Mendeléev predijo su existencia en 1871 (le llamó Eka-boro). El año 1879, Nilson lo descubrió por medio del análisis espectral. Sus propiedades están poco estudiadas. Recibió su denominación del nombre de la Península Escandinava.

**Estaño** - Stannum (Sn). Número atómico, 50; peso atómico 118,70. Uno de los primeros metales conocidos por el hombre desde tiempos remotos (edad de bronce). El metal puro es de color blanco argéntico, muy dúctil y maleable; peso específico, 7,28; funde a 232°. A temperaturas inferiores a - 18°, el estaño se transforma en la variedad gris. Al doblar las barritas de estaño se oye, un crujido característico, por lo visto, debido a la fricción mutua de los cristales que componen su estructura. El estaño no se altera por la acción de los agentes atmosféricos (humedad, aire), por lo cual se usa para revestir al hierro (así se obtiene la hojalata, que se consume principalmente en la fabricación de botes de conserva). Gran importancia tienen sus aleaciones con el plomo (metal blanco, bronce). Se encuentra en la naturaleza, por lo general, formando el mineral casiterita (SnO<sub>2</sub>).

**Estroncio** - Strontium (Sr). Número atómico, 38; peso atómico, 87,63. Pertenece al grupo de los metales alcalinotérreos. Lo descubrió Grenford en 1790. En estado puro tiene color blanco de plata, químicamente muy activo, debido a lo cual en la naturaleza se presenta siempre combinado. Colorea la llama de rojo. Se utiliza en pirotecnia y en la industria azucarera.

**Europio** - Europium (En). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 63; peso atómico, 152,0. Descubierta por Demarcay en 1901. Las sales de europio tienen color rosado.

**Fermio** - Fermium (Fm). Número atómico 100. Fue descubierta en el año 1952 entre los productos de una explosión termonuclear. Su período de semi-desintegración varía, para sus distintos isótopos, desde varios segundos hasta algunos días. Fue denominado así en honor del padre de la era atómica, del físico italiano Enrico Fermi.

**Flúor** - Fluor (F). Número atómico, 9; peso atómico, 19,00. Metaloides del grupo de los halógenos. En estado libre lo obtuvo por primera vez Moissan el año 1886, a pesar de que Ampère lo consideró como elemento independiente mucho antes, el año 1810. Su denominación latina proviene del nombre del mineral fluorita. En condiciones normales es un gas de color amarillo verdoso. Peso específico, 1,11 (líquido); temperatura de fusión, - 223°C; punto de ebullición, -188°C. En estado libre no ha encontrado aplicaciones. El ácido fluorhídrico se utiliza ampliamente en los laboratorios químicos, así como para grabar el vidrio.

**Fósforo** - Phosphorus (P). Número atómico, 15; peso atómico, 30,975. Debe su nombre a la propiedad que tiene de emitir luz en la oscuridad (del griego "phos" = luz y "phoros" = portador). Descubierta por Brand en 1669. Peso específico, 1,83; temperatura de fusión, 44°; punto de ebullición, 280,5°. Se conocen las variedades siguientes: fósforo amarillo, fósforo rojo y fósforo negro. Este último fue obtenido por Bridgman en 1914. Muy difundido en la corteza terrestre, donde, en forma de sales de los ácidos fosfóricos, se halla constituyendo numerosos minerales (apatito, turquesa, fosfatos de hierro y cobre, etc.) Se emplea para la fabricación de cerillas, obtención de cortinas de humo, sustancias incendiarias, etc. Las fosforitas y el apatito constituyen materias primas importantísimas para la producción de fertilizantes fosfatados.

**Francio** - Francium (Fr). Número atómico, 87. Primeramente fue descubierta por la física francesa M. Perey el año 1939 en la serie natural radiactiva de desintegración del actinio. Más tarde fue obtenido por vía artificial. El corto período de vida de los isótopos del francio, dificulta enormemente el estudio de sus propiedades químicas. El peso atómico de uno de los isótopos es 223. Por su comportamiento químico se parece al cesio. Es el más activo de todos los metales. Recibió su nombre en honor de la patria de su descubridora. Mendeléev predijo la existencia del francio, describió sus propiedades y lo denominó eka-cesio.

**Gadolinio** - Gadolinium (Gd.). Elemento perteneciente al grupo de las tierras raras. Número atómico, 64; peso atómico, 156,9. Descubierta por Marignac en 1880. Recibió su denominación en 1886 del nombre del mineral gadolinita.

**Galio** - Gallium (Ga). Número atómico, 31; peso atómico, 69,72. Es uno de los elementos cuyas propiedades predijo Mendeléev (*eka-aluminio*). Lecoq de Boisbaudran lo descubrió en 1875 mediante el análisis espectral y recibió su denominación en honor de Francia, que antiguamente se llamaba Galia. Es un metal blando de color blanco argéntico. Su temperatura de fusión es muy baja: 29,8° (se funde con el calor de la mano), pero su temperatura de ebullición es 2300°. El galio sólido es más ligero que en estado líquido, por ello flota en su masa fundida. Perteneció al grupo de los elementos raros dispersos. Se utiliza en la fabricación de termómetros, con los cuales pueden medirse altas temperaturas, y en la preparación de compuestos luminosos. Se emplea también para la obtención de espejos ópticos.

**Germanio** - Germanium (Ge). Número atómico, 32; peso atómico, 72,60. Uno de los elementos, cuyas propiedades predijo Mendeléev (*eka-silicio*). Winkler lo descubrió en 1886 por el método espectroscópico. Posee propiedades, tanto metálicas como no metálicas. Es uno de los elementos más raros. Se utiliza en gran escala en radiotécnica para la preparación de dispositivos semiconductores, de mezclas luminosas, y en la fabricación de tipos especiales de cristal.

**Glúcinio** - Glucinium (Gl). Véase berilio.

**Hafnio** - Hafnium (Hf). Número atómico, 72; peso atómico, 178,6. A pesar de que el hafnio es un elemento más difundido en la naturaleza que la plata y el oro y se encuentra en algunos minerales en cantidad hasta del 30%, fue descubierto sólo en 1923 por Coster y Hevesy. Esto fue debido a la gran semejanza de sus propiedades químicas con el circonio, del que se separa con gran dificultad. El hafnio en estado metálico es extraordinariamente duro y posee temperatura de fusión muy elevada, cerca de 2200°. En forma de óxidos entra en la composición de las aleaciones usadas para los filamentos de las lámparas electrónicas. Se proyecta su utilización en radiotécnica y como material superrefractario. Su denominación proviene del nombre antiguo de la capital de Dinamarca, Copenhague (Hafnia).

**Helio** - Helium (He). Gas noble. Número atómico, 2; peso atómico, 4,003. El año 1868, Janssen descubrió por medio del análisis espectral la presencia de helio en la atmósfera del Sol. En la Tierra fue descubierto por Ramsay en 1895 que obtuvo este gas del mineral cleveita. Su nombre proviene de la palabra "helios", "sol". Después del hidrógeno, el helio es el más ligero de todos los gases; es 8 veces menos pesado que el aire. En la naturaleza abunda en la atmósfera y se desprende de las entrañas de la tierra junto con otros gases naturales. El helio se forma durante la desintegración radiactiva de los elementos: cada partícula alfa, despedida del núcleo atómico del elemento radiactivo, es un núcleo de helio con carga positiva. El helio se utiliza para llenar los dirigibles mezclado con el hidrógeno, con lo cual se protege a este último de posibles explosiones. Evaporando el helio se ha conseguido, en la Tierra la temperatura más baja, casi - 273°.

**Hidrógeno** - Hydrogenium (H). Número atómico, 1; peso atómico, 1,008. Es el elemento más ligero, ocupa el primer puesto en el sistema periódico de Mendeléev. Constituye aproximadamente el 1% de toda la masa de la corteza terrestre, incluyendo el agua y el aire. Es un gas incoloro, 14 veces más ligero que el aire. EL hidrógeno fue descubierto en la primera mitad del siglo XVI por Paracelso, que lo obtuvo por la acción del hierro sobre el ácido sulfúrico. En 1766 Cavendish estableció sus propiedades e indicó sus diferencias con respecto a otros gases. En 1783 Lavoisier lo obtuvo por primera vez a partir del agua y demostró que el agua es una combinación química de hidrógeno y oxígeno. En la tierra se presenta sólo combinado en el agua, petróleo y tejidos de las células vivas; en estado libre se encuentra sólo en ínfimas cantidades en las capas superiores de la atmósfera. El hidrógeno se desprende también durante las erupciones volcánicas. Mediante el análisis espectral se descubrió el hidrógeno en el sol y en las estrellas. La sustancia cósmica, según el criterio actual, consta de 30 a 50% de hidrógeno libre, cuyo átomo constituye el ladrillito fundamental de que está construido el universo.

Además del hidrógeno con peso atómico 1, existen otros dos isótopos raros con pesos atómicos 2 y 3, los cuales al combinarse con el oxígeno producen "agua pesada". El hidrógeno se utiliza para llenar los globos aerostáticos, dirigibles, en los cuales, debido a que es más ligero que el aire, actúa como fuerza sustentadora. Se emplea en la soldadura autógena (la temperatura de la llama alcanza hasta 2 000°), así como en la industria química para la obtención de petróleo artificial a partir de la hulla. A presiones y temperaturas muy altas, los isótopos del hidrógeno entran en reacción termonuclear desprendiendo una cantidad de energía enorme. En la actualidad se buscan los procedimientos para controlar estas reacciones.

**Hierro** - Ferrum (Fe). Número atómico, 26; peso atómico, 55,85. Es conocido desde tiempos remotos. Es fácilmente oxidable y, en general, se combina con otros elementos, por lo que es difícil obtenerlo en estado puro. El hierro metálico es de color blanco acerado, maleable. Posee las cualidades magnéticas más elevadas de todos los metales. Las combinaciones del hierro con el carbono (aceros y hierro colado, con contenido respectivo de carbono, 0,2-2% y 2,5-4%) constituyen la base de la industria metalúrgica de nuestro siglo. Sus minerales más importantes son: el hierro oligisto o hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); la piedra imán o magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); el carbonato ferroso

o siderita ( $\text{FeCO}_3$ ); y los óxidos hidratados de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). En la corteza terrestre constituye el 4,7%; en el Cosmos su cantidad es todavía mayor. Las rocas que contienen más del 30% de hierro, se llaman minerales férricos.

**Holmio** - Holmium (He). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 67; peso atómico, 164,94. Descubierta en 1880 por el químico sueco Cleve. Las sales de holmio tienen color rosado. Su denominación proviene del nombre de la capital de Suecia, Estocolmo.

**Indio** - Indium (In). Elemento con peso atómico 114,76 y número atómico 49. Reich y Richter lo descubrieron en 1863 mediante el análisis espectral. Recibió su denominación por el color azul oscuro, color índigo, de sus líneas espectrales. El indio en estado libre es un metal blanco argéntico, más blando que el plomo. Pertenece a los elementos dispersos poco difundidos en la naturaleza. Minerales ricos de este metal no se conocen. En pequeñas cantidades, a modo de impurezas, las combinaciones de indio existen en los minerales de muchos metales, especialmente asociado con el zinc. El indio es el mejor metal para la fabricación de espejos.

**Iridio** - Iridium (Ir). Número atómico, 77; peso atómico, 192,2. Fue descubierta por Tennant en 1803 en los minerales de platino. Recibió su nombre de la palabra "iris", "arco iris" (por la diversidad de colorido de las disoluciones de sus sales). Es uno de los metales más pesados (peso específico, 22,4). Se caracteriza por su gran dureza y estabilidad química. Funde a  $2454^\circ$ . Por sus propiedades químicas es muy parecido al rodio. En la naturaleza se encuentra, por lo general, acompañando al platino. En estado puro se utiliza en la fabricación de crisoles, hornos eléctricos con alta temperatura de caldeo y en los pares termoeléctricos. Tiene gran aplicación en las aleaciones.

**Itterbio** - Itterbium (Yb). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 70; peso atómico, 173,04. Descubierta en 1878 por Marignac, que estableció que el elemento erbio contiene una "tierra nueva". Su denominación proviene de la pequeña población sueca llamada Itterby.

**Itrio** - Yttrium (Y o Yt). Número atómico, 39; peso atómico, 88,92. Por lo que respecta a sus propiedades y presencia conjunta en la naturaleza, es muy parecido a la familia de los lantánidos y se incluye en el grupo de las tierras raras. En la naturaleza, se halla en grandes cantidades en los minerales xenotima y gadolinita. Descubierta en 1794 por Gadolin; en estado puro fue obtenido por primera vez en 1828 por Wöhler. Sus aplicaciones técnicas, hasta la fecha, son de poca importancia.

**Kurchatovio**. (Ku) Elemento número 104 obtenido artificialmente denominado así por los físicos soviéticos en honor del científico soviético Igor Kurchátov. La longevidad mayor tiene el isótopo con el número másico 261. Su período de semi-desintegración es cerca de 1,5 min.

**Lantánidos** - Véase elementos de las tierras raras.

**Lantano o Lantano** - Lanthanum (La). Elemento perteneciente al grupo de las tierras raras. Número atómico, 57; peso atómico, 138,92. Descubierta en 1839 por Mosander, su nombre proviene del griego "lanthano" - "escondido". Interviene como ingrediente en la aleación empleada para la fabricación de piedras de mechero.

**Litio** - Lithium (Li). El más ligero de los metales. Número atómico, 3; peso atómico 6,940. Descubierta en 1817 por Arfwedson; su nombre proviene de la palabra "lithos", "piedra". Pertenece al grupo de los metales alcalinos, se caracteriza por su gran actividad química y por sus propiedades, parecidas a las del potasio y sodio. Es más ligero que el agua (peso específico 0,534). Las sales de litio colorean la llama de rojo vivo. En la naturaleza existen sólo sus combinaciones; en el agua de los manantiales minerales se descubren indicios de litio. Se utiliza en la fabricación de acumuladores para submarinos, de ciertas aleaciones especiales y en la soldadura de objetos de aluminio.

**Laurencio** - Laurenium (Lr). Número atómico 103. Obtenido por vía artificial, en el año 1961, bombardeando el californio con iones de boro. El período de semi-desintegración es de 8 s. Recibió su denominación por el nombre del inventor del ciclotrón Ernest Lawrence.

**Lutecio** - Lutetium (Lu). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 71; peso atómico, 174,99. Descubierta simultáneamente por Urbain en Francia y por Auer en Alemania. El primero lo denominó lutecio (por el nombre antiguo de París, Lutecia), el segundo lo llamó caseopio. En la Unión Soviética se usa lutecio.

**Magnesio** - Magnesium (Mg). Número atómico, 12; peso atómico, 24, 32. Descubierta por Davy en 1808 por el método electrolítico. La denominación proviene del mineral "magnesia alba" (Magnesia - localidad de Grecia, "alba" = "blanca") Metal alcalino-térreo. Muy difundido en la corteza terrestre, de la que constituye el 2,5% en peso; interviene en la composición de las rocas, en formas de carbonatos y silicatos. El agua del mar contiene sales magnésicas disueltas en gran cantidad. Es un metal ligero (peso específico 1,74), maleable, químicamente muy activo, sin embargo, estable en sus aleaciones. En los últimos tiempos las aleaciones aluminomagnésicas se utilizan en gran escala en la industria de aviación.

**Manganeso** - Manganum (Mn). Número atómico, 25; peso atómico, 54,93. Descubierta en 1774 por Scheele en el mineral pirolusita (variedad natural de dióxido de manganeso, llamada "magnesia negra", de donde proviene su denominación). Es un metal duro de color blanco de plata. Muy difundido en la naturaleza, forma concentraciones de pirolusita negra en los sedimentos marinos. Se emplea en la metalurgia para mejorar la calidad del acero, en la industria de colorantes y en otras muchas industrias químicas.

**Mendelevio** - Mendeleevium (Md). Número atómico, 101. Obtenido artificialmente, en el año 1955, bombardeando el einstenio con iones de helio. Su período de semi-desintegración es de cerca de 30 mío. Fue denominado así, por los físicos americanos que lo obtuvieron, en honor del gran químico ruso Mendeléev.

**Mercurio** - Hydrargyrum (Hg). Número atómico, 80; peso atómico, 200,61. Es el único metal líquido a la temperatura ordinaria. Se conoce su existencia desde tiempos remotos. Su denominación proviene de las palabras griegas "hudar argiros", "plata líquida". Se solidifica a  $-39,3^{\circ}$ , hierve a  $357^{\circ}$ . Peso específico 13,6. Disuelve muchos metales (oro, plata, cobre, estaño) formando aleaciones líquidas y sólidas, llamadas amalgamas. Los vapores de mercurio son muy tóxicos. Se utiliza para llenar diversos instrumentos (por ejemplo, termómetros), en medicina, para extraer el oro de sus minerales y para preparar el fulminante de mercurio, uno de los detonadores más importantes. En la naturaleza se encuentra en el mineral cinabrio (HgS).

**Molibdeno** - Molybdenum (Mo). Número atómico, 42; peso atómico, 95,95. Descubierta por Hjelm en 1782, pero en estado puro fue obtenido sólo en 1895 por Moissan. Su denominación proviene de la palabra griega "molybdos" que significa "plomo", debido a la gran semejanza que existe entre este último y el mineral molibdenita. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, en forma de molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ), mineral muy parecido al grafito por su aspecto externo. El molibdeno es un metal de color blanco grisáceo, duro, maleable a alta temperatura. En estado puro se emplea en forma de aleaciones con el acero, al que transmite gran dureza y tenacidad. Su aleación con wolframio es un sustitutivo del platino. También se utiliza como anticátodo en los tubos de rayos X; con él se hacen los ganchitos que sujetan los filamentos incandescentes de wolframio en las lámparas eléctricas. Su combinación con el carbono, el carburo  $\text{MoC}_2$ , posee extraordinaria dureza.

**Neodimio** - Neodymium (Nd). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 60; peso atómico, 144,27. Descubierta por Auer en 1885 como resultado de la división en dos (neodimio,



o sea, "nuevo gemelo", y praseodimio) del didimio que hasta entonces se consideraba como un solo elemento. Las sales de neodimio son de color rojo rosado.

**Neón** - Neon (Ne). Número atómico, 10; peso atómico, 20,183. Gas noble, descubierto en 1898 por Ramsay y Travers, simultáneamente con el criptón y xenón. Su denominación proviene de la palabra griega "neos", "nuevo". Se encuentra en cantidades pequeñísimas en el aire. Se emplea para llenar las lámparas de descarga gaseosa (lámparas de neón), que iluminan con luz roja.

**Neptunio** - Neptunium (Np). Número atómico, 93. Es el primero de los metales transuránicos. Fue obtenido en 1940 por vía artificial bombardeando el uranio con neutrones. Es radiactivo. Actualmente se conocen 12 isótopos. El de vida más larga es el isótopo con peso atómico 237, cuyo período de semi-desintegración es de 2,2 millones de años. Por sus propiedades es muy parecido al uranio. Su denominación proviene del nombre del planeta Neptuno. Se ha descubierto su presencia, en ínfimas cantidades, en la naturaleza.

**Niobio** - Niobium (Nb). Número atómico, 41; peso atómico, 92,91. Descubierto por Hatchett en 1801 y fue denominado columbio (Cb). En 1846 Rose desdobló el columbio en dos elementos, niobio y tantalio. En América se conservó el nombre de "columbio", en los países europeos está aceptado llamarle "niobio". Esta última denominación proviene del nombre de la ninfa Niobe, hija de Tántalo. En estado libre fue obtenido en 1907. Es un metal de color blanco grisáceo, duro maleable y se caracteriza por su extraordinaria estabilidad ante la acción de los agentes químicos. En la naturaleza se encuentra asociado al tantalio y titanio. Se utiliza para obtener aleaciones y aceros especiales destinados a la construcción de estructuras metálicas soldadas que hayan de sufrir grandes presiones, pues la adición de niobio eleva bruscamente la estabilidad de las juntas de soldadura. También se emplea para la preparación de aleaciones extraduras. Gran interés presenta la posibilidad de emplear el niobio en la electrotecnia de vacío.

**Níquel** - Niccolum (Ni). Número atómico, 28; peso atómico, 58,69. Su denominación proviene del nombre mineral "kupfernickel, que significa "cobre inservible". Descubierto por Cronstedt en 1751. Es un metal de color blanco de plata, bastante duro, temperatura de fusión 1455°. Existe en la naturaleza combinado con el azufre o en forma de minerales silicáticos. Se emplea ampliamente para el niquelado, para la preparación de aceros especiales y como catalizador.

**Nitrógeno** - Nitrogenium (N). Número atómico, 7; peso atómico, 14,008. Gas incoloro. Constituye las 4/5 partes en volumen del aire atmosférico. Los primeros datos sobre la existencia del nitrógeno como sustancia especial corresponden a Rutherford (en el año 1772), sin embargo, sólo Lavoisier demostró que se trataba de un elemento independiente y le dio la denominación "ázoe" (del griego, "sin vida"). La denominación latina Nitrogenium proviene de las palabras "nitrón = salitre y "genus" = engendrador. Se encuentra en la naturaleza además de en el aire, en todos los organismos vivos, así como en forma de salitre (nitratos de sodio y potasio). En estado libre, el nitrógeno se emplea en las lámparas eléctricas. Sus combinaciones tienen una gran importancia como fertilizantes y como parte componente de los explosivos.

**Nobelio** - Nobelium (No). Elemento con número atómico 102, obtenido por vía artificial. Por primera vez fue publicada su obtención en el año 1957 por unos físicos suecos, los cuales propusieron la denominación del nuevo elemento. Pero los experimentos llevados a cabo por científicos soviéticos y americanos no confirmaron las deducciones de aquellos. Los físicos soviéticos obtuvieron el elemento 102 bombardeando el plutonio con iones de oxígeno. Su período de semi-desintegración es de varios segundos.

**Oro** - Aurum (Au). Número atómico, 79; peso atómico, 197,2. Conocido desde tiempos muy remotos. Es un metal de color amarillo, blando y maleable, muy resistente a la acción química de los oxidantes. Se disuelve sólo en el agua regia. De "mal grado" entra en combinación con otros elementos. En la naturaleza se conocen únicamente sus aleaciones con la plata y sus

combinaciones con el selenio y el telurio. Peso específico del oro químicamente puro 19,3 (el del oro nativo, con 15-25% de plata, es 15-16). Funde a 1 060°, hierve a 2 677°. Las láminas finas de oro dejan pasar la luz verde. El oro es un metal valioso y esto es lo que principalmente determina su importancia. Sus aplicaciones técnicas son escasas: para contactos, dorado de objetos, fotografía y medicina.

**Osmio** - Osmium (Os). Número atómico, 76; peso atómico 190,2. Pertenece al grupo de los metales del platino. Descubierta por Tennant en 1803. Su denominación deriva de la palabra griega "Osme", "olor", pues los vapores de anhídrido ósmico huelen a rábano podrido. Es un elemento poco activo, muy estable desde el punto de vista químico. Su peso específico (22,118) es el más elevado de todas las sustancias conocidas en la tierra. Temperatura de fusión 2.500°. Existe en la naturaleza en estado nativo, asociado al platino. La aleación de osmio e iridio es extraordinariamente dura y se usa para las puntas de las plumillas de las plumas estilográficas.

**Oxígeno** - Oxygenium (O). Número atómico, 8; peso atómico, 16,0000. Su denominación literalmente significa "engendrador de ácido". Descubierta por Priestley en 1774. Elemento extraordinariamente difundido en la naturaleza, constituye el 49,5% en peso de la corteza terrestre. Juega un papel enorme en los procesos naturales, toma parte en la composición del agua, la mayoría de los minerales y los organismos vivos. Se utiliza ampliamente en metalurgia (para la fundición del hierro colado), en la soldadura autógena mezclado con el hidrógeno o acetileno, y en muchas ramas de la industria química. El oxígeno líquido o el aire líquido se emplean como explosivos energéticos.

**Paladio** - Palladium (Pd). Número atómico, 46; peso atómico, 106,7. Elemento del grupo del platino. Descubierta por Wollaston en 1803 y denominada en honor del asteroide Palas. Es el más blando y maleable de todos los metales del grupo del platino. Es notable su propiedad de absorber el hidrógeno en enorme cantidad (hasta 300 volúmenes por 1 volumen del metal), conservando el aspecto metálico, pero aumentando de volumen. Debido a su bello aspecto externo se usa en joyería.

**Plata** - Argentum (Ag). Número atómico, 47; peso atómico, 107,88. Es un metal noble conocido desde la más remota antigüedad. La plata pura es de color blanco, muy blanda y dúctil. Peso específico, 10,5; temperatura de fusión, 960,5°; muy parecido por sus propiedades al oro y al cobre; en contacto con aire no se altera, posee gran maleabilidad. Es el metal que mejor conduce el calor y la electricidad. En la naturaleza se encuentra en estado nativo y combinado con el azufre y el cloro. Sus aleaciones se emplean para la fabricación de objetos y utensilios domésticos, en joyería y para acuñar monedas. Su denominación proviene del sánscrito "argenos" - "claro"

**Platino** - Platinum (Pt). El más importante de los elementos de su grupo. Número atómico, 78; peso atómico, 195,23. Fue descubierta el año 1735 en las arenas auríferas del río Pinto por Antonio Ulloa. Como elemento independiente lo describió Watson ya en 1750. Su denominación proviene de la palabra española "platina", diminutivo de "plata". Peso específico 21,4; temperatura de fusión, 1.773,5°. Es un metal brillante, maleable, inalterable, incluso, elevando la temperatura hasta el más alto grado de incandescencia. Debido a su elevado punto de fusión y su estabilidad ante los agentes químicos se usa en gran escala en los laboratorios científicos e industriales. En la naturaleza se encuentra en estado nativo. La mayor cantidad de platino se extrae de los yacimientos superficiales (placeres).

**Plomo** - Plumbum (Pb). Número atómico, 82; peso atómico, 207,21. Se conoce su existencia desde tiempos remotos. Es un metal blando y pesado de color gris azulado. Peso específico, 11,34; temperatura de fusión 327°. Tiene numerosas aplicaciones. Principalmente, se usa para recubrir cables y hacer placas de acumuladores. Gran cantidad se consume en la fabricación de

balas y perdigones, pantallas protectoras contra la irradiación radiactiva y los rayos X. Toma parte en la composición de muchas aleaciones (metal antifricción, aleación tipográfica, etc.). Los compuestos de plomo se emplean para preparar pintura blanca. Su principal mineral es el plomo brillante o galena (PbS), del que se extrae.

**Potasio** - Kalium (K). Número atómico, 19; peso atómico, 39,096. Davy fue el primero que lo obtuvo en 1807 por electrólisis del hidróxido potásico. Su denominación proviene de la palabra árabe "álcali", "alcalino". En estado libre no se encuentra en la naturaleza, sin embargo, está muy difundido en forma de silicatos y sales haloideas. El isótopo del potasio con peso atómico 40 es radiactivo. EL potasio es un metal de color blanco argentino, al contacto del aire se oxida rápidamente, debido a lo cual se conserva en kerosene. Es blando como la cera; temperatura de fusión, 63,5°, punto de ebullición, 762°. Más ligero que el agua (peso específico 0,862). Mezclándolo con el sodio se obtiene una aleación líquida a la temperatura ordinaria, que puede sustituir al mercurio en los termómetros. El potasio puro tiene pocas aplicaciones, pues, por lo general, es sustituido por el sodio, elemento más barato.

**Plutonio** - Plutonium (Pu). Número atómico, 94. Por primera vez fue obtenido artificialmente en 1941 bombardeando el uranio con deuterones (núcleos de hidrógeno pesado). Es radiactivo. En la actualidad se conocen 12 isótopos. El de mayor longevidad es el isótopo con peso atómico 242, su período de semi-desintegración es de 500 000 años. EL isótopo 239 es el principal producto para la obtención de energía atómica. Desde el punto de vista químico se parece mucho al uranio. La denominación proviene del planeta Plutón. Se ha descubierto en pequeñas cantidades en los minerales naturales de uranio (aproximadamente 1 átomo de plutonio por cada 140 000 millones de átomos de uranio).

**Polonio** - Polonium (Po). Número atómico, 84; peso atómico, 210,0. Es radiactivo. Fue descubierto por Mario Curie el año 1898 y denominado en honor de su patria Polonia. En estado puro no ha sido obtenido. Por sus propiedades químicas es muy parecido al telurio y es uno de los miembros de la serie de desintegración radiactiva del uranio. Período de semi-desintegración, 137,6 días.

**Praseodimio** - Praseodymium (Pr). Pertenece al grupo de las tierras raras. Número atómico, 59; peso atómico, 140,92. Descubierto por Auer en 1885 junto con el neodimio. Recibió su nombre de las palabras griegas "prasios" = "verde" y "didymos" = "gemelo". Sus sales son de color verde.

**Prometio** - Prometheum (Pm). Número atómico, 61. En el sistema periódico de Mendeléev se encuentra en el grupo de las tierras raras. Fue extraído, por vía química, de los fragmentos de la fisión del uranio en forma de isótopo dotado de vida relativamente larga, con peso atómico, 147. EL período de semi-desintegración es de unos 4 años. Se denominó en honor de titán mitológico Prometeo.

**Protactinio** - Protactinium (Pa). Número atómico, 91; peso atómico, 231. Es radiactivo. Descubierto en 1917 por Hahn y Lise Meitner. En 1927, Grosse lo obtuvo en estado libre en cantidad de centésimas de gramo. Es un metal de color blanco argéntico. Recibió su denominación de las palabras griegas "protos" y "actinos", o sea, "primer rayo". Se encuentra en la naturaleza junto con el uranio, constituyendo uno de los productos de su desintegración. Su periodo de semi-desintegración es de 3200 años.

**Radio** - Radium (Ra). Número atómico, 88; peso atómico, 226,05. Elemento radiactivo de la serie del uranio descubierto el año 1898 por los esposos Curie en la peblenda. Su denominación proviene de la palabra "radios" que significa "rayo". Es un metal de color argéntico que descompone el agua a la temperatura ordinaria. Muy parecido al bario en sus propiedades químicas, por lo cual las sales de radio son muy difíciles de separar de las de bario. La propiedad más notable del radio es su elevada radiactividad, que supera en varios millones de veces a la del

uranio. EL radio despidе rayos alfa, beta y gamma. Sus sales emiten luz en la oscuridad. Los rayos por él emitidos, además de impresionar las placas fotográficas, tienen la propiedad de provocar numerosas reacciones químicas, destruyen los tejidos de los organismos vivos y matan las bacterias. Es especialmente admirable la propiedad que posee el radio de emitir permanentemente grandes cantidades de energía. La duración del período de semi-desintegración del radio es de 1 580 años. Se emplea en medicina para curar el cáncer y el lupus.

**Radón** - Radon (Rn). Número atómico, 86; peso atómico, 222,0. Es el gas noble más pesado, producto de la transformación radiactiva del radio. Su existencia dura corto tiempo, período de semi-desintegración 3,85 días, convirtiéndose en helio y la sustancia sólida radio A. Descubierta por Dorn en 1900. Su denominación proviene de la misma raíz que la palabra "radio". Se llama también emanación de radio y nitón. Se emplea para el tratamiento no quirúrgico del cáncer.

**Renio** - Rhenium (Re). Número atómico, 75; peso atómico, 186,31. Es uno de los elementos más dispersos, descubierta sólo en 1925 por los esposos Noddack. Su denominación proviene de la denominación del río "Rhein" = "Rin". Mendeléev predijo sus propiedades y lo llamó dimanganeso. Por su aspecto exterior recuerda al platino. Es uno de los elementos más pesados y difíciles de fundir. Presenta gran interés para la industria electrotécnica, pues constituye un excelente material para los filamentos de las lámparas eléctricas, todavía mejor y más resistente que el wolframio. También se utiliza en forma de aleación. En la naturaleza se encuentra en el mineral molibdenita en cantidad inferior a una cienmilésima %.

**Rodio** - Rhodium (Rh). Número atómico, 45; peso atómico, 102,91. Pertenece al grupo del platino. Descubierta por Wollaston en 1804, su denominación proviene de la palabra griega "rhodon", "rosado" debido a que sus sales son de este color. En la naturaleza se encuentra en estado nativo junto con los elementos del grupo del platino. Con la aleación de platino y rodio se fabrican instrumentos para medir altas temperaturas (pares termoelectrónicos).

**Rubidio** - Rubidium (Rb). Número atómico, 37; peso atómico, 85,48. Pertenece al grupo de los metales alcalinos. Descubierta por Bunsen el año 1861 mediante el análisis espectral. Recibió su nombre por el color rojo característico de sus líneas del espectro ("rubidus", "rojo oscuro"). Sus propiedades son muy parecidas a las del sodio y potasio. Peso específico, 1,52; temperatura de fusión, 39°; punto de ebullición, 696°. Se encuentra en la naturaleza en estado extremadamente disperso. El mayor contenido de rubidio (hasta 0,1% se observa en la amazonita (feldespato verde); en cantidades apreciables existe en el mineral carnalita. EL rubidio es radiactivo, emite sólo rayos beta, transformándose en estroncio. Período de semi-desintegración, 70.000 millones de años.

**Rutenio** - Ruthenium (Ru). Número atómico 44; peso atómico, 101,7. Pertenece al grupo del platino. Descubierta el año 1844 por el investigador ruso Claus en la ciudad de Kazán, denominado en honor de Rusia (en latín, Ruthenia significa Rusia). Es un metal frágil, con peso específico 12,26 y temperatura de fusión 1950°. En la naturaleza se encuentra junto con otros elementos del grupo del platino. Es muy poco abundante, por lo que tiene pocas aplicaciones.

**Samario** - Samarium (Sm). Número atómico, 62; peso atómico, 150,43. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierta por Lecoq de Boisbaudran en 1879, su denominación proviene del mineral samarsquita. La llama del arco voltaico adquiere coloración rojorosa en presencia de sales de samario. Es radiactivo, emite únicamente rayos alfa, transformándose en neodimio.

**Selenio** - Selenium (Se). Número atómico, 34; peso atómico 78,96. Descubierta por Berzelius en 1817. Recibió su denominación de la palabra griega "Selene", "Luna". Conduce la corriente eléctrica, con la particularidad de que su conductividad varía al cambiar la luminosidad. En esto está fundada su principal aplicación en las células fotoeléctricas. Por sus propiedades químicas se parece al azufre y, todavía más, al telurio. Peso específico, 4,8; temperatura de fusión, 220,2°;

punto de ebullición, 688°. En la naturaleza se encuentra en estado disperso, acompañando en pequeñas proporciones al azufre. Además de en las células fotoeléctricas, el selenio se emplea en electrotecnia, en las industrias del caucho y del vidrio y en televisión.

**Silicio** - Silicium (Si). Número atómico, 14; peso atómico, 28,09. Después del oxígeno, es el elemento más difundido en la corteza terrestre. En la naturaleza nunca se presenta en estado libre sino combinado con el oxígeno (sílice  $\text{SiO}_2$ ) o en forma de sales del ácido silícico (silicatos). El mineral cuarzo y sus numerosas variedades están constituidos de sílice. Importantísimos productos técnicos, como el vidrio, porcelana, cemento, ladrillos, en lo fundamental están formados por silicatos, lo mismo que el granito, basalto, sienita y otras rocas. Fue descubierto por Gay-Lussac y Thenard en 1811. Sin embargo, su naturaleza como elemento fue establecida por Berzelius sólo en 1823. Su denominación proviene de la palabra latina "sílex", "pedernal". Durante estos últimos años ha empezado a utilizarse mucho para la fabricación de dispositivos semiconductores, especialmente pilas solares para los aparatos cósmicos.

**Sodio** - Natrium (Na). Número atómico, 11; peso atómico, 22,997. Davy lo descubrió en 1807 al efectuar la electrólisis del hidróxido sódico. Su denominación proviene de la palabra árabe "natron", "sosa". Es un metal de color blanco argéntico, blando como la cera, se oxida en contacto con aire (se conserva en kerosene), más ligero que el agua (peso específico 0,971). Muy difundido en forma de silicatos y sales haloideas. Él y sus sales se emplean en gran escala en la industria (sal común, sosa, sal de Glauber, etc).

**Talio** - Tallium (Tl). Número atómico, 81; peso atómico, 204,39. Descubierto por Crookes el año 1861 mediante el análisis espectral. Su nombre proviene de la palabra griega "thallos", "tallo verde", debido al color de sus líneas del espectro. Es un metal más ligero que el plomo, muy volátil, funde a 302° y tiñe la llama de color verde. En la naturaleza se encuentra muy diseminado. La principal materia prima para su obtención es el polvo que se obtiene durante la calcinación de los sulfuros de ciertos metales. Se emplea en las aleaciones resistentes a la acción de los ácidos, para preparar cristal óptico y en los pares termoeléctricos.

**Tantalio** - Tantalum (Ta). Metal raro. Número atómico, 73; peso atómico, 180,95. Descubierto por Ekeberg en 1802, recibió su nombre en honor de Tántalo, héroe mitológico griego. Admite toda clase de tratamientos mecánicos y se caracteriza por su alta estabilidad ante la acción de reactivos químicos. Esta propiedad se utiliza para la preparación de aparatos de laboratorios químicos e instrumentos quirúrgicos. Sus aleaciones con el carbono se distinguen por su elevadísima dureza, lo que las hace muy útiles para la fabricación de cuchillas y taladros. En la naturaleza es raro siempre asociado al niobio y, a menudo, al titanio.

**Tecnecio** - Technetium (Tc). Número atómico, 43. Es el primer elemento químico obtenido por vía artificial. Fue sintetizado por K. Perrier y Segré en 1937 bombardeando el molibdeno con deuterones, núcleos del isótopo pesado del hidrógeno. En la actualidad se conocen 17 isótopos. El de vida más larga es el isótopo de peso atómico 99. Por sus propiedades químicas, el tecnecio se parece al renio y al manganeso. Su denominación proviene de la palabra griega "technetos", "artificial", pues éste es el primer elemento producido artificialmente. Sus propiedades concuerdan exactamente con las que predijo Mendeléev, que llamó a este elemento eka-manganeso.

**Telurio** - Tellurium (Te). Número atómico, 52; peso atómico, 127,61. Descubierto por F. Müller el año 1782; Klaproth confirmó en 1798 este descubrimiento y dio al nuevo elemento su denominación que proviene de la palabra latina "telluris", "tierra". Por su comportamiento químico se parece al azufre y, todavía más, al selenio. Se proyecta su utilización en la industria de cerámica, para colorear el vidrio, y como aditivo a la gasolina con objeto de acelerar el proceso de combustión en los motores.

**Terbio** - Terbium (Tb). Número atómico, 65; peso atómico, 158,93. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Mosander en 1843. Su denominación proviene del nombre de la ciudad Itterby (Suecia) en cuyas canteras fueron descubiertos los minerales de las tierras raras.

**Tierras raras** - Terrae Rarae (TR). La casilla N°57 de la tabla de Mendeléev está ocupada, no por un solo elemento, como ocurre en otras casillas, sino por 15 elementos muy semejantes entre sí. Sus números atómicos oscilan entre 57 y 71. Estos elementos se unifican bajo la denominación común de elementos de las tierras raras, llamados también lantánidos. A las tierras raras pertenecen el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio, lutecio. En el grupo de las tierras raras se incluye también el elemento itrio (N°39). Las tierras raras se dividen en dos grupos, del cerio y del itrio. Todas las tierras raras son muy parecidas entre sí por sus propiedades químicas. En estado libre poseen altos puntos de fusión, reaccionan con el agua a la temperatura ordinaria. En la naturaleza siempre se encuentran mezclados unos con otros. Su separación implica grandes dificultades. El mineral más importante de las tierras raras es la monacita. Sólo el cerio ha adquirido la utilización práctica. La historia del descubrimiento de algunos de ellos es bastante compleja. La existencia de la "tierra nueva" fue establecida por vez primera en 1794 por Gadolín. El último elemento descubierto de las tierras raras es el lutecio, últimamente por vía artificial ha sido obtenido el prometio (N°61). Datos suplementarios sobre cada uno de los elementos del grupo de las tierras raras pueden verse en este vocabulario.

**Titanio** o **titano** - Titanium (Ti). Número atómico, 22; peso atómico, 47,90. Elemento muy difundido en la naturaleza, constituye el 0,6% del peso de la corteza terrestre. Descubierto por Klapproth el año 1795, sin embargo, en estado puro fue obtenido solamente en 1857 por Wöhler y Sainte-Claire Deville y denominado en honor del héroe mitológico Titán, hijo de la Tierra. Es un metal de color blanco de plata, muy duro y frágil. Peso específico. 4,5; punto de fusión, 1.800°C. EL titanio tiene una importancia práctica especialmente grande en metalurgia, pues contribuye a la total eliminación del oxígeno y nitrógeno en la fundición de acero, con lo cual se obtiene un acero perfectamente homogéneo, transmitiéndole dureza y elasticidad. El titano puro es muy resistente a los cambios bruscos de temperatura y ante él se abren amplias perspectivas de empleo en aviación. EL dióxido de titanio se usa para preparar pinturas blancas de buena calidad (blanco de titanio).

**Torio** - Thorium (Th). Número atómico, 90; peso atómico, 232,12. Es uno de los elementos radiactivos más importantes, descubierto por Berzelius en 1829. Recibió su denominación por el nombre de Thor, dios escandinavo de la guerra. La radiactividad del torio fue establecida en 1898 por Sklodowska-Curie y Smidt. Por su aspecto exterior, este metal se parece al platino. Peso específico, 11,7; punto de fusión, 1842°. Período de semi-desintegración 13.000 millones de años. Al desintegrarse forma la llamada serie radiactiva del torio, cuyo producto final es el plomo con peso atómico 208. Los principales minerales de torio son la monacita y la torita. La monacita se extrae de ciertas arenas que la contienen. El óxido de torio se usa en manguitos de incandescencia para mecheros de gas. Juntamente con el uranio, el torio se desintegra desprendiendo enorme cantidad de energía atómica.

**Tulio** - Thulium (Tu). Número atómico, 69; peso atómico, 169,4. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Cleve en 1880. Recibió su nombre de la palabra "Thulo", antigua denominación de Escandinavia. Sus sales son de color verde.

**Uranio** - Uranium (U). Número atómico, 92; peso atómico, 238,07. Elemento que no hace mucho tiempo ocupaba el último lugar en el sistema periódico de Mendeléev. Fue descubierto el año 1789 en la peblenda por Klapproth, pero en estado libre fue obtenido por Peligo en 1841. Es un metal de color blanco argéntico, muy difícil de fundir (temperatura de fusión 1.690°), peso

específico 18,7, radiactivo. Precisamente las radiaciones que emite el uranio, fueron las que permitieron a Becquerel descubrir en 1898 el fenómeno de la radiactividad. EL uranio natural tiene varios isótopos; predomina el isótopo con peso atómico 238; el de peso atómico 235 se halla en la proporción del 0,7% con respecto a los demás isótopos. Cuando se desintegra el uranio-238, se forman los elementos de la serie del uranio; durante el proceso de radiactividad del uranio-235 se produce la serie del actinio. El producto final de la serie del uranio es el plomo con peso atómico 206, el de la serie de actinio es el plomo con peso atómico 207. Cuando se bombardea el uranio-235 con neutrones lentos, su núcleo se fisiona con facilidad en dos fragmentos casi iguales, desprendiendo una cantidad enorme de energía. Recibió su nombre del planeta Urano, descubierto unos años antes.

**Vanadio** - Vanadium (V). Número atómico, 23; peso atómico, 50,95. Descubierto por Sefstróm en 1830. Recibió su nombre en honor de la diosa Vanadis. Es un metal de color gris acerado, muy duro, no frágil, bastante difundido en la naturaleza, pero sólo en estado disperso. Se obtiene de los minerales titanomagnetíticos y de las pizarras bituminosas. Su principal aplicación es para la fabricación de acero de alta calidad, dotado de gran dureza, elasticidad y resistencia a la ruptura. Se utiliza como catalizador en la industria química en cerámica, como colorante, en fotografía, para dar tonalidad a las pruebas fotográficas. Se emplea también en medicina.

**Wolframio** - Wolfram (W). Número atómico, 74; peso atómico, 183,92. Descubierto por Scheele en 1783 en el mineral wolframita. En estado libre lo obtuvo Wöhler sólo en 1850. En Inglaterra y Francia, el wolframio se llama "tungsteno". EL wolframio es un metal pesado (peso específico 19,1) de color blanco argéntico que posee una temperatura de fusión elevada (3.370°C). No se oxida, ni se disuelve en los ácidos, a excepción del agua regia. Se emplea en la fabricación de filamento para lámparas eléctricas, aceros extrarrápidos y aleaciones extraduras, que se conocen con las denominaciones "pobedit", "vidia" y "carbolói". El "pobedit" posee una dureza próxima al diamante y se utiliza para la perforación de las rocas más duras. Debido a la propiedad del wolframio de estirarse en alambres con espesor hasta de una centésima de milímetro, con él se preparan filamentos para lámparas eléctricas. El wolframio se emplea también para la fabricación de los recipientes y accesorios que se usan en los laboratorios químicos y para contactos, como sustitutivo del platino, elemento más costoso.

**Xenón** - Xenon (Xe). Número atómico, 54; peso atómico, 131,3. Gas noble, descubierto en 1898 por Ramsay y Travers simultáneamente con el criptón y neón. Su nombre deriva de la palabra griega "xenos", "extraño". Se encuentra en el aire atmosférico en ínfima cantidad. Es cuatro veces y media más pesado que el aire.

**Yodo** - Iodum (I). Número atómico, 53; peso atómico, 126,92. Metaloide típico. En condiciones normales, el yodo es sólido, muy volátil y fácilmente soluble en muchos disolventes. Fue descubierto por Courtois en 1811. La industria lo obtiene del salitre chileno en cantidades hasta de 1.000 toneladas al año. Existe también en las aguas petrolíferas y en las algas marinas, de donde también se extrae. Pertenece al grupo de los materiales dispersos en la naturaleza. Su nombre proviene de la palabra griega "iodes", que significa "violado", debido a la coloración de sus vapores. Se utiliza en medicina para obtener cristales polarizados, en fotografía y en la industria de colorantes.

**Zinc** - Zincum (Zn). Número atómico, 30; peso atómico, 65,38. Descubierto por Paracelsus en el siglo XVI. Su denominación proviene de la palabra "zinco", "pátina blanca" (las sales de zinc son de color blanco). Es un metal de color blanco grisáceo, resistente a la acción del agua y el aire. En la naturaleza se encuentra, principalmente, constituyendo el mineral esfalerita (ZnS). Se emplea para recubrir el hierro (hierro galvanizado), así como en las aleaciones con el cobre (latón). Las sales blancas de zinc se usan como pintura, y, también, en medicina.

***Zirconio*** o ***circonio*** - Zirconium (Zr). Número atómico, 40; peso atómico, 91,22. Descubierta por Klaproth en 1789, su nombre proviene del mineral zircón (del persa "zargun" - "dorado"). El dióxido de circonio funde a 3 000°, y a esta temperatura se mantiene estable ante los agentes químicos. Debido a estas propiedades se emplea como material refractario de alta calidad. Se utiliza como aditivo al hierro colado, con objeto de elevar la calidad de la fundición metálica. En la naturaleza se presenta en forma de zircón y de silicatos complejos.



**Capítulo XLII****ACLARACIONES A ALGUNOS TERMINOS Y NOMBRES QUE APARECEN EN EL TEXTO**

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V Y Z

**A*****Abrasivos o materiales abrasivos.***

Substancias dotadas de alta dureza, que al ser trituradas producen granos con bordes agudos. Los abrasivos se emplean para cortar, serrar, taladrar, afilar, bruñir, pulimentar y efectuar otras clases de tratamientos mecánicos en los metales, piedra, vidrio, etc. Los abrasivos naturales más importantes son el diamante, corindón granate, sílice, cuarzo, arenisca y piedra pómez; artificiales: corindón sintético (electrocorindón, alúndum), carborundo (aleación de cuarzo y carbono), estalinita, volomita (aleaciones de wolframio y carbono) y carburo de boro. La importancia técnica de los abrasivos es enorme.

**Acero.** Aleación más o menos maleable de hierro carbonado con distintos elementos químicos.

**Acero cromado.** Acero recubierto de una capa de cromo. Se caracteriza por su resistencia al desgaste y estabilidad ante los agentes químicos.

**Acetileno.** Gas que se obtiene por la acción del agua sobre el carburo de calcio. Arde con llama de color blanco muy vivo. Se emplea (en combustión con oxígeno) para el corte y soldadura de metales ferrosos y no ferrosos.

**Acido bórico** ( $H_3BO_3$ ). Acido débil. Existe en la naturaleza constituyendo el mineral sasolita. Se presenta en forma de cristales blancos tabulares.

**Acidos húmicos.** Parte ácida de las materias húmicas, componentes del estiércol natural de los terrenos (humus). Estas substancias orgánicas juegan un importante papel en el proceso de cultivo de las plantas.

**Adornos de piedra.** Objetos pequeños y aderezos hechos de piedras preciosas coloreadas.

**Ágata.** Calcedonio estriado, estratificado, con capas de distinta coloración (blanca, roja, negra, etc.) Véase calcedonio.

**Agrícola.** Nombre latinizado de Jorge Bauer (1494-1555). Médico, mineralogista y metalúrgico alemán. Su obra "*El arte minero*" sirvió en el transcurso de dos siglos como libro de texto para el estudio de la técnica minera y la metalurgia.

**Aguamarina.** Variedad transparente del berilio, de color verde-azul parecido a la del agua del mar (de las palabras latinas "aqua" = agua y "mare" = mar). Se usa como piedra preciosa.

**Alaita.** Mineral rarísimo de bello color rojo. Por su composición química es ácido vanádico natural ( $V_2O_5 \times H_2O$ ). Fue hallado en Asia Central.

**Afloramiento.** Lugar donde sobresalen a la superficie terrestre rocas, vetas y yacimientos minerales. Los afloramientos pueden ser naturales o artificiales (desbrozos).

**Agrología.** Ciencia que estudia el origen y formación de los terrenos, el proceso de desarrollo de su fertilidad y los factores que influyen sobre los terrenos para elevar la cosecha de cultivos.

**Algas diatomeas o algas silíceas.** Algas unicelulares de magnitud microscópica, con caparazones (envolturas) impregnadas de sílice. Abundan en todas las aguas dulces y saladas del globo terrestre. Son organismos originarios de las rocas, formando potentes depósitos de diatomita (tierra de diatomeas) y tripolita (tierra de infusorios). Estas concentraciones de diatomita y tripolita tienen gran importancia económica como materiales de construcción y abrasivos.

**Alquimia.** Denominación medieval de la Química. Corrientemente, se llama alquimista al período pre-científico de desarrollo de la Química.

**Aludes.** Hundimientos de grandes masas de nieve y hielo que se desprenden de las pendientes de montañas elevadas.

**Alumbres.** Combinaciones químicas constituidas por sales dobles del ácido sulfúrico. Los alumbres que más abundan en la naturaleza son los aluminicos (alunita) y férricos (halotriquita).

**Alúmina.** Oxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Forma parte de la composición de muchas rocas y minerales (aluminosilicatos). Industrialmente se obtiene, por lo general, de la bauxita. En la naturaleza se presenta formando el mineral corindón y otros.

**Aluminosilicatos.** Silicatos, en cuya composición juega un gran papel el óxido aluminico, es decir, la alúmina.

**Alúndum.** Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) obtenida artificialmente a partir de aluminosilicatos o bauxitas naturales. Véase abrasivos.

**Alunita o piedra alumbre.** Mineral blanco o marrón rojizo. Sulfato básico hidratado de aluminio y potasio.

**Amatista.** Variedad del cuarzo. Mineral transparente de color malva. Véase cuarzo.

**Ámbar.** Resina fósil solidificada en masa compacta, procedente de árboles coníferos pertenecientes con preferencia al período terciario. Puede ser de color lechoso, amarillo de miel, pardo, anaranjado oscuro y rojizo. Es frágil, pero se talla y pule con facilidad. Arde desprendiendo olor aromático. Se emplea en la industria química, en electrotecnia y como piedra de adorno.

**Ampangabeita.** Niobato y titanato de uranio, hierro y otros metales. Raro mineral radiactivo de color rojo pardusco. Fue hallado por primera vez en Madagascar.

**Análisis espectral.** Método para determinar la composición química de cualquier sustancia compleja basándose en las características de su espectro. Es un método muy sensible.

**Aneroide.** Véase barómetro.

**Anfibol u hornablenda.** Mineral de color verde oscuro, negro verdoso o negro pardusco de brillo vítreo, perteneciente al grupo de los silicatos. Se presenta en la naturaleza formando masas compactas de estructura granulada o fibrosa.

**Angstrom.** Unidad de longitud igual a una cienmillonésima de centímetro ( $1 \times 10^{-3}$  cm). Se designa con el símbolo Å. Se emplea, principalmente, en óptica (para medir las longitudes de onda de la luz) y en Física nuclear. Recibió su nombre en honor del físico sueco Angström que empleó y puso en uso esta unidad de medida en 1868.

**Anión.** Véase ion.

**Anomalía magnética de Kursk.** Extenso territorio en la región de Kursk, donde se observa una considerable desviación de la aguja magnética en las brújulas, producida por la existencia de grandes yacimientos de magnetita.

**Antimonita.** También llamada antimonio brillante o estibnita. Sulfuro de antimonio  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Mineral gris plomizo de brillo metálico, a veces, con trazos esmaltados de coloración variadísima. Se presenta en forma de agujas cristalinas y en masas compactas. Se utiliza para la obtención de antimonio.

**Antracita.** El tipo de carbón de piedra que contiene mayor cantidad de carbono (del 90 al 96%).

**Apatito.** Fosfato cálcico natural que suele ir acompañado de cloruro y fluoruro de calcio. Se emplea en la producción de abonos fosfatados.

**Aragonito.** Mineral de composición análoga a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), que se diferencia de ésta en la distribución de sus átomos y en poseer distintas propiedades físicas. Puede ser de color blanco, amarillo, verde y violeta. Son características para este mineral sus grandes formaciones que se presentan a modo de concreciones esféricas (oolitos), o bien, diferentes depositaciones formadas por infiltración que cuelgan de los techos de las cavernas (estalactitas) o que se elevan al

encuentro desde el suelo (estalagmitas). Se forma, generalmente, al precipitar de las soluciones acuosas calientes y frías.

**Arcilla.** Roca sedimentaria, constituida principalmente de silicatos hidratados de aluminio que contienen con frecuencia partículas diminutas de otros minerales. Es plástica y forma, al mezclarse con el agua, una masa pastosa moldeable. Se utiliza en la construcción, en alfarería, etc.

**Arena.** Formación rocosa de estructura floja y finamente fragmentada debida a la acumulación no consolidada de sedimentos detríticos, consistentes en granos sueltos redondeados o puntiagudos de diferentes minerales (cuarzo, feldespato, etc.). La magnitud de los granos oscila entre 2 y 0,02 mm.

Por su procedencia, las arenas representan productos de destrucción, acarreo y sedimentación de rocas preexistentes.

Las arenas se utilizan para los fines técnicos más diversos. Según sea la aplicación técnica a que se destinen se clasifican en arenas para la construcción, para la fabricación de vidrio, para fundiciones, pulimentación, filtración, etc.

**Argonautas.** Tripulantes de la nave "Argos", héroes del ciclo de fábulas helénicas antiguas que emprendieron, encabezados por Jasón, la campaña sobre Cólquida (la Transcaucasia actual) en busca del vellocino de oro. El mito de los argonautas es el reflejo histórico de las primeras colonizaciones griegas (siglos VIII - VI a. n. e.).

**Aristóteles (384-322 a. n. e.).** Eminente filósofo de la Grecia antigua. Las obras de Aristóteles abarcan todas las ramas del saber de su tiempo: Lógica, Psicología, Ciencias Naturales, Historia, Política, Ética y Estética. No se conserva ninguno de sus trabajos, sólo se conocen ciertos fragmentos sueltos que se citan en las obras de autores antiguos.

**Arrecifes de coral.** Bancos rocosos subacuáticos o a flor de agua, formados por la acumulación de los esqueletos calcáreos de corales que habitaban en colonias. Existen exclusivamente en los mares tropicales, cerca de las costas de continentes e islas o en alta mar, en los sectores poco profundos.

**Asbesto.** Denominación conjunta de varios minerales constituidos por fibras sumamente finas, los silicatos magnésicos. La longitud de las fibras puede alcanzar 5 y más centímetros. Se emplea para fabricar tejidos incombustibles, juntas termo y electroaislantes, valiosos materiales de construcción resistentes al fuego, etc.

**Asfalto.** Betún sólido de color pardo o negro mate. Consiste, con frecuencia, en residuos solidificados procedentes de la oxidación del petróleo. A 70-110°C se reblandece y funde. Los asfaltos se clasifican en naturales y artificiales.

**Astrofísica.** Rama de la Astronomía dedicada al estudio del estado físico y composición química de los astros y materia intersidial.

**Atmósfera.** Envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Actualmente, la atmósfera se considera dividida en tres capas:

- 1) troposfera,
- 2) estratosfera y
- 3) ionosfera.

**Atolón.** Isla (arrecifes) de coral dispuesta en forma de anillo continuo o discontinuo con una laguna central. Los atolones se hallan en alta mar, aislados o formando archipiélagos enteros.

**Atomo** (del griego "indivisible"). Partícula ínfima de elemento químico. Hasta mediados del siglo XIX se consideraba al átomo como partícula de substancia indivisible e inalterable. A principios del siglo XX se demostró que el átomo es indivisible sólo desde el punto de vista químico.

**B**

**Baikalita.** Variedad oscura, verde mate, del silicato de calcio y hierro, que se encuentra cerca del lago Baikal.

**Baritina** o espato pesado. Sulfato bórico ( $\text{BaSO}_4$ ). Mineral opaco y pesado. Existen en la naturaleza sus variedades incoloras o, más frecuentemente, amarilla, roja, azul y de otros colores. Se utiliza en gran escala para la preparación de albayalde, productos químicos, etc.

**Barómetro** (del griego "baros" = pesantez y "metro" = mido). Instrumento meteorológico que sirve para medir la presión atmosférica. Los barómetros pueden ser de mercurio o metálicos ("aneroides").

**Basalto.** Roca eruptiva de color negro o negro verdoso emergida en estado fundido a la superficie terrestre o bajo el agua. Se compone de minerales ricos en magnesio y hierro. Forma planos de división que tienen forma de columnas hexagonales.

**Bauxita.** Roca arcillosa de color blanco y, a veces, rojizo, compuesta de combinaciones hidratadas de alúmina, óxidos de hierro y titanio. Se usa como materia prima para la obtención de aluminio.

**Belomorita.** Piedra lunar de las vetas pegmatíticas de Belomorie (litoral del mar Blanco). Variedad de feldespato, la albíta.

**Berilo.** El mineral más importante para la obtención de metal berilio. Está compuesto de silicio, aluminio y berilio (hasta el 14% de su óxido). Incoloro o con coloración verde y amarilla. En la naturaleza se presenta formando variedades transparentes bellamente coloreadas: esmeralda (verde vivo), aguamarina (color del agua del mar), vorobiévita (rosa) etc. El berilio puro y bien coloreado se usa como piedra preciosa. La variedad más apreciada es la esmeralda.

**Berzelius Juan Jacobo** (1779-1848). Eminente químico y mineralogista sueco. Su texto de Química y los resúmenes anuales sobre los progresos de la Química (1820-1847) cooperaron enormemente al desarrollo de las ciencias químicas en la primera mitad del siglo XIX.

**Betún o betumen.** Denominación con que se designan a las mezclas de diferentes hidrocarburos que se hallan en la naturaleza en forma de sustancias (gases del petróleo), líquidos (nafta, asfalto) y sólidas (ozoquerita). Frecuentemente, los betunes se encuentran impregnando diversas rocas (calizas, pizarras, areniscas). Estas rocas se llaman bituminosas.

**Biotita.** Véase mica.

**Blenda de zinc.** Véase esfalerita.

**Bólide.** Cuerpo luminoso de forma semejante a un globo de fuego, que vuela rápidamente por el cielo. Se origina al penetrar un cuerpo meteórico en la atmósfera terrestre, procedente del espacio interplanetario.

**Bórax** ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Tetraborato disódico decahidratado. Disuelve muy bien los óxidos metálicos, por lo que se usa para limpiar la superficie de las juntas de soldadura. Se utiliza en la industria del cuero y la cerámica, en medicina, etc.

**Boyle Roberto** (1627-1694). Eminente químico y físico inglés.

**Brillante.** Diamante tallado de forma especial. Se usa como piedra preciosa de gran valor.

**Bronce.** Actualmente se llama así a la aleación de cobre con otros elementos, por lo general, metales. Varios decenios atrás, el término "bronce" se empleaba sólo para designar la aleación de cobre y estaño.

**Bronce berílico.** Mezcla de cobre y berilio (de 2 a 2,5% de berilio). Material dotado de gran tenacidad, elasticidad, buen conductor del calor y la electricidad. Se usa para fabricar muelles y piezas amortiguadoras, así como engranajes, casquillos y cojinetes, sometidos a altas velocidades, presiones y temperaturas.

## C

**"Cabellos de Venus"**. Cristal de roca, cuarzo ahumado o amatista con inclusiones de rublo y otros minerales de estructura fibrosa.

**Cadenas transportadoras**. Instalación mecánica que se utiliza para trasladar de forma continua distintas cargas en el interior de un local o entre dos locales diferentes, por ejemplo, en las obras de construcción, fábricas, muelles de embarque y transbordo, almacenes, etc.

Calcedonia. Mineral de todos los colores posibles. Variedad criptocristalina fibrosa del cuarzo que se presenta en forma de nódulos abultados o de concreciones por precipitación de soluciones infiltradas. Semitransparente, traslúcido. Se usa para fines técnicos, y como piedra semipreciosa y de adorno. Su variedad estriada se llama ágata.

**Calcita o espato calizo**. Carbonato cálcico natural ( $\text{CaCO}_3$ ) con frecuencia impurificado por diversas sustancias. Mineral blanco, incoloro o ligeramente coloreado. Se presenta en cristales admirables, en masas granuladas y compactas, en formas concrecionarias de infiltración y estratificadas, estalactitas, estalagmitas, etc. La variedad totalmente transparente que amplifica las imágenes de los objetos observados a su través, se llama espato de Islandia. Ciertas rocas, como los mármoles, calizas y creta, están constituidas casi exclusivamente de calcita.

Calcopirita o pirita de cobre. Mineral de color amarillo-latón que contiene 35% de cobre, 35% de azufre y 30% de hierro. Es uno de los minerales de cobre más importantes.

Caliza. Roca sedimentaria blanca, gris y de otros colores constituida por carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), cuyo origen se debe con frecuencia a la acumulación de restos de esqueletos y conchas. Muy difundida en la corteza terrestre, se presenta formando estratos de enorme espesor. Se emplea en la fabricación de materiales de construcción, industrias química y metalúrgica, en agronomía y otras ramas de la economía.

**Caloría**. Unidad de cantidad de calor. Caloría grande es la cantidad de calor necesaria para aumentar en  $1^\circ\text{C}$  la temperatura de 1 kg de agua. Caloría pequeña es la cantidad de calor que se requiere para elevar en  $1^\circ\text{C}$  la temperatura de 1 g de agua.

**Cantos rodados**. Trozos de rocas, principalmente, de granitos, cuarcitas, calizas, etc., de dimensiones que oscilan entre 10 cm y 10 ó más metros de diámetro. Se originan durante la erosión de las rocas por la acción del agua, el viento y los glaciares. Se emplean para pavimentar las calles, como grava para las construcciones de hormigón. De cantos rodados de gran tamaño se hacen los zócalos para monumentos.

**Caolín**. Arcilla de porcelana. Su denominación proviene de la palabra china "kaolong" que quiere decir "montaña con yacimientos de caolín". Tiene color claro, con frecuencia blanco, estructura porosa de grano fino, constituida casi totalmente del mineral caolinita. El caolín puro es muy refractario, funde a  $1750^\circ$ . Debe su origen a la disgregación y descomposición de rocas ricas en feldespato. Se utiliza en la industria química, en la fabricación de azulejos, porcelana, papel, caucho y otros productos.

**Caolinita**. Mineral opaco de color blanco que corresponde a la fórmula  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{S}_2\text{O}_5]$ . Contiene cerca del 40% de alúmina (óxido aluminico), sílice y agua.

**Carbón (fósil)**. Producto de la transformación lenta, en el transcurso de períodos geológicos, de grandes acumulaciones de restos orgánicos diversos, principalmente, vegetales. Se presenta formando estratos que alternan con arcillas, areniscas y otras rocas. El espesor de los estratos carboníferos oscila entre décimas de centímetro y varios metros. Se divide en: antracita, hulla y lignito.

**Carbonatos**. Sales del ácido carbónico. Se hallan muy difundidos en la naturaleza.

**Carburos**. Combinaciones químicas del carbono con los metales. Se obtienen por la acción del carbón sobre los metales o sus óxidos.

**Carnalita.** Cloruro hidratado de potasio y magnesio. Mineral transparente de color rojizo. Expuesto al aire húmedo adquiere consistencia fluida debido a su propiedad de absorber el agua. Se emplea como abono potásico y para la obtención del magnesio.

**Carst** (fenómenos cársticos). Configuraciones del relieve, características de los lugares cuyas formaciones rocosas son permeables al agua o solubles en ella, por ejemplo, calizas, dolomitas, yeso, etc. Como consecuencia del proceso de lixiviación que experimentan las rocas por la acción de las aguas subterráneas, en la superficie se forman embudos al hundirse el terreno y cuencas cerradas de gran extensión, y en las zonas profundas se forman cavidades y cuevas. En estas regiones, los ríos penetran con frecuencia por las hendiduras y embudos, corren por debajo del terreno y, después, surgen a la superficie en otros lugares. Estos fenómenos se observan en Crimea, los Urales y en ciertas regiones de Siberia.

**Casiterita o piedra estannífera.** Dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), que contiene de este último hasta un 79%. Mineral de coloración parda o negra. Es el mineral más importante de estaño.

**Catión.** Véase ion.

**Celestina.** Sulfuro de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ). Mineral de color celeste. Se emplea para la obtención de sales estróncicas.

**Cemento.** Mezcla calcinada de caliza y arcilla. Al añadirle agua se endurece formando una masa pétreica consistente. Se produce en cantidades enormes y se emplea en la construcción.

**Cerámica** (del griego "keramos" arcilla). Nombre genérico que se da a todos los objetos de arcilla cocida y de sus combinaciones con aditivos minerales. Entre otros objetos cerámicos podemos citar: ladrillos para construcción, tejas, placas de revestimiento, azulejos, ladrillos de escoria, tuberías de agua y de canalización, materiales resistentes al fuego y a los ácidos, alfarería, mayólica, loza, porcelana y cuchillas para cortar metales. La elaboración de objetos de cerámica, empleando métodos primitivos de cocción, se efectuaba ya en la edad de piedra.

**Cianita o distena.** Mineral coloreado con bellos tonos azul celeste y azul marino, más o menos transparente. Contiene cerca del 60% de óxido aluminico. Se utiliza como material muy resistente al fuego y a los ácidos. Las variedades transparentes y bellamente coloreadas se labran para su empleo con fines ornamentales.

**Cianuración.** Método para extraer el oro de las rocas que lo contienen. Este procedimiento está basado en la disolución del oro finamente dividido en soluciones acuosas de cianuro potásico.

**Cinabrio.** Sulfuro de mercurio. Mineral rojo de brillo adamantino. Es el mineral más importante de mercurio.

**Cleopatra.** La última emperatriz de Egipto (69-30 años a. n. e.).

**Cleveíta.** Mineral que contiene uranio y cierta cantidad de tierras raras. Cuando se calienta desprende gran cantidad de helio, formado en el mineral a causa de la desintegración radiactiva del uranio. Al estudiar el desprendimiento de gases en la cleveíta, los hombres de ciencia descubrieron por vez primera la existencia de helio en la Tierra. Hasta entonces se consideraba que el helio sólo se hallaba en la atmósfera del Sol.

**Cloritas.** Grupo de minerales que pueden ser considerados como silicatos hidratados de aluminio y magnesio, en los que parte de los óxidos magnésico y aluminico han sido sustituidos por óxido de hierro. Su color es variable: desde el verde de distintos matices hasta el negro. Las cloritas son, por lo general, productos de la alteración de otros minerales, como la biotita, hornahlenda y piroxenos. Se parecen a la mica por su textura foliácea, pero se diferencian en que no poseen elasticidad.

**Columbíta.** Mineral raro, opaco, de color negro pardusco. Es el niobato y tantalato de hierro y manganeso. De ella se obtienen los metales raros tantalio y niobio. Se encuentra con preferencia en las vetas pegmatíticas.

**Concentrado.** Residuos que quedan después de lavar las arenas auríferas o platiníferas, constituidos por la acumulación de minerales de gran peso específico. Se divide en negro y gris, según sea el color de los minerales integrantes.

**Corales o pólipos coralinos.** Animales marinos selentéreos (o sea, que poseen una sola cavidad en el cuerpo, el intestino). La mayoría forma colonias de vida sedentaria. El esqueleto está constituido por corpúsculos calcáreos sueltos.

**Corindón.** Mineral compuesto de óxido aluminico ( $Al_2O_3$ ). Se distingue por su alta dureza: raya a todos los minerales, menos al diamante. Sus cristales transparentes homogéneamente coloreados se usan como piedras preciosas. A la variedad roja se le llama rubí, a la azul, zafiro.

**Corteza terrestre - litosfera.** La envoltura sólida exterior de la Tierra. Su espesor a partir de la superficie se considera, según los cálculos teóricos, igual a 15-60 km.

**Costra de óxido.** Costra que se forma en la superficie de los metales fundidos (hierro, cobre, etc.), cuando se opera en contacto con aire. La composición de la costra no es constante y depende de la temperatura y del exceso de aire existente durante su formación.

**Creta.** Roca sedimentaria de grano fino, blanca, blanda, de origen orgánico. Está constituida, principalmente, de carbonato cálcico. Se formó por la acumulación de conchas microscópicas. Se utiliza en las industrias del vidrio, cemento, caucho y colorantes, como material para escribir (tiza), etc.

**Criolita.** Mineral rarísimo de color blanco como la nieve. Fluoruro de aluminio y sodio ( $Na_3AlF_6$ ). En estado fundido disuelve al óxido de aluminio, lo que se utiliza para la obtención del aluminio por el método electrolítico, así como en la industria del vidrio y de la loza. En la actualidad se prepara por vía artificial.

**Crisoberilo.** ( $BeAl_2O_4$ ). Mineral transparente de color verde, compuesto de berilio y aluminio con cierta cantidad de hierro y, a veces, de cromo. Es una piedra preciosa rara. Su denominación proviene de las palabras "crisos" -dorado y "berillos" - berilo.

**Cristal.** Estructura geométrica regular de átomos o iones dispuestos en los vértices de una red cristalina. La palabra "cristal" se usaba ya mucho antes de nuestra era y significaba "cristal de roca", cuyo origen se atribuía en aquel entonces al hielo petrificado. Posteriormente, este término comenzó a emplearse para designar todos los minerales que poseen forma natural poliédrica. La ciencia que estudia los cristales se llama Cristalografía.

**Cristal de roca.** Variedad incolora del cuarzo. En la naturaleza se presenta formando bellísimos cristales hexaédricos. Se emplean en radiotecnología. Véase cuarzo.

**Cristalografía.** Ciencia de los cristales. Se ocupa del estudio de las formas y propiedades ópticas, eléctricas, mecánicas, etc., de los cristales, así como de las cuestiones relacionadas con el origen y formación de los cuerpos cristalinos, en dependencia de sus diferencias en lo que respecta a la composición química.

**"Crocus".** Material abrasivo natural o artificial. Se usa para pulir metales, cristales ópticos, etc. y piedras de ornamentación y decorativas.

**Cromita o mineral ferro-cromico.** Mineral pesado de color negro o negro pardusco. Se presenta en masas compactas y granuladas. Se emplea para la obtención del cromo.

**Cuarzo.** Dióxido silícico o sílice ( $SiO_2$ ). Mineral duro, incoloro, blanco o coloreado. Es el componente principal de numerosas rocas. Uno de los minerales más abundantes en la naturaleza. Se presenta en forma de magníficos cristales, así como en masas granuladas y compactas.

Variedades: cuarzos transparentes - cristal de roca, amatista, cuarzo ahumado o falso topacio, citrino; poco transparente: morión, gris, lechoso, etc.; opacos: blanco ordinario, ferruginoso y otros. El cuarzo se emplea en diversas ramas de la industria: para la fabricación de aparatos de

Física, instrumentos ópticos, en mecánica de precisión, radiotecnica, industrias del vidrio y cerámica, etc. Se usa como piedra preciosa y como material de ornamentación.

**Cuerpo meteórico.** Masa sólida férrica o pétreo, cuyo peso puede oscilar entre 1 gramo (o menos) y varios miles de toneladas, y que se mueve en el espacio interplanetario alrededor del Sol como cuerpo celeste independiente. Al penetrar en la atmósfera terrestre se pone incandescente por fricción y da lugar a la aparición del meteoro o bólido que a veces concluye por caer a la Tierra.

**Cuncita.** Variedad transparente, de color lila o rosado, del mineral espodúmeno. Silicato de litio y aluminio. Se usa como gema preciosa.

**Curie-Sklodowska, Marie** (1867-1934). Sabio eminente. Uno de los fundadores del estudio e investigación de las sustancias radiactivas. La primera mujer-profesora de la Universidad de la Sorbona (Francia). Descubrió el polonio y el radio (1896).

## D

**Darwin, Carlos Roberto** (1809-1882). Notable naturalista inglés creador de la doctrina materialista sobre el desarrollo histórico de la naturaleza viva (darwinismo). Fundador de la Biología evolucionista científica. Autor del "Origen de las especies" y otras obras. El mérito histórico de Darwin consiste en que su doctrina contribuyó al triunfo del materialismo sobre el idealismo en el conocimiento de la naturaleza viva.

**Demócrito** (aproximadamente 460-370 años a. n. e.). Notable filósofo materialista griego.

**Desoxidantes.** Materiales que se adicionan al acero líquido, después de quemadas las impurezas, con objeto de reducir el óxido ferroso que se halla disuelto en la masa fundida, el cual transmite al metal obtenido color rojo y fragilidad. Los desoxidantes contienen, por lo general, tres elementos que son los encargados de reducir el óxido ferroso: carbono, manganeso y silicio.

**Deuterio** (del griego "segundo"). Isótopo pesado del hidrógeno H<sub>2</sub>. Su masa atómica es 2.01471, o sea, aproximadamente el doble de la que corresponde al átomo de hidrógeno ordinario. Al combinarse con el oxígeno forma agua pesada D<sub>2</sub>O y peróxido de deuterio D<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (agua oxigenada pesada), más estable que el peróxido de hidrógeno corriente. Fue descubierto en 1932.

**Diamante.** Una de las variedades cristalinas del carbono. Es el mineral más duro que se conoce en la naturaleza. Incoloro o ligeramente coloreado, rara vez negro. Piedra preciosa admirable, de gran aplicación técnica. Se forma de las rocas fundidas a altas presiones y temperaturas.

**Diorita.** Roca eruptiva de color gris verdoso compuesta de plagioclasa y hornablenda, a veces, con asociaciones de biotita y cuarzo (diorita cuarcífera). Debido a su gran dureza y resistencia al choque constituye un buen material para obras de construcción.

**Distena.** Mineral. Véase ciunita.

**Dokucháev, Vasili** (1846-1903). Notable naturalista ruso, fundador de la Agrología científica moderna y del estudio e investigación de la naturaleza en su conjunto. Los métodos de Dokucháev constituyeron la base de la Geografía científica. Su obra clásica fue "Las tierras negras de Rusia" (1883).

**Dolomita.** Carbonato de calcio magnesio (contiene 54% de CaO y 44% de MgO). Mineral blanco gris o débilmente coloreado. Con el término "dolomita" se designa también a la roca sedimentaria de estructura compacta, constituida principalmente de granos del mineral dolomita. Existe en las depositaciones marítimas sedimentarias pertenecientes a diversos períodos geológicos. Se usa como material refractario, como fundente en los altos hornos, así como en las industrias química y de la construcción.



## E

**Electrón.** Partícula elemental dotada de carga eléctrica negativa. Es parte constitutiva del átomo. En el átomo, los electrones giran alrededor del núcleo, cargado positivamente, por órbitas determinadas. El número de electrones de un átomo coincide con el número de orden del elemento químico dado.

**Electroscopio.** Instrumento que sirve para indicar la presencia o efectuar la medición grosera de una diferencia de potencial entre dos cuerpos cargados eléctricamente.

**Emanación.** Productos gaseosos que resultan de la desintegración de los elementos radiactivos.

**Enriquecimiento.** Tratamiento preliminar que se efectúa con un mineral para aumentar la concentración de la porción valiosa y separarlo de la ganga y otros minerales inútiles.

**Era geológica.** La mayor unidad de tiempo que se usa en Cronología geológica, correspondiente a un grupo geológico determinado. Existen cuatro eras: arcaica, paleozoica, mesozoica y cenozoica.

**Era paleozoica** o, simplemente, **Paleozoico.** Antigua era en la historia de la Tierra, o era de vida antigua. Se divide en cinco sistemas o períodos: Cámbrico, Silúrico, Devónico, y Carbonífero y

**Pérmico.** Los minerales útiles que existen en el territorio de la URSS, pertenecientes al Paleozoico, son abundantísimos y muy variados.

**Esfalerita o blenda de zinc.** Mineral de color amarillo, rojo pardusco verde y negro con brillo adamantino. Combinación química de zinc y azufre (ZnS). Se utiliza para la obtención del zinc. Se le llama blenda por su semejanza al plomo brillante, sin embargo, no contiene plomo. Su denominación proviene de la palabra griega "sfaleros" que significa "engañador".

**Esmeralda.** Véase berilo.

**Espato calizo.** Véase calcita.

**Espato de Islandia.** Véase calcita.

**Espato flúor.** Véase fluorita.

**Espectrógrafo de masas.** Aparato que permite determinar el número de isótopos correspondientes a cada elemento químico.

**Espectroscopio.** Instrumento que sirve para el estudio de espectros ópticos.

**Esquisto micáceo.** Esquisto compuesto, principalmente, de mica y cuarzo con pequeñas cantidades de feldespato.

**Estalactitas.** Depósitos concrecionados de forma cilíndrica, formados al precipitarse la calcita y otros minerales de las soluciones infiltradas, y que cuelgan como carámbanos de los techos y parte alta de las paredes de las cavernas y galerías de caliza.

**Estalagmitas.** Depósitos de infiltración que se acumulan en el fondo de cavernas y galerías subterráneas, formados al precipitarse los carbonatos de las gotas de agua saturadas que caen desde los techos. Van creciendo gradualmente desde el suelo de la caverna hacia arriba.

**Estibnita.** Véase antimonita.

**Estrabón** (63 a. n. e.- 20 n. e.). Eminente filósofo e historiador griego. Realizó numerosos viajes por Asia Menor, Siria, Egipto, Italia y Grecia. Se conserva hasta nuestros días su obra "Geografía" en 17 tomos, traducida a todos los idiomas, incluso, al ruso.

**Euclasa.** Mineral muy raro, de composición parecida al berilo transparente, de color azul o verde azulado, perteneciente al grupo de los silicatos. Se emplea como piedra preciosa por su gran belleza.

## F

**Feldespato.** El grupo de minerales más difundidos en la naturaleza. Constituye cerca del 50% en peso de la corteza terrestre y es el componente principal de la mayoría de las rocas. Los

feldespatos son aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio. Según su composición se clasifican en: 1) potásicos (ortoclasa y microlina) y 2) sódicocálcicos (plagioclasas).

**Fenacita.** Silicato de berilio. Mineral de color amarillo vinoso vivo, a veces, rojo rosado débil, transparente o semitransparente.

**Fluorescencia.** Emisión de luz por una sustancia, provocada no por incandescencia, sino al ser expuesta su superficie a los rayos solares, luz del arco voltaico, rayos ultravioletas o rayos X. La emisión de luz se suspende inmediatamente después de cesar la acción.

**Fluorita o espato flúor.** Fluoruro cálcico. Mineral transparente u opaco, en la mayoría de los casos coloreado de diversos tonos (violeta, verde, azul, gris), con brillo vítreo. Se utiliza en metalurgia como fundente (disminuye la temperatura de fusión de los metales), en la industria química para obtención del ácido fluorhídrico, en cerámica, para impregnar traviesas, en la fabricación de vidrio, etc. La variedad transparente se emplea en óptica y se llama fluorita óptica. Los ejemplares más bellos se usan como material de adorno. La variedad de aspecto terroso con coloración rosavioleta se denomina ratovkita.

**Foraminíferos.** Animales simples unicelulares con conchas, formadas generalmente de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato cálcico). Existen en los depósitos marítimos sedimentarios de todas las épocas geológicas. Ciertos tipos de foraminíferos tienen gran importancia, pues permiten determinar la edad geológica de las rocas.

**Fosfatos.** Combinaciones del fósforo con el oxígeno y diversos metales. En la naturaleza es frecuente encontrar las combinaciones con el calcio y el flúor (apatito, fosforita, etc.).

**Fosforita.** Variedad del mineral apatito de origen sedimentario-organogénico. Se presenta en forma de concreciones convexas o esferoidales de estructura radial. Si las impurezas de arcilla y calizas no son elevadas, la fosforita constituye un fertilizante mineral de gran valor.

**Fuegos de bengala.** Diversas clases de mezclas pirotécnicas que arden lentamente y producen al arder viva llama blanca o coloreada. Se utilizan en iluminaciones y fuegos artificiales. El color de la llama depende del elemento químico que entre en su composición (por ejemplo, el estroncio produce coloración roja, etc.).

**Fulguritas.** Cuerpos tubulares pequeños, del espesor de un dedo, que se formaron en las arenas flojas debido a la ignición o cocción rápida producida por la descarga eléctrica de un rayo al caer sobre la tierra.

**Fulminato de mercurio.** Sal mercurial del ácido fulmínico  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ . Sustancia cristalina de color blanco o gris, muy tóxica. Explota fácilmente por percusión, rozamiento, calentamiento y por la acción de cierto ácidos concentrados. Su manejo es muy peligroso. Se usa como explosivo.

**Fumarolas.** Surtidores volcánicos gaseosos que contienen ácido sulfhídrico y anhídrido carbónico, así como pequeñas cantidades de amoníaco y metano. Los más conocidos son los de Toscana que contienen ácido bórico, el cual se extrae para fines industriales. Los vapores despedidos por las fumarolas son utilizados para calentar diferentes instalaciones.

**Fundente.** Material que se añade a la carga de un alto horno con objeto de que el mineral se funda con más facilidad y liberar, de esta forma, al metal de la ganga. Como fundentes pueden emplearse cuarzo, caliza, fluorita y otros minerales y rocas.

## G

**Gabro.** Roca magmática profunda. Rica en hierro, calcio y magnesio, pobre en ácido silícico. Puede ser de color negro verdoso y gris. Constituye un excelente material de construcción.

**Gadolinita.** Silicato complejo de las tierras raras. Mineral raro de color negro o negro verdoso.

Galaxia. Concentración de sistemas estelares, formados por muchos miles de estrellas. Nuestro Sol, por ejemplo, pertenece a la galaxia de la Vía Láctea, donde es sólo una de las estrellas autoluminosas entre decenas de miles de otras.

**Galena o plomo brillante.** PbS. Mineral de color gris con brillo argéntico. Contiene hasta 86% de plomo y va acompañado de plata como impureza permanente por lo cual con frecuencia se le considera como valioso mineral argentífero. Se usa para la preparación de minio, obtención de plomo, albayaldes y esmaltes. También se emplea en radiotecnología.

**Galería de mina.** Excavación minera horizontal o débilmente inclinada, uno de cuyos extremos comunica con la superficie. La sección transversal de las galerías puede ser trapezoidal, ovalada o circular.

**Galvanómetro.** Instrumento dotado de gran sensibilidad que se emplea para medir la intensidad de las corrientes eléctricas.

**Gedroitz, Konstantín** (1872-1932). Químico-agrólogo soviético, académico desde 1929.

Fundador del estudio de los coloides del suelo y su papel en la formación de los terrenos y la fertilidad de los campos de cultivo.

**Génesis - origen.** En Mineralogía, el estudio de la génesis (origen de los minerales) tiene por objeto establecer las formas y condiciones de formación de los minerales y el conocimiento de sus cambios ulteriores.

**Geodas.** Grandes cavidades circulares, ovales y, rara vez, lenticulares que existen en las rocas, cuyas paredes están recubiertas de cristales de diversos minerales.

**Geofísica.** Conjunto de ciencias que estudian las propiedades físicas de la Tierra y los procesos físicos que en ella se verifican.

**Glaciar.** Masa natural de hielo que, como un río helado, desciende lentamente por la acción de la gravedad a lo largo de la pendiente de una montaña o un valle. Durante su movimiento, el glaciar tritura y disgrega su lecho, restrega y pulimenta los salientes que encuentra, a su paso, arañándolos con los fragmentos de rocas que lleva en su masa, transporta a distancias considerables y deposita cantidades enormes de detritos rocosos, cantos rodados, etc. (morrenas). Al llegar a la zona de deshielo, el glaciar da origen a ríos caudalosos.

**Gneis.** Roca pizarrosa metamórfica de composición análoga al granito. Se usa como material de construcción.

**Goethita.** Óxido hidratado de hierro. Mineral frágil de color amarillo rojizo, o negro pardusco. Se emplea, junto con otros óxidos férricos, para la obtención del hierro.

**Golitsin, Borís** (1862-1916). Físico ruso, académico, fundador de la Sismología, autor de numerosos trabajos científicos.

**Grafito.** Variedad cristalina del carbono. Mineral blando, grasiento al tacto, con coloración desde el negro hasta el gris acerado. Funde a más de 3.000°, resistente a la acción de los ácidos y álcalis. Se emplea para preparar crisoles de fundición, electrodos, pilas secas, pinturas, lápices, etc.

**Granates.** Grupo amplísimo de minerales (pertenecientes a la clase de los silicatos), caracterizados por su diversidad, difusión y variedad de colores. Poseen brillo vítreo graso y elevada dureza. Ciertas variedades de granate se usan como adorno y, también, como material abrasivo.

**Granito.** Roca eruptiva de estructura cristalino-granulada. Consta de cuarzo, feldespato, mica y, a veces, hornablenda. Su coloración es muy variada: desde el blanco al negro o desde el rosa claro hasta el rojo oscuro. Debido a su dureza, belleza y capacidad de formar grandes monolitos, el granito constituye un valioso material para obras de construcción, esculturas, etc. Muy resistente a la acción de los ácidos.

## H

**Halita (o sal común).** Sal gema, NaCl (sodio 39,39%, cloro 60,61%). Posee sabor salado. Su denominación proviene de la palabra "halos" - sal. Debido a que se emplea para la condimentación de alimentos, también se la llama sal de cocina. Todos conocen que se humedece al contacto del aire, lo que tiene lugar debido a las impurezas que contiene.

La sal de gema se formó en el fondo de los depósitos acuáticos antiguos durante períodos geológicos pasados. En la naturaleza se presenta formando masas pétreas compactas en terrenos rocosos. Además, la sal se deposita, también en la superficie de la tierra, principalmente, en las estepas y regiones desérticas en forma de capas e incrustaciones.

**Heráclito de Efeso** (aproximadamente 530-470 a. n. e.). Eminentemente filósofo materialista griego. La filosofía de Heráclito recibió una caracterización científica completa en las obras de los clásicos del marxismo-leninismo.

**Heródoto** (aproximadamente 484-425 a. n. e.). Antiguo historiador griego, llamado el "padre de la Historia". Autor de la "Historia de las guerras greco-persas", que quedó sin terminar.

**Herschel, Juan** (1792-1871). Astrónomo inglés, hijo de Guillermo Herschel, eminente astrónomo inglés.

**Hierro titanífero.** Véase ilmenita.

**Homero.** Poeta épico legendario de la Grecia antigua.

**Hormigón.** Material aglomerante artificial, constituido por la mezcla solidificada de una sustancia aglutinante (cemento), agua y agregados inertes naturales o artificiales (arena, escoria fina, grava, piedras, etc.).

**Hornablenda.** Véase anjibol.

**Hulla.** Carbón mineral de color negro. Contiene del 70 a 90% de carbono. Véase carbón fósil. Humboldt, Alejandro (1769-1859). Eminentemente naturalista y explorador alemán.

## I

**Ilmenita o hierro titarcífero (FeTiO<sub>3</sub>).** Mineral semimetálico, opaco, de color negro. Es un importante mineral para la obtención del titanio.

**Intemperización.** Proceso de desintegración y descomposición que tiene lugar en los minerales y rocas como consecuencia de las acciones físicas y químicas del aire y el agua.

**Ion. Atomo, molécula,** parte de molécula o grupo de moléculas con carga eléctrica positiva o negativa. Durante el proceso electrolítico, el ion positivo marcha hacia el cátodo y se llama catión (por ejemplo, el metal Y de las sales, el hidrógeno de los ácidos). El ion negativo se dirige al ánodo y se denomina anión. La atracción mutua que experimentan los iones cargados con electricidad contraria es la que motiva su unión al formarse las moléculas.

**Ionización.** Transformación de las partículas neutras (moléculas y átomos) de un medio cualquiera en partículas cargadas con electricidad positiva o negativa, es decir, en iones.

**Isótopos.** Variedades de un elemento químico con distintos pesos atómicos. Los átomos isótopos tienen números de masa (masas nucleares) diferentes, sin embargo, sus números atómicos son idénticos, debido a lo cual ocupan un mismo lugar en el sistema periódico de D. I. Mendeléev.

## J

**Jacinto de Compostela.** Cristales de cuarzo rojo vivo poco abundantes, que se encuentran en las formaciones de las cuevas en Asia Central y en España.

**Jaspe.** Variedad del mineral calcedonio con gran cantidad de impurezas coloreadas difuminadas finamente por toda su masa. Se presenta formando grandes concentraciones. Su dureza y

tenacidad, así como su belleza y diversidad de matices hacen a esta piedra muy valiosa para fines técnicos y artísticos.

**Joliot-Curio, Federico** (1900-1958). Eminentísimo físico francés. Uno de los sabios más notables en la rama de la Física nuclear. En colaboración con su esposa trono Curie descubrió la radiactividad artificial. Destacado hombre público progresista.

## K

**Kimberlita.** Roca magmática de color oscuro, casi negro. Está compuesta, principalmente, de olivino, micas pardas y piroxeno; se presenta en los embudos de explosión y chimeneas volcánicas. La kimberlita de África del Sur y de América contiene cristales de diamante.

## L

**Labrador.** Mineral perteneciente al grupo de los feldespatos grises azulados o negros con vivos matices irisados, que recuerda la cola del pavo real.

**Labradorita.** Mezcla de rocas cristalinas, constituidas principalmente de labrador. Es una piedra excelente para construcción y decoración.

**Lacolitos.** Deposiciones planoconvexas de rocas magmáticas en la corteza terrestre en forma de domos o sombreretes de sotas. El magma fundido se solidificó sin alcanzar la superficie terrestre, provocando el arqueado en forma de cúspide de las capas yacentes sobre él. Los lacolitos, liberados de las rocas sedimentarias que los cubren por la acción erosiva del agua y el aire, forman pequeñas montañas, como las de Beshtau, Mashuk (Cáucaso Septentrional), Aiú-Dag (Crimea) y otras.

**Laguna.** Golfo o bahía de poco fondo, aislada del mar (o lago) por una barrera de arena y arcilla aluviales que evita su libre comunicación. En dependencia de las condiciones climatológicas de la región, el agua de las lagunas puede ser salada o poco salada. La salinidad del agua se explica por las irrupciones periódicas del agua del mar. El mundo orgánico de las lagunas es siempre más pobre que el que puebla los mares.

**Laminado.** Una de las formas de tratamiento mecánico de los metales por presión. Puede efectuarse en caliente o en frío, pero en la mayoría de los casos se emplea el laminado en caliente.

**Laterita o tierra roja.** Productos arcillosos coloreados de rojo, resultantes de la destrucción de rocas bajo las condiciones de clima húmedo y caluroso de las zonas subtropicales. Contiene óxidos hidratados de hierro y aluminio. Por su aspecto exterior recuerda al ladrillo y se usa en las obras de construcción, de donde proviene su nombre (del latín "later", o sea, "ladrillo").

**Lava.** Masa ígnea líquida (magma) que sale por las chimeneas o fisuras volcánicas a la superficie de la tierra. Después de solidificada, forma diversas rocas volcánicas. Esas últimas se depositan en forma de corrientes (en las pendientes de los volcanes) o capas superficiales en el terreno (al surgir de las fisuras), ocupando, a veces, enormes extensiones.

**Lavoisier, Antonio Lorenzo** (1743-1794). Eminentísimo químico francés. Por sus trabajos dedicados a la elaboración del atlas mineralógico de Francia fue elegido miembro de la Academia de Ciencias Francesa.

**Lecho basáltico.** Según la opinión de algunos petrógrafos actuales, los basaltos son el magma materno original que constituye la capa mineral situada debajo de la corteza sólida de la Tierra.

**Leucita.** Mineral blanco o grisáceo del grupo de los silicatos. Contiene aluminio o potasio. Con frecuencia produce cristales de configuración esférica con 24 facetas. Se presenta como constituyente primario de las rocas volcánicas (extrusivas). En la actualidad se intenta utilizar la leucita para la obtención del potasio y del aluminio.

**Liebig Justo** (1803-1873). Uno de los químicos más eminentes del siglo XIX. Fundador de la Agroquímica y la Agrología. Llevó a cabo trabajos de gran mérito sobre Química Orgánica.

**Lignito.** Variedad de carbón mineral. Contiene del 50 a 90% de carbono y produce al arder una cantidad relativamente grande de cenizas y azufre. Se utiliza mucho como combustible.

**Limo.** Sedimento que se forma en el fondo de los depósitos acuáticos constituido fundamentalmente por diminutas partículas de arcilla de dimensiones inferiores a 0,01 mm. De ordinario se llama limo o fango al terreno blando, inconsistente, con elevado porcentaje de agua.

**Limonita.** Sedimento coloidal de distintos óxidos de hierro hidratados, de composición no constante. Se utiliza como mena para la obtención del hierro. Véase minerales férricos.

**Litosfera.** Véase corteza terrestre.

**Lucrecio Caro** (99-55 años a. n. e.). Genial poeta y filósofo romano. En su obra "Sobre la naturaleza de las cosas", expuso en forma poética la filosofía del materialismo atomístico.

## M

**Madera petrificada.** Seudomorfo de calcedonio, cuarzo y ópalo formado por sustitución de éstos en la estructura de la madera.

**Magma** (del griego "masa pastosa"). Masa ígnea fundida que se halla debajo de la corteza sólida del globo terrestre. Desde el punto de vista químico, está constituida por una mezcla compleja de silicatos en estado fundente. Debido a los cambios de temperatura, presión y otros factores, el magma se divide en partes de distinta composición, cada una de las cuales, al solidificarse y consolidarse, da origen a una especie determinada de roca.

**Magnesita** - Carbonato magnésico. Mineral blanco o ligeramente coloreado. Excelente material refractario para hornos metalúrgicos y otros usos.

**Magnetita** o hierro magnético. Mineral opaco de color negro, constituido por óxido ferroso-férrico. Fuertemente imantado. Se deposita formando, a veces, montañas enteras, como las montañas Magnítnaia y Visókaia, en los Urales. Es el mineral de hierro más importante. Véase minerales férricos.

**Mal de montaña** (mal de altura). Estado enfermizo que se produce al elevarse a grandes alturas, debido a la influencia nociva que provoca en el organismo el descenso de la presión atmosférica.

**Manantial mineral.** Manantial, cuyas aguas contienen en disolución gran cantidad de sustancias inorgánicas.

**Manto de la Tierra.** Es un caparazón sólido subyacente bajo la corteza terrestre que se sitúa desde las profundidades de 12-60 km aproximadamente hasta 2900 km.

**Mar de Perm.** Mar del período pérmico.

**Marga.** Roca sedimentaria, constituida de arcilla y caliza mezcladas en distintas proporciones (marga arcillosa y marga calcárea). Contiene 75-80% de carbonato cálcico y 20-25% de arcilla, lo que la hace apta para la fabricación de cemento Portland sin necesidad de aditivos suplementarios (marga cementosa o cemento natural).

**Mármol.** Denominación general con que se designan las calizas y dolomitas de estructura granulada cristalina susceptibles de ser pulimentadas. El mármol se caracteriza por su diversidad de colores y dibujos. Constituye un valioso material de construcción, para usos técnicos, revestimientos y decoración. Las variedades blancas y las de color rosa se emplean en obras escultóricas.

**Mena.** Mineral o roca cuya parte útil es tan grande que resulta ventajosa, desde el punto de vista económico, su explotación.

**Mendeleevita.** Raro mineral de color negro que contiene niobio y tantalio.

**Metamorfismo.** Véase rocas metamórficas.

**Meteórica.** Rama especial de la ciencia que se ocupa del estudio de los meteoritos y las condiciones de su caída sobre la Tierra.

**Meteorito.** Masa férrea o pétreo de origen cósmico caída sobre la Tierra. Son los restos de cuerpos meteóricos que no llegaron a disgregarse totalmente al atravesar la atmósfera terrestre.

**Meteoro.** Fenómeno luminoso parecido a las estrellas fugaces, motivado al penetrar en la atmósfera terrestre, procedentes del espacio interplanetario, cuerpos sólidos, pequeños como granos, de peso inferior a 1 gramo.

**Micas.** Grupo de minerales de composición compleja (aluminosilicatos alcalinos, de magnesio y hierro). Su propiedad característica es la de poder dividirse en hojas muy finas. Las variedades principales son: la mica potásica, blanca, clara y transparente (muscovita); la variedad negra, rica en hierro y magnesio, traslúcida u opaca (biotita). A veces se presenta en cristales de grandes dimensiones. Es un excelente aislador eléctrico.

**Micrón.** Unidad de medida que equivale a una milésima de milímetro.

**Microscopio de luz polarizada.** Microscopio que se emplea para el estudio de sustancias cristalinas. Se emplea preferentemente para el estudio de las rocas y minerales.

**Microscopio electrónico.** Microscopio moderno en el que, en vez de rayos luminosos, se utiliza una corriente de electrones, gracias a lo cual se consiguen ampliificaciones hasta de medio millón de veces.

**Migración de elementos.** Desplazamiento y redistribución de los elementos químicos en la corteza terrestre, debido a lo cual se verifica su dispersión en unos lugares o su concentración en otros.

**Mina.** Excavación vertical o inclinada, de grandes dimensiones, con orificio de salida a la superficie, que se utiliza para la extracción de minerales. Las minas alcanzan, a veces, profundidades de tres mil y más metros.

**Minerales descoloridos o pálidos.** Denominación con que se designa a un grupo de minerales representados, principalmente, por la tenantita (sulfuro de cobre y arsénico) y la tetraedrita (sulfuro de cobre y antimonio). Se emplean, junto con otros minerales, para la fundición del cobre.

**Minerales férricos.** Sustancias minerales que contienen del 25 al 70% de hierro. A los minerales férricos pertenecen las diversas combinaciones naturales del hierro con el oxígeno: hematita, magnetita, limonita, hidrogoethita, goethita, siderita o espato de hierro, cuarcita ferruginosa, etc. Los compuestos de hierro con azufre no sirven para la obtención del hierro.

**Minerales mangánicos.** Diferentes óxidos de manganeso que forman acumulaciones entre las rocas sedimentarias. Los más importantes son: psilomelano, pirolusita y manganita.

**Minerales polimetálicos.** Minerales en cuya composición toman parte varios metales, los más frecuentes, cobre, zinc, plomo y plata.

**Minerales secundarios.** Minerales originados en los yacimientos próximos a la superficie terrestre como resultado de la destrucción de minerales primarios por la acción de las aguas y el oxígeno del aire.

**Molécula.** Partícula ínfima de sustancia que no puede ser dividida sin destruirse la naturaleza física y química de la sustancia dada. La molécula consta de átomos, cuyo número se expresa en unidades (en los gases nobles) hasta alcanzar millares (en las proteínas).

**Molibdenita.** Bisulfuro de molibdeno (MOS<sub>2</sub>). Mineral de color gris plomizo con brillo metálico. Es el mineral principal de molibdeno.

**Monomineral.** Que está compuesto de un solo mineral.

**Morión.** Cristal de roca casi negro, sin embargo, se trasluce en finos fragmentos de color pardo. Calentándolo con cuidado (cociéndolo en masa de harina) adquiere color amarillo, lo que se

utiliza en joyería. Si se sigue calentando, la coloración puede desaparecer totalmente. La composición química de la materia colorante y su origen, no se conocen todavía con exactitud. Véase cuarzo.

**Mosaico.** Dibujo artístico multicolor construido a base de trocitos de piedra, vidrio, madera, hueso y otros materiales adosados íntimamente unidos a otros.

**Murmanita.** Raro mineral de color violeta, constituido por titanio-silicato sódico procedente de las pegmatitas de sienitas nefelíticas.

**Muscovita.** Véase mica.

## N

**Narzán.** Manantial de agua mineral en la ciudad de Kislovodsk. Este agua, debido a las sales y gran cantidad de anhídrido carbónico que contiene en disolución, posee propiedades curativas muy valiosas.

**Nefelina o eleolita.** Mineral blanco grisáceo o verdoso con brillo vítreo o graso, aluminosilicato con elevado porcentaje de bases alcalinas. La nefelina se usa como mena aluminica en la industria química (obtención de sosa, alumbres, etc.), en la fabricación de abrasivos, porcelana, vidrio, cueros (como sustitutivo del tanino), tejidos impermeables, para impregnar maderas, como fertilizante, etc.

**Nefrita.** Mineral de color blanco lechoso, gris, verde manzana y más oscuro, hasta verde casi negro. Es un anfíbol calcáreo magnesiano-ferruginoso. Poco transparente, pero en hojas finas se trasluce. Susceptible de pulimentación. Muy apreciado por su tenacidad y resistencia al choque debido a su textura de fibras microscópicas entrelazadas. Se emplea como piedra de adorno y, a veces, para usos técnicos.

**Neptunismo.** Estudio sobre el origen de todas las rocas (incluyendo las eruptivas) de sedimentos acuáticos, que adquirió gran difusión entre los geólogos afines del siglo XVIII y comienzos del XIX.

**Neptuno.** 1) Dios mitológico de las aguas, ríos, arroyos y del agua de lluvia en la Roma antigua. Más tarde, al desarrollarse el comercio marítimo, Neptuno se convirtió en el dios del mar y patrón de los navegantes. 2) Octavo planeta del sistema solar, descubierto en 1846.

**Nerón** (37-68 años de n. e.). Emperador romano.

**Neutrón.** Partícula elemental desprovista de carga eléctrica, de peso igual al del protón. El peso atómico de un elemento químico depende del número de protones y neutrones de que consta su átomo. Los neutrones junto con los protones forman el núcleo del átomo.

**Nontronita.** Mineral raro. Silicato de óxido férrico, de aspecto terroso y color verde manzana. Es producto de la erosión por el agua y el aire, del silicato primario.

**Número o índice de octano.** Medida convencional que se emplea para medir la resistencia a la explosión de los combustibles líquidos. El número de octano del isooctano se considera igual a 100; el del heptano normal (muy detonante), se supone igual a 0. En la escala comprendida entre el isooctano y el heptano quedan incluidos casi todos los tipos de combustibles en lo que se refiere a su valor detonante.

## O

**Ocre.** Productos amarillos terrosos resultantes de la oxidación de metales pesados, por ejemplo, ocre vanádico, wolfrámico, férrico, crómico, plúmbico, etc. Cuando se trata de pinturas, se llama ocre a los óxidos hidratados de hierro con diferente contenido acuoso y de distintos tonos, desde el amarillo terroso hasta el rojo.



**"Ojo de gato".** Variedad transparente verdosa de cuarzo con brillo sedoso (debido a las inclusiones fibrosas de asbesto). Su irisado a rayas es admirable, sobre todo, cuando se talla en cabujón.

**"Ojo de tigre".** Cuarzo amarillo pardusco o pardo negruzco con matices dorados debidos a inclusiones fibrosas de hornablenda.

**Olivino o peridotita.** Ortosilicato de hierro y magnesio. Mineral traslúcido de color verdeamarillo, oliva o amarillopardo con brillo vítreo. Las variedades cristalinas transparentes de color verde dorado se denominan crisolita y se emplean en joyería.

**Ondas electromagnéticas.** Oscilaciones periódicas producidas por dos campos, uno eléctrico y otro magnético. Las ondas luminosas, las que se emplean en radiodifusión, los rayos X y los gamma, son de esta naturaleza.

**Ondas ultraacústicas o ultrasonoras.** Oscilaciones mecánicas de frecuencia superior al límite máximo perceptible por el oído.

**Ondas ultracortas.** Oscilaciones electromagnéticas de longitud de onda inferior a 10 m.

**Onice.** Variedad del ágata, constituida por capas alternativas de diferentes colores, blancas y rojas, blancas y negras, etc. Las fajas coloreadas son planas y las cavidades rectas. Sirve para elaborar camafeos y otros adornos.

**Onice mármóreo.** Depósito de calcita sedimentaria con franjas de diversos colores. Se emplea como piedra decorativa.

**Ópalo.** Mineral de estructura amorfa (no cristalino, vítreo) constituido por sílice con cantidad variable de agua. Se distingue por su gran variedad de formas de distinto aspecto exterior. Las principales variedades son: ópalos transparentes, irisados y homogéneamente coloreados (ópalo noble, Malita, hidrofano, ópalo de fuego, etc.); ópalos corrientes, no irisados y no totalmente transparentes (ópalo lechoso, céreo, etc.); semiópalos ligeramente traslúcidos y opacos que contienen impurezas mecánicas (jaspeado, calcedónico, de ágata, etc.). Los ópalos se hallan muy difundidos en la naturaleza, se separan por precipitación de las soluciones minerales calientes y frías. Grandes depósitos se acumulan en el fondo de los mares a consecuencia de la actividad vital de plantas y animales marítimos (radiolarios, esponjas, diatomeas).

**Órbita.** Trayectoria que sigue un cuerpo celeste en el espacio interplanetario cuando se mueve alrededor del Sol o de un planeta.

**Ortoclasa.** Véase feldespato.

## P

**Partículas alfa (partículas  $\alpha$ ).** Iones de helio despedidos por ciertas sustancias radiactivas. Ionizan las sustancias al pasar a su través y producen luminiscencia en los cuerpos fosforescentes o fluorescentes. En la piel de las personas y animales producen serias quemaduras difíciles de curar. También pueden provocar o activar ciertas reacciones químicas.

**Pegmatita.** 1) Rocas de composición variada que se presentan formando vetas y originadas por los residuos de magma ricos en elementos volátiles y fácilmente fusibles. La composición de las formaciones pegmatíticas puede estar relacionada con diversas rocas, pero las más conocidas son las pegmatitas graníticas. Se caracterizan por poseer grandes segregaciones de feldespato, cuarzo, mica blanca y oscura, y con frecuencia concentraciones de gemas preciosas y minerales raro. 2) Crecimiento y entrecruzamiento regular de ortoclasa con cuarzo que da origen a una estructura interna parecida a los caracteres gráficos antiguos.

**Peridotita.** Roca eruptiva, profunda, cristalina, de color gris oscuro o negro, constituida por los minerales olivino y piroxeno. Rica en hierro y magnesio.

**Periodo cretáceo.** Cretas que se originaron a finales de la era mesozoica de formación de la corteza terrestre. Se divide en dos épocas: cretáceo inferior y superior. Son característicos de este período, los enormes depósitos de creta procedentes de sedimentaciones marítimas.

**Petrografía.** Parte de la Geología que estudia la composición y estructura de las rocas.

**Petróleo o betumen líquido.** Líquido de color pardo, verde oscuro o negro, a veces, se presenta casi incoloro. Fácil de reconocer por su olor que recuerda al keroseno. Sus componentes primordiales son el carbono y el hidrógeno, que forman combinaciones de composición extraordinariamente variada (los hidrocarburos). El petróleo se acumula en los estratos y huecos subterráneos, impregnando rocas sedimentarias de estructura suelta o porosa. El petróleo juega un papel importantísimo en diversas ramas de la economía, empleándose principalmente como combustible. Destilando el petróleo en las refinerías se obtiene diferentes productos valiosos, como la bencina, keroseno, gasolina, lubricantes, asfaltos, explosivos y otros muchos.

**Piedra estannífera.** Véase casiterita.

**Piedras de Carlsbad.** Duras masas sedimentarias de carbonato cálcico depositado por precipitación de las aguas minerales calientes en los manantiales de Karlovy Vary (Carlsbad) (Checoslovaquia). Véase aragonito.

**Pirita o piritita de hierro.** Sulfuro de hierro. Mineral amarillo dorado, constituido por 46,7% de hierro y 53,3% de azufre. Es un mineral muy difundido que se usa, preferentemente, para la obtención de ácido sulfúrico, caparrosa de hierro, alumbres, azufre, etc.

**Piritas.** Sulfuros coloreados de cobre y hierro (también, de níquel y cobalto). Este término fue introducido en la ciencia por los mineros para diferenciarlas de las combinaciones brillantes de composición análoga, pero de color gris o blanco. Ejemplo: la pirita de cobre y la calcocita.

**Piroxenos.** Silicatos de composición química compleja ricos en hierro, calcio y magnesio. Presenta gran diversidad de colores: desde el gris amarillo y verde hasta el negro. Tiene brillo vítreo. En la naturaleza existen numerosas variedades de piroxeno (enstatita, broncita, hipersteno, diópsido ; otros). El mineral más corriente perteneciente a este grupo es la auguita.

**Pizarras.** Rocas que presentan, independientemente de su composición 1º origen, estructura foliácea y un crucero pizarroso muy marcado, o sea, que, tienen la propiedad de hendirse en: hojas más o menos delgadas, plana, y paralelas. Pueden proceder de rocas sedimentarias y magmáticas sometidas a metamorfismo.

**Plagioclasa.** Véase feldespato.

**Plinio el Viejo.** (24-79 años d.n. e.). Sabio romano. Pereció durante la erupción del Vesubio. Hasta nuestros días se conserva su obra de 36 tomos "Historia Natural" de carácter enciclopédico. Junto con libros dedicados a Biología, Botánica y Medicina existen también tomos que tratan de Cosmografía, Mineralogía e incluso de la Historia de las Artes.

**Plomo brillante.** Véase galena.

**Plutón.** 1) Dios del reino subterráneo en la Mitología de Grecia antigua. 2) Noveno planeta del sistema solar, descubierto en 1930.

**Plutonismo.** Estudio del origen de todas las rocas como resultado de la acción del calor subterráneo. Adquirió gran difusión a fines del siglo XVIII.

**Polaroide.** Película o placa hecha de cristales especiales, que polariza la luz natural (es decir, que deja pasar solamente a aquellas ondas luminosas): que se encuentran en un plano determinado).

**Pórfidos.** Término general usado para designar todas las rocas que contienen grandes cristales y granos de minerales (feldespato, cuarzo) incluidos en una masa fundamental de grano más fino.

**Pozo de perforación.** Excavación minera especial de sección circular, diámetro pequeño y gran longitud. El proceso de perforación se realiza por medio de herramientas perforadora (percutoras o giratorias). Estos pozos se practican en el terreno con objeto de determinar la calidad y

dimensiones de los yacimientos minerales, para la extracción de petróleo, agua, azufre, etc. A veces, alcanzan profundidades superiores a 5 km.

**Pozo de sondeo.** Excavación vertical no profunda que se realiza para explorar yacimientos de minerales útiles.

**Protón.** Partícula elemental de sustancia cargada con electricidad positiva. Los protones, junto con los neutrones, constituyen el núcleo del átomo. El número de protones en el núcleo es igual al de electrones negativos y, por consiguiente, igual al número de orden del elemento químico dado.

**Protuberancias.** Enormes lenguas de fuego que surgen próximas al contorno del disco solar, formadas por gases candescentes, principalmente, de calcio e hidrógeno. Se observan muy bien durante los eclipses totales de Sol en forma de surtidores de fuego y erupciones próximos al contorno del disco solar. Cuando no hay eclipses las protuberancias pueden observarse sólo mediante el espectroscopio.

## Q

**Quilate.** Medida que se usa para valorar las piedras preciosas. Es igual a 200 miligramos, o sea, 1 gramo equivale a 5 quilates.

## R

**Radiactividad.** Fenómeno físico, cuya esencia consiste en que los átomos de ciertos elementos químicos situados al final del sistema periódico, tienen la propiedad de desintegrarse espontáneamente. A consecuencia de la desintegración radiactiva los átomos de unos elementos se transforman en átomos de otros.

**Radiolarios.** Organismos unicelulares microscópicos pertenecientes al grupo de los de constitución más simple. Se distinguen por la gran diversidad de sus esqueletos, formados principalmente de sílice.

**Ratovkita.** Véase fluorita.

**Rayos alfa.** Véase partículas alfa.

**Rayos beta (rayos  $\beta$ )** Corriente de electrones emitida durante la desintegración de núcleos atómicos. Los rayos beta ionizan los gases, provocan luminiscencia en numerosas sustancias e impresionan las placas fotográficas.

**Rayos cósmicos.** Rayos que llegan a la atmósfera terrestre procedentes del espacio interestelar. Poseen energía enorme, debido a lo cual su poder penetrante es extraordinariamente grande. La naturaleza de los rayos cósmicos no se ha establecido todavía con precisión.

**Rayos gamma (rayos  $\gamma$ ).** Radiación electromagnética de muy corta longitud de onda. Los rayos gamma son emitidos por los átomos de radio y de otras sustancias radiactivas durante su desintegración espontánea. Se parecen a los rayos X, pero tienen un poder de penetración todavía mayor. En la técnica se emplean para la comprobación de piezas metálicas, para tratar plásticos, etc. Son peligrosos para tus organismos vivos.

**Rayos Roentgen.** Llamados también rayos X. Son rayos electromagnéticos de corta longitud de onda, descubiertos por Roentgen en 1895. Se aplican ampliamente en numerosas ramas de la ciencia y técnica. Con su ayuda se estudia la estructura de los átomos y moléculas. Se utilizan para analizar las sustancias con objeto de descubrir en ellas la presencia de unos u otros elementos. También se emplean mucho en la Medicina.

**Rayos ultravioletas.** Designación general de las ondas electromagnéticas con longitud de onda de 40.000 Å a 100 m-1 aproximadamente.

**Rocas.** Agregaciones naturales de minerales, unidos durante el proceso general de formación, que poseen una composición y estructura más o menos constante. Atendiendo a su origen, las rocas se dividen en magmáticas, sedimentarias y metamórficas.

Rocas eruptivas. Véase rocas magmáticas.

**Rocas magmáticas o eruptivas.** Rocas formadas por consolidación del magma fundido al enfriarse. Se dividen en: rocas profundas, es decir, solidificadas en las zonas profundas (granito, peridotita, gabro, etc.), y rocas extrusivas, o sea, procedentes del magma emergido a la superficie terrestre, por ejemplo, durante las erupciones volcánicas (andesita, basalto, liparita, etc.).

**Rocas metamórficas.** Rocas de origen magmático o sedimentario que provienen de otras preexistentes, debido a alteraciones químicas, mineralógicas y estructurales. Se dividen en: rocas de metamorfismo profundo (pizarras cristalinas, pizarras micáceas, gneises, etc.), rocas de metamorfismo por contacto (hornstenos o piedras córneas, pizarras turmalizadas, etc.), rocas parcialmente refundidas.

**Rocas olivínicas.** Rocas eruptivas profundas, cuyo componente principal es el olivino.

**Rocas sedimentarias.** Rocas estratificadas que resultan de la sedimentación de sustancias minerales bajo la acción de la gravedad, en gran parte depositadas por las aguas. Por ejemplo, calizas, areniscas, etc.

**Rocas ultrabásicas.** Rocas extremadamente ricas en metales básicos (como magnesio y calcio) y óxido ferroso. Contienen 45% de ácido silícico. Todas ellas se distinguen por su color oscuro (verdoso o negro) y gran peso. Se forman en las zonas muy profundas de la corteza terrestre.

**Roentgen, Guillermo Conrado** (1845-1923). Renombrado físico alemán. Su nombre se hizo especialmente célebre cuando descubrió en 1895 un nuevo tipo de energía radiante, los llamados rayos X.

**Rubí.** Variedad roja del corindón usada en joyería y para las piedras (de apoyo) de los relojes, contadores, etc. Puede obtenerse también por vía artificial. Véase corindón.

**Rutherford, Ernesto.** (1871-1937). Eminente físico e investigador inglés que se dedicó al estudio experimental de la constitución del átomo y de los procesos radiactivos.

**Rutilo.** Mineral, dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). Forma cristales de color pardo y encarnado. Se encuentra a veces incluido en el "velludo" (variedad de cuarzo) en forma de fibras delgadas denominadas "cabellos de Venus".

## S

**Sal gema.** Véase halita.

**Salitre.** Nitrato de sodio o potasio. En la naturaleza se encuentra en las regiones desérticas formando pequeñas y finas costras de color blanco adheridas a la superficie del terreno, murallas rocosas, peñas, etc. Se emplea como fertilizante y para la obtención de explosivos.

**Samarsquita.** Mineral raro de color negro aterciopelado, perteneciente al grupo de los niobatos y tantalatos

**Sarder.** Denominación antigua del calcedonio rojo (sard) de todos los matices: claro, oscuro, marrón rojizo y pardo.

**Scheele, Carlos Guillermo** (1742-1786). Eminente químico sueco. Descubrió el oxígeno, cloro y manganeso.

**Sheelita.** Wolframato cálcico (CaWO<sub>4</sub>). Mineral opaco, amarillo grisáceo, de brillo graso. Cuando se expone a la acción de los rayos ultravioletas, emite luz azul verdosa muy agradable. Se utiliza para la obtención del wolframio, elemento importantísimo para la industria metalúrgica.

**Semidesintegración.** En Física, se llama semidesintegración al período de tiempo necesario para que se desintegren la mitad de los átomos radiactivos originales. Cada elemento radiactivo posee un período de semidesintegración determinado, cuyo valor puede oscilar desde fracciones de segundo hasta miles de millones de años.

**Serpentina.** Roca verde compacta de origen secundario, constituida por serpentinita, magnetita, cromita y otros minerales. Con frecuencia, se observa en ella manchas verdes, negras, grises, blancas, rojas y amarillas que la asemejan a la piel de serpiente.

**Serpentinita.** Silicato magnésico hidratado que contiene, en pequeñas proporciones, hierro, cromo y níquel. Mineral bastante difundido, de coloración variada (desde el verde cebolla hasta el verde rojizo). Se usa para fines ornamentales.

**Seudomorfo.** Formaciones minerales cuya estructura o constitución cristalina no es la asumida para el mineral dado. Estos minerales adquieren forma externa correspondiente a otras especies minerales, maderas petrificadas, conchas, etc.

**Sienita.** Roca cristalina de origen volcánico de color claro, formada principalmente por feldespatos y hornablenda. Se diferencia del granito en que no contiene cuarzo. Su denominación proviene de la ciudad Siene (Egipto).

**Sienita nefelítica.** Roca eruptiva profunda constituida de nefelina, feldespato, piroxeno y anfíbol, pero siempre exenta de cuarzo. Es poco abundante; la mayor concentración se encuentra en la península de Kola.

**Silicatos.** Numeroso grupo de minerales, en cuya composición toma parte el silicio y varios otros elementos. Son las sales naturales de los diversos ácidos silícicos. En la corteza terrestre, los silicatos constituyen el grupo más considerable de minerales. A ellas pertenecen los feldespatos, micas, hornblendas, piroxenos, minerales caolínicos, etc.

**Sirio.** Estrella de la constelación Can Mayor. Es la más luminosa de la, estrellas que se observan en la bóveda celeste. Consta de dos estrellas ("estrella doble"), las cuales sólo se pueden distinguir cuando se observan con telescopio ya que la luminosidad de la estrella satélite es 3.000 veces menor que la de Sirio.

**Sismógrafo o sismómetro.** Instrumento que registra y mide las sacudidas y conmociones producidas en la tierra y en las obras de ingeniería, por los terremotos, explosiones, actividad del transporte, maquinaria industrial y otras causas.

**Sismología.** Ciencia que se ocupa del estudio de los temblores de tierra.

**Sistema o período pérmico.** Capas rocosas formadas durante el último período de la era paleozoica. Sigue al período carbonífero. Su nombre proviene de la denominación de la antigua provincia de Perm, en cuya región se desarrolló de forma más completa este sistema y donde fue estudiado y descrito por primera vez.

**Smaragd.** Denominación antigua de la esmeralda.

**Sublimación.** Paso directo de una sustancia cristalina al estado de vapor (es decir, sin fundirse).

**Suess, Eduardo (1831-1914).** Geólogo austriaco. Su obra fundamental "La faz de la Tierra" contribuyó grandemente al desarrollo de muchas ramas de la Geología.

**Superfosfato.** Fertilizante mineral, principalmente constituido por la mezcla de sulfato y fosfato ácido de calcio. Es el abono agrícola más difundido.

## T

**Tajo.** El lugar de una excavación minera donde se efectúa la extracción directa del mineral.

**Talco.** Silicato magnésico. Uno de los minerales más blandos de color blanco plateado, verdoso y amarillo. Se caracteriza por su brillo resinoso con matiz perlítico, grasiento al tacto. Se utiliza, finamente dividido, como polvos higiénicos y como material de relleno en la fabricación del

caucho, papel, colorantes y en otras ramas de la industria. En forma compacta se emplea como material resistente al fuego y a los ácidos y como aislador eléctrico. Su variedad basta y compacta se llama esteatita o jabón de sastre.

**Téctitas.** Trozos pequeños de cristal fundido, encontrados en algunas regiones del globo terráqueo. Hasta la fecha no existe una interpretación totalmente clara y satisfactoria sobre el origen de las téctitas.

**Tectónica.** Parte de la Geología que estudia los procesos de formación de pliegues y fallas rocosas y las distintas alteraciones que experimenta la estructura y posición de los estratos.

**Tejuelo.** Apoyo o sostén de mineral muy duro, generalmente rubí (natural o sintético). Se emplea en los mecanismos de alta precisión. En ellos se apoyan las partes sometidas a giro rápido. Por ejemplo, las piedras en los relojes.

**Terrenos.** Formaciones superficiales relacionadas con la intemperización de las rocas, erosionadas y alteradas por la acción de agua, aire y otros procesos debidos a la actividad de las plantas y animales.

**Tetraedro.** Figura geométrica compuesta de cuatro caras triangulares.

**Tierra salina.** Tierra fuertemente impregnada de sales que tiene color blanco debido a las costras y cristales salinos que se hallan repartidos en su masa.

**Timiriázev, Klementi (1843-1920).** Sabio ruso, notable botánico-fisiólogo, ardiente propagandista de la teoría sobre el mecanismo de la evolución de Darwin.

**Toba volcánica (o verdadera).** Roca que consiste en ceniza volcánica compactamente comprimida. Puede ser grisácea, violeta suave o negra.

**Tolueno.** Combinación química que se obtiene del alquitrán de hulla y de los gases de los hornos de coque. Es la materia prima principal para la fabricación de sacarina; se utiliza en la preparación de colorantes. El derivado nitrado del tolueno, la trilita, es uno de los explosivos más importantes.

**Topacio.** Silicato de aluminio y flúor. Mineral transparente, translúcido u opaco, incoloro, amarillo vinoso, verde, azulado o rosado con intenso brillo vítreo. Los magníficos cristales de su variedad transparente, se usan como piedras preciosas.

**Tsiolkovski, Konstantán (1857-1935).** Eminente sabio ruso, inventora autodidacta. Fundador de la astronáutica. Consagró toda su vida al estudio de las fuerzas reactivas de los cohetes, comunicaciones interplanetarias y a la construcción de cohetes y dirigibles.

**Turanita.** Raro mineral de color verde oliva compuesto de cobre y vanadio. Se forma en la zona de intemperización superficial de ciertos yacimientos.

**Turmalina.** Mineral muy complejo de composición variable (aluminoboro-silicato de las bases alcalinas, de calcio, hierro y magnesio). Se presenta en distintas variedades con gran diversidad de colores. Se utiliza como piedra preciosa y como material termo y piezoeléctrico.

**Turquesa.** Fosfato hidratado de aluminio y cobre. Mineral opaco de bello color azul o verde azulado con brillo mate. Se usa para fines ornamentales.

## U

**Uvarovita.** Granito cálcico-crómico de color verde esmeralda.

## V

**Vauquelin, Luis Nicolás (1763-1829).** Químico francés. En 1797 descubrió el cromo en el mineral rojo plumbífero de Siberia. En ese mismo año, descubrió en el mineral berilo el óxido de un metal desconocido hasta entonces, el berilio. Se dedicó intensamente a la investigación de sustancias de origen vegetal y animal.

**Velocidad cósmica.** Velocidad de movimiento de un cuerpo celeste en el espacio interplanetario. Es muchísimo mayor que las velocidades de diversos cuerpos conocidos en la Tierra. Se distinguen tres velocidades cósmicas: la primera, al llegar a la cual el cuerpo que la posee se convierte en satélite del planeta (para la Tierra esta velocidad es de 7,9 km/seg.); la segunda, que se necesita para separarse para siempre del planeta (para la Tierra es de 11,2 km/seg) y la tercera, que permite vencer la atracción del Sol y abandonar el sistema solar (es de 17 km/seg cuando se parte de la Tierra).

**Vernadskita.** Mineral muy raro, perteneciente al grupo de los sulfatos básicos hidratados de cobre. Fue hallada en el cráter del Vesubio.

**Veta (rocosa).** Hendidura en Las rocas, rellena de cualquier mineral cristalizado por precipitación del magma o de soluciones minerales frías o calientes.

**Wolframita.** Mineral negro pardusco compuesto de wolframio, hierro y manganeso. Contiene hasta el 50% de wolframio y suministra el 95% de la producción mundial de este elemento. Se utiliza en la fabricación de aceros y pinturas.

## Y

**Yacimientos minerales.** Concentraciones naturales de minerales que por las condiciones de su depositación, magnitud y riqueza del contenido resulta ventajosa y rentable su explotación.

**Yeso.** Composición química:  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ . Mineral y, también, roca sedimentaria monomineral de color blanco o ligeramente coloreada. Muy difundido en la naturaleza. Se emplea mucho en la construcción, decoración y estucado, así como para la preparación de cemento. Se usa en Medicina para los vendajes quirúrgicos, en Agronomía para fertilizar los campos de cultivo. Sus variedades, alabastro y selenita, se utilizan para fines ornamentales.

## Z

**Zafiro.** Véase corindón.

Prefacio

Introducción

### **PRIMERA PARTE. EL ATOMO**

1. ¿De qué se ocupa la Geoquímica?
2. El mundo de lo invisible. El átomo y el elemento químico
3. Los átomos que nos circundan
4. Nacimiento y comportamiento del átomo en el universo
5. Cómo Mendeléev descubrió su ley
6. El sistema periódico de los elementos de D. I. Mendeléev en nuestros días.
7. Importancia del sistema periódico de los elementos de Mendeléev en la Geoquímica
8. El átomo se desintegra. Uranio y radio
9. El átomo y el tiempo

### **SEGUNDA PARTE. LOS ELEMENTOS GEOQUÍMICOS EN LA NATURALEZA**

10. El silicio, fundamento de la corteza terrestre
11. El carbono, base de todo lo vivo
12. El fósforo, elemento de la vida y del pensamiento
13. El azufre, propulsor de la industria química
14. El calcio, símbolo de firmeza
15. El potasio, fundamento de la vida de las plantas
16. El hierro y la edad de hierro
17. El estroncio, metal de las luces rojas
18. El estaño, metal de los botes de conserva
19. El yodo, elemento que se halla en todas partes
20. El flúor, elemento que todo lo corroe
21. El aluminio, metal del siglo XX
22. El berilio, metal del futuro
23. El vanadio, fundamento del automóvil
24. El oro, rey de los metales
25. Elementos raros dispersos

### **TERCERA PARTE. HISTORIA DEL ATOMO EN LA NATURALEZA**

26. Los meteoritos, emisarios del universo
27. Los átomos en la profundidad de la Tierra
28. Historia de los átomos en la historia de la Tierra
29. Los átomos en el elemento aéreo
30. Los átomos en el agua
31. Los átomos en la superficie terrestre. Desde el Artico hasta los subtrópicos
32. Los átomos en la célula viva
33. Los átomos en la historia de la humanidad

### **CUARTA PARTE. PASADO Y FUTURO DE LA GEOQUIMICA**

34. De la historia de las ideas geoquímicas
35. ¿Cómo fue dada su denominación a los elementos químicos y a los minerales?
36. La Química y la Geoquímica en nuestros días
37. Viaje fantástico por la Tabla de Mendeléev
38. Las conquistas del futuro
39. Final del libro

### **APENDICE**

40. El geoquímico en el campo
41. Notas breves sobre los elementos químicos
42. Aclaraciones a algunos términos y nombres que aparecen en el texto



## Capítulo I

### ¿DE QUE SE OCUPA LA GEOQUIMICA?

¿De qué se ocupa la Geoquímica? Esta es la primera pregunta a la que hay que contestar para llegar a comprender todo lo que vamos a exponer en nuestro libro.

Sabemos de qué trata la Geología; esta ciencia estudia la Tierra, la corteza terrestre, su historia, sus transformaciones, cómo se forman las montañas, ríos y mares, cómo surgen los volcanes y lavas y cómo crecen lentamente los sedimentos de limo y arena en el fondo de los océanos.

Para todos está claro que la Mineralogía estudia los diferentes minerales.

En mi libro Mineralogía recreativa escribía: "El mineral es una combinación de elementos químicos que se origina por vía natural, sin la intervención del hombre. Es una especie de edificio construido de ladrillitos determinados en cantidades variables, pero no se trata de un montón desordenado de esos ladrillitos, sino que constituye precisamente una obra edificada según leyes definidas de la naturaleza. Se comprende perfectamente que con ladrillitos idénticos, tomados en igual cantidad, pueden construirse distintos edificios. Exactamente igual, un mismo mineral puede existir en la naturaleza en las formas más diversas, a pesar de que su composición química sea la misma.

Contamos con cerca de cien especies de estos ladrillitos, de los cuales está constituida toda la naturaleza que nos rodea.

Estos elementos químicos pueden ser gases: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno; metales: sodio, magnesio, hierro, mercurio, oro y otras sustancias, como silicio, cloro, bromo, etc.



Las combinaciones de los elementos, en proporciones diferentes, constituyen lo que llamamos minerales. Por ejemplo, el cloro y el sodio forman la sal común; la unión del oxígeno, en doble cantidad, con el silicio origina la sílice o cuarzo, y así sucesivamente.

... Así, de las diversas combinaciones de elementos químicos están formados tres mil minerales distintos existentes en la tierra (cuarzo, sal, feldespato, etc.). La agregación de partículas minerales forma lo que llamamos rocas (por ejemplo: granito, caliza, basalto, arena, etc.).

La ciencia que estudia los minerales se denomina Mineralogía; la que describe las rocas, Petrografía, y la que estudia los propios ladrillitos y sus "peregrinaciones" por la naturaleza, Geoquímica..."

La Geoquímica es una ciencia todavía joven, que se ha destacado durante los últimos decenios. Su misión consiste en seguir y aclarar el destino y el comportamiento en la Tierra de los elementos químicos constituyentes de la naturaleza que nos rodea. Si se distribuyen estos elementos en un orden determinado forman la admirable tabla de Mendeléev.

En Geoquímica, la unidad fundamental de investigación es el elemento químico y su átomo.

En cada casilla del sistema de Mendeléev, por lo general, se halla un elemento químico, un átomo, y cada casilla tiene su número de orden correspondiente. El número primero corresponde al elemento más ligero, el hidrógeno. El elemento químico de mayor peso, con número de orden 92, se denomina uranio y es 238 veces más pesado que el hidrógeno. (Aquí no se mencionan aquellos elementos transuránicos que fueron obtenidos por vía artificial y más tarde hallados en la naturaleza, si bien es verdad, en cantidades ínfimas (*Red.*).

Las dimensiones de los átomos son extraordinariamente pequeñas. Si los imaginamos en forma de bolitas, el diámetro del átomo será una diezmillonésima de milímetro. Pero los átomos no se parecen en absoluto a bolitas macizas, sino que constituyen sistemas complejos, compuestos de un núcleo a cuyo alrededor gira un número determinado, distinto para los diferentes tipos de átomos, de partículas eléctricas, llamadas electrones.



*Figura 1.1 Cristales de cuarzo ahumado en el feldespatos*

En los diversos tipos de átomos, de elementos químicos, el número de electrones es distinto. Debido a esto, los átomos se diferencian por sus propiedades químicas. Cuando los átomos intercambian sus electrones forman combinaciones, las moléculas.

En la tabla de Mendeléev se definen varias familias naturales de elementos, que se encuentran juntos, no sólo en la tabla, sino también en la propia naturaleza.

La grandeza del sistema de Mendeléev consiste precisamente en que no se trata de un esquema teórico, sino que representa a expresión de las relaciones mutuas naturales existentes entre elementos aislados, que son las que definen su semejanza, diferencia, dislocación y formas de migración en la tierra. En una palabra, la tabla de Mendeléev es, al mismo tiempo, una tabla geoquímica, que, como brújula precisa y segura, ayuda a los geoquímicos en sus trabajos de exploración. Nuevas ideas se engendran donde el pensamiento del hombre de ciencia trata de aplicar la ley de Mendeléev al análisis de los fenómenos naturales.



Pero, ¿en qué consiste la Geoquímica? ¿Qué representa esta nueva ciencia que durante los últimos años ha apasionado a tan gran número de jóvenes investigadores?

Como su denominación indica, la Geoquímica estudia los procesos químicos que se desarrollan en la Tierra.

Los elementos químicos, a modo de unidades naturales independientes, se trasladan, "viajan", se combinan; en una palabra, migran por la corteza terrestre. El estudio de las leyes que rigen las combinaciones de los elementos y de los minerales, verificadas a diferentes presiones y temperaturas en las diversas zonas de la corteza terrestre, constituye los problemas de que se ocupa de investigar la Geoquímica moderna.



Algunos elementos químicos (por ejemplo: el escandio, el hafnio) no son capaces de formar acumulaciones y, a veces, se hallan tan dispersos en la naturaleza, que su porcentaje en la composición de las rocas no pasa de una cienmillonésima.

Tales elementos podríamos denominarlos ultradispersos y procedemos a su extracción de los minerales que los contienen únicamente en el caso de que posean un valor especial para los trabajos prácticos.

Actualmente, suponemos que en cada metro cúbico de cualquier roca podríamos encontrar todos los elementos de la tabla de Mendeléev, si los métodos analíticos de que disponemos fueran lo suficiente precisos para descubrir su presencia. No hay que olvidar que, en la historia de la ciencia, los métodos nuevos tienen todavía más importancia que las nuevas teorías.



*Figura 1.2 Estructuras cristalinas de los elementos químicos dispuestos en las casillas correspondientes de la tabla de Mendeléev. La colocación de las bolitas, muestra cómo se distribuyen los átomos en el cuerpo sólido simple. En primer plano, a la izquierda, se ve el esquema de la distribución de los átomos de silicio y da oxígeno en el cuarzo. (Exposición en el Museo del Instituto de Minas de Leningrado.)*

Otros elementos (por ejemplo: el plomo, el hierro), por el contrario, durante su proceso constante de desplazamiento, experimentan una especie de paros y forman combinaciones capaces de acumularse con facilidad, de conservarse largo tiempo y originan, independientemente de los cambios complejos que se verifican en la corteza terrestre en el transcurso de su transformación geológica, grandes concentraciones y son perfectamente accesibles para su utilización industrial.



*Figura 1.3 Desfiladero "Levi Talgar" en Zailiiski Alatau, RSS de Kazajia*

La Geoquímica estudia las leyes de la distribución y migración de los elementos químicos no sólo en el conjunto de la Tierra y del Universo; los estudia en condiciones geológicas definidas en regiones determinadas del país, como, por ejemplo, en el Cáucaso, en los Urales, marcando al mismo tiempo el camino a seguir para la búsqueda y exploración de yacimientos minerales. De esta forma, las directrices teóricas fundamentales de la Geoquímica moderna se enlazan cada vez más con los problemas de carácter práctico.

Basándose en ciertas leyes generales, la Geoquímica trata de mostrar dónde puede existir cualquier elemento químico, dónde y en qué condiciones pueden esperarse acumulaciones de los mismos, por ejemplo, de vanadio o de wolframio; qué metales pueden "de buen grado" encontrarse juntos, por ejemplo, el bario y el potasio; cuáles "huyen" uno del otro, como el telurio y el tantalio.



*Figura 1.4 Un joven geoquímico investiga los afloramientos de la cuenca de Kar-Shor, RSS de Turkmenia*

La Geoquímica estudia el comportamiento de cada elemento, pero, para poder juzgar este comportamiento, esta ciencia debe conocer a la perfección las propiedades de los elementos, sus particularidades específicas, sus tendencias a combinarse con otros elementos o, por el contrario, a separarse de ellos.

El geoquímico se convierte, por consiguiente, en un “buscador-explorador”, indica aquellos lugares de la corteza terrestre donde puede haber minerales de hierro y de manganeso, explica cómo entre las serpentinas pueden hallarse Nacimientos de platino y aclara el por qué; orienta a los geólogos en la búsqueda de arsénico y antimonio en las formaciones rocosas recientes y en las cordilleras montañosas y predice el fracaso, si se intenta buscar estos metales en aquellos lugares donde no existen condiciones propicias para su concentración.

Pero todo esto es posible cuando se ha estudiado a fondo el "comportamiento" del elemento en cuestión, de la misma forma que, cuando se conoce detalladamente el comportamiento de una persona determinada en la vida, pueden considerarse todas sus acciones, así como también puede predecirse su conducta en diferentes circunstancias.

¡He aquí en qué consiste la significación práctica importantísima que posee esta nueva ciencia! Por consiguiente, la Geoquímica marcha íntimamente ligada a las ciencias geológicas y químicas.

\* \* \* \*

No quiero sobrecargarles a Uds. con multitud de hechos, cálculos, ejemplos... ni tampoco trato de enseñarles toda la sabiduría de la Geoquímica. No, deseo únicamente que se interesen, se apasionen por esta nueva ciencia, nacida hace relativamente pocos años, con objeto de que Uds. mismos se convenzan al leer estos capítulos y conozcan las “peregrinaciones” que efectúan los elementos por el mundo, y vean que ante la Geoquímica, a pesar de ser una ciencia nueva, se abren amplísimas perspectivas en el futuro y que este futuro debe ser conquistado.

En el mundo de las ideas científicas, como siempre en la vida, el progreso y la verdad no triunfan de repente; hay que luchar para conseguirlos, movilizar todas las fuerzas, se requiere poseer aspiraciones concretas claramente orientadas, energía, gran confianza en la justeza de su causa y firme convicción en la victoria.

Triunfa no la idea abstracta, infructuosa, inactiva, sino la idea combativo, ardiente por nuevas búsquedas, la idea que vaya íntimamente ligada a la propia vida y a sus problemas.

Los químicos que se ocupan del estudio de la corteza terrestre disponen en nuestro país de un campo de acción inmenso para la investigación.

Necesitamos todavía una cantidad enorme de hechos; los necesitamos, según palabras del sabio ruso Iván Pávlov, lo mismo que el aire hace falta para sostener las alas de los pájaros.

Pero el pájaro, como el aeroplano, se sostiene en el aire, no sólo debido a las masas aéreas, sino, y principalmente, gracias a su movimiento de avance y de ascensión.

Precisamente estos movimientos de avance y de ascensión son los que mantienen a toda ciencia: ésta se apoya en el trabajo tenaz y creador, en el ardor de las búsquedas audaces, ligados simultáneamente con un análisis frío y sensato de los éxitos obtenidos.

En la industria aún no se utilizan todos los elementos químicos, hay que trabajar todavía mucho y con perseverancia para conseguir que todos los elementos de la tabla de Mendeléev lleguen a emplearse eficazmente en provecho de la humanidad laboriosa.



**Capítulo II****EL MUNDO DE LO INVISIBLE. EL ÁTOMO Y EL ELEMENTO QUIMICO**

Deme la mano, lector. Voy a conducirlo al mundo de las magnitudes pequeñísimas que en la vida ordinaria no percibimos. He aquí un laboratorio para efectuar aumentos y disminuciones. Entremos en él. Nos están ya esperando. Esta persona, vestida con traje de trabajo, aunque todavía no es anciana y su aspecto es de lo más corriente, es, sin embargo, un inventor eminente. Escuchémosle.

"Entren en la cabina, el material de que está construida es transparente para los rayos de cualquier longitud de onda, incluso para los rayos cósmicos de mínima longitud de onda. Si se gira la palanca a la derecha, nuestro tamaño comienza a disminuir. El proceso de empequeñecimiento no es muy agradable, se verifica proporcionalmente siguiendo las indicaciones del cronómetro, cada cuatro minutos nuestro tamaño disminuye mil veces. Al cabo de cuatro minutos nos detenemos, salimos de la Cabina y vemos el mundo que nos circunda como si lo observáramos a través del mejor microscopio. Después volvemos a la cabina y probamos a disminuir nuestras dimensiones en mil veces más".

Giramos la palanca y nuestra estatura decrece, adquiriendo el tamaño de una hormiga... Ahora percibimos los sonidos de modo distinto, debido a que nuestro órgano del oído ya no reacciona ante las ondas aéreas... Sólo ciertos ruidos, zumbidos, chasquidos y el murmullo suave llegan hasta nuestro sentido. Pero nuestra capacidad de visión se conserva, puesto que en la naturaleza existen los rayos X con longitud de onda mil veces menores que los luminosos. El aspecto externo de los objetos ha cambiado de forma inesperada: la mayoría de los cuerpos son ahora transparentes e incluso los metales se han convertido en cuerpos con colores vivos, semejantes a cristales coloreados. . . Por el contrario, el cristal, la resina, el ámbar han oscurecido y se parecen a los metales.

Vemos las células de las plantas, repletas de jugo pulsatorio y de granitos de almidón. Si deseamos podemos introducir la mano en los estomas de las hojas. En la sangre observamos cómo nadan los glóbulos sanguíneos del tamaño de un kopek, las bacterias de la tuberculosis tienen la forma de clavos doblados sin cabeza... Las bacterias del cólera son como habas diminutas con un rabito que se agita rápidamente... Las moléculas no se ven todavía, solamente una vibración continua de las paredes y ligeras punzadas en el rostro debidas al aire, como si soplara viento polvoriento de frente, nos anuncian que estamos ya próximos al límite de divisibilidad de la materia...

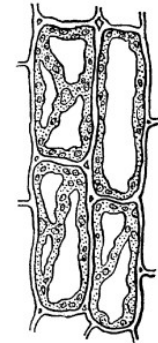
Regresamos de nuevo a la cabina y desplazamos la palanca una división más. Todo se oscurece, nuestra cabina comienza a trepidar como si ocurriera un terremoto.

Cuando volvimos en sí, la cabina seguía trepidando, daba la sensación como si a nuestro alrededor se hubiera desencadenado una tormenta de granizo. Notábamos que algo así como guisantes nos golpeaba constantemente. Podría pensarse que disparaban contra nosotros mil ametralladoras...

Inesperadamente nuestro guía comenzó a decir:

"De la cabina no se puede salir. Nuestras dimensiones han disminuido un millón de veces y nuestra estatura se mide ahora en milésimas de milímetro, mide nada más que un micrón y medio.

El espesor de nuestros cabellos ahora es igual a una cienmillonésima de centímetro. Esta magnitud se llama angstrom y se emplea para medir las moléculas y los átomos. El diámetro de



las moléculas de los gases componentes del aire es aproximadamente de un angstrom. Estas moléculas se mueven con enorme velocidad y bombardean nuestra cabina.

Al salir la primera vez de la cabina notamos ya que el aire nos azotaba la cara como si fuera arena: se debía a la influencia de moléculas aisladas. Ahora somos mucho más pequeños y el movimiento de las moléculas es peligrosísimo para nosotros, lo mismo que si a una persona le dispararan con arena.

Miren a través de la ventana y verán partículas de polvo de un micrón de diámetro, o sea, casi tan grandes como nosotros mismos. ¡Cómo danzan en todas direcciones al golpear contra ellas, de modo desigual, los torbellinos moleculares! Desgraciadamente, no podemos observarlos.

Se mueven a velocidad rapidísima... Pero, ya es hora de regresar. Las ondas ultracortas, gracias a las cuales vemos las moléculas, son perniciosas para nuestra vista".

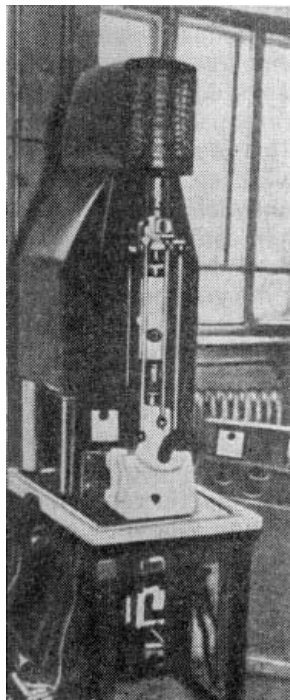
Dichas estas palabras, nuestro guía giró la palanca en sentido contrario...

Nuestro viaje, naturalmente, es sólo fruto de nuestra imaginación. Pero el cuadro que acabamos de exponer se aproxima mucho a la realidad.

La experiencia muestra que cualquiera que sea el método analítico que empleamos, llegamos siempre, como resultado del análisis de cuerpos complejos, hasta ciertas sustancias simples que, por vía química, no pueden ser divididas en otras partes componentes más sencillas.

A estos cuerpos simples indivisibles, que constituyen todos los cuerpos existentes en la naturaleza, los llamamos elementos químicos.

El hombre, en contacto continuo con los cuerpos circundantes de la naturaleza, vivos y muertos, líquidos, sólidos y gaseosos, llegó a una de sus generalizaciones más importantes: a la concepción de la sustancia, de la materia. ¿Qué propiedades posee esta materia? ¿Cuál es su estructura? He aquí la cuestión que debe plantearse todo el que se dedica al estudio de la naturaleza.



*Figura 2.2 Microscopio electrónico, que amplifica hasta 500.000 veces. El objeto que se observa es iluminado por un chorro de electrones. Las lentes consisten en potentes electroimanes.*

La primera impresión que recibimos, como resultado de la observación directa, es la continuidad aparente de la sustancia. Pero esta impresión es simplemente la ilusión de nuestros sentidos. Con ayuda del microscopio, con frecuencia descubrimos la existencia de poros en la sustancia, o sea, la existencia de huecos diminutos, imperceptibles a simple vista.

Incluso para sustancias como el agua, el alcohol y otros líquidos, así como los gases, que en principio no deben tener poros, tenemos que reconocer la existencia de intersticios entre sus partículas constituyentes, pues, en caso contrario, sería incomprensible por qué estas sustancias se comprimen al presionarlas y se dilatan al calentarlas.

La materia tiene siempre estructura granulada. Los granitos más pequeños de sustancia fueron denominados átomos y moléculas. En el agua líquida, por ejemplo, se ha demostrado que las moléculas ocupan aproximadamente sólo la tercera o cuarta parte del volumen total. El resto lo constituyen los poros.

Sabemos que al aproximarse los átomos surgen entre ellos fuerzas de repulsión y los átomos no pueden unirse íntimamente unos con otros. Alrededor de cada átomo puede describirse una "esfera de impenetrabilidad" en cuyo interior, en condiciones ordinarias, no puede infiltrarse otra materia. Por tanto, los átomos, junto con esta esfera, pueden ser considerados como bolitas elásticas impenetrables. Cada elemento posee una esfera impenetrable determinada, cuyo radio se expresa en unidades angstrom. Por ejemplo, dicho radio en el carbono es de 0,16 angstrom, en el silicio, de 0,42, esto es, de magnitud pequeña; en el hierro es de 0,74, en el calcio, de 0,99, es decir, de magnitud media. En el oxígeno su magnitud es de 1,32, o sea, grande. (Véase la Figura 7.2, en el que están representados los elementos en forma de circulitos de tamaño proporcional a las dimensiones de los radios de sus esferas.)

Si colocamos las bolitas en un espacio cualquiera, por ejemplo, en un cajón, la distribución desordenada de las mismas ocupará un volumen mayor que en el caso de que esta distribución se haga ordenadamente. La distribución que ocupa el volumen mínimo se llama el empaquetamiento más compacto. Este empaquetamiento es fácil de conseguir, por ejemplo, haciendo el experimento siguiente. Tomemos varias decenas de bolitas de acero (de cojinete), coloquémoslas en un plato y golpeemos éste ligeramente. En virtud de que todas las bolitas tenderán a dirigirse hacia el centro del plato, se apretarán unas contra otras y quedarán rápidamente dispuestas en filas, formando entre sí ángulos de  $60^\circ$ . Por el contorno exterior se distribuirán según los lados de un hexágono regular. Este será, considerado en el plano, el empaquetamiento más compacto para bolitas de idéntica dimensión.

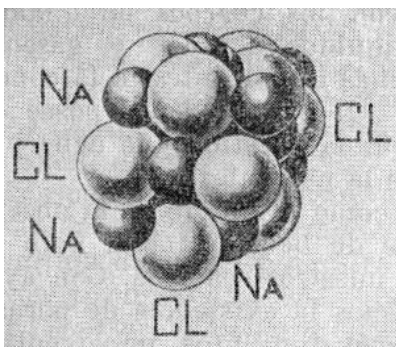


Figura 2.3 Modelo de estructura de la sal gema  
 $NaCl$

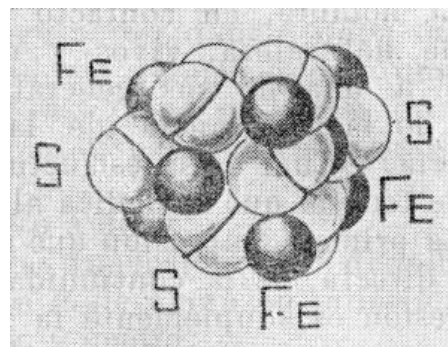


Figura 2.4 Modelo de estructura de la pirita  
 $FeS$

De este modo, se distribuyen, por ejemplo, los átomos de muchos metales: cobre, oro, etc.



Si las bolitas no son iguales, por ejemplo, de dos tamaños distintos, por lo general sucede que las bolitas más grandes (por ejemplo, el cloro en los cristales de sal común) forman el empaquetamiento más compacto y los átomos pequeños se distribuyen ocupando los intervalos que quedan entre las bolitas grandes.

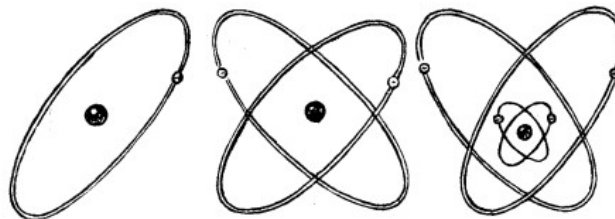
De este modo, en la sal común o en el mineral halita (NaCl), cada átomo de sodio está rodeado de seis átomos de cloro y cada átomo de cloro de seis de sodio. En estas condiciones, la magnitud de las fuerzas de atracción entre los iones de sodio y de cloro tiene el valor máximo.

En resumen, los cuerpos que nos rodean, independientemente del grado de complejidad o simplicidad que posean, están formados por la combinación de partículas ínfimas o átomos, imperceptibles a simple vista, de la misma manera que un edificio grande y bonito está construido de ladrillitos pequeños aislados.

Esta hipótesis data de tiempos remotos y el concepto de "átomo" (del griego "indivisible") lo empleaban ya los filósofos materialistas griegos Leucipo y Demócrito, 600-400 años antes de nuestra era. Según la concepción moderna, cuyos fundamentos fueron establecidos en el siglo XIX, el elemento químico en estado libre, en forma de cuerpo simple, está integrado por el conjunto de átomos homogéneos, ulteriormente indivisibles, por lo menos sin llegar a perder las particularidades propias que caracterizan a la sustancia dada.

Los átomos de un mismo elemento químico tienen idéntica estructura y poseen una masa, o peso atómico, característico para cada uno.

A comienzos de nuestro siglo, los hombres de ciencia consideraban que en la Tierra debían existir 92 elementos distintos, lo que significa, 92 tipos diferentes de átomos. En la actualidad, de estos 92 elementos químicos se han conseguido encontrar, a partir de los recursos naturales, 90 elementos y ' consecuentemente, 90 tipos de átomos. Sin embargo, no dudamos que los elementos todavía no descubiertos existen también. Todos los cuerpos que conocemos en la naturaleza, están constituidos por combinaciones de estos 92 tipos de átomos.



*Figura 2.5 Estructura de los átomos de hidrógeno, helio y berilio. Los círculos representan las órbitas de los electrones. Los núcleos de los átomos se hallan en el centro*

El más pesado de todos los elementos conocidos hasta los últimos tiempos es el uranio, al que corresponde el número 92.

En los últimos años, al estudiar la desintegración de los elementos uránicos, se han descubierto elementos todavía más pesados, llamados transuránicos:

- N°93, neptunio;
- N°94, plutonio;
- N°95, americio;
- N°96, curio;
- N°97, berkelio;
- N°98, californio;

- N°99, einstenio;
- N°100, fermio;
- N°101, mendelevio;
- N°102, nobelio;
- N°103, laurencio y
- N°104, curchatovio.

No sería extraño que existieran átomos todavía más pesados. Pero todos ellos son muy inestables, se encuentran en la naturaleza en cantidades pequeñísimas, por tanto, al investigar la composición de los cuerpos naturales de la tierra, podemos considerar, sin gran error, que todos ellos están formados por 92 elementos.

Los átomos de un mismo elemento, así como los átomos de elementos diferentes, al unirse unos con otros en distintas proporciones, pueden formar moléculas de sustancias diversas. Al combinarse entre sí los átomos y las moléculas constituyen toda la diversidad de cuerpos existentes en la naturaleza. El número de átomos y moléculas debe ser muy grande. Por ejemplo, si tomamos 18 gramos de agua, lo que se llama molécula-gramo, el número de moléculas que la integran es de  $6,06 \times 10^{23}$ .

Este número es enorme, miles de veces mayor que el número de granos de centeno y de trigo cosechados en el globo terráqueo durante todo el período de existencia de la vida vegetal.

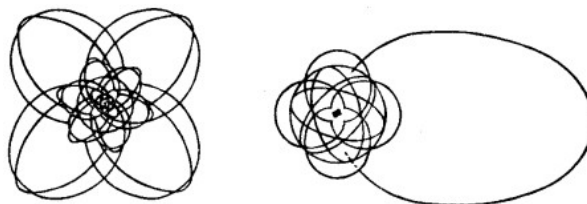
Para hacerse una idea aproximada de las dimensiones de las moléculas, comparémoslas con los organismos vivos más pequeños, las bacterias, visibles sólo a través de un microscopio que amplifique alrededor de mil veces. La dimensión de las bacterias más pequeñas es de dos



diezmilésimas de milímetro. Son mil veces mayores que las moléculas de agua, lo que significa que en la bacteria más minúscula hay más de dos mil millones de átomos.

¡La cadena formada por las moléculas de agua, contenidas en tres gotas de este líquido, puede extenderse desde la Tierra hasta el Sol y en sentido contrario, casi seis veces, puesto que esta distancia tiene una longitud total de 9.400.000.000 de kilómetros!

Al principio se consideraba al átomo como partícula pequeñísima e indivisible. Sin embargo, al estudiarlo con más atención, y a medida que se perfeccionaban y precisaban nuestros métodos de investigación, el átomo resultó poseer una estructura muy compleja. La naturaleza del átomo se manifestó, por primera vez, de forma evidente, cuando el hombre conoció los fenómenos de la radiactividad y comenzó a investigarlos.



*Figura 2.6 Estructura de los átomos de sodio y de criptón*

En el centro de cada átomo se halla el núcleo, cuyo diámetro es unas cien mil veces más pequeño que el diámetro del átomo. El núcleo del átomo contiene prácticamente toda la masa del mismo. El núcleo posee carga eléctrica positiva, cuya magnitud va creciendo al pasar de los elementos químicos ligeros a los pesados. Alrededor de este núcleo cargado positivamente,

giran los electrones, en número igual al de cargas positivas del núcleo, debido a lo cual, en conjunto, el átomo es neutro desde el punto de vista eléctrico.

Los núcleos de los átomos de todos los elementos químicos están constituidos por la agregación de dos clases de partículas elementales: el protón, o núcleo del átomo de hidrógeno, y el neutrón, partícula de masa casi exactamente igual a la del protón, pero privada de carga eléctrica. Los protones y neutrones están fuertemente ligados entre sí, en virtud de lo cual los núcleos atómicos resisten cualquier reacción química y acción física, manteniéndose invariables y estables.

Estabilidad extraordinaria presenta la combinación formada por dos protones y dos neutrones, lo que constituye el átomo de helio. Los núcleos de este elemento son tan estables que se conservan invariables en los átomos de los elementos pesados y son despedidos, en forma de partículas alfa, durante la desintegración radiactiva de los núcleos de dichos elementos.

Las propiedades químicas de los elementos dependen de la estructura y propiedades de la capa electrónica externa de los átomos, de su capacidad de ceder o aceptar electrones. La estructura



del núcleo atómico casi no influye en las propiedades químicas del átomo. Por consiguiente, los átomos que poseen un mismo número de electrones en su capa cortical, incluso si son diferentes las estructuras de sus núcleos, sus masas y pesos atómicos, presentan idénticas propiedades químicas y forman grupos afines de átomos, como por ejemplo, el grupo del cloro, bromo, yodo y otros.

En las figuras se muestran los modelos esquemáticos de estructuras de varios átomos, en los que puede verse cómo van complicándose las órbitas electrónicas a medida que crece el peso atómico.

**Capítulo III****LOS ATOMOS QUE NOS CIRCUNDAN**

Examine las tres fotos que insertamos en este capítulo.

La vista del lago entre montañas, rodeado de rocas calizas, la superficie azul plana y tranquila del agua, las manchas verdes oscura de árboles solitarios... y todo el paisaje iluminado por el sol meridional.

La fábrica metalúrgica, envuelta en humo y vapor, enrojecida por el fuego; trenes cargados con mineral, carbón, fundente y ladrillos se dirigen a ella, llevándose después cientos de toneladas de carriles, techos, lingotes y laminados con destino a los nuevos centros industriales.

El automóvil brilla el barniz de sus guardabarros, ronca el motor, suenan dulcemente las canciones del receptor de radio. Este coche está construido de miles de piezas montadas en la larga cadena de la fábrica y recorrer cientos de miles de kilómetros no supone para él gran esfuerzo.

Observo estos tres cuadros y dígame sinceramente qué piensa usted al contemplarlos, qué le parece en ellos más interesante, qué desearía usted preguntar.

Adivino su pensamiento y sus preguntas. Usted vive en el siglo de la técnica y la industria, su interés se concentra donde la máquina produce la fuerza y la fuerza crea la máquina.

Pero yo quiero referirme a otras cosas, para que contemplen estos cuadros con otros ojos, en otros aspectos. Escuchen.

\* \* \* \*

"¡Cuántos admirables problemas científicos de carácter geológico oculta este lago! me diría el geólogo. ¿Cómo se formó esta enorme y profunda depresión del terreno, quién encerró estas aguas azules entre esas peñas abruptas de las cordilleras tadjikas? Desde la cima de las montañas hasta el fondo del lago hay de dos a tres mil metros; ¿qué fuerzas poderosas fueron capaces de elevar y aplastar los estratos rocosos?"

"¡Qué calizas maravillosas forman las rocas y las montañas! exclamaría el mineralogista. ¡Qué cantidad de decenas y cientos de miles de años deben haber transcurrido para llegar a acumularse en el fondo de los océanos sedimentos tan grandes de fango, conchas, cáscaras, caparazones y para que se comprimieran convirtiéndose en rocas calizas compactas, casi en mármol! Tome usted una lupa corriente, que amplía 10 veces, y, aún así, distinguirá con dificultad los cristales aislados y brillantes del espato calizo constituyentes de la roca".



Figura 3.1 Lago en las montañas de Tadjikistán

“¡Qué blancura y pureza la de esta caliza! diría el químico técnico. Esta es una materia prima espléndida para la industria del cemento y para su conversión en cal, esto es carbonato cálcico casi puro, o sea, la combinación de átomos de calcio, oxígeno y moléculas de anhídrido carbónico. Observe usted cómo lo disuelvo en un ácido débil; el calcio se disuelve y el anhídrido carbónico se desprende con efervescencia”.

"Pero se pueden hacer experimentos más precisos todavía, diría el geoquímico. Utilizando un espectroscopio, puede demostrarse que en esta caliza hay, además, otros átomos: estroncio y bario, aluminio y silicio. Si efectuamos un análisis ultrapreciso y probamos a determinar los elementos más escasos, cuyo porcentaje en la roca es menor de una millonésima, podremos descubrir la presencia de zinc y plomo.



Pero no crea que se trata de una propiedad especial de nuestra caliza: incluso en el mármol más puro que puede haber en el mundo, los químicos experimentados calculan la existencia de 35 átomos diferentes.

Actualmente nos inclinamos incluso a pensar que en cada metro cúbico de piedra - granito o basalto, caliza o arcilla - pueden hallarse todos los elementos de la tabla de Mendeléev, únicamente que algunos de ellos se encuentran en cantidad pequeñísima: un billón de veces menor que la de calcio y oxígeno”.

El geólogo, mineralogista, químico y geoquímico nos seducirán de tal forma con sus palabras que, en lugar de la simple caliza grisácea, llegaremos a creer que nos encontramos ante una piedra misteriosa. Quisiera ahondar más profundamente en su naturaleza y descifrar el enigma de su existencia, de su origen.

\* \* \* \*

Ocupémonos ahora de la fábrica. ¡Qué edificios tan raros, extraordinarios por su tamaño y forma! Torres-columnas gigantes, llenas de mineral, de carbón y de piedra. A estas torres llegan tubos de enormes dimensiones, que suministran aire comprimido y caliente. ¿Con qué objeto? ¿Para qué se funde el metal en el interior, arde el carbón y se inflaman las nubes densas de gases incandescentes al salir a la atmósfera?

Seguramente se sorprenderá si le digo que esto es un laboratorio de átomos. Los átomos de hierro, en el mineral, están fuertemente unidos con otras bolitas de mayor tamaño, con los átomos

de oxígeno, que impiden a los átomos de hierro agruparse y formar el metal pesado forjado, el hierro... El mineral no posee, en absoluto, las propiedades de este metal, a pesar de que contiene el 70% del mismo. Por tanto, es necesario expulsar al oxígeno. Pero, ¿eso no es tan fácil de conseguir!



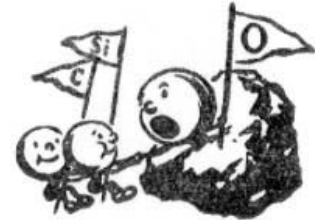
Recuerde, lector, el cuento ruso, cómo la hermanita Aliónushka tuvo necesidad de elegir y extraer de un montón de granos todas las partículas de arena; cómo llamó a sus amigas, las hormigas, para que le ayudaran en esta labor, y cómo las hormigas cumplieron con éxito la complicada tarea.

¡Pero, entonces, se trataba de granos de arena, cuyo diámetro es un millón de veces mayor que el de los átomos de oxígeno! "Tarea difícil, sí, y poco probable de cumplir", diría usted. Efectivamente, mucho trabajo y energía humanos se han requerido para resolver este rompecabezas.

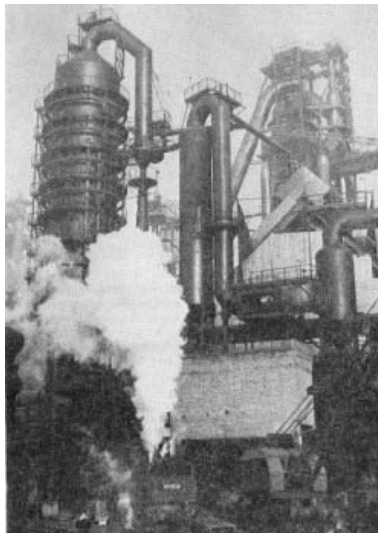
¡Sin embargo, está resuelto!

Para ello, el genio humano llamó en su auxilio, no a las hormigas, sino a los átomos de otros cuerpos químicos y, en alianza con los elementos de la naturaleza, el fuego y el viento, obligó a dichos átomos a desembarazar al hierro del oxígeno y elevar a este último, junto con el aire caliente, hasta la superficie de la masa fundida que hierve en el interior del horno.

¿Qué átomos-amigos son los que vencen al oxígeno? Son dos, el silicio y el carbono. Ambos se apoderan del oxígeno con más fuerza que el hierro y forman con él edificios estables. Ambos se ayudan mutuamente. El carbono, cuando arde, se combina con el oxígeno y en este proceso se desarrolla una temperatura enorme. Pero él sólo no es suficiente, pues el mineral sólido de hierro es muy refractario, pesado, y los átomos de carbono no pueden penetrar en el interior de los trozos compactos de mineral.

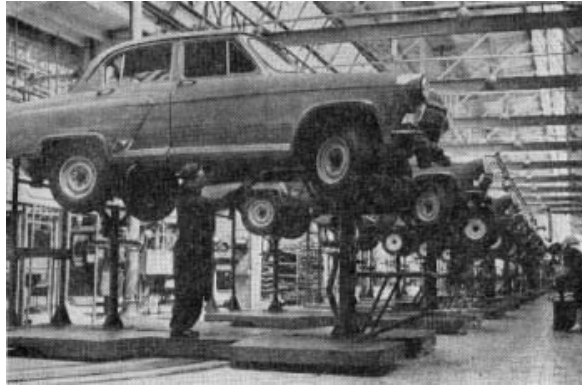


En su ayuda viene el silicio, elemento activo, pequeño de tamaño y origina escorias fusibles, disuelve al mineral, le quita el oxígeno y se lo entrega al carbono. Parte de este último se disuelve en el hierro y le transmite movilidad y facilidad de fusión.



*Figura 3.2 Fábrica metalúrgica*

En este momento intervienen los elementos de la naturaleza: el fuego incrementó la movilidad de la masa fundida; todas las sustancias ligeras, junto con los gases, suben a la superficie; las pesadas descienden y... se verifica el milagro. Los átomos se han separado, el hierro, con cierta cantidad de carbono disuelto, se acumula en la parte baja del horno, las escorias, livianas, que se han llevado todo el oxígeno contenido en el mineral, nadan en la superficie del metal fundido y pueden ser extraídas y vertidas allí donde indique la mano del maestro- operador...



*Figura 3.3 En el taller de montaje de la fábrica de automóviles de Gorki*

¡Cuántos conocimientos es necesario acumular!; qué sutilmente es preciso comprender el carácter y los caprichos de cada átomo, para poder, en escalas colosales, seleccionarlos correctamente, de acuerdo con nuestros deseos.

\* \* \* \*

Examinemos ahora la tercera fotografía, un automóvil moderno. Constituye también una combinación de átomos, elegidos convenientemente para un fin único: obtener un coche incansable, potente, silencioso y rápido.

¡Miles de piezas, de 65 tipos diferentes de átomos, y no menos de 100 clases de metal: he aquí, lo que es el automóvil moderno! En él hay mucho hierro, pero hierro, cuyas propiedades han sido modificadas de numerosos modos distintos: aleación de hierro con 4% de carbono, fundición de hierro, de la cual está hecho el bloque del motor. Si se reduce el contenido de carbono obtenemos acero duro y elástico.

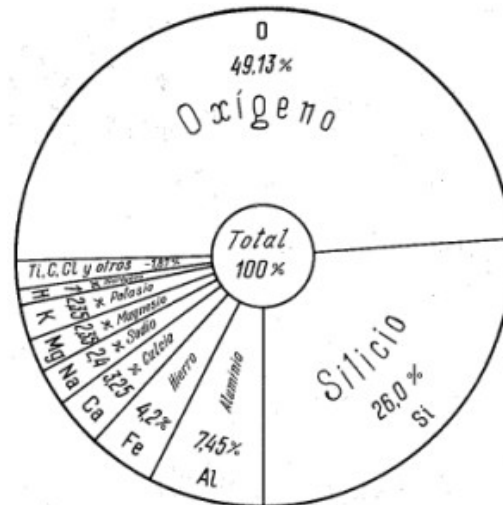


Figura 3.4 Porcentaje, en peso, de los elementos constituyentes de la corteza terrestre (hasta 16 kilómetros de profundidad)

Si se adicionan otros átomos, parecidos a los de hierro, por ejemplo, manganeso, níquel, cobalto, molibdeno, el acero adquiere mayor elasticidad, resistencia al desgaste, tenacidad. Si añadimos vanadio, el acero se hace flexible como una vara y se emplea para fabricar los dispositivos de suspensión.

El segundo lugar en el coche lo ocupa, no el cobre como antes, sino el aluminio. De este elemento se construyen los émbolos y manivelas, distintas piezas con formas decorativas, revestimientos diversos, pletinas de perfil vario, etc. Lo que puede hacerse ligero, todo es de aluminio o de sus aleaciones con cobre, silicio, zinc, magnesio...

Porcelana de alta calidad para las bujías, barnices que no temen las lluvias y el frío, tejido y cobre para los cables, plomo y azufre en los acumuladores... Y basta, pues si no, no quedará un solo elemento que no vaya en el coche... Estos elementos, combinándose entre sí, forman unas 250 sustancias y materiales distintos, que, de forma directa o indirecta, se utilizan en la industria del automóvil.

Hay que remarcar, que aquí el hombre actúa en contra de los procesos naturales, los deshace, los subordina a su voluntad. ¿Es que el aluminio se halla en la naturaleza en estado libre? Esto no ocurre y no ocurriría jamás, aunque la Tierra existiese todavía miles de millones de años.

El hombre, al conocer y comprender las propiedades de los elementos, utilizó estos conocimientos para desplazar los elementos según su conveniencia. Se hallan muy difundidos en la tierra, en primer lugar, los elementos ligeros: cinco de ellos, oxígeno, silicio, aluminio, hierro y calcio, constituyen el 90,03% de la corteza terrestre. Si agregamos siete más, sodio, potasio, magnesio, hidrógeno, titanio, carbono y cloro, estos 12 elementos forman el 99,29%. A todos los demás elementos les corresponde apenas el 0,7% en peso<sup>1</sup>. Pero al hombre no le conviene tal distribución y busca tenazmente los elementos poco difundidos, extrayéndolos de la tierra, a veces con dificultades increíbles, estudia sus propiedades por todos los medios posibles y los emplea allí donde su aplicación es más necesaria y racional. ¡He aquí por qué en la construcción del automóvil se utiliza el níquel, del cual hay en la naturaleza 0,02%; cobalto, 0,001%; molibdeno, menos de una milésima por ciento e, incluso, platino, doce milmillonésimas por ciento!

¡Los átomos se hallan en todas partes y su dueño es el hombre! El los toma con mano imperiosa, los mezcla, los que no le interesan, los desecha, los que le sirven, los combina, aunque se trate de



elementos que jamás se encuentran juntos en la naturaleza. Si el lago de las montañas de Tadjikistán es la glorificación de las grandes fuerzas, capaces de elevar las rocas y de originar profundas depresiones del terreno, en cambio, la fábrica y el automóvil, son la sinfonía industrial acerca del poderío del genio humano, acerca de sus trabajos y conocimiento.

---

<sup>1</sup> Durante los últimos años, gracias al empleo de métodos de investigación más modernos, estas cifras han sufrido cierta variación, aunque insignificante. (*Red.*)

**Capítulo IV****NACIMIENTO Y COMPORTAMIENTO DEL ÁTOMO EN EL UNIVERSO**

Me acude a la memoria una tarde serena, admirable de Crimea. Parece como si toda la naturaleza se hubiera dormido y nada turbase la superficie del mar en calma. Incluso las estrellas no parpadeaban en el negro cielo meridional y brillaban con rayos resplandecientes. Se apagó la vida a nuestro alrededor y semejaba que el mundo hubiese cesado en su movimiento y se encerrase en el eterno silencio de las noches del sur.

¡Pero cuán lejos está todo esto de la realidad y qué engañosos son el silencio y la quietud de la naturaleza que nos circunda!

Basta con aproximarse al radioreceptor y comenzar a girar lentamente la manecilla para ver que todo el mundo está penetrado de miríadas de ondas electromagnéticas portadoras de sonidos. Mensurables bien en algunos metros, bien en miles de kilómetros, las ondas impetuosas del mundo etéreo se alzan hasta la altura de las capas ozónicas y se precipitan nuevamente hacia la tierra. Superponiéndose unas a otras, estas ondas llenan el mundo entero con vibraciones imperceptibles par nuestro oído.

Y las estrellas, que parecen tan inmutables en la bóveda celeste se mueven en el espacio sideral con velocidades vertiginosas de ciento y miles de kilómetros por segundo. Una estrella-sol se precipita a un lado de la galaxia, arrastrando consigo torrentes enteros de cuerpo que no alcanza nuestra vista; otras dan vueltas a un ritmo todavía más rápido, originando enormes nebulosas; otras se alejan a las zonas desconocidas del Universo.

A velocidades de miles de kilómetros por segundo se mueven los vapores de sustancias incandescentes en la atmósfera de las estrellas y en unos cuantos minutos crecen inmensas columnas de gases de miles de kilómetros de altura, formando en el disco solar fúlgidas protuberancias.

Hierve la sustancia fundida en las desmesuradas profundidades de las estrellas lejanas. La temperatura alcanza en ellas decenas de millones de grados; partículas sueltas se desprenden unas de otras, se fisionan los núcleos atómicos, torbellinos de electrones se precipitan hacia las capas superiores de las atmósferas estelares y potentes tempestades electromagnéticas,

atravesando millares y miles de millones de kilómetros, llegan hasta la Tierra, turbando la tranquilidad de la atmósfera. Todo el Cosmos está saturado de vibraciones. Este concepto lo expuso de manera admirable un gran sabio de su tiempo Lucrecio Caro cerca de cien años antes de nuestra era:

Lucrecio



*A los cuerpos primarios, desde luego,  
Ninguna quietud se otorga en el vacío inabarcable.  
Por el contrario: atosigados por movimientos sin descanso  
En parte saltan a lo lejos, chocando unos con otros,  
En parte se dispersan sólo a pequeña distancia.*

La Tierra vive también su vida. Su superficie tranquila, silenciosa al parecer, está en realidad llena de actividad. Millones de diminutas bacterias pueblan cada centímetro cúbico de terreno. El microscopio, ampliando los límites de la investigación, descubre nuevos mundos con más diminutos seres vivos, los virus en movimiento constante, y se discute si considerarlos como seres vivos o como moléculas raras de la naturaleza muerta.

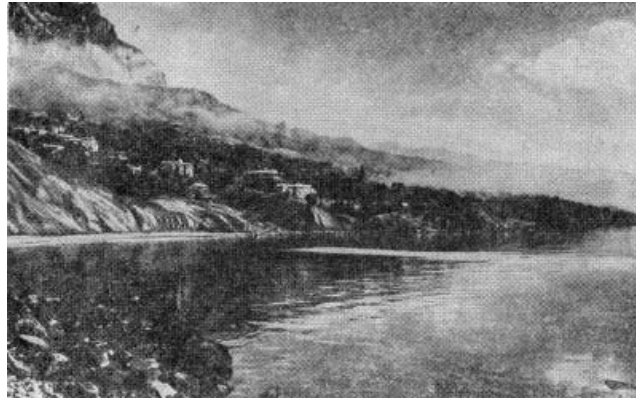


Figura 4.1 Una tarde en Crimea. La costa de Alupka

Eternamente se desplazan las moléculas en los movimientos térmicos del mar, y el análisis científico demuestra que en el agua del mar cada oscilación efectúa largos y complejos recorridos a velocidades que se miden en kilómetros por minuto.

Eternamente se verifica el intercambio de átomos entre el aire y la tierra. Desde lo profundo de la Tierra se evaporan al aire los átomos de helio, la velocidad de su movimiento es tan grande que contrarrestan la fuerza de la gravedad y marchan al espacio interplanetario.

Los átomos activos del oxígeno del aire penetran en el organismo. Las moléculas de anhídrido carbónico son captadas por las plantas, creando el cielo permanente del carbono, y en las entrañas de la Tierra, tratando de escapar a la superficie, hierven aún masas fundidas en ignición de rocas pesadas.

Ante nosotros tenemos un cristal duro, tranquilo, transparente y puro. Podría pensarse que los átomos sueltos de la sustancia se distribuyen en los nudos de una retícula estable de forma invariable. Pero esto sólo parece: en realidad los átomos se hallan en constante movimiento, girando alrededor de sus puntos de equilibrio, intercambiando constantemente sus electrones, bien los libres, como en los átomos de metal, bien los que están unidos, y se mueven repetidamente por órbitas de configuración compleja.

Todo vive alrededor de nosotros. El cuadro de la tarde serena de Crimea es falso. Cuanto más la ciencia va dominando la naturaleza, tanto más amplio se 'descubre ante ella el panorama real de todos los movimientos de la sustancia del mundo que nos rodea. Y cuando a la ciencia le fue posible medir los movimientos en millonésimas de segundo, cuando con sus "manos" roentgenológicas ella mide millonésimas de centímetro con tal precisión como no puede medir nuestra vista, cuando aprendió a ampliar las imágenes de la naturaleza en 200 y 300 mil veces e hizo asequibles al ojo humano, no sólo los virus microscópicos, sino también las moléculas aisladas de sustancia, se comprendió que en el mundo no hay nada en reposo, hay solamente un caos de movimientos constantes que buscan su equilibrio temporal.

En tiempos remotos, antes del florecimiento de la antigua Grecia, en las islas del Asia Menor vivió el admirable filósofo Heráclito. Él supo penetrar en las profundidades del Universo con su inteligencia perspicaz y fueron dichas por él unas palabras que Herzen calificó como las palabras más geniales en la historia de la humanidad.

Heráclito dijo: "Panta rey", "Todo fluye", y colocó en la base de su sistema universal la idea del movimiento perpetuo. Con esta idea pasó el hombre todas las épocas de su historia. Basándose en ella, Lucrecio Caro creó su filosofía en el famoso poema sobre la naturaleza de las cosas y la historia del mundo. Basándose en ella, con extraordinaria clarividencia edificó su física el genial sabio ruso M. Lomonósov, diciendo que cada punto en la naturaleza tiene tres movimientos: de

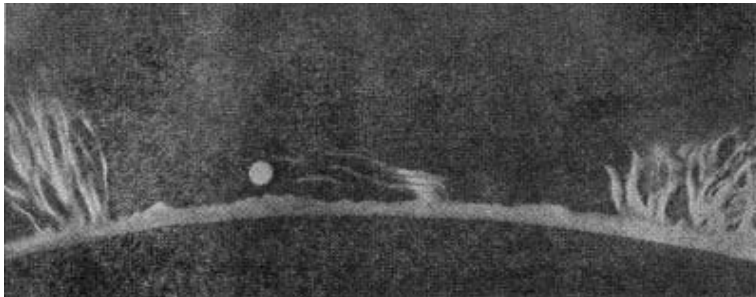


Heráclito

avance, de rotación y de oscilación. Y en la actualidad, cuando los nuevos éxitos de la ciencia corroboran esta vieja concepción filosófica, debemos mirar con nuevos ojos al mundo que nos circunda y a las leyes de la substancia.

Las leyes de la distribución de los átomos son para nosotros leyes sobre los movimientos infinitamente complejos a diferentes velocidades, en distintas direcciones y escalas diversas, que determinan la variedad del mundo que nos rodea, toda la diversidad de átomos sueltos que se agitan en él. Comenzamos ahora a comprender de una manera nueva el espacio universal que nos circunda.

Las dimensiones del Universo estelar, accesibles para nuestra observación, son colosales. No se pueden medir en kilómetros, ésta es una unidad excesivamente pequeña. Incluso la distancia entre el Sol y la Tierra, que es de 150 millones de kilómetros y la recorre la luz en ocho minutos y un tercio, a pesar de que cada segundo puede dar la vuelta alrededor de nuestro globo siete veces y media, resulta también una unidad pequeña. Los hombres de ciencia han inventado una unidad especial, el "año de luz", o sea, la distancia que recorre la luz en un año. Los mejores telescopios pueden distinguir estrellas cuya luz llega hasta nosotros al cabo de millones de años...

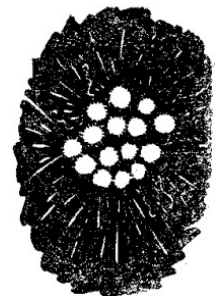


*Figura 4.2 Protuberancias en el Sol durante el eclipse del 28 de mayo de 1900. El círculo blanco muestra las dimensiones de la Tierra en la misma escala. Su diámetro es de 12.750 kilómetros.*

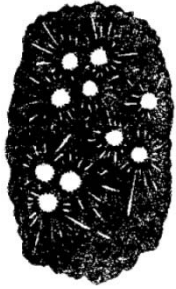
¡Verdaderamente el Cosmos no tiene límites! Para nosotros sus límites se determinan sólo por el grado de perfección de nuestros telescopios...

El cúmulo de materia estelar en el espacio universal forma en algunos lugares condensaciones, se origina lo que denominamos mundo visible. Mundos semejantes hay aproximadamente cien mil millones. En cada uno de ellos hay cerca de cien mil millones de estrellas y en cada estrella un uno seguido de 57 ceros de protones y neutrones (del orden de  $10^{56}$ ), es decir, de las partículas pequeñísimas que constituyen todo el mundo, sin contar las partículas menores aún de electricidad, los electrones cargados negativamente.

En el espacio universal el elemento más abundante es el hidrógeno. Conocemos un gran número de nebulosas cósmicas en cuya composición entra casi exclusivamente el hidrógeno. Los átomos de hidrógeno se reúnen influidos por la gravitación universal, empujados por fuerzas especiales interatómicas, cuyo estudio sólo se inicia aún. Se originan enormes ovillos, en los que la cantidad de átomos integrantes constituye un número del orden de 56 cifras: aparece la estrella. Pero las dimensiones del universo son infinitamente grandes comparadas con el volumen de los átomos formados. Sabemos que en mayor parte del espacio universal se encuentra realmente vacío, correspondiendo a cada metro cúbico sólo de 10 a 100 partículas, átomos de substancia, lo que supone un enrarecimiento que es 10" veces menor que la presión normal de la atmósfera sobre la tierra. De estos espacios enrarecidos del universo podemos llegar hasta condensaciones nunca vistas, provocadas por las presiones



existentes en las profundidades de las estrellas, donde miles de millones de atmósferas se conjugan con temperaturas de decenas o cientos de millones de grados.

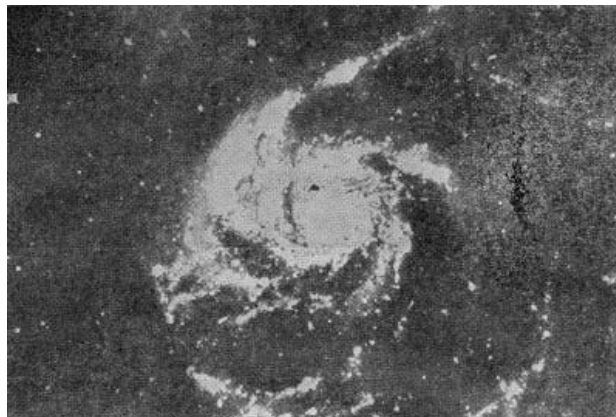


Precisamente allí se encuentra el laboratorio natural, donde surgen a partir del hidrógeno átomos nuevos, más pesados, y en primer lugar de helio.

En las estrellas que iluminan con deslumbradora luz blanca como, por ejemplo, el célebre satélite de Sirius, la substancia es tan compacta que su peso es mil veces mayor que el del oro y platino. Para nosotros es difícil hasta imaginar qué clase de sustancia es ésta y cuáles son sus propiedades.

Por una parte, tenemos espacios interplanetarios infinitos surcados por átomos aislados que se desplazan libremente. Aquí, dialécticamente se conjuga el reposo universal con el movimiento impetuoso, aquí reinan temperaturas próximas al cero absoluto.

Por otra parte, tenemos las zonas nucleares de las estrellas en las que millones de grados se acompañan por presiones de miles de millones de atmósferas, donde los átomos, venciendo la repulsión de los electrones, se congregan en una masa compacta de substancias nunca vistas en la Tierra. En estas condiciones se verifica la evolución de los elementos químicos, tanto más pesados y compactos, cuanto mayor sea la masa de la estrella y más elevadas la presión y temperatura de sus regiones internas.



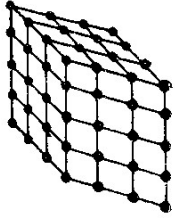
*Figura 4.3 Nebulosa M-101 en la constelación de la Osa Mayor*

El elemento químico originado, es el primer eslabón de la lucha contra el caos. A partir de protones y electrones libres, sometidos a presiones y temperaturas fantásticas, pueden formarse núcleos más pesados.

De esta forma van apareciendo por distintos lugares edificios diversos, a los que llamamos elementos químicos. Unos de ellos más pesados, más saturados de energía, otros ligeros, que constan sólo de varios protones y neutrones. Estos elementos más ligeros son arrastrados en corrientes a la periferia de las estrellas, a su atmósfera, o se unen formando enormes nebulosas. Otros, dotados de menor movilidad, quedan en la superficie de los cuerpos incandescentes o fundidos.

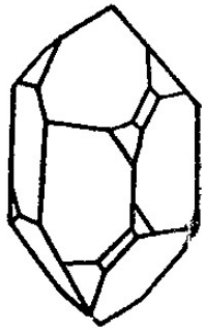
Radiaciones intensísimas destruyen ciertos edificios y erigen otros. Unos elementos se desintegran, otros se crean de nuevo hasta que los átomos ya formados caigan allí, donde no existan fuerzas potentes, capaces de destruir sus átomos estables. Y entonces comienza la historia de la "peregrinación" de átomos aislados en el universo. Unos llenan los espacios interplanetarios, como, por ejemplo, los átomos de calcio y de sodio, que volando libremente surcan todo el espacio universal. Otros, más pesados, más estables, se acumulan en ciertas partes

de las nebulosas. Las temperaturas descienden, los campos eléctricos de los átomos se conjugan unos con otros, se forman moléculas de combinaciones químicas simples: carburos, hidrocarburos, partículas de acetileno, ciertas formas de cuerpos desconocidos en la Tierra que descubren los astrofísicos durante sus observaciones de las superficies incandescentes de las



estrellas lejanas como producto primario de las combinaciones de átomos. De ellas, de estas moléculas simples libres, se van originando paulatinamente sistemas más y más complicados. En condiciones de bajas temperaturas, fuera de los campos de destrucción y las profundidades cósmicas, se origina el segundo eslabón de la estructuración mundial, el cristal. El cristal es un edificio admirable, donde los átomos se distribuyen en un orden determinado como los cubitos en una caja. El nacimiento del cristal es la etapa siguiente en la salida de

la materia del caos. Para la formación de un centímetro cúbico de sustancia cristalina se unen entre sí un número de átomos expresado por la unidad seguida de 22 ceros. Aparecen nuevas propiedades, las propiedades del cristal. Reinan ya no las leyes que seguían aquellos ovillos electromagnéticos de los cuales se formaron, no las leyes enigmáticas aún de la energía de los núcleos, sino las nuevas leyes de la sustancia, las leyes químicas.



No llevaré más adelante la descripción de este cuadro. He querido únicamente mostrar que conocemos poco el mundo que nos rodea y que éste es extraordinariamente complejo, que su quietud es sólo aparente, que todo él se encuentra lleno de movimiento; en el torbellino de los movimientos nace en el mundo la sustancia, tal como nosotros la conocemos aquí, en la tierra, tal como la vemos en las rocas duras de la naturaleza que nos circunda. Mucho de lo que he relatado ha sido ya demostrado por la ciencia actual, pero todavía queda mucho enigmático en nuestra figuración de cómo nacen del caos universal, primero el átomo y después el cristal.

¡De qué manera admirable fue descrito este panorama por Lucrecio Caro, hace dos mil años! Recordemos algunas líneas de su poema:

Fue sólo el caos y una tempestad furiosa,  
 El comienzo de todo, de cuyo desorden deslavazado  
 Todos los intervalos, caminos, conjunciones, peso, golpes,  
 Choques y movimientos enervaron, provocando una batalla,  
 Ya que por fuerza de la diversidad en sus formas y figuras...  
 No todos pudieron coexistir tranquilos  
 Ni construir un movimiento armonizado,  
 Por lo que diversas partes se pusieron en diversión,  
 Los semejantes se unieron a sus semejantes determinando el mundo,  
 Cuyos miembros se separaron y dividieron en grandes partes.

Por consiguiente, no hay reposo en la naturaleza: todo cambia, aunque con velocidad distinta. Cambia la piedra, símbolo de solidez, pues los átomos que la constituyen están en movimiento perpetuo. A nosotros nos parece estable e inmóvil solamente porque no percibimos este movimiento, cuyo resultado se hace sensible después de largo tiempo en tanto que nosotros mismos cambiamos incomparablemente más rápido.

Durante mucho tiempo se consideró que sólo el átomo es inalterable, indivisible e indiferente a los cambios constantes de la naturaleza. Pero no, los átomos también obedecen al tiempo. Parte de ellos, que llamamos radiactivos, se transforman rápidamente; otros lo hacen con más lentitud... Además, sabemos ahora que los átomos también evolucionan, se crean en el tórrido calor de las estrellas, se desarrollan, mueren...

Y en la imaginación humana tenemos el reflejo de ese mismo eterno movimiento y desarrollo: al principio incomprensión, caos, desorden.

Empero comienzan a aclararse los tipos de enlace de todas las partes del mundo, los movimientos resultan verificarse de acuerdo a leyes definidas; aparece el cuadro constructivo del universo único... Así es el mundo, así nos lo descubre la ciencia actual.



## Capítulo V COMO MENDELEEV DESCUBRIO SU LEY

En el antiguo edificio del laboratorio químico de la Universidad de Petersburgo, sentado a su mesa de trabajo, se encontraba el joven, pero ya renombrado profesor Dmitri Ivánovich Mendeléev. Acababa de obtener la cátedra de Química general de la Universidad y preparaba las conferencias para los alumnos. El objetivo que perseguía era hallar la forma más cómoda y clara para explicar las leyes químicas, para describir la historia de los elementos y meditaba con obstinación sobre el modo de desarrollar mejor su exposición. ¿Cómo relacionar entre sí las narraciones sobre el potasio, sodio y litio, sobre el hierro, manganeso y níquel? Mendeléev ya presentía la existencia de ciertos, pero todavía no claros, enlaces entre los diferentes elementos químicos.

Con objeto de hallar el orden más adecuado, tomó varias tarjetas y escribió en ellas con caracteres grandes la denominación de los elementos, su peso atómico y algunas de sus propiedades más importantes. Seguidamente, las fue colocando sobre la mesa, agrupando los elementos según sus propiedades, de la misma forma que nuestras abuelas distribuían las cartas de la baraja cuando hacían solitarios por las noches.

Y hete aquí, que el profesor observó una regularidad interesantísima. Al colocar todos los elementos, ordenándolos según su peso atómico creciente, resultó que, a excepción de poquísimos casos, las propiedades semejantes de los elementos se repetían después de períodos determinados. Entonces dispuso las tarjetas siguientes debajo de la primera fila, fue formando una segunda línea y, después de colocar siete elementos más, comenzó con la tercera fila.

En esta fila tuvo que incluir diecisiete elementos, para conseguir que los átomos de propiedades análogas quedaran unos debajo de otros. Pero no todos coincidían bien. Hubo necesidad de dejar vacíos algunos lugares. Después, colocó nuevamente diecisiete tarjetas y obtuvo la fila siguiente. Luego la tarea se complicó, pues varios átomos "no estaban conformes" en ningún sitio; sin embargo, la repetición periódica de las propiedades se marcaba claramente.

De este modo, todos los elementos conocidos por Mendeléev quedaron distribuidos en forma de tabla especial. Todos ellos, con raras excepciones, se sucedían uno al otro en líneas horizontales, siguiendo el orden creciente de sus pesos atómicos. Los elementos semejantes quedaban encuadrados en varias columnas verticales.

En marzo de 1869, Mendeléev envió a la Sociedad Físicoquímica de San Petersburgo el primer informe sobre su ley. Después, previendo la importancia trascendental de su descubrimiento, comenzó a trabajar tenazmente sobre este problema, precisando y corrigiendo su tabla. Rápidamente se convenció de que en la tabla existían lugares vacíos.



"Para estos lugares vacíos, situados a continuación del silicio, boro y aluminio, serán descubiertas nuevas sustancias", dijo. Esta predicción enseguida se confirmó y las casillas vacías de la tabla fueron ocupadas por elementos recién descubiertos, que recibieron las denominaciones de galio, germanio y escandio.

De esta forma, el químico ruso D. Mendeléev realizó uno de los más importantes descubrimientos en la historia de la Química. En aquel tiempo se conocían nada más que 62 elementos. Los pesos atómicos eran determinados sin gran precisión, algunas veces con bastante inexactitud. Sus propiedades estaban insuficientemente estudiadas. Fue necesario saber compenetrarse con la naturaleza de cada elemento, profundizar en su estudio, comprender las



analogías existentes entre unos y otros elementos, adivinar la ruta de sus "peregrinaciones", su "amistad" o "enemistad" en la propia tierra.

Mendeléev consiguió recopilar todos los materiales existentes hasta él sobre la Química de la Tierra y los estudió conjuntamente.

El enlace entre los elementos, aunque en forma todavía algo oscura e incompleta, fue señalado antes de él por otros sabios.

Pero la mayoría de los sabios de aquel tiempo consideraba absurda la hipótesis sobre la afinidad o parentesco entre los elementos. Así, por ejemplo, cuando el químico inglés J. A. Newlands, uno de los combatientes por la libertad de Italia en las tropas de Garibaldi, presentó para su publicación un trabajo relativo a la repetición de las propiedades de algunos elementos al crecer

13 Al 26,97	14 Si 28,06
12 ? ?	22 Ti 47,90
39 Y	40 Zr

el peso atómico, dicho trabajo fue rechazado por la Sociedad Química y uno de sus miembros dijo en tono de burla que Newlands podría haber hecho una conclusión, todavía más interesante, si hubiera distribuido todos los elementos en orden alfabético de sus denominaciones.

Pero todo esto eran simples detalles. Hacía falta trabajar todavía mucho. Se requería trazar un plan único, establecer una ley fundamental de carácter universal y demostrar con hechos que dicha ley actúa en todos los casos, que

las propiedades de cada elemento dependen de esta ley, se subordinan a ella, se deducen de ella.

Para ello era necesario poseer una intuición genial y habilidad para poner de relieve lo común en las contradicciones, dedicarse con perseverancia a la investigación de hechos concretos. Esta enorme tarea la realizó D. Mendeléev.

Mendeléev presentó de forma tan evidente, precisa y sencilla el enlace mutuo existente entre todos los átomos de la naturaleza, que nadie fue capaz de rebatir su sistema. Se halló la ordenación debida. Verdad es que todavía seguían siendo enigmáticos los enlaces que ligaban los elementos entre sí, pero su ordenación era tan evidente, que permitió a Mendeléev anunciar una nueva ley de la naturaleza, la ley periódica de los elementos químicos.

Han transcurrido más de cien años. Mendeléev dedicó casi cuarenta años al estudio de esta ley, indagando en su laboratorio los misterios más profundos de la Química.



*D. I. Mendeléev en el año 1869*

En la Cámara de Pesas y Medidas, que él dirigía, investigó y comprobó, utilizando los métodos más precisos, las diferentes propiedades de los metales, encontrando cada vez más y más confirmaciones de su descubrimiento.

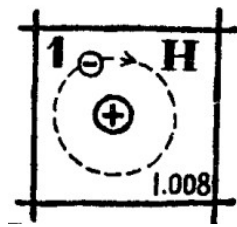
Viajó por los Urales, estudiando sus riquezas; consagró muchos años a las cuestiones referentes al petróleo y su origen. En todas partes, en el laboratorio y en la naturaleza, vio a cada paso la confirmación de su ley periódica. Tanto en los estudios teóricos e investigaciones, como en la industria, dicha ley se convirtió en 'la brújula dirigente que, lo mismo que guía a los navegantes en el mar, orientaba a los sabios y a los investigadores prácticos en sus búsquedas.

Hasta la misma muerte, Mendeléev, sin cesar, perfeccionó, corrigió y profundizó su pequeña tabla del año 1869. Centenares de químicos, siguiendo su ruta genial, descubrieron nuevos elementos, nuevas combinaciones, descifrando paulatinamente el profundo sentido interno de la Tabla de Mendeléev.

En la actualidad esta Tabla tiene un aspecto completamente distinto.

Resulta que la Tabla de Mendeléev constituye un manual excelente para el estudio de las leyes que rigen la estructura de los espectros atómicos. Al estudiar los espectros de los elementos y distribuirlos en el orden de la Tabla de Mendeléev, el joven físico inglés Enrique Moseley descubrió inesperadamente, en 1913, una nueva ley y estableció la importancia que tiene el número de orden en la Tabla.

Demostró que lo más importante en el elemento es la carga del núcleo central, que coincide exactamente con el número de orden del elemento. En el hidrógeno es igual a la unidad, en el helio, dos, y, por ejemplo, en el zinc es igual a 30, en el uranio, a 92. Además, este número expresa la cantidad de electrones ligados al núcleo por la influencia de estas cargas y que giran a su alrededor por distintas órbitas,



En todos los átomos, el número de electrones que rodean al núcleo es igual al número de orden del elemento en cuestión. Los electrones están dispuestos de forma determinada alrededor del núcleo, formando capas aisladas. La primera, la más próxima al núcleo, llamada capa K, tiene 1 electrón en el hidrógeno y 2 electrones en los demás elementos. La segunda, denominada capa L, tiene en la mayoría de los átomos 8 electrones. La capa M puede contener hasta 18 electrones, la capa N, hasta 32.

Las propiedades químicas de los átomos, las define, principalmente, la constitución de la capa electrónica más externa o cortical. Esta capa adquiere gran estabilidad, cuando la cantidad de electrones que la integra es igual a 8. Los átomos que poseen en la capa cortical uno o dos electrones, pueden cederlos con facilidad, convirtiéndose en iones. Por ejemplo, el sodio, potasio, rubidio tienen en su capa externa un electrón. Estos átomos pueden ceder dicho electrón fácilmente y se transforman en iones monovalentes, cargados positivamente. En este caso, la capa electrónica siguiente se convierte en cortical. Ella contiene precisamente 8 electrones, lo que garantiza la estabilidad del átomo-ion formado.

Los átomos de calcio, bario y demás metales alcalino-térreos tienen dos electrones externos y cuando los pierden se convierten en iones bivalentes positivos estables. Los átomos de bromo, cloro y demás elementos halógenos tienen siete electrones en la capa cortical. Estos átomos, por el contrario, aceptan ávidamente los electrones de las capas corticales de otros átomos y al completar su capa externa hasta ocho electrones, se transforman en iones negativos estables. En los átomos que poseen en sus capas externas tres, cuatro y cinco electrones, la tendencia a formar iones, durante las reacciones químicas, se manifiesta con menor intensidad.

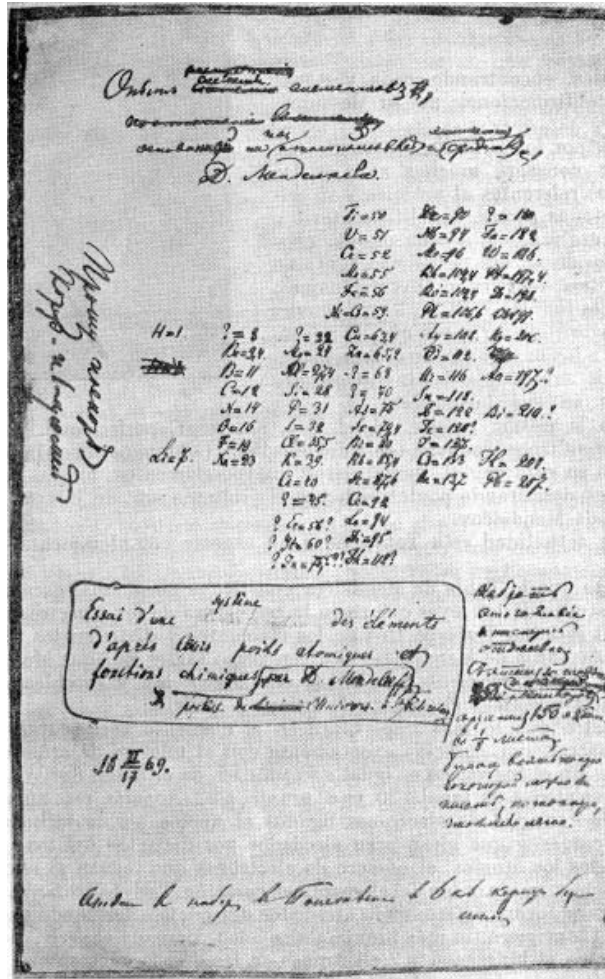


Figura 5.2 Sistema periódico de los elementos. Primera tabla, presentada por D. I. Mendeléev en 1869

El peso del átomo y su grado de dispersión en la naturaleza, dependen de la constitución del núcleo. Las propiedades químicas del elemento y su espectro dependen del número de electrones y son muy semejantes en aquellos átomos en los que la estructura de la capa electrónica cortical es análoga. Este es el secreto del átomo. Desde el momento en que fue descubierto, los químicos y físicos, los geoquímicos y astrónomos, personal técnico, todos comprendieron que la ley periódica de Mendeléev constituye una de las leyes más importantes de la naturaleza.

La ley periódica de los elementos químicos es una ley fundamental de la naturaleza

**Capítulo VI****EL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE MENDELÉEV EN NUESTROS DIAS**

Los investigadores propusieron muchos y diversos procedimientos para explicar con la mayor claridad y exactitud posibles los rasgos característicos de la Tabla de Mendeléev. Observe en los dibujos adjuntos, cómo fue representada esquemáticamente la gran ley de Mendeléev en distintos tiempos: bien en forma de filas y columnas, bien a modo de espiral enrollada en el plano, bien como un conjunto de arcos y líneas entrelazados.

Más adelante volveremos a ocuparnos de la tentativa de representar la Tabla en forma de espiral grandiosa, pero ahora vamos a examinarla tal como la presenta la ciencia actual.

Intentemos estudiar esta Tabla y tratemos de comprender su significado profundo.

Primeramente, observamos numerosas casillas, dispuestas en siete filas horizontales y divididas por líneas verticales, formando diez y ocho columnas o grupos, como les llaman los químicos.

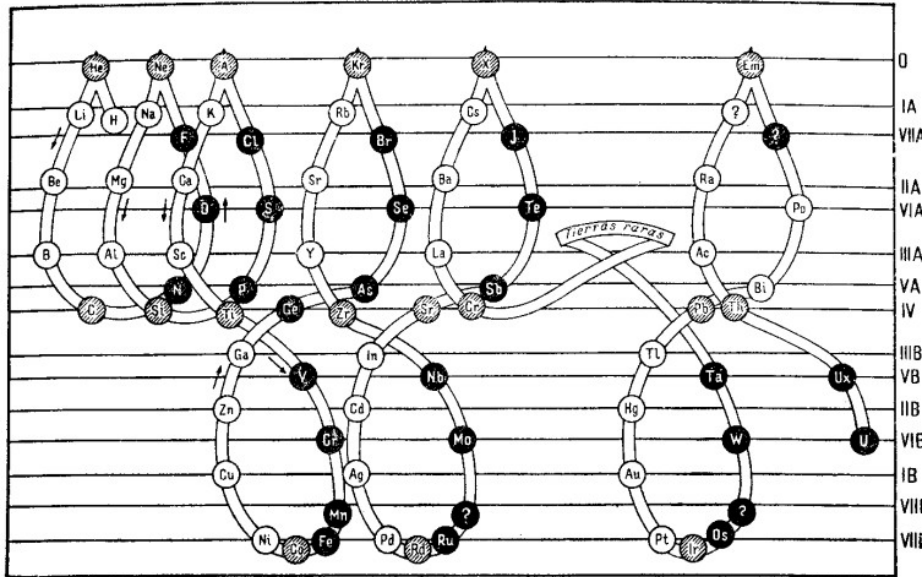
Hay que hacer notar, que en la mayoría de los libros de texto, la Tabla se representa en forma algo distinta (las filas como si fueran dobles), sin embargo, a nosotros nos es más cómodo examinarla como acabamos de decir.

En la primera fila hay sólo 2 elementos, hidrógeno (H) y helio (He); la segunda y tercera tienen 8 elementos cada una; la cuarta, quinta y sexta tienen 18 elementos cada una. Las casillas correspondientes a estas seis filas deberían estar ocupadas por 72 elementos, sin embargo, resulta que entre las casillas N°57 y N°72 están incluidos 14 elementos semejantes al lantano, denominados lantánidos. Finalmente, la última fila tiene, por lo visto, 32 casillas, como la anterior, pero están ocupadas sólo cierto número de ellas.



Es difícil imaginarse que pueda existir cualquier elemento, dispuesto delante de la primera casilla, ocupada por el hidrógeno, puesto que el núcleo de este elemento, protón y neutrón, son los ladrillitos fundamentales de que están constituidos los núcleos de todos los demás átomos. No hay duda de que el hidrógeno debe ocupar el primer puesto en la Tabla de Mendeléev. Mucho más complicada es esta cuestión a final de la tabla. El último puesto, lo ocupó, durante largo tiempo, el metal uranio.

Sin embargo, después de varios experimentos fueron obtenidos los elementos transuránicos. Por consiguiente, con el uranio no termina la Tabla de Mendeléev. Después de él, fueron ocupadas, por los nuevos elementos descubiertos, doce casillas más: neptunio (N°93), plutonio (N°94), americio (N°95), curio (N°96), berkelio (N°97), californio (N°98), einstenio (N°99), fermio (N°100) y mendelevio (N°101), nobelio (N°102), laurencio (N°103) y kurchatovio (N°104).

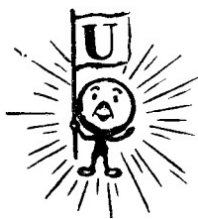


*Representación esquemática del sistema periódico de D. I. Mendeléev, propuesta por Soddy, en 1914. Las líneas horizontales constituyen las filas de elementos con propiedades químicas análogas. Los grandes períodos en forma de ochos. En los círculos blancos se hallan los metales, en los negros, los metaloides. Los círculos grises están ocupados por los elementos neutros (gases nobles y los elementos que forman óxidos anfóteros)*

Como vemos por las cifras colocadas en la parte superior de cada casilla, todas ellas están numeradas. Los números van en orden creciente desde el 1 hasta el 104. Estos números se llaman números de orden de los elementos químicos y están relacionados con la cantidad de partículas eléctricas, contenidas en los elementos. Por tanto, constituyen una propiedad primordial e imprescindible de cada casilla, de cada elemento.

Por ejemplo, el número 30 de la casilla ocupada por el metal zinc con peso atómico 65,38, significa, por una parte el número de orden de la casilla y, por otro lado, indica que el átomo de zinc está constituido por el núcleo y treinta partículas eléctricas, que giran a su alrededor, llamadas electrones.

En vano trataron los químicos de encontrar en la naturaleza los elementos N°43, N°61, N°85 y N°87, analizaron diversos minerales y sales, buscaron en el espectroscopio posibles nuevas líneas. Muchas veces se equivocaron, publicaron en revistas artículos sensacionales sobre el descubrimiento de elementos, pero, en realidad, estos cuatro elementos no fueron hallados ni en la Tierra, ni en los astros celestes. Actualmente, sin embargo, se ha conseguido su preparación por vía artificial.

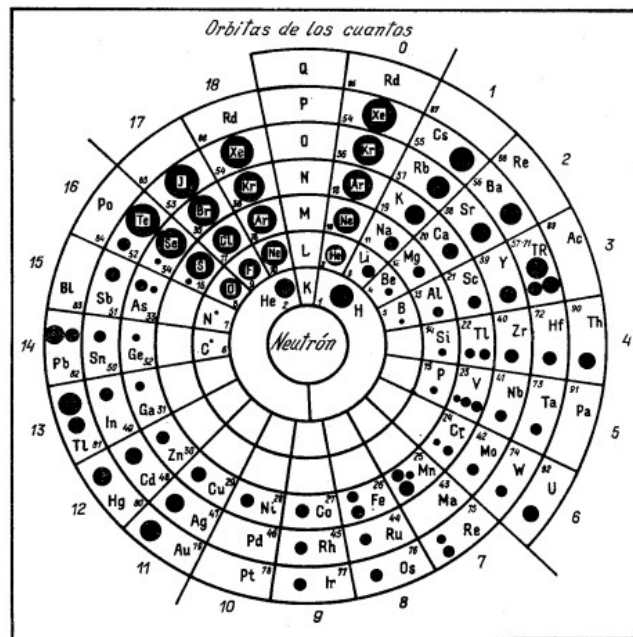


Uno de ellos, el No 43, por sus propiedades debía ser parecido al manganeso. Mendeléev lo llamó eka-manganeso.

En la actualidad este elemento ha sido sintetizado y se denomina tecnecio. El segundo, dispuesto debajo del yodo, se designa con el N°85. Debe tener propiedades fantásticas, debe ser todavía más volátil que el yodo. Mendeléev lo llamó eka-yodo. También ha sido sintetizado y se denomina astatino o astato.

El tercer elemento, largo tiempo enigmático, posee en la tabla el N°87. El propio Mendeléev predijo su existencia y lo llamó eka-cesio. Fue sintetizado y recibió el nombre de francio.

Finalmente, el cuarto elemento que no fue hallado ni en la Tierra ni en las estrellas, es el N°61. Es uno de los metales de las tierras raras. Ha sido sintetizado y se denomina prometio. Ahora, la Tabla de los elementos está mucho más completa que en los tiempos en que Mendeléev estudió el cuadro complejo de la naturaleza y escribió el primer proyecto de su Tabla. Como ya dijimos, cada casilla numerada la ocupa un elemento. No obstante, los físicos han demostrado que en realidad esta cuestión es más complicada de lo que parece. Por ejemplo, a la casilla N°17, de acuerdo con las propiedades químicas, le corresponde un solo átomo, el gas cloro, con un núcleo pequeño y diez y siete electrones que lo rodean por todos los lados. Sin embargo, los físicos opinan que hay dos cloros: uno más ligero, otro más pesado. Pero debido a que la proporción de ambos es siempre la misma, el peso medio es invariablemente igual a 35,46. He aquí otro ejemplo. Ya sabemos que la casilla N°30 está ocupada por el zinc. En ese caso, los físicos también demuestran que existen seis tipos diferentes de zinc, unos más pesados, otros más ligeros. De esta forma resulta, que a pesar de que cada casilla contiene un solo elemento químico con propiedades naturales definidas, existen varias clases de un mismo elemento o "isótopos". En ciertos casos uno solo, en otros incluso diez. Naturalmente, este fenómeno interesó de forma extraordinaria a los geoquímicos. ¿Por qué estos isótopos se hallan siempre en la naturaleza en cantidades perfectamente determinadas, por qué en unos casos no abunda más el isótopo pesado y en otros el más ligero? Los químicos se dedicaron con toda energía a la comprobación de este hecho. Tomaron para el análisis muestras de sales de procedencia diversa: sal común del mar, de lagos diferentes, sal gema, sal del Africa Central. Extrajeron de cada muestra el gas cloro e inesperadamente obtuvieron para el peso atómico resultados idénticos. Investigaron incluso el cloro contenido en las piedras que caen del cielo y en ellas la composición del gas cloro resultó ser completamente análoga. En todos los ensayos, lo que nosotros llamamos peso atómico no varió en ningún caso, cualquiera que fuera la procedencia del elemento dado.



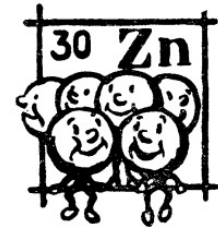
*Sistema periódico de los elementos de D. I. Mendeléev en forma de círculos-espaciales. El diámetro de los círculos representa las dimensiones de los átomos y los iones. (Propuesto por Y. Bilibin en el año 1945)*

Pero el triunfo de los químicos no duró mucho. Otros investigadores probaron en el laboratorio a separar estos isótopos pesados y ligeros. Después de someter al gas cloro a largas y complicadas destilaciones se llegó a obtener un gas compuesto de átomos de cloro más ligero y otro con los más pesados. Desde el punto de vista químico, ambos átomos de cloro son completamente iguales, pero sus pesos son distintos. Este descubrimiento de los isótopos complicó toda la Tabla de Mendeléev. Antes esto parecía sencillo: 92 casillas y en cada casilla un



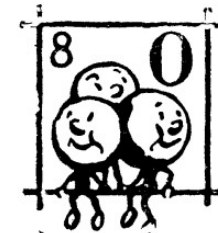
elemento químico. El número de la casilla indica el número de electrones que rodean al núcleo. ¡Todo tan simple, evidente, preciso! ¡Y de pronto resulta que todo no es así!

En lugar de un oxígeno, resultaron ser TRES y sus pesos 15, 16 y 18. Pero lo más maravilloso fue que de hidrógeno también existen TRES clases de átomos: uno con peso igual a 1, otro, 2, y el tercero, 3. El segundo recibió la denominación de deuterio. Químicamente, se comporta como el hidrógeno ordinario, pero ponderalmente es dos veces más pesado. En las grandes fábricas donde se descompone el agua por medio de la corriente eléctrica, se consiguió obtener deuterio puro y, a partir de él, un agua especial en la que el



hidrógeno ligero está reemplazado por el pesado. Resultó que el agua pesada poseía propiedades particulares: actúa intensamente sobre las células vivas, a menudo destruye la vida, seres vivos. En una palabra, "se comporta" de modo especial.

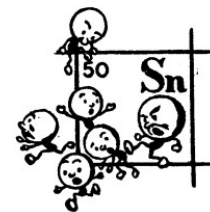
Después de tal éxito de los químicos, los geoquímicos se ocuparon de este problema, relacionándolo con los cuerpos naturales. Si se consiguió separar en las retortas las diferentes clases de átomos de hidrógeno, seguramente, que esto se realiza también en la naturaleza. Únicamente, en la naturaleza todos los procesos químicos se verifican con tanta agitación, con tanta frecuencia cambian las condiciones naturales de los magmas fundidos, en las profundidades y en la superficie de la Tierra, que es poco probable esperar acumulaciones de los isótopos puros obtenidos en las fábricas y laboratorios. Efectivamente, el agua de mar y de los océanos contiene un poco más de agua pesada que la de río o de lluvia. El contenido de agua pesada es todavía mayor en algunos minerales. Fue descubierto un nuevo mundo completo, inaccesible antes al mineralogista y al geoquímico.



En la naturaleza, la diferencia entre estas combinaciones es tan insignificante, que se requiere el empleo de métodos muy precisos de análisis químico y físico para poder descubrirla.

Cuando se estudian las piedras, el agua y la tierra en la naturaleza que nos rodea, las magnitudes del grado de millonésimas e, incluso, de milésimas de gramo y de centímetro pasan desapercibidas. para el mineralogista y el geoquímico. Inclusive, podemos olvidar que existen tres oxígenos, seis clases de zinc, que hay dos potasios; la diferencia entre ellos es tan insignificante y, digamos con sinceridad, son todavía tan groseros nuestros métodos de investigación.

Sólo los químicos y los físicos, debido a la precisión de sus investigaciones, consiguieron aislar los isótopos diferentes contenidos en un mismo elemento. No hay duda de que cuando se estudie



la naturaleza, aplicando métodos más precisos, serán descubiertas las leyes fundamentales de la Geoquímica, cuya existencia todavía no sospechamos.

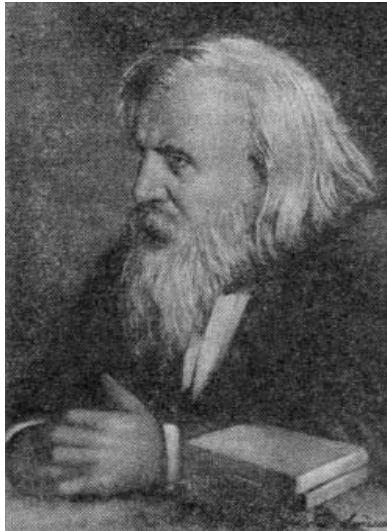
Podemos por ahora olvidarnos de los isótopos. Para nosotros cada casilla de la Tabla de Mendeléev está ocupada por un elemento químico determinado e invariable. En la casilla N°50, para nosotros, hay un solo metal, el estaño, siempre y en todas partes el mismo, de comportamiento químico idéntico en todas las reacciones; se encuentra en la naturaleza formando cristales iguales y, cualquiera que sea su procedencia, su peso atómico es siempre 118,7.

La Tabla de Mendeléev no sufrió perjuicio alguno con este grandioso descubrimiento de los isótopos, únicamente, se complicó en algunos pequeños detalles; pero a pesar de ello, siguió siendo el cuadro evidente, sencillo y preciso de la naturaleza, tal, como nos lo pintó el propio Mendeléev previendo genialmente su enorme importancia.

Penetremos más profundamente en esta tabla y veamos la gran importancia que tiene para los investigadores de la naturaleza, los mineralogistas y geoquímicos.

Primero examinaremos cada columna de arriba a abajo. He aquí la primera: litio, sodio, potasio, rubidio, cesio, francio. Son todos los metales que llamamos alcalinos. A excepción del francio, obtenido artificialmente, los demás se encuentran juntos en la naturaleza. Conocemos bien sus compuestos: de sodio, la sal común, que utilizamos constantemente; de potasio el salitre, con el que se preparan fuegos artificiales.

Después siguen los metales alcalinos poco abundantes, que actualmente se emplean en los aparatos eléctricos complicados. Pero a pesar de presentar ciertas diferencias, todos ellos, químicamente son muy parecidos.



*Figura 6.3 D. I. Mendeléev. Retrato pintado por su esposa A. I. Mendeléeva*

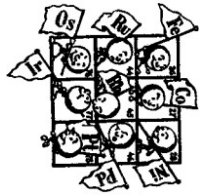
He aquí la segunda columna vertical, en ella están incluidos los metales alcalino-térreos, comenzando por el más ligero, el berilio, y terminando por el célebre radio. Ellos también se asemejan unos a otros y forman, como si dijéramos, una familia única.

Después, va la tercera columna: boro, aluminio, escandio, itrio, la casilla con los quince metales de las tierras raras y, finalmente, el actinio. De ellos, sólo conocemos bien los dos primeros, el boro y el aluminio, debido al gran papel que desempeñan ambos en la naturaleza. El primero entra en la composición del ácido bórico y del bórax, que se utiliza en la soldadura. El segundo se encuentra en la nefelina, feldespato, corindón, bauxita, de él se fabrican numerosos artículos



metálicos, cacerolas, cucharas, etc. Este grupo es bastante complejo. El aluminio puede considerarse como verdadero metal, sin embargo, el boro se parece más bien a un metaloide, pues forma sales con los metales típicos (por ejemplo, en el bórax).

Pasemos a la cuarta columna: carbono, silicio, titanio, circonio, hafnio y torio. Los dos primeros son elementos importantísimos de la naturaleza: el carbono forma toda la masa de la naturaleza



viva, interviene en la composición de las calizas. Sobre el silicio, usted leerá, más adelante, un capítulo especial dedicado a este elemento.

Después siguen la quinta, sexta y séptima columnas. Estos son todos metales especiales que se valoran altamente en la metalurgia del hierro y que se adicionan al acero para mejorar sus propiedades.

A continuación vemos la admirable parte central de la Tabla, las columnas octava, novena y décima. Su particularidad más curiosa consiste en que los metales vecinos son extraordinariamente parecidos. El hierro, cobalto y níquel se asemejan mucho uno al otro y en la naturaleza se encuentran siempre juntos. Es muy difícil separarlos, incluso, empleando procedimientos químicos de análisis. No menos parecidos entre sí son los metales platínicos ligeros, rutenio, radio, paladio y los metales platínicos pesados, osmio, iridio y platino.

A partir del centro siguen cuatro columnas verticales ocupadas por los metales pesados: cobre, zinc, estaño, plomo... Todos muy conocidos en nuestra vida.

Después, va la columna decimoquinta. Comienza por el gas nitrógeno, le sigue el fósforo volátil y el arsénico, el antimonio semimetálico y termina con el bismuto, metal bastante típico. Esta columna viene como a marcar el paso brusco a la parte siguiente de la Tabla de Mendeléev, puesto que en ella ya no vemos metales con su brillo característico y otras propiedades bien conocidas para nosotros. Aquí hallamos sustancias, que los químicos denominaron metaloides: gases, líquidos o, simplemente, no metales sólidos.



Es muy característica la columna decimosexta: oxígeno, azufre, selenio, telurio y el todavía enigmático polonio. Después la columna decimoséptima, las sustancias volátiles, primero gases: hidrógeno, flúor y cloro; después líquidos: bromo y, finalmente, sólidos, pero también volátiles, los cristales de yodo. A los elementos de este grupo (excepto al hidrógeno, los químicos les llamaron halógenos, pues forman sales con los álcalis. Esto es lo que significa su denominación en griego: "halógeno" quiere decir "engendrador de sales". Por fin, he aquí, la última columna, la decimoctava. Estos son los gases raros o nobles, que no se combinan con nada e impregnan toda la corteza terrestre, todos los minerales, todo lo que nos circunda en la naturaleza. Comienza por el gas del sol, el helio ligero, y termina con el notable gas radón, cuyos átomos viven sólo varios días.



**Capítulo VII****IMPORTANCIA DEL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE MENDELÉEV EN LA GEOQUÍMICA**

¿De qué forma se distribuyen los elementos químicos en la Tierra y en todo lo que nos rodea en la naturaleza? He aquí una cuestión importantísima para el hombre, desde los tiempos más remotos.

La cuestión surgía espontáneamente, a cada paso, debido a las exigencias cotidianas de la vida. El hombre primitivo necesitaba materiales para los instrumentos de labor y de caza, y comenzó a preparar utensilios rudimentarios de sílice dura o de nefrita (substancia de dureza semejante, pero más resistente).

Por tanto, se comprende que la búsqueda de minerales útiles se iniciara muchos milenios antes de nuestra era, en cuanto el hombre primitivo comenzó a interesarse por el brillo del oro en las arenas de los ríos, por la belleza o peso de diversas piedras y rocas que le llamaron la atención. De esa forma el hombre comenzó a conocer, y, más tarde, a extraer y preparar el cobre, estaño, oro y, finalmente, el hierro. Poco a poco, íbanse acumulando observaciones y experiencia. En el Egipto antiguo se conocían ya las regiones más adecuadas para buscar el cobre y los minerales de cobalto, utilizables en la obtención de colorantes azules; después se empleó el hierro para preparar el ocre pardo; la arcilla para las estatuas y la turquesa azul celeste para los escarabajos sagrados.

Paulatinamente, fueron aclarándose las simples leyes de la naturaleza. Resultó que ciertos metales se hallan, con frecuencia, juntos: por ejemplo, el estaño, cobre y zinc; en su tiempo esto indujo al hombre a descubrir su aleación: el bronce. En otros lugares se encontraban juntos el oro y las piedras preciosas; en otros, la arcilla y los feldespatos, a base de los cuales se obtiene porcelana y loza.

Así fueron descubriéndose, poco a poco, las leyes fundamentales de la Geoquímica. Los alquimistas de la edad media, en el silencio enigmático de sus laboratorios, intentaron obtener oro y la piedra filosofar, y realizaron una gran labor de recopilación de hechos naturales.

Los alquimistas sabían entonces perfectamente que ciertos metales "se quieren" unos a los otros y se hallan juntos en la naturaleza. Por ejemplo, los cristales brillantes de galena van asociados, en las vetas de la Tierra, a la blenda de zinc; la plata sigue al oro; el cobre se encuentra con frecuencia junto con el arsénico.

Cuando en Europa se desarrolló la ingeniería minera, las leyes que rigen los procesos geoquímicos adquirieron mayor evidencia y precisión.

Los principios fundamentales de la nueva ciencia, Geoquímica, nacieron en los profundos yacimientos de Sajonia, de Suecia y en los montes de los Cárpatos, poniéndose en claro qué clase de substancias se hallan juntas en la naturaleza, en qué condiciones y con arreglo a qué leyes se formaron las acumulaciones de unos u otros elementos en ciertos lugares, así como su dispersión en otros.



Estas eran las cuestiones que preocupaban más a la ingeniería minera. Era necesario saber descubrir lugares de la tierra donde existieron grandes concentraciones de metales de interés industrial, como hierro, oro, etc.

En la actualidad, están muy bien definidas las leyes que explican la presencia conjunta de elementos y su comportamiento y pueden ser aplicadas para el descubrimiento de yacimientos de minerales útiles.

Sabemos perfectamente, incluso en nuestra vida cotidiana que ciertos elementos naturales, como nitrógeno, oxígeno y los gases nobles, se encuentran con preferencia en la atmósfera. También

sabemos que en los lagos de agua salada y en las minas salinas, se hallan juntos las sales de cloro, bromo y yodo, combinadas con los metales potasio, sodio, magnesio y calcio.

En los granitos, esas rocas lustrosas cristalinas originadas por solidificación de los magmas fundidos, se encuentran elementos químicos determinados. Estos elementos entran en la composición de las piedras preciosas, constituidas por átomos de boro, berilio, litio y flúor. En dichas rocas existen también acumulaciones de metales raros e importantes: wolframio, niobio, tantalio.

### TABLA DEL SISTEMA PERIODICO DE LOS ELEMENTOS DE D. I. MENDELEEV

con indicaciones del papel geoquímico de éstos

*El punto de arriba a la izq:  
elementos de granito*

*El punto de abajo a la izq:  
elementos pesados, ricos en hierro y magnesio de rocas*

*El punto de arriba a la derecha:  
elementos de la superficie de la tierra, del aire y del agua*

*El punto de abajo a la derecha:  
elementos de filones*

3	4	5	6													1	2		
Li	Be	B	C													H	He		
11	12	13	14													7	8	9	10
Na	Mg	Al	Si													N	O	F	Ne
																15	16	17	18
																P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86		
Cs	Ba	TR	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
87	88	89	90	91	92														
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U														

ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu

ELEMENTOS TRANS-URANIOS	83	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw	Ku

En contraposición a los granitos, en las rocas basálticas pesadas, surgidas de las entrañas de la tierra, se hallan juntos minerales de cromo, níquel, cobre, hierro y platino. En los complejos y ramificados sistemas de vetas minerales, que divergen elevándose hacia la superficie terrestre, procedentes de potentes focos de magma fundido, el explorador minero encuentra zinc y plomo, oro y plata, arsénico y mercurio.

Cuanto mayor es el desarrollo de la ciencia, tanto más se precisan y definen las leyes, cuyo significado fue difícil comprender durante largo tiempo.

A propósito, examinaremos nuevamente la Tabla de Mendeléev. ¿Acaso no podemos emplearla nosotros, buscadores de metales y piedras, como brújula orientadora, de la misma forma que lo hacen los químicos en sus investigaciones?

La parte central de la Tabla de Mendeléev está ocupada por nueve metales: hierro, cobalto, níquel y los seis metales del grupo del platino. Sabemos que sus yacimientos se encuentran en las

profundidades lejanas de las entrañas de la Tierra. La erosión pone al desnudo estas rocas verdes profundas, portadoras de hierro y platino, cuando las altas cordilleras montañosas han sido socavadas por las aguas paulatinamente, en el transcurso de millones de años, hasta convertirse casi en llanuras, como ocurrió en los Urales.

Como pueden ustedes observar, estos elementos no son sólo la base de nuestras cordilleras, sino que ocupan también el lugar central en la Tabla de Mendeléev.

Prestemos atención a los metales, llamados pesados, que ocupan una parte grande, dispuesta a la derecha, del níquel y platino. Estos son el cobre, zinc, plata, oro, plomo, bismuto, mercurio y arsénico. ¿Es que no acabamos de decir que estos metales se hallan siempre juntos en la naturaleza? El minero los busca en las vetas minerales que atraviesan la corteza terrestre.



Desplacémonos hacia la izquierda a partir del centro de la Tabla. Un campo semejante se observa también en esta parte. La componen los metales, perfectamente conocidos por nosotros, que forman las piedras preciosas: combinaciones de los metales berilio y litio. Estos son los elementos raros y

ultrarraros, que se acumulan en los últimos restos de los macizos rocosos en las pegmatitas potentes de cuerpos graníticos.

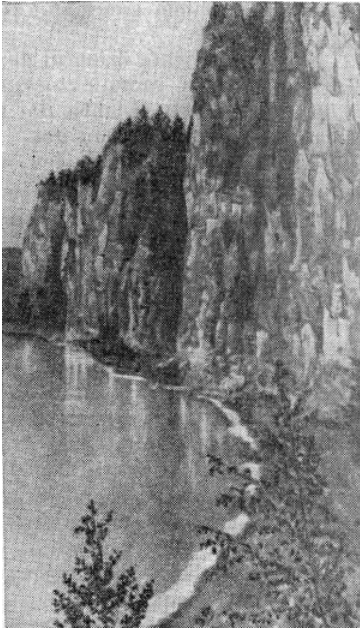
Desplacémonos en la Tabla hacia la izquierda y hacia la derecha. No olvidemos que sus largas filas se cierran y que los grupos extremos, izquierdo y derecho, se tocan, formando una espiral común. Aquí vemos elementos bien conocidos existentes en los yacimientos salinos: lagos salinos, mares, océanos, potentes acumulaciones de sal gema. Estos son los elementos que forman las sales de cloro, bromo, yodo, sodio, potasio y calcio.

Examinemos atentamente la parte superior del lado extremo derecho de la Tabla. En ella vemos los elementos fundamentales integrantes del aire atmosférico: nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, helio y demás gases nobles; en el ángulo extremo superior izquierdo se hallan el litio, berilio y boro. ¿Es que no nos recuerdan estos elementos las partes volátiles de los macizos graníticos, donde se forman las bellas piedras preciosas, las turmalinas verdes y rosas, las esmeraldas brillantes de color verde y las cuncitas violáceas? Como pueden ustedes ver, la Tabla de Mendeléev nos muestra los elementos agrupados del mismo modo que se encuentran en la naturaleza, y puede ser utilizada como brújula para orientarnos en la búsqueda de metales útiles. Como ejemplo confirmativo de las regularidades mencionadas, recordemos los importantes yacimientos minerales de la cordillera de los Urales.

La cordillera de los Urales podemos imaginárnosla como una enorme Tabla de Mendeléev, dispuesta perpendicularmente a los estratos rocosos. El eje de la cordillera, y de la Tabla, pasa por las rocas verdes pesadas de los yacimientos de platino. Los grupos extremos se hallan en el cinturón salino del notable Solikamsk y en las regiones del Emba.

¿No es ésta una confirmación prodigiosa de las ideas más profundas y abstractas? Pienso, y ustedes mismos ya lo habrán adivinado, que en la Tabla de Mendeléev, los elementos no están distribuidos casualmente, sino colocados de acuerdo con la semejanza de sus propiedades. Cuanto más se parecen unos elementos a los otros, tanto más próximos se encuentran en la Tabla de Mendeléev.

Exactamente igual ocurre en la naturaleza. En nuestros mapas geológicos, los signos distintivos, indicadores de los diferentes yacimientos minerales no están diseminados al azar. Tampoco es casualidad que se hallen juntos en la naturaleza el osmio, iridio y platino o el arsénico y antimonio.



*Figura 7.1 A las en la orilla del río Chusovaia (región de Sverdlovsk)*

Las mismas leyes que definen la semejanza y afinidad química de los átomos, son las que determinan el comportamiento de los elementos en las entrañas de la tierra. ¡La Tabla de Mendeléev es, en realidad, el arma más importante con cuyo auxilio el hombre descubre las riquezas del subsuelo, busca y encuentra los metales útiles y crea, a base de ellos, su economía e industria!

Trasladémonos al pasado remoto de los Urales. Desde las zonas profundas van ascendiendo los pesados magmas fundidos, formados por rocas oscuras, negras, verdes, ricas en magnesio y hierro.

Durante su marcha ascendente se incorporan los minerales de cromo, titanio, cobalto y níquel, los metales del grupo del platino: rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio y platino.

Así comenzó la primera etapa de la historia de los Urales, de esa larga y profunda cadena de rocas duníticas y serpentínicas que constituyen el casco central de dicha cordillera, que se extiende al norte hasta las islas del Artico y se entierra en el sur bajo las estepas del Kazajstán. Esto, en la Tabla de Mendeléev, constituye su parte central.

En el proceso de separación experimentado por las masas fundidas, se desprenden las substancias volátiles más ligeras, y en el conjunto complejo de rocas, de las cuales están formados en la actualidad los Urales, cristalizan, al finalizar su actividad volcánica, granitos claros en las zonas profundas. Este granito de color gris, lo conocen perfectamente todos los uralenses, sobre todo los habitantes de la vertiente oriental de los Urales. Conglomerados de cuarzo puro penetran, en forma de filones blancos, en el granito; las ramificaciones de potentes vetas pegmatíticas se embuten en sus partes externas, infiltrándose también en las rocas laterales. Durante esos procesos, se verifica la acumulación de elementos volátiles: boro, flúor, litio, berilio, tierras raras y se forman las gemas preciosas de los Urales y los minerales de los metales raros.

En el sistema periódico de Mendeléev, esto está representado en la parte izquierda de la Tabla. Tanto en aquel tiempo, como más tarde, las soluciones calientes fueron elevándose hacia la superficie, llevando consigo las combinaciones fusibles, móviles, fácilmente solubles de zinc, plomo, cobre, antimonio y arsénico, que a su vez arrastraron también en su masa al oro y a la plata.

Por la vertiente oriental de los Urales, a modo de larga cadena, se extienden estos yacimientos minerales, formando grandes concentraciones de estructura lenticular o, bien, filones ramificados y conjuntos arborescentes de los mismos.

En la Tabla de Mendeléev, esto constituye la parte derecha ocupada por los elementos minerales. Al terminar la actividad volcánica, cesaron las presiones internas, que elevaron las cordilleras de los Urales, desplazándolas desde oriente a occidente, dando salida, aquí y allí, a las rocas volcánicas y al agua caliente de las vetas subterráneas.

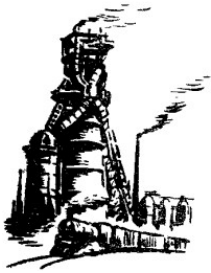
Comenzó un largo período de destrucción. Durante cientos de millones de años se destruyeron paulatinamente los montes Urales, las rocas sufrieron los efectos de la erosión de las aguas. Todo lo que era poco o difícilmente soluble, no se movió del sitio, lo restante se disolvió, fue arrastrado por las aguas, pasando a los mares y lagos. Estas sustancias se acumularon, principalmente, en el gran mar de Perm, que bañaba la parte occidental de los Urales. El mar fue secándose, se formaron golfos, lagos, estuarios y las sales se depositaron en el fondo.

Así es como se acumularon las sales de sodio, potasio, magnesio, cloro, bromo, boro y rubidio.

En la Tabla de Mendeléev, estos elementos ocupan las casillas superiores de la izquierda.

Y allí, donde se encontraban las cimas montañosas de los Urales, quedó únicamente todo lo que no se subordinó a la acción química del agua.

Durante el clima tropical del período mesozoico, en el transcurso de decenas de millones de años, se consolidó la corteza terrestre al ir depositándose las rocas destruidas. El hierro, níquel, cromo y cobalto, al acumularse en dicha corteza, originaron los ricos yacimientos de hematitas pardas, que constituyen la base de la industria del níquel en el sur de los Urales.



En las regiones de desintegración de los granitos, se concentraron los placeres o depósitos cuarcíferos, en los que se acumularon oro, wolframio, piedras preciosas, conservándose y concentrándose en forma de aluviones y arenas.

De esta forma, gradualmente, iban muriendo los Urales, cubriéndose bajo la capa de terreno formada. Sólo de tiempo en tiempo era invadido por las aguas procedentes del oriente, que bañaban y erosionaban las colinas cubiertas de maleza, arrastrando nuevamente las aguas los minerales de manganeso y de hierro, depositándolos en las orillas.

La Tabla de Mendeléev quedó sepultada bajo la taigá de los Urales polares, bajo las estepas de Kazajstán. ¡Fue necesario que llegara el hombre nuevo, soviético, dotado de una técnica nueva, de vanguardia, para quitar la corteza antigua de la gran cordillera de los Urales, para descubrir allí, poco a poco, los diversos elementos componentes de la Tabla de Mendeléev, y hacer accesibles para la industria todas las riquezas ocultas en estas cadenas grandiosas de montañas!

**Capítulo VIII****EL ÁTOMO SE DESINTEGRA. URANIO Y RADIO**

Como vimos en los capítulos precedentes, la base para el estudio de la Geoquímica es el átomo, lo que en griego significa "indivisible". Toda la naturaleza que nos rodea está constituida por las combinaciones de ciento y cuatro tipos de átomos, que corresponden a ciento y cuatro elementos diferentes.



¿En qué consiste esta pequeñísima e indivisible partícula de sustancia? ¿Es en realidad "indivisible"? ¿Existen, efectivamente, ciento y cuatro tipos de átomos independientes unos de otros y no presentan unidad alguna en lo que respecta a su constitución? El concepto de átomo, como bolita materialmente indivisible, constituyó el fundamento de la Química y de la Física. La "indivisibilidad" del átomo explicaba por completo las propiedades físicas y químicas de la sustancia y, por ello, los físicos y químicos, a pesar de que sospechaban la existencia de una estructura atómica compleja, no pusieron gran interés en descubrirla. Solamente, cuando el físico francés Enrique Becquerel, en 1896, descubrió la propiedad, hasta entonces desconocida, que posee el uranio de emitir ciertos rayos invisibles, y cuando los esposos Curie descubrieron un nuevo elemento, el radio, en el que este fenómeno se manifestaba con mucha más intensidad, se llegó a la conclusión de que el átomo debía tener una estructura muy compleja. Actualmente, después de los magníficos trabajos de Marie Curie-Sklodowska, de los esposos Joliot-Curie, de Rutherford, Rozhdéstvenski, Bohr y otros, la estructura del átomo se ha puesto en claro con suficiente detalle. No sólo sabemos de qué partículas elementales consta el átomo, conocemos también sus dimensiones, peso, distribución mutua, así como las fuerzas que las unen.

Ya dijimos, que el átomo de cada elemento químico, a pesar de sus ínfimas dimensiones (su diámetro es igual a una cienmillonésima de centímetro), constituye un conjunto extraordinariamente complejo, de estructura semejante a nuestro sistema solar.



El átomo consta del núcleo (su diámetro es cien mil veces menor que el diámetro del átomo y equivale a una milmillonésima parte de centímetro); toda la masa del átomo está prácticamente concentrada en el núcleo.

El núcleo está cargado positivamente. La cantidad de cargas positivas que posee el núcleo crece a medida que se pasa de los átomos de los elementos químicos ligeros a los pesados y su número es igual al número de orden de la casilla ocupada por el elemento en cuestión en la Tabla periódica.

Alrededor del núcleo, a distintas distancias, giran los electrones. El número de electrones es igual al número de cargas positivas del núcleo, puesto que el átomo, considerado en su conjunto, es neutro desde el punto de vista eléctrico. Los núcleos atómicos de todos los elementos químicos están constituidos por dos partículas elementales: el protón, o núcleo del átomo de hidrógeno, y el neutrón. El protón posee masa determinada, casi igual a la del átomo de hidrógeno y tiene una carga eléctrica positiva. El neutrón es una partícula material, de masa idéntica al protón, pero privada de carga eléctrica.

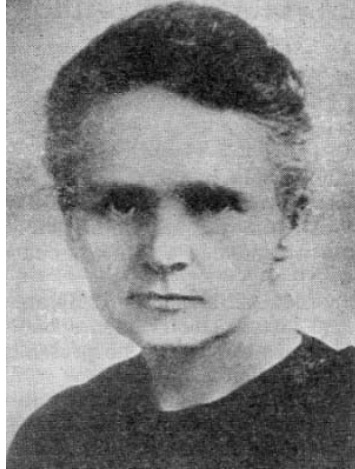


Figura 8.1 Marie Curie-Sklodowska

En los núcleos atómicos, los protones y neutrones están tan fuertemente unidos entre sí que, en todas las reacciones presentan gran estabilidad y quedan siempre invariables.

Si en el sistema periódico de Mendeléev, vamos pasando gradualmente desde los elementos químicos más ligeros a los más pesados, observaremos que los núcleos correspondientes a los átomos de los elementos ligeros están formados, aproximadamente, por el mismo número de protones y neutrones (esto es fácil de ver, pues, al principio de la Tabla periódica, el peso atómico de los elementos es numéricamente igual o aproximado al doble del número de orden del elemento).

Al llegar a los elementos químicos más pesados, el número de neutrones contenidos en los núcleos atómicos, comienza a superar al de protones. Al final, el exceso de neutrones, con relación al número de protones, es considerable y los núcleos de estos elementos se hacen inestables. Empezando desde el número de orden 81, junto con los átomos estables de los diferentes elementos, aparecen también otros inestables. Los núcleos atómicos de los elementos inestables, se descomponen espontáneamente, desprendiendo grandes cantidades de energía y se transforman en núcleos atómicos de otros elementos químicos.

A partir del número de orden 86, todos los núcleos atómicos son inestables y los elementos correspondientes, radiactivos.



Radiactividad es la propiedad de los átomos de descomponerse espontáneamente, convirtiéndose en átomos de otros elementos, con desprendimiento de enormes cantidades de energía, en forma de radiaciones de diverso género. Estas radiaciones se han conseguido dividir en tres grupos.

**Primer grupo.** Los rayos alfa (rayos  $\alpha$ ) o corriente de partículas materiales proyectadas a gran velocidad, con doble carga eléctrica positiva. Las partículas alfa tienen una masa cuatro veces mayor que la del átomo de hidrógeno. Han sido identificadas como los núcleos de los átomos de helio.

**Segundo grupo.** Los rayos beta (rayos  $\beta$ ) o corriente de electrones, lanzados a velocidades enormes. Cada electrón posee una carga eléctrica negativa, la mínima existente, y su masa es 1.840 veces menor que la del átomo de hidrógeno.





**Tercer grupo.** Lo constituyen los rayos gamma (rayos  $\gamma$ ), semejantes a los rayos X, pero con longitud de onda todavía más corta.

Si colocamos en un tubito de vidrio, aproximadamente, un gramo de sal de radio, lo cerramos a la lámpara y lo observamos, podremos descubrir todos los fenómenos principales que acompañan al proceso de desintegración radiactiva.

Utilizando un dispositivo especial para medir pequeñas diferencias de temperatura, veremos, sin ninguna dificultad, que la temperatura del tubito con sal de uranio es algo mayor que la del medio circundante.

Da la sensación, como si en el interior de la sal de radio hubiera oculto un dispositivo calorífico en continuo funcionamiento. Basándose en este experimento, puede hacerse una importante conclusión: durante la desintegración radiactiva, o lo que es lo mismo, durante el proceso de destrucción de núcleos atómicos, se verifica un desprendimiento ininterrumpido de grandes cantidades de energía. La experiencia demuestra que 1 gramo de radio, al desintegrarse, emite en una hora 140 calorías pequeñas. En el caso de su conversión total en plomo (para lo cual se requiere cerca de veinte mil años) se desprenden 2,9 millones de calorías grandes, o sea, tanta energía calorífica como se obtiene durante la combustión de media tonelada de hulla.



Tomemos un tubito con radio y, por medio de una pequeña bomba, aspiremos el aire contenido en su interior, trasvasándolo con cuidado a otro tubito en el que previamente se ha hecho el vacío. Cerremos el tubo a la lámpara. Resulta que, en la oscuridad, este segundo tubo emite luz verdoso-azulada, exactamente igual que el tubito con sal de radio.

Esta radiactividad secundaria es debida a la aparición de una nueva substancia radiactiva, producida por el radio. Dicha substancia es gaseosa y se la denominó radón (Rn).

La cantidad de radón contenida en el tubo, aumenta constantemente en el transcurso de cuarenta días, después de lo cual se mantiene invariable, puesto que la velocidad de desintegración del radón se equilibra con su velocidad de formación. La radiactividad puede también descubrirse acercando el tubito a un electroscopio cargado. La emisión radiactiva ioniza el aire, lo hace conductor de la electricidad y descarga el electroscopio.

Si observamos, día tras día, la influencia que ejerce el tubito con radón sobre el electroscopio cargado, veremos que, conforme pasa el tiempo, esta acción se va debilitando. Al cabo de 3,8 días, la intensidad con que actúa disminuye hasta la mitad de su valor inicial y, después de 40 días, el electroscopio no sufre la menor variación al aproximar el tubito.



En cambio, si hacemos pasar a través del tubito, después de transcurrido este período de 40 días, una descarga eléctrica y observamos en un espectroscopio la iluminación del gas, provocada por la descarga, veremos la aparición del espectro correspondiente a un nuevo gas, que antes no existía en el tubito. Este nuevo gas es el helio. Finalmente, si después de muchos años de conservación, sacamos con cuidado la sal de radio del tubito de vidrio y, utilizando métodos sensibles de análisis, investigamos la presencia de otros elementos químicos en la superficie de las paredes internas del tubo, descubriremos que en el tubito vacío existe plomo metálico en cantidades insignificantes.

Como resultado de la desintegración de sus átomos, de cada gramo de radio metálico se forman en un año  $4,00 \times 10^{-4}$  gramos de plomo con masa atómica 206, y 172 milímetros cúbicos de helio gaseoso.

De ese modo, durante la desintegración radiactiva del radio, van obteniéndose, uno tras otro, nuevos elementos radiactivos; hasta que por fin se forma plomo inactivo. En este momento cesa la transformación. El propio radio es solo un eslabón intermedio en la larga cadena de productos de transformación del uranio.

La serie de elementos, obtenidos como resultado de la desintegración de los elementos radiactivos, se denomina serie radiactiva.

Todos los núcleos de cada elemento radiactivo son inestables y tienen idéntica probabilidad de desintegrarse en un período determinado de tiempo. Por tanto, una muestra de sustancia radiactiva suficientemente grande, que contenga muchos millones de átomos, se desintegra siempre a una velocidad constante, independiente de las acciones físicas y químicas que sobre ella puedan ejercerse.

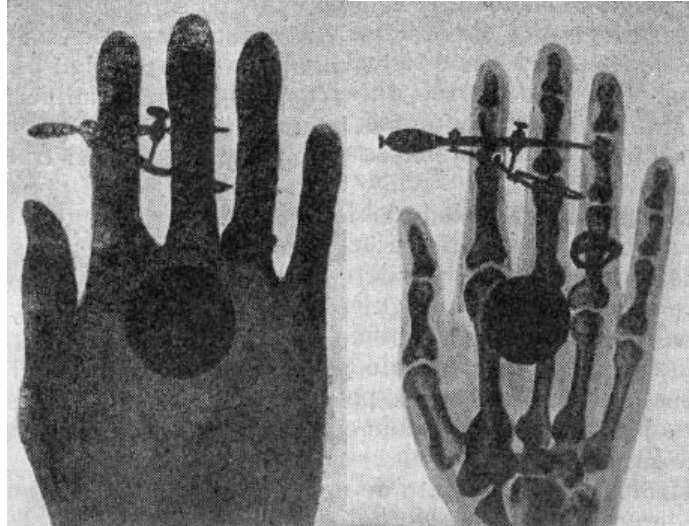


Se ha demostrado que la acción de diferentes agentes físicos externos sobre una sustancia radiactiva, desde la temperatura del helio líquido (próxima al cero absoluto) hasta la temperatura de varios miles de grados, presión de miles de atmósferas y descargas eléctricas de alta tensión, no influye en absoluto en el proceso de su desintegración.

La velocidad con que la sustancia radiactiva se desintegra o transforma, ordinariamente, se expresa por medio del período de semidesintegración  $T$ , o sea, el tiempo necesario para que se desintegre la mitad del total de átomos iniciales. Esta magnitud es característica y constante para cada clase de átomos inestables, o sea, para cada elemento radiactivo dado.

Los períodos de semidesintegración de los elementos radiactivos, poseen un margen muy amplio que oscila, desde fracciones de segundo para los núcleos atómicos más inestables, hasta miles de millones de años para los ligeramente inestables, como, por ejemplo, el uranio y el torio. Con frecuencia, el núcleo recién formado, de modo semejante a su “progenitor” radiactivo, es también inestable, desde el punto de vista radiactivo, y se desintegra ulteriormente hasta que, después de varias generaciones sucesivas, se convierte en un núcleo estable.

En la actualidad se conocen tres series o familias radiactivas, a saber: serie del uranio-radio, que comienza con el isótopo del uranio de masa atómica 238; serie del uranio-actinio, que empieza por otro isótopo del uranio con masa 235, y la serie del torio. Los productos finales estables, no desintegrables ulteriormente, de cada una de estas series, originados después de diez a doce transformaciones sucesivas, son los núcleos atómicos de los isótopos del plomo con masas respectivas 206, 207, 208.



*Figura 8.2 Dos fotografías de la mano de una persona. La de la izquierda está impresionada bajo la acción de los rayos emitidos por el radio; la de la derecha por medio de los rayos X. Los metales son opacos*

Además del plomo, productos finales estables de cada una de las series indicadas son las partículas alfa privadas de energía cinética y carga eléctrica, o sea, átomos de helio.

Durante el proceso de desintegración radiactiva de los átomos de uranio, torio y radio que se verifica sin interrupción en la tierra, se desprende constantemente calor.

Si se calcula la cantidad de calor emitida por los elementos citados durante su desintegración radiactiva, resulta, inesperadamente para nosotros, que desde hace mucho tiempo empleamos este calor, puesto que debido a él el globo terráqueo se calienta sensiblemente.

Exactamente igual, resulta que el gas helio, utilizable para llenar los dirigibles y aeróstatos, se obtiene a base de la desintegración radiactiva de los átomos de uranio, torio y radio contenidos en la tierra. Se ha calculado que en la tierra, de esta forma, durante todo el período de su existencia, se han formado enormes cantidades de helio, centenares de millones de metros cúbicos de este gas.

El continuo proceso de desintegración de los átomos de uranio, torio y radio contenidos en la tierra nos interesa no sólo como fuente de suministro constante de calor, sino también como fuente de producción de reservas industriales de elementos químicos y como mecanismo natural de relojería, como cronómetro, por medio del cual podemos determinar la edad de las diversas formaciones rocosas e incluso, de la propia Tierra como cuerpo sólido.

¿De qué modo los átomos de uranio, torio y radio y su desintegración pueden utilizarse como relojes para calcular el tiempo geológico?



Veamos cómo. Sabemos que la velocidad con que se desarrolla el proceso de desintegración de los átomos radiactivos no depende en absoluto de las acciones químicas o físicas y se mantiene siempre rigurosamente constante. Por otra parte, durante la desintegración radiactiva, se forman átomos de helio y plomo, completamente estables e invariables, cuya cantidad va acumulándose cada vez más y más con el transcurso del tiempo.

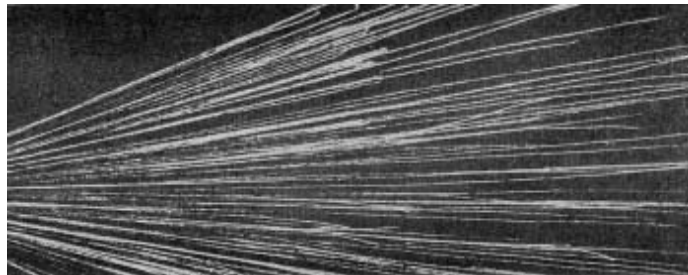
Conociendo la cantidad de helio y plomo, originada en un año durante la desintegración radiactiva de los átomos contenidos en un gramo de torio o de uranio, y determinada la cantidad de uranio y torio existente en un mineral cualquiera, así como la de helio

y plomo contenido en dicho mineral, podremos obtener, basándonos en la relación del helio con respecto al uranio y torio, por una parte, y la del plomo con respecto al uranio y torio, por otra parte, el tiempo, expresado en años, que ha transcurrido desde el momento en que se formó el mineral en cuestión.

En efecto, en el momento de su formación, el mineral contenía sólo átomos de uranio y torio. No había átomos de helio y plomo. Después, en virtud de la desintegración de los átomos de uranio y torio, comenzaron a aparecer y acumularse progresivamente los átomos de helio y plomo.

Semejante mineral, que contiene átomos de uranio y torio, puede compararse a un reloj de arena, cuyo funcionamiento, seguramente, todos conocen. Sin embargo, voy a recordarles cómo está construido este tipo de reloj. Consta de dos recipientes (ampolletas) que se comunican entre sí; en uno de ellos se echa arena fina en cantidad determinada. En el momento en que se "pone en marcha", se fija la posición del reloj y se deja que la arena, por la acción de la gravedad, vaya cayendo del recipiente superior al inferior.

Ordinariamente, la cantidad de arena que se echa en el recipiente superior, se calcula de forma que pase totalmente al inferior en un intervalo de tiempo determinado, por ejemplo 10 minutos, 15 minutos. Los relojes de arena se emplean corrientemente para calcular períodos constantes de tiempo. No obstante, pueden utilizarse para medir intervalos de tiempo cualesquiera. Para ello es necesario, o bien, pesar la cantidad de arena, o bien, graduar los recipientes en partes de idéntica capacidad y medir el volumen de la arena caída. Debido a que la arena, bajo la acción de la gravedad, va cayendo a una velocidad determinada, puede medirse el volumen o el peso de arena que pasa del recipiente superior al inferior durante un minuto y por el volumen de arena obtenido calcular los minutos transcurridos desde el momento en que ha comenzado a funcionar el reloj.



*Figura 8.3 Desintegración de núcleos de nitrógeno por la acción de partículas alfa. Se desprenden protones con largas trayectorias*

Algo semejante ocurre con el mineral de uranio y torio. Puede compararse con el recipiente superior que contiene una cantidad determinada de arena, sólo que el papel de los granos sueltos de arena, lo cumplen los átomos de uranio y torio. Estos átomos también se transforman a una velocidad determinada en átomos de helio y plomo y, lo mismo que en el reloj de arena, los átomos de helio y plomo, procedentes de la desintegración radiactiva, van acumulándose en proporción directa al tiempo transcurrido hasta nuestros días desde el momento en que se formó el mineral radiactivo.

La cantidad de uranio que ha quedado inalterable se determina por análisis directo; la de átomos de uranio y torio desintegrados se calcula por el número de átomos de helio y plomo originados. Estos datos permiten hallar la proporción entre la cantidad de uranio y la de helio y plomo formada y, por consiguiente, calcular el tiempo que duró el proceso de desintegración. Así es como los hombres de ciencia han llegado a determinar que



en la tierra existen minerales, cuya formación se verificó más de tres mil y medio millones de años atrás. De ese modo, sabemos actualmente que nuestra Tierra es vieja, viejísimo, y su edad es superior a tres mil y medio millones de años.

Como resumen de este capítulo, desearía explicarles otro fenómeno descubierto recientemente, al que seguramente le corresponde jugar un gran papel en la vida de la humanidad. Vimos anteriormente que en los núcleos atómicos de elementos pesados, comenzando por el número de orden 81 del sistema periódico de Mendeléev, junto con variedades estables, hay también inestables; o sea, dotadas de propiedades radiactivas. El núcleo atómico se hace inestable si se altera grandemente cierta proporción constante y determinada entre los protones y neutrones. Cuanto mayor sea el exceso de neutrones en el núcleo, tanto más crece la inestabilidad de este último.



En cuanto los hombres de ciencia observaron esta propiedad de los núcleos de los elementos químicos, rápidamente descubrieron el medio de variar, por vía artificial, la relación entre los protones y neutrones en el núcleo y, de esta forma, transformar según su deseo las variedades estables de núcleos atómicos en inestables, o sea, obtener artificialmente elementos químicos radiactivos. ¿Cómo puede hacerse esto?

Para ello hay que encontrar un proyectil adecuado, cuyas dimensiones no superen a las del núcleo atómico, comunicarle una energía muy grande e impactar con él al núcleo atómico.

Tales proyectiles de dimensiones atómicas y dotados de intensa energía son las partículas alfa, emitidas por las sustancias radiactivas. Fueron las primeras que emplearon los hombres de ciencia para destruir artificialmente el núcleo atómico. Por primera vez, esto lo consiguió el conocido físico inglés Ernesto Rutherford, que en el año 1919 al bombardear con partículas alfa los núcleos de nitrógeno, descubrió que dicho elemento despidió protones.

Quince años después, en 1934, los sabios franceses Irene Joliot Curie y Federico Joliot, al investigar la acción de las partículas alfa, procedentes del elemento polonio, sobre el aluminio, descubrieron que este elemento, no sólo emite rayos, en cuya composición intervienen los neutrones, sino que dicha emisión radiactiva continúa, durante cierto tiempo, despidiendo rayos beta, incluso después de cesar el bombardeo del aluminio con las partículas alfa.

Por medio del análisis químico, los esposos Joliot-Curie establecieron que la radiactividad obtenida artificialmente es debida, no al aluminio, sino a los átomos de fósforo formados a base de los átomos de aluminio, bajo la influencia de las partículas alfa.

De esta manera fueron obtenidos los primeros elementos radiactivos artificiales y fue descubierto el fenómeno de la radiactividad artificial. Inmediatamente después de este descubrimiento comenzaron a ensayarse diversos métodos para obtener por vía artificial elementos radiactivos; para el ataque de los núcleos atómicos, en lugar de partículas alfa, se emplearon los neutrones, que penetran en el núcleo mucho más fácilmente que las partículas alfa, puesto que éstas van cargadas positivamente y, por consiguiente, son repulsadas por el núcleo al aproximarse al átomo.

En los núcleos atómicos de los elementos químicos pesados, estas fuerzas de repulsión son tan grandes, que la energía de las partículas alfa no es suficiente para vencerlas y no pueden llegar hasta el núcleo.

Los neutrones, en virtud de que constituyen partículas desprovistas de carga eléctrica, no son rechazados por los núcleos y penetran en ellos con facilidad. Efectivamente, bombardeando con



neutrones, se ha conseguido obtener por vía artificial los diferentes núcleos atómicos radiactivos inestables correspondientes a todos los elementos químicos.

En 1939, al bombardear con neutrones lentos el elemento químico más pesado, el uranio, se descubrió que los núcleos atómicos de este elemento se desintegran de forma distinta a como se conocía hasta entonces, y el núcleo atómico se fisiona en dos mitades aproximadamente iguales. Estas mitades son variedades inestables de núcleos correspondientes a los átomos de elementos químicos ya conocidos por nosotros, situados en la parte central de la Tabla de Mendeléev. Un año después, en 1940, los jóvenes físicos soviéticos K. Petrzhak y G. Fliórov descubrieron que esta nueva forma de desintegración, o sea, nueva forma de radiactividad del uranio, se verifica también en la naturaleza, pero con mucha menos frecuencia que la desintegración.



*Figura 8.4 Destrucción del átomo de uranio por medio de neutrones lentos*

Si a base de la desintegración radiactiva ordinaria se desintegran la mitad de todos los átomos existentes de uranio durante 4.500 millones de años, por medio de la fisión de los átomos por la mitad, el período de ' semidesintegración es igual a 44 billones de años; por consiguiente, este segundo tipo de desintegración, se realiza con una frecuencia diez millones de veces menor; pero, en cambio, va acompañado de un desprendimiento de energía muchísimo mayor que la desintegración radiactiva corriente.

Durante este nuevo tipo de radiactividad del uranio, como demostraron los científicos en 1946, se forman también ciertos núcleos atómicos estables de elementos, que se acumulan de modo constante en la naturaleza, paralelamente con la formación de núcleos inestables susceptibles de desintegración ulterior.

Así, pues, si durante la desintegración radiactiva ordinaria, se forman y acumulan de modo constante átomos de helio, al verificarse el nuevo tipo de desintegración del uranio, se forman y acumulan paulatinamente átomos de xenón y de criptón.

Por medio del bombardeo de los isótopos del uranio, se consiguió, obtener varios elementos nuevos, llamados transuranios, con números atómicos 93-104. Todos ellos hallaron su puesto respectivo en la Tabla de Mendeléev.

Pero lo más interesante consiste en que este nuevo tipo de desintegración fue posible dirigirlo, acelerándolo o retardándolo conforme a nuestros deseos. Si se acelera intensamente este proceso y provocamos de este modo la desintegración instantánea de los átomos contenidos en un kilogramo de metal uranio, se desprenderá una cantidad tan enorme de energía y calor, semejante

a la que se obtiene durante la combustión de 2.000 toneladas de carbón, y se producirá una explosión de potencia colosal.

Después de la explosión, los fragmentos originados buscan nuevas formas de equilibrio, hasta que no se liberen del exceso de energía y no se conviertan en átomos más estables de otros metales.

Lo admirable de este descubrimiento es que la técnica humana no sólo puede provocar estas reacciones con liberación de cantidades fantásticas de energía, sino que puede influir sobre la intensidad de su desarrollo, transformar las reacciones violentas en desprendimientos continuos, más lentos y más tranquilos, de poderosa energía durante meses y años enteros. Aquella brillante idea sobre la energía intraatómica, que acababa de germinar en la mente de Pedro Curie a fines de la última década del siglo pasado, al descubrir junto con su esposa, el radio, idea que se atrevieron a emitir en el umbral del nuevo siglo sólo unos cuantos hombres de ciencia, se ha convertido actualmente en una realidad.

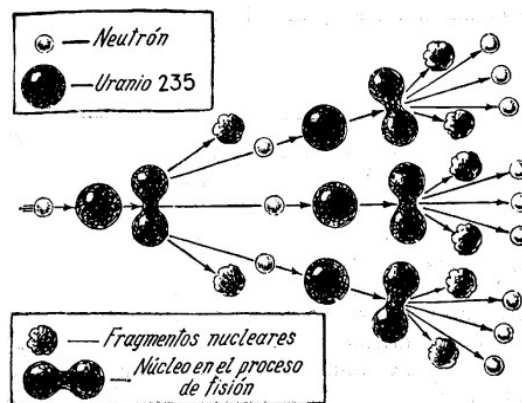


Figura 8.5 Esquema de la reacción en cadena, autopropagable, en los núcleos atómicos del uranio 235

Cuando en 1903, los hombres de ciencia describieron el cuadro del futuro feliz de la humanidad, poseedora de reservas ilimitadas de energía necesarias para su vida, esta idea parecía entonces sólo bella fantasía y no encontró su confirmación ni en los hechos reales de la naturaleza ni en las conquistas de la ciencia de aquel tiempo. Sólo actualmente esta ilusión va transformándose en realidad.

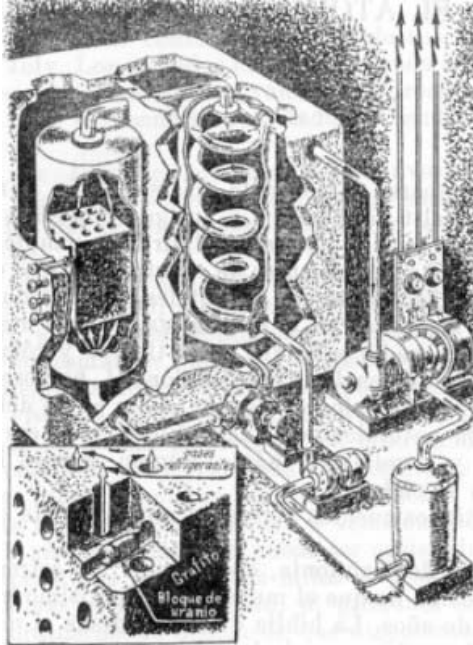
No es extraño que el metal uranio se haya convertido, a partir de estos últimos años, en objetivo de extraordinaria atención para todos los países. Antes constituía simplemente el residuo de la industria del radio. Las empresas productoras de radio en Bélgica, Canadá, EE UU y otros países buscaron las formas de utilización de dicho metal. Pero, no se le encontró empleo adecuado, se valoraba a bajos precios y se utilizaba a ínfimo coste para el colorido de porcelanas, azulejos y para obtener cristales verdes baratos.

Pero en los últimos años, esta situación ha cambiado radicalmente. El uranio ha adquirido, en varios países, un interés enorme y no el radio, sino el propio metal uranio ha sido objeto de numerosas búsquedas e investigaciones.

Aunque sea necesario mucho trabajo y enorme esfuerzo para conocer a fondo este problema, o incluso, siendo esta energía, por ahora, más cara que la obtenida en las calderas de vapor, en cambio, ¡qué posibilidades tan inmensas se abren ante la humanidad con el empleo de estos motores prácticamente eternos!

El hombre tiene en sus manos una nueva forma de energía, más poderosa que todas las conocidas hasta ahora.

En la actualidad, los hombres de ciencia de todo el mundo trabajan intensamente para llegar a dominar lo antes posible esta nueva y potente fuerza.



*Figura 8.6 "Pila de uranio". Así se denomina la instalación en la que se verifica la reacción nuclear en cadena del uranio 235. En la parte inferior vemos el bloque perforado de grafito (agente moderador de la reacción), en el que se introducen las barras de uranio. La "pila" va envuelta con una capa de sustancia reflectora de neutrones.*

Cuando llegue el día en que la energía atómica sea una cosa corriente, dispondremos de electrocentrales portátiles alojables en maletas, motores de varios caballos de potencia y dimensiones no mayores que un reloj de bolsillo, motores-cohetes con reserva de energía para varios años, aviones capaces de volar meses enteros sin aterrizar.

Se aproxima el siglo de la subordinación de la energía atómica, siglo del poderío nunca visto del hombre.

Y a la luz de estas nuevas ideas sobre la constitución del átomo, la ley periódica de D. I. Mendeléev no ha perdido su significado e importancia.

Por el contrario, continúa siendo la estrella orientadora para conocer los fenómenos intraatómicos y para establecer los enlaces químicos existentes entre los átomos. El estudio de la estructura atómica ha demostrado que la ley de Mendeléev no es una simple ley de la Química sino una de las leyes más importantes de la naturaleza.



**Capítulo IX****EL ÁTOMO Y EL TIEMPO**

Es difícil imaginarse un concepto más simple y, al mismo tiempo, más complejo que el tiempo. Un antiguo proverbio finlandés dice que "no existe nada en el mundo más admirable, complejo e invencible que el tiempo". Cuatro siglos antes de nuestra era, uno de los filósofos más notables de la edad antigua, Aristóteles, escribió que entre todo lo desconocido que nos rodea en la naturaleza, lo más desconocido es el tiempo, puesto que nadie sabe qué es el tiempo y cómo gobernarlo.

En las primeras etapas de la civilización, al hombre le preocupaba ya la idea sobre el principio del tiempo, sobre el fin del mundo, sobre cuándo se creó la naturaleza en que vivimos, cuál era la edad de la Tierra, planetas y estrellas, y cuánto tiempo seguirá iluminando todavía el Sol en el cielo.

Según los antiguos cuentos persas, el mundo existe desde hace sólo doce mil años.

Los astrólogos de Babilonia, observando los astros celestes, llegaron a la conclusión de que el mundo es antiquísimo y que tiene más de dos millones de años. La Biblia dice que, desde el momento en que en seis días y seis noches se creó el mundo por la voluntad de Dios, no han transcurrido más de seis mil años.

Durante muchos milenios, hombres eminentes continuaron ocupándose sobre los problemas referentes al tiempo y las fábulas antiguas y fantasías de los astrólogos fueron remplazándose por métodos precisos para determinar la edad de nuestro planeta.

El primero que intentó determinar la edad de la Tierra fue el astrólogo Galileo en 1715. Después lord Kelvin en 1862, calculó la edad de la Tierra, basándose en la teoría sobre su enfriamiento y consolidación, y obtuvo la cifra, grandiosa para aquel tiempo, de cuarenta millones de años.

Luego aparecieron los métodos geológicos. En Suiza, Inglaterra, Suecia, Rusia y América, se trató de calcular el tiempo que necesitó nuestra Tierra para llegar a formar los estratos grandiosos de rocas sedimentarias, cuyo espesor total supera cien kilómetros.

Resultó que los ríos arrastran consigo cada año no menos de diez millones de toneladas de sustancias procedentes de los continentes, lo que supone que nuestra tierra firme pierde cada 25 mil años, por término medio, una capa de terreno de un metro de espesor. De esta forma, estudiando la actividad de las aguas y glaciares, los procesos sedimentarios en la Tierra y los océanos, y las arcillas glaciares estrías, los geólogos llegaron a la conclusión de que la historia de la corteza terrestre no puede limitarse a cuarenta millones de años. En 1899, el geofísico inglés Joly determinó que la edad de nuestra Tierra es de trescientos millones de años.

Pero estos cálculos no fueron del agrado de los físicos ni de los químicos, ni incluso de los geólogos.

La destrucción de los continentes no se efectuó tan correctamente como pensaba Joly. Los períodos de sedimentación fueron reemplazados por explosiones violentas de los volcanes, terremotos, elevación de las cordilleras. Los sedimentos acumulados se fundían, eran erosionados por las aguas.

El cálculo de Joly no satisfizo a los investigadores precisos, que deseaban encontrar un verdadero reloj, utilizable para determinar el tiempo del pasado, para determinar la edad de la corteza terrestre.

En ayuda de los geólogos vinieron los químicos y físicos. Ellos encontraron por fin el reloj constante y eterno, construido no por un maestro relojero, sin muelles y espirales que le comuniquen movimiento; y que no tiene necesidad de que se le dé cuerda. Ese reloj resultó ser el átomo desintegrable de los elementos radiactivos.

Ya hemos visto en el capítulo anterior, que todo el mundo está lleno de átomos en estado permanente de destrucción y que en este proceso imperceptible, pero grandioso, se desintegran los átomos de uranio y torio, radio y polonio, actinio y muchas decenas de otros elementos. Esta destrucción se verifica a velocidad constante y, como hemos indicado anteriormente, no puede ser acelerada o retardada, ni aplicando temperaturas elevadas de miles de grados, ni temperaturas bajísimas próximas al cero absoluto, ni presiones enormes. Ninguno de los medios ordinarios de acción de que disponemos son capaces de modificar este riguroso e inalterable proceso de desintegración, que experimentan cierto número de elementos en la naturaleza.

Es verdad que la técnica moderna ha sabido encontrar medios poderosos, a base de los cuales se consigue destruir y crear átomos. Pero en la naturaleza, estas condiciones no existen y la velocidad invariable de desintegración de los elementos pesados, se conserva sin alteración alguna durante millones y millares de millones de años. Siempre y en todas partes, en el universo que nos circunda, se desintegran los átomos de uranio, radio, torio, formándose al mismo tiempo cantidades determinadas de gas helio y átomos estables inactivos de plomo. Estos dos elementos naturales, helio y plomo, constituyen la base del nuevo reloj. De este modo, por primera vez en la historia de la humanidad, ¡se consiguió medir el tiempo, utilizando un standard universal de carácter eterno!

¡Qué maravilloso cuadro y al mismo tiempo, qué difícil de comprender! Varios centenares de átomos distintos llenan el universo con sus sistemas complejos electromagnéticos. Al emitir energía, se transforman a saltos, pasando de una forma a otra. Algunos de esos sistemas, los recién formados, tienen vitalidad y se conservan con tenacidad; evidentemente, la gran longitud de sus períodos de transformación, los hace inaccesibles para nosotros. Otros existen miles de millones de años, desprendiendo energía lentamente y pasando a través de series complejas de desintegración. Los terceros viven años, días, horas. La vida de otros, se mide en segundos y fracciones de segundo...

Subordinándose a las leyes de transformación de los sistemas atómicos, los elementos van llenando la naturaleza, pero el tiempo regula las leyes de su distribución cuantitativa, el tiempo los disemina por el espacio universal, creando la complejidad de mundos de nuestra Tierra y la vida cósmica del Universo.

Lentamente, se verifican los procesos del Universo: mueren los átomos pesados muy inestables; otros se desintegran bajo la acción de las partículas alfa; se forman los terceros, los ladrillitos más estables del Universo; se acumulan gradualmente los productos finales de desintegración, los elementos no radiactivos.

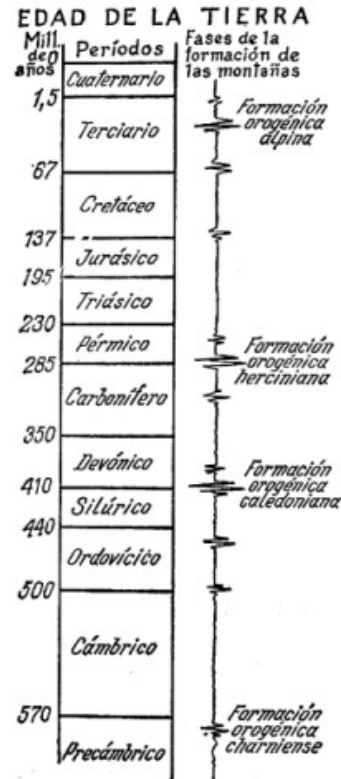


Figura 9.1 Edad de la Tierra

Se ha establecido que en el Sol predominan elementos estables, resistentes a la acción de las partículas alfa. El 90 % de la corteza terrestre está formada por elementos con números de electrones par o múltiple de cuatro, o sea, precisamente los elementos que presentan mayor estabilidad ante la actividad destructiva de los rayos gamma y cósmicos. Los más estables, de estructura simple y compacta, constituyen nuestro mundo inorgánico. Otros, menos estables (como potasio y rubidio), intervienen en los procesos vitales, ayudando, con su propia destrucción, al organismo a luchar por la vida. Los muy inestables (radón y radio), destruyen esta vida, desintegrándose. En unos sistemas estelares, el proceso de desintegración se halla en pleno desarrollo; esto ocurre en nuestro sistema solar; en otros, en las nebulosas estelares, el proceso se encuentra en período de iniciación, en otros, en los cuerpos celestes oscuros apagados, los procesos de desintegración van extinguiéndose con lentitud eterna. El tiempo determina la composición, naturaleza y combinaciones de los elementos en el transcurso de la historia del Cosmos.

Los físicos y químicos han calculado que en el transcurso de 100 millones de años, 1.000 gramos de metal uranio dan 13 gramos de plomo y 2 gramos de helio.

Al cabo de 2.000 millones de años, la cantidad de plomo será de 225 gramos, o sea, se transformará en plomo la cuarta parte de todo el uranio. La cantidad de átomos de helio volátil acumulada será ya de 35 gramos. Pero el proceso continúa y, después de 4.000 millones de años, el plomo obtenido será casi 400 gramos, la cantidad de helio alcanzará 60 gramos, y del uranio inicial quedará sólo la mitad, 500 gramos.



*Figura 9.2 "Reloj" para medir la edad de la Tierra. Si admitimos convencionalmente que la duración de la historia de la Tierra, desde el comienzo de la antigua era arcaica hasta nuestros días, es de 24 horas y disminuimos proporcionalmente la duración de todas las eras (calculada por el método radiactivo), - en nuestro reloj, el período precámbrico dura 17 horas; el paleozoico, 4 horas, el mesozoico, 2 horas, y el cenozoico, 1 hora. El hombre aparece cinco minutos antes de la media noche*

Continuemos este razonamiento. Tomemos, no 4.000 millones, sino cien mil millones de años. En este caso, casi todo el uranio se habrá desintegrado, convirtiéndose en plomo y helio. En la tierra casi no quedará uranio, y en su lugar, se diseminarán por toda la naturaleza los átomos pesados de plomo y en la atmósfera aumentará la proporción de gas del sol, el helio. Fundándose en esos datos, durante los últimos años, los geoquímicos y geofísicos han construido una escala del cómputo, calculado en años, de la evolución geológica del globo terrestre. Este nuevo reloj ha establecido que la edad de nuestro planeta es seguramente mayor de 4.5 mil millones de años, o sea, que aproximadamente, 5 mil millones de años es el tiempo que nos separa del momento de la historia cósmica en que se formaron los planetas de nuestro Sistema solar y la Tierra. ¡ Más de 3,6 mil millones de años han transcurrido desde la aparición de la corteza sólida de la Tierra, o sea, el segundo e importantísimo momento en la historia de la Tierra, el comienzo de su historia geológica. Han pasado, como mínimo, 2.000 millones de años desde el momento en que se engendró la vida. Aproximadamente, 500 millones de años antes de nuestros días, se inició el proceso de deposición de las notables arcillas azules del período cámbrico, que se encuentran en los alrededores de Leningrado. En el transcurso de la primera época, lo que constituye las tres cuartas partes de toda la historia geológica de la Tierra, las masas fundidas surgieron muchas veces a la superficie, procedentes de las profundidades, violando el reposo de la primera capa sólida de la Tierra, todavía delgada. Estas masas fundidas se esparcían por la superficie, impregnándola con su aliento y disoluciones calientes, arrugándola y elevándola en forma de cordilleras. En la actualidad, los geoquímicos y geólogos han señalado qué cordilleras son antiguas (por ejemplo, en Carelia, los Belomorides, en el Canadá, los granitos del Estado de Manitoba). La edad de estas cordilleras es casi de 1.900.000.000 años<sup>1</sup>, ya se han encontrado las rocas más antiguas, la edad de las cuales llega a 3.600.000.000 años.

Después comenzó la larga historia de desarrollo impetuoso del mundo orgánico. En el esquema de la página 74 vemos el período tan largo de tiempo que duró el proceso de sedimentación en las diferentes épocas geológicas.

Unos 500 millones de años antes de nuestra época, las cordilleras de Caledonia se alzaron en el norte de Europa; 200-300 millones de años atrás, se formaron las cordilleras de los Urales y de Tian-Shan. Durante 25-50 millones de años se efectuó la formación de los Alpes; se extinguieron los últimos paroxismos de los volcanes del Cáucaso, se llevaron las cimas montañosas del Himalaya.

Después, sigue el período prehistórico. Un millón de años marcan el comienzo de las épocas glaciales; 800 mil años, la aparición por primera vez del hombre; 25 mil años, el fin de la última época glacial; 10.000-8.000 años, el nacimiento de las culturas egipcia y babilónica; casi dos mil años, el principio de nuestra era. Transcurrirán todavía muchos años, antes de que los sabios lleguen a verificar la exactitud de las indicaciones de su admirable reloj. Pero el método ya existe, que es lo principal. Uno de los enigmas del tiempo ya está descifrado y no hay duda de que pronto llegará el día en que el geoquímico sabrá leer en cada muestra de roca o piedra su edad y determinar con precisión el número de años transcurridos, desde el momento de su formación.

¡Químico! Hemos dejado de creer en la inalterabilidad de tus átomos; todo se mueve, todo se transforma, todo se destruye y se crea de nuevo; unos mueren, otros nacen; así transcurre la historia de los procesos químicos del mundo a través de los tiempos. Pero, incluso la muerte del átomo, el hombre ha sabido convertirla en un arma para conocer el mundo y ha hecho de ella el patrón del tiempo.

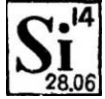
---

<sup>1</sup> Algunos autores norteamericanos estiman que la edad de los granitos de Manitoba es de 3.100 millones de años; sin embargo, los hombres de ciencia soviéticos consideran que estos datos son exagerados. (N. de la Red.)

## Capítulo X

### EL SILICIO, FUNDAMENTO DE LA CORTEZA TERRESTRE

#### Elemento silicio y mineral sílice



En una de las baladas del poeta ruso del siglo XVIII Zhukovski se cuenta cómo cierto extranjero, al arribar a Amsterdam, preguntaba a los transeúntes a quién pertenecían las tiendas, casas, embarcaciones y haciendas, y todas sus preguntas recibían la misma contestación: "Ik kann niet verstaan". "¡Qué hombre más rico!", pensaba el extranjero, envidiándole y sin adivinar que esto significaba en holandés, "no comprendo".

Esta historia me acude a la memoria siempre que se habla del cuarzo. Me muestran los objetos más diversos: una bola transparente, que brilla en los rayos del sol como agua fría de manantial, el bello y abigarrado dibujo del ágata, el vivo y rico juego de colores del ópalo, la arena pura en la orilla del mar, un filamento de cuarzo fundido fino como la seda o utensilios termoestables, elaborados de este material, pedazos amontonados de cristal de roca con sus lindas facetas, el fantástico jaspe de dibujo misterioso, un árbol petrificado convertido en sílice, la punta de flecha groseramente elaborada del hombre primitivo; y a cualquiera de mis preguntas se contesta: todo esto está constituido de cuarzo y minerales similares a él por su composición. Todo esto es una misma combinación química de los elementos silicio y oxígeno.

El silicio tiene el símbolo químico convencional *Si*. Es, después del oxígeno, el elemento más difundido en la naturaleza. No se encuentra jamás en estado libre, sino que siempre forma la combinación con el oxígeno:  $\text{SiO}_2$ , que se denomina sílice, ácido silícico o bien óxido de silicio.

Por la palabra "silicio" frecuentemente recordamos, antes que nada, la sílice o pedernal, que muchos conocen bien aún desde la infancia: piedra dura que da chispas al chocar con el acero, empleada por el hombre primitivo para obtener fuego y, más tarde, para encender la pólvora en los fusiles de pedernal. Sin embargo, el mineral sílice no es el silicio de los químicos, sino una, y no la más importante, de sus combinaciones. El silicio es un notable elemento químico, cuyos átomos se hallan ampliamente difundidos a nuestro alrededor, en la naturaleza y en la técnica.

#### Silicio y sílice

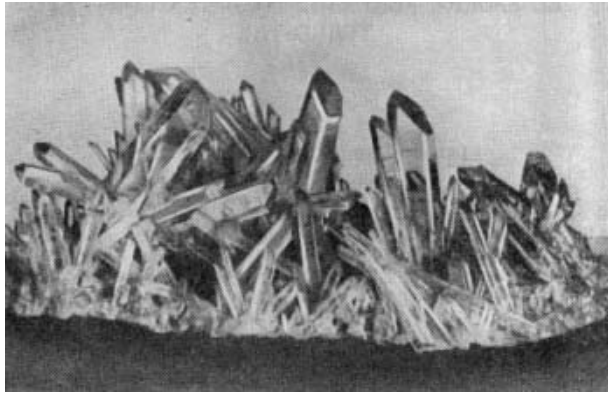


En el granito hay un 80% de sílice, o sea, un 40% del elemento silicio. Sus compuestos entran en la composición de la mayoría de las rocas duras. El pórfido del Mausoleo de Lenin en la Plaza Roja, los bellos granitos de la fachada del hotel "Moscú" y las refulgentes manchas azul-marino de labradorita en los fundamentos de las casas de la calle Dzerzhinski en Moscú, en una palabra, todas las rocas duras y consistentes de la tierra contienen más de un tercio de silicio.

El silicio es el componente principal de la arcilla común. De él se forma en lo fundamental la arena de las riberas fluviales, los asperones y las pizarras. Por esto, no es extraño que cerca del 30% del peso de toda nuestra corteza terrestre esté constituido por este elemento y que, hasta una profundidad de 16 kilómetros, cerca del 65% corresponde a su principal combinación con el oxígeno, que los químicos denominan sílice,  $\text{SiO}_2$ , y que nosotros llamamos más que nada cuarzo. Se conocen más de doscientas variedades de la sílice natural y más de cien denominaciones emplean los mineralogistas y geólogos al enumerar las distintas clases de este importantísimo mineral.

Nosotros hablamos del óxido de silicio cuando nombramos la sílice, el cuarzo y el cristal de roca; hablamos de él, extasiándonos ante la hermosura de la avioletada amatista, el ópalo abigarrado, la roja cornalina, el ónice negro o el calcedonio de color gris. A él se refieren las bellas modalidades

del jaspe, la piedra de afilar y la simple arena. Las denominaciones más diversas se dan a sus distintas variedades y, posiblemente, se necesita toda una ciencia para poder estudiar las numerosas combinaciones de este admirable elemento.



*Figura 10.1 Drusa de cristal de roca, la variedad más pura y transparente del cuarzo*

Pero en la naturaleza hay un número todavía mayor de combinaciones en las que nuestra sílice o ácido silícico se asocia con óxidos de otros metales. En este caso se obtienen miles de nuevas especies de minerales, denominados silicatos.

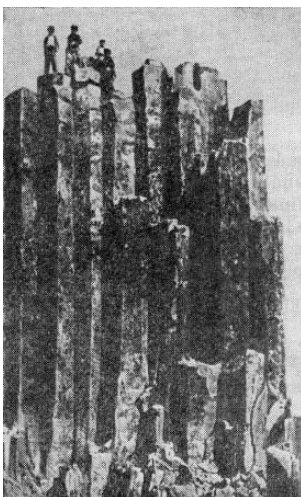
El hombre los emplea en la técnica y la construcción; sus principales variedades, la arcilla y el feldespato, se utilizan para obtener vidrio, porcelana y loza, fundiendo el cristal para ventanas y el cristal de roca para vasos, creando la fuerza magna de la técnica de la construcción: el hormigón, sólido como una coraza, uno de los materiales básicos para el asiento de nuevas autopistas, puentes y armazones de hormigón armado de las fábricas, teatros, casas, etc.



¿Qué puede compararse, en manos del hombre, por su solidez y variedad de propiedades con la sílice y sus combinaciones?

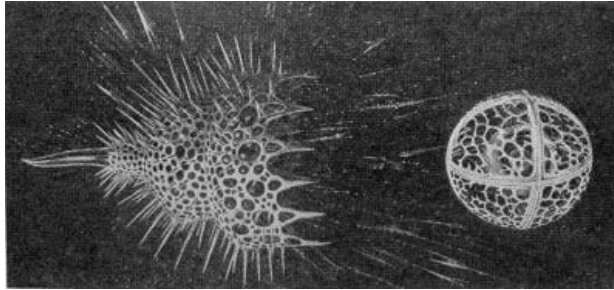
### **El silicio en los animales y las plantas**

Antes de que el ingenio del hombre aprendiese a utilizar el óxido de silicio en su técnica, la naturaleza ya lo empleaba ampliamente en la vida de las plantas y los animales.



*Figura 10.2 Columnas naturales de basalto (aislación de rocas volcánicas). Región de Bovno, RSS de Ucrania*

Allí donde hizo falta construir un tallo fuerte, una sólida paja de espiga, se concentraba un contenido elevado de sílice; y nosotros sabemos la gran cantidad que de él existe en la ceniza de la paja y, sobre todo, en los tallos consistentes de plantas como la "cola de caballo", que crecieron en las lejanas épocas geológicas de la formación del carbón de piedra, estirándose desde las depresiones pantanosas hasta alturas de decenas de metros, tal como hoy, abundantes de silicio, se elevan hacia el cielo los troncos de bambú en los jardines de Sujumi o Batumi.



*Figura 10.3 Radiolarios. De los orificios en su bello esqueleto silíceo sobresalen numerosos pseudópodos radiales de materia viva*

En estas plantas, la naturaleza supo coordinar la ley de estabilidad mecánica con la solidez del propio material.

Pero la firmeza del tallo tiene una enorme importancia práctica no sólo para las espigas de los cereales, para no dejar que el trigal se tumbe bajo los golpes del viento o la lluvia, sino también para otras suertes de plantas.

Cada día se transportan en avión flores y plantas decorativas; y para que estas flores no se ajen y sus tallos se mantengan firmes, es necesario abonar en abundancia el terreno en que crecen con sales fácilmente solubles de silicio. Las plantas asimilan la sílice con el agua y sus tallos adquieren dureza y solidez.

Y no sólo para los tallos de las plantas es precisa la firmeza del silicio y sus combinaciones. Las plantas más diminutas, las algas diatomeas, construyen su esqueleto de sílice. Sabemos ahora que en 1 centímetro cúbico de roca, formada a base de los caparazones de estas algas, hay cerca de 5.090.000 de estos pequeños organismos.

Pero son sobre todo admirables las construcciones en que los animales emplean la sílice para formar su esqueleto. En diferentes épocas del desarrollo de la vida, los animales resolvieron de modo distinto esta cuestión de la solidez. En unos casos defendían su cuerpo por fuera con conchas calcáreas, en otros construían estas conchas con fosfato de calcio, otras veces, en lugar de caparazón, el fundamento del animal lo formaba un esqueleto consistente, constituido por los más diversos y sólidos materiales. Eran éstos, bien fosfatos de calcio, análogos a las sustancias de que se forman nuestros huesos, o bien finas agujas de calado, de sulfatos de bario y estroncio; finalmente, algunos grupos de animales utilizaron el duro pedernal para construir con él su edificio. Así construyeron los radiolarios sus delicados y peculiares esqueletos de finas espículas silíceas.

Algunas esponjas también hacen sus partes duras con espículas silíceas.

De cientos de modos distintos se ingenia la naturaleza para emplear la sílice, creando con ella un apoyo fuerte para las células blandas y mutables.

### **¿Por qué las combinaciones del silicio son tan consistentes?**



Los hombres de ciencia intentaron los últimos años comprender ¿dónde radica el secreto de la asombrosa solidez que transmite el silicio a los esqueletos de animales y vegetales, a millares de rocas y minerales, a las más finas labores de la técnica y la industria?

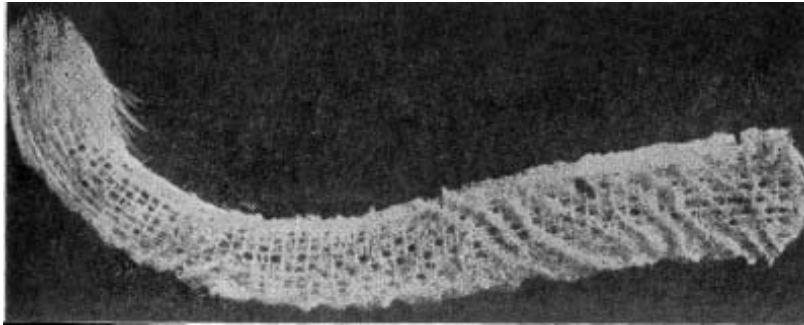


Figura 10.4 Esqueleto silíceo de una esponja "vítrea". Longitud, cerca de 50 cm

Cuando los ojos de los roentgenólogos penetraron en el fondo de estas combinaciones silíceas, se descubrieron cuadros admirables que aclararon la causa de su firmeza y el enigma de su estructura.

Resulta que el silicio se encuentra en ellas en forma de pequeñísimos átomos dotados de carga eléctrica, iones de ínfima magnitud, dos veces y media menores que una cienmillonésima de centímetro. Estas pequeñas bonitas cargadas eléctricamente se unen a otras análogas de mayores dimensiones, también cargadas, de oxígeno. Como resultado, alrededor de cada una de ellas se aprietan estrechamente cuatro bolitas de oxígeno, tocándose unas a otras, y se obtiene una figura geométrica determinada, que llamamos tetraedro.

Estos tetraedros se unen entre sí según leyes diversas y de ellos crecen edificaciones grandes y complicadas, muy difíciles de aplastar o doblar y en las que es muy difícil arrancar los átomos de oxígeno del átomo central de silicio.

La ciencia actual ha aclarado que son posibles miles de tales combinaciones entre tetraedros. A veces se intercalan entre ellos otras partículas cargadas; en algunos casos nuestros tetraedros se reúnen en forma de alineaciones y capas aisladas, constituyendo la arcilla y el talco; pero siempre y por doquier la base de su estructura es una asociación de tetraedros.

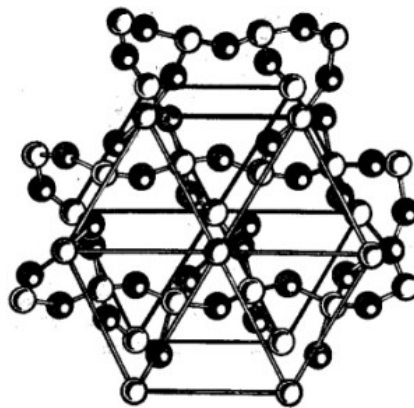


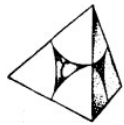
Figura 10.5 Distribución de los átomos de silicio (círculos blancos) y de oxígeno (círculos negros) en el cristal de cuarzo. Los átomos de oxígeno se unen siempre a dos átomos de silicio. Estructura de carcasa.

Y de manera análoga a como en la Química Orgánica el carbono y el hidrógeno forman cientos de miles de combinaciones, en la Química Inorgánica el silicio y el oxígeno originan miles de construcciones, cuya compleja estructura interna ha sido descubierta por los rayos Roentgen. La sílice no sólo es difícil de destruir, por medios mecánicos, no sólo es tan dura que no puede cortarse con un cuchillo de acero afilado; químicamente también es muy estable, ya que ningún ácido, a excepción del fluorhídrico, la ataca ni la disuelve, y sólo los álcalis fuertes la disuelven débilmente <sup>1</sup>, transformándola en nuevas combinaciones. Se funde con mucha dificultad y sólo a 1600 – 1700°C comienza a pasar al estado líquido.

De este modo, no es sorprendente que la sílice y sus numerosas combinaciones sean la base de la naturaleza inorgánica. En nuestro tiempo ha surgido toda una ciencia sobre la Química del silicio y todos los caminos de la Geología, Mineralogía, Técnica y Construcción se entrelazan a cada paso con la historia de este elemento.

### Historia del silicio en la corteza terrestre

Examinemos ahora, a base de algunos ejemplos aislados, el destino que cumple el silicio en la corteza terrestre. Junto con los metales, forma la base de los magmas fundidos en las zonas profundas de la corteza terrestre.



Cuando esta masa magmática fundida se enfría en las profundidades, forma rocas cristalinas: granito, gabro; o se derrama por la superficie en forma de torrentes de lava, en forma de basalto y otras rocas, originándose complejas combinaciones de sílice: los silicatos. Si existe un exceso de silicio aparece el cuarzo puro.

He aquí los pequeños cristales de cuarzo en los pórfidos graníticos o los espesos cristales de roca ahumados en las vetas pegmatíticas, las cuales constituyen los últimos restos de los procesos de fusión que tuvieron lugar en las entrañas de la Tierra. Cociendo con cuidado un trocito de "topacio ahumado" <sup>2</sup> o calentándole hasta 300-400', se obtiene "topacio dorado" que pasa al tallado para convertirse en alfileres de pecho y cuentas para collares.



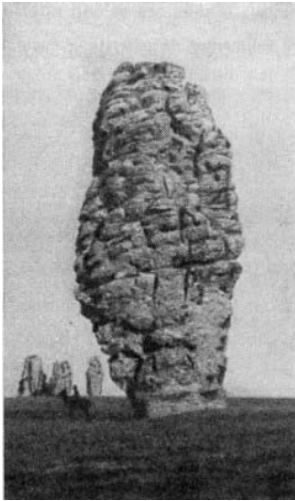
He aquí unas vetas repletas de cuarzo blanco. Sabemos que algunas de ellas se extienden centenares de kilómetros. Grandiosas vetas de cuarzo se elevan como faros en las laderas de los Urales. Hay allí, a lo largo de cientos de kilómetros, vetas con huecos llenos de cristal de roca transparente. Estas son aquellas variedades transparentes del cuarzo sobre las que escribió el filósofo griego Aristóteles, dándoles la denominación de "cristal" y atribuyendo el origen del cristal de roca al hielo petrificado. Este es el cristal de roca que ya en el siglo XVI I se extraía de los "sótanos" naturales de los Alpes suizos, su cantidad en determinados lugares alcanzó hasta 500 toneladas, es decir, 30 vagones, cargados de cristal de roca.

Algunos cristales poseen a veces proporciones grandiosas. En Madagascar fue hallado un trozo de cristal de roca de 8 metros de circunferencia. Los japoneses tallaron con cristal de roca de Birmania una esfera enorme, de más de un metro de diámetro, que pesaba cerca de tonelada y media.

Otra variedad de la sílice, absolutamente distinta por su aspecto exterior a aquella de que hace poco hablábamos, se separa de la lava derretida cuando los vapores calientes, saturados de sílice, depositan en ciertas vetas o huecos gaseosos masas enormes de nódulos y geodas silíceas. Y cuando comienza la destrucción de las rocas, convirtiéndose en masas arcillosas disgregadas, se separan de ellas enormes bolas de hasta 1 metro de diámetro.

En el Estado de Oregón, en los EE.UU., se les conoce con el nombre de "huevos gigantes". Se parten en pedazos y, después, se cortan en Placas delgadas que se emplean para la obtención, de

los magníficos ágatas laminares, materia prima para la fabricación de "rubíes" de reloj y de otros instrumentos de precisión, prismas de balanzas y morteros para los laboratorios químicos.



*Figura 10.6 Restos de filones de cuarzo conservados como las partes más consistentes de la corteza terrestre frente a la acción destructora del viento y otros agentes atmosféricos. Altura: 30 metros.*

A veces, aún después de terminar la actividad volcánica, debido a la existencia de masas eruptivas en estado de enfriamiento, la sílice emerge en surtidores termales a la superficie de la tierra. Tal es, por ejemplo, el origen de los sedimentos de "ópalo innoble" depositados por los géisers en Islandia y en el Parque Nacional de Yellowstone, en los EE.UU.

Observemos la arena, blanca como la nieve, de las costas del Báltico Y los mares del Norte, los millones de kilómetros cuadrados de desiertos arenosos del Asia Central y Kazajstán; la arena es precisamente la que determina la naturaleza de las costas marítimas y de los desiertos; polvo de cuarzo, bien recubierto con la patina rojiza de los óxidos de hierro, bien con predominio de sílex negro o blanco puro, lavado por las ondas marinas.



He aquí elegantes artículos de cristal de roca. El habilidoso artífice chino, con ayuda de distintos rascadores y polvos de esmeril, creó fantásticos objetos de cristal de cuarzo. ¿Cuántas decenas de años empleó en tallar un jarrito de cristal de roca, en hacer un monstruoso dragón o modelar un pequeño frasquito para el aceite de rosas?

He aquí una lámina de ágata, coloreada con tonos diversos. El hombre ingenioso aprendió a teñirla impregnándola con distintas soluciones, y del ágata gris y opalino obtiene láminas lisas y brillantes, vivamente coloreadas.

Ante nosotros un cuadro aún más admirable: antiguos bosques enteros de árboles petrificados en Arizona; pétreos troncos de pura sílice, de ágata, en las regiones occidentales de Ucrania y también entre los estratos de los depósitos sedimentarios de Perm en la vertiente occidental de los Urales meridionales.

He aquí la piedra tornasolada, centelleante, que recuerda el "fuego" del ojo de gato o de tigre. He aquí cristales enigmáticos en cuyo interior, "como una visión", parecen transparentarse otros cristales del propio cuarzo. Y las afiladas agujas rojo-amarillentas del mineral rutilo, que atraviesan interiormente en distintas direcciones los cristales de roca: las "flechas de amor". He aquí un fino fieltro dorado: "cabellos de Venus". Y una maravillosa piedra, hueca por dentro, casi del todo llena de agua: el agua tornasoles, reflejando todos los colores del arco iris, en el interior de la cáscara silícica.

He aquí un cuerpo tubular de estructura extraordinariamente sinuosa; esto es el resultado de la acción del rayo sobre la arena de cuarzo, figuritas derretidas, "flechas del cielo" o "flechas del

trueno", como les llama con frecuencia el pueblo. Y piedras procedentes del cielo, peculiares meteoritos, ricos en sílice, de vidrio verde o pardo, se encuentran en ciertos lugares del enorme cinturón que se extiende a través de Australia, Indochina y Filipinas.



*Figura 10.7 Los sedimentos de geiserita, ópalo "innoble", forman terrazas de toba silicea*

¡Cuántas controversias surgieron acerca de estas enigmáticas formaciones! Unos las consideraban como restos del vidrio fundido por el hombre antiguo; otros pensaban que eran partículas derretidas del polvo terrestre; otros las creían producto de la fundición de las arenas, cuando cayeron sobre ellas masas de hierro meteórico; pero la mayoría de los científicos opinan que son verdaderas partículas de otros mundos.



*Figura 10.8 Arena marina de diminutos granos cristalinos de cuarzo. La más pura va a la preparación de vidrio de cuarzo*

### **La sílice y el cuarzo en la historia de la civilización y la técnica**

He intentado en las páginas anteriores dibujar ante el lector la complicada historia del cuarzo, la sílice y sus combinaciones. Empezando por las masas fundidas hirvientes y acabando por la fría superficie de la Tierra, comenzando en las regiones cósmicas y acabando en la arena, en todas partes nos encontramos con el silicio y la sílice; en todas partes aparece el cuarzo, como uno de los minerales más notable y difundidos del mundo.

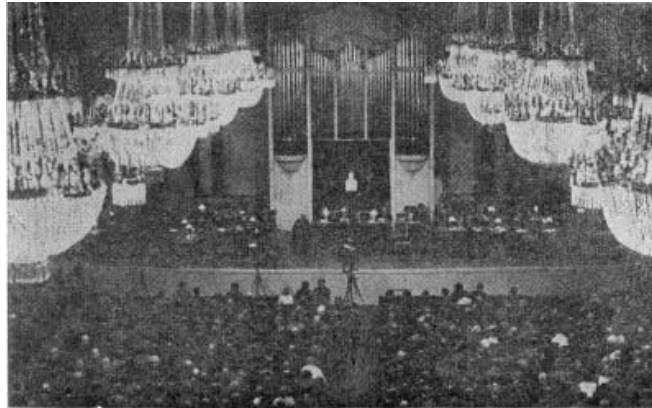
Podría dar fin con esto a la historia del cuarzo, si no fuera porque deseo relatarles, además, la enorme significación que tuvo el cuarzo en la historia de la civilización y la técnica. No en vano el hombre primitivo hizo sus primeras armas de pedernal o de jaspe. No en



vano los primeros adornos en las antiquísimas construcciones de Egipto, en las ruinas de la época de la civilización sumeria de Mesopotamia, fueron hechos precisamente de cuarzo.



No en balde, doce siglos antes de nuestra era, aprendieron en Oriente a fundir la arena con sosa y obtener vidrio. El cristal de roca encontró la más amplia aplicación entre los persas, árabes, indios y egipcios; y poseemos datos de que la elaboración del cuarzo existía ya hace cinco mil quinientos años. En el transcurso de muchos siglos los antiguos griegos consideraron el cristal de roca como hielo petrificado, convertido en piedra por la voluntad de fuerzas divinas.



*Figura 10.9 Arañas de cristal de roca en la Filarmónica de Leningrado*

Existen muchas historias fantásticas acerca de este mineral. En las leyendas bíblicas se le concedía un significado inmenso. En la construcción del célebre templo de Salomón, en Jerusalén, este mineral representó un papel enorme bajo denominaciones distintas: ágata, amatista, calcedonio, ónice, etc.

A mediados del siglo XV se creó la primera industria para la elaboración de esta piedra. Aprendieron a cortar, pulir, colorear y emplearla extensamente como adorno. Pero esto fueron intentos aislados, artesanos, que no poseían carácter masivo, hasta tanto que la nueva técnica no planteó exigencias más amplias. En la actualidad el cristal de roca se utiliza en gran escala en la industria y la radiotecnia, donde, con ayuda de las láminas de piezo-cuarzo, se captan las ondas ultrasonoras, transformándolas en vibraciones eléctricas. El cristal de roca se convirtió en una de las principales materias primas de nuestra industria.

Y en lugar de la flauta tallada de cristal de roca (Museo del Arte, en Viena) y el samovar transparente (La Armería, en Moscú), vinieron las pequeñas láminas de cuarzo para la radio, que facilitan el progreso de uno de los mayores descubrimientos de la humanidad: la transmisión de ondas electromagnéticas a grandes distancias.

Pero pronto el cuarzo, cristal de roca puro, va a ser hecho por los químicos. En grandes balones llenos de vidrio líquido, a altas temperaturas y bajo grandes presiones, crecerán aplicados sobre finos alambres de plata, cristales de cuarzo, puras y pequeñas láminas para la radio y, tal vez, para los cristales de nuestras ventanas y nuestra vajilla.

Y los vivificadores rayos ultravioletas del sol, que son retenidos por el cristal corriente, penetrarán en nuestra habitación.

Aparecerá vajilla de cuarzo fundido y se podrán sumergir, sin temor alguno, en agua fría las tazas de cuarzo caldeadas en el fogón. De finísimos hilos de cuarzo, tan delgados que es necesario juntar quinientos para obtener el grosor de una cerilla, serán hilados delicadísimos tejidos, y la

sílice será, no sólo el material constitutivo del esqueleto de los diminutos radiolarios, sino que también la empleará el hombre para sus vestidos; ella "vestirá" al hombre con sus agujas y sus hilos...



*Figura 10.10 ¡Todo está hecho de cristal de cuarzo!*

El cristal de roca se ha convertido en el fundamento de la nueva técnica; no sólo lo utiliza el geoquímico como termómetro para determinar las temperaturas de los procesos terráqueos<sup>3</sup>; no sólo el físico establece con ayuda del cuarzo la longitud de las ondas electromagnéticas; el cuarzo abre nuevas y seductoras perspectivas a diversas ramas de la industria. Y pronto penetrará en todos los menesteres de nuestra vida.



Cuanto más tenazmente dominen los químicos y los físicos los átomos de silicio, tanto más pronto escribirán en la historia de la Ciencia y la Técnica, así como en la historia de la Tierra misma, una de las páginas más admirables. A esto ya se ha dado comienzo. Los científicos han creado polímeros semiorgánicos (siliconas), en los que el silicio ha venido a sustituir al carbono en los compuestos orgánicos, los cuales resisten con facilidad las altas temperaturas. Estos compuestos se utilizan en los lubricantes para motores rápidos y en calidad de materiales aislantes. En las naves cósmicas y en los cohetes dirigidos a otros planetas se han instalado pilas solares fabricadas de silicio superpuro.

<sup>1</sup> La sílice se funde fácilmente mezclándola con sosa. En este proceso el anhídrido carbónico de la sosa se desprende con gran intensidad y se forma una bola transparente de silicato sódico, soluble en agua. Por esto lo denominamos "cristal soluble".

<sup>2</sup> Este nombre no es exacto, pues el "topacio ahumado" es simplemente cuarzo,  $\text{SiO}_2$  y no verdadero topacio, cuya composición es más compleja; en ella entran silicio, aluminio, flúor y oxígeno,  $\text{Al}_2\text{F}_2(\text{SiO}_4)$

<sup>3</sup> Si el cristal de roca se cristaliza a temperatura superior a  $573^\circ\text{C}$ , se obtienen cristales de aspecto peculiar, en forma de pirámides hexagonales. Si la cristalización se verifica a temperaturas inferiores a  $573^\circ\text{C}$ , sus cristales son distintos, tienen forma alargada longitudinalmente, a manera de prisma hexagonal.

**Capítulo XI****EL CARBONO, BASE DE TODO LO VIVO**

¿Quién no conoce el precioso diamante reluciendo con todos los colores del arco iris, el grafito gris negruzco o, finalmente, un trozo negro de carbón? Todo esto son sólo formas distintas con que se encuentra en la naturaleza un mismo elemento químico, el carbono.

La cantidad relativa de carbono existente en la Tierra no es muy elevada: constituye el uno por ciento del peso de la corteza terrestre. Sin embargo, el papel que desempeña en la Química de la Tierra es enorme: sin él, no es posible la vida.

En total, la corteza terrestre contiene 4.584.200.000 millones de toneladas de carbono. He aquí, cómo está distribuido el carbono en las diversas partes de la corteza terrestre:

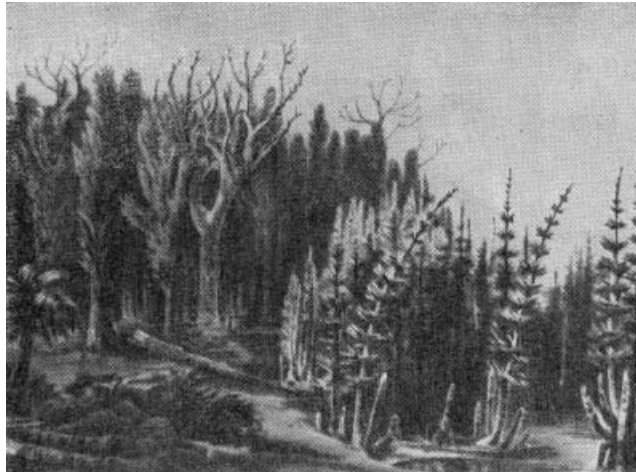
	Millones de toneladas
En la substancia viva	700 000
En el terreno	400 000
En la turba	1 200 000
En los lignitos	2 100 000
En la hulla	3 200 000
En la antracita	600 000
En las rocas de sedimentación	4 576 000 000

A esto hay que añadir 2.200.000 millones de toneladas en la atmósfera y 184.000.000 millones de toneladas en el agua de los océanos.

Veamos la historia del carbono, elemento del que está constituida la materia viva, a cuyo estudio está consagrada toda una rama de la Química. ¡Cuánto hay de enigmático y confuso en las "peregrinaciones" que experimenta este elemento en la corteza terrestre!

En las primeras etapas de su existencia, asequibles a nuestro estudio, nos encontramos con este elemento en los magmas fundidos. Bien en forma de láminas o aglomeraciones esféricas de grafito, bien en forma de cristales de valioso diamante, entra en la composición de diferentes rocas, estancadas en las profundidades de la Tierra y en las vetas de masas derretidas. Pero la parte principal de ese elemento escapa de los macizos ígneos solidificados, ya como hidrocarburos y carburos volátiles, que ascienden por las vetas formando concentraciones de grafito (por ejemplo, en la isla de Ceilán), ya uniéndose al oxígeno en forma de gas carbónico que tiende a elevarse hacia la superficie.

Sabemos que en las zonas profundas, el omnipotente ácido silícico no da posibilidad a este gas de formar sales. En efecto, no se conoce ni un solo mineral importante de origen eruptivo que contenga anhídrido carbónico. En cambio, estas mismas rocas lo retienen mecánicamente en sus huecos internos, tal como se retenían las soluciones de sales de cloro, y en estas oclusiones de gas se acumula una cantidad de anhídrido carbónico 5 ó 6 veces mayor que la que interviene en la composición de la atmósfera.



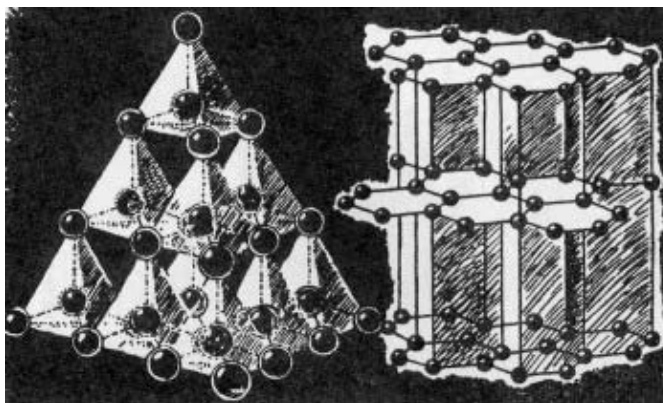
*Figura 11.1 Vegetación del período carbonífero, originaria de la hulla*

En las regiones de los volcanes, tanto en actividad, como extinguidos ya hace mucho tiempo, incluso en el período terciario, este gas escapa, violentamente a la atmósfera, ora reuniéndose en forma de chorros gaseosos junto con otras combinaciones volátiles, ora mezclado con el agua, formando las aguas minerales carbónicas.

El hombre utiliza estas aguas para fines medicinales y construye, junto a sus yacimientos, sanatorios y balnearios, como, por ejemplo, en el Cáucaso. El grado de sobresaturación de anhídrido carbónico es tan intenso, que surgen a la superficie numerosas burbujas, dando la impresión de que hierve el agua.

En los Urales, no hay semejantes manantiales de aguas termales carbónicas. La Geoquímica explica la composición diferente de las aguas del Cáucaso y de los Urales, por el hecho de que los Urales se formaron muchísimo antes que las montañas del Cáucaso y, por tanto, en ellos, durante el período orogénico, las rocas subterráneas y las aguas ligadas a éstas no se habían enfriado totalmente.

En el Cáucaso, a profundidades considerables bajo las montañas, todavía se conserva el foco de calor. Las rocas con contenido de anhídrido carbónico (cretas y calizas), situadas junto a este foco se descomponen parcialmente por la acción del calor y desprenden el anhídrido carbónico. Este gas, junto con el agua mineral, asciende por las fisuras del terreno.



*Figura 11.2 Cristales de diamante y grafito*



El diamante y el grafito constan de átomos de carbono, pero dichos átomos se distribuyen en estos minerales de modo distinto. En el diamante (dibujo izquierdo), cada átomo está rodeado de cuatro átomos de carbono equidistantes (en forma de tetraedro). En el grafito, los átomos están dispuestos por capas, el enlace de los átomos entre las capas que los contienen es débil.

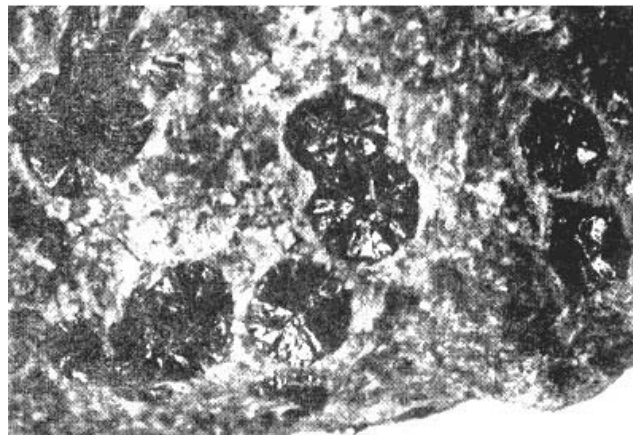
Se conocen casos en los que las corrientes subterráneas de anhídrido carbónico son muy potentes y emergen a tan alta presión que en la superficie, junto a los orificios de salida, se forman, debido a su rápida evaporación, niebla y "nieve" carbónicas. Este anhídrido carbónico sólido, procedente de los surtidores naturales, se emplea a veces para fines técnicos, como hielo seco.

Hubo períodos en la historia de la corteza terrestre, cuando se intensificaba la actividad volcánica, durante las cuales eran arrojadas a la atmósfera cantidades colosales de anhídrido carbónico; hubo también momentos cuando se desarrollaba majestuosamente la vegetación tropical y de nuevo se restituía el carbono en escalas grandiosas a su estado nativo. Ante esos procesos de la tierra, palidece la función del hombre en su actividad industrial y fabril.



Cantidades enormes de anhídrido carbónico son expulsadas por los volcanes activos, por ejemplo, el Vesubio, el Etna, el Katmai en Alaska y otros. La masa fundamental de los gases despedidos por los volcanes está formada por anhídrido carbónico.

El anhídrido carbónico, como factor potente de las transformaciones químicas, comienza su acción destructiva en la superficie terrestre; aquí, al contrario que en las profundidades, es él y no el ácido silícico, el que se mantiene en posición dominante: él destruye las rocas eruptivas, extrae los metales, se combina con el calcio y el magnesio, se acumula en forma de calizas y dolomitas. Sus sales se concentran en cantidades colosales en las aguas de los depósitos acuáticos, de él construyen los organismos sus conchas y los corales sus potentes colonias.



*Figura 11.3 Cristales estrellados de grafito, incrustados en una roca eruptiva. Montes del Ilmén, Urales Meridionales*

Es difícil apreciar en su debido grado la importancia de estas lentas transformaciones del carbono en la superficie terrestre, puesto que influyen no sólo en el régimen climatológico de la misma, sino que condicionan los cambios verificados en el desarrollo de todo el mundo orgánico.

Imagínense, por un momento, qué aspecto tendría la Tierra sin el carbono. Ello significaría que no habría hojas verdes, ni árboles, ni hierba. Tampoco existirían los animales. Sólo peñas desnudas de rocas diversas sobresaldrían entre las arenas sin vida y los desiertos silenciosos. No existirían ni mármol, ni caliza, que tanto embellecen con su color blanco nuestros paisajes. No

habría ni carbón, ni petróleo. Sin el anhídrido carbónico, el clima de la tierra sería más severo y frío, puesto que su presencia en la atmósfera favorece la absorción de la energía luminosa del sol. Las aguas tampoco tendrían vida.

Las propiedades químicas del carbono son muy particulares. Es el único elemento capaz de originar, en número ilimitado, combinaciones diversas con el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y otros elementos químicos. Muchas de estas combinaciones carbonadas u orgánicas, a su vez, forman sustancias variadísimas: proteínas, grasas, hidratos de carbono, vitaminas y otros compuestos que intervienen en la composición de los tejidos y células de los organismos vivos. Su propia denominación, "combinaciones orgánicas", indica que el primer conocimiento que tuvo de ellas el hombre, fue al extraerlas de los tejidos de las plantas y de los animales, por ejemplo, el azúcar, almidón... Después, aprendió a preparar por vía artificial muchos otros compuestos.

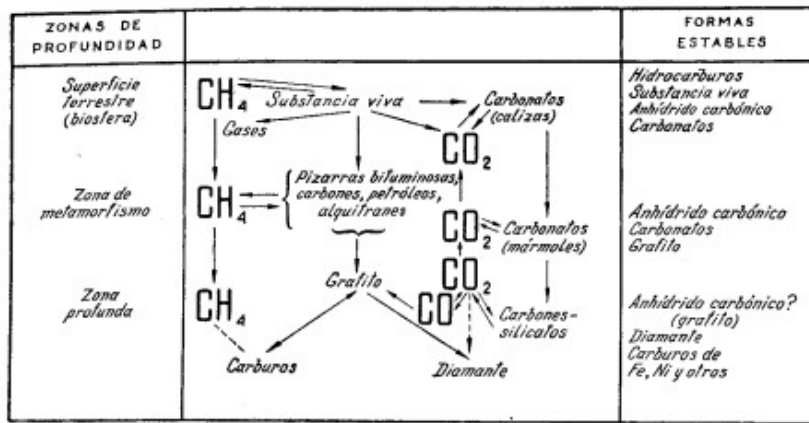


Figura 11.4 Ciclo geoquímico del carbono

Actualmente la Química Orgánica, ciencia que se ocupa del carbono y sus compuestos, su síntesis y análisis, calcula que el número de combinaciones orgánicas es superior a un millón. Comparándolas con las sustancias inorgánicas veremos que el número de estas últimas, preparadas en los laboratorios, excede de decenas de miles, y las de origen natural, los minerales, son menos de tres mil.

La cantidad de compuestos orgánicos conocidos es tan grande, que, actualmente, nos vemos obligados a emplear denominaciones cada vez más largas y complejas para designarlos. Por ejemplo, la denominación completa del conocido medicamento atebriña es:

*metoxiclorodietilaminometilbutilaminoacridina.*

Debido a esta propiedad del carbono de formar numerosísimas combinaciones, surgió toda la riqueza y variedad de tipos de plantas y animales, cuyo número alcanza, como mínimo, varios millones.

Pero esto no quiere decir que el carbono sea la masa fundamental que constituye los organismos vivos o, como se dice en Geoquímica, la sustancia viva. En ellos hay un 10% de carbono; la cantidad de agua, es mucho mayor, el 80%; lo restante está constituido por otros elementos químicos.

En virtud de la facultad que poseen los organismos de nutrirse, desarrollarse y multiplicarse, durante el proceso de la vida, pasan enormes masas de carbono a través de la sustancia viva. Ustedes habrán visto muchas veces cómo en la superficie de los estanques, al llegar la primavera, comienza a crecer una película verde de algas y otras plantas acuáticas; cómo



estas algas durante el verano alcanzan su máximo desarrollo, y cómo en otoño adquieren color pardusco y van cayendo al fondo del estanque, formando un sedimento cenagoso, rico en materias orgánicas. De estos sedimentos, como veremos más adelante, se originan los carbones y limos vegetales o "sapropelas", de los que puede obtenerse bencina sintética.

Los animales, al respirar, exhalan mucho anhídrido carbónico.



En las personas, por ejemplo, la superficie de todas las vesículas respiratorias es de unos 50 metros cuadrados y cada 24 horas, el hombre exhala, por término medio, 1,3 kilogramos de anhídrido carbónico.

Así pues toda la humanidad envía anualmente a la atmósfera terrestre cerca de mil millones de toneladas de dicho gas.

Finalmente, una reserva todavía mayor de anhídrido carbónico se encuentra bajo la tierra en estado de combinación, en forma de calizas, creta, mármol y otros minerales, acumulados en capas potentes de cientos e, incluso, de miles de metros de espesor. Si toda esta cantidad de anhídrido carbónico, que contienen en forma de carbonato calcio y magnesio, pudieran devolverla a la atmósfera, la proporción de dicho gas en el aire sería 25 mil veces mayor.

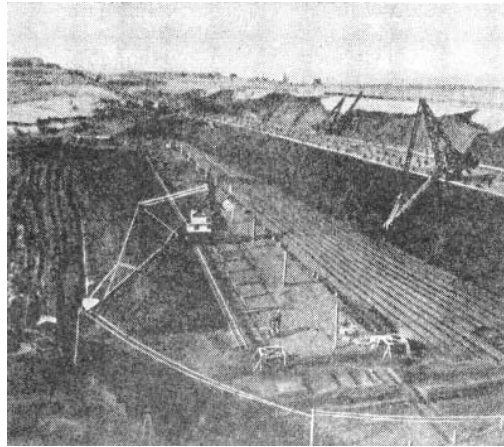
El anhídrido carbónico existente en la atmósfera, se disuelve parcialmente en el agua de los océanos, Del agua y del aire es absorbido por los organismos vegetales. A medida que disminuye su cantidad en el agua del océano, nuevas porciones procedentes del aire vienen a remplazarlo. El océano, en toda su extensa superficie, actúa a modo de bomba grandiosa, aspirando y reteniendo el anhídrido carbónico.

En el cielo de transformación de la sustancia viva, la incorporación primaria de anhídrido carbónico, la efectúan las plantas. Precisamente, las hojas de las plantas verdes, cuando disponen de suficiente luz, toman el anhídrido carbónico y lo convierten en compuestos orgánicos complejos. Este proceso se llama fotosíntesis y se verifica bajo la influencia de la luz y de la sustancia verde de las plantas, la clorofila. La importancia capital de los procesos fotosintéticos en la naturaleza fue señalada por primera vez por el genial sabio ruso Klíment Arkádievich Timiriázev, quien estudió ulteriormente estos procesos con todo detalle. A través de las plantas pasan anualmente grandes cantidades del anhídrido carbónico existente en la atmósfera. Pero esta disminución de su proporción en la atmósfera es equilibrada por el anhídrido carbónico desprendido por los depósitos acuáticos y los organismos vivos.

Como resultado de la fotosíntesis se forman masas enormes de sustancia orgánica: los tejidos de las plantas. Las plantas sirven de alimento a los animales, asegurando su existencia y desarrollo. Si a esto se añade que el petróleo y carbón se forman a base de los organismos muertos, se comprenderá perfectamente la importancia que para la Geoquímica tiene el proceso de absorción del anhídrido carbónico por las plantas. No existe reacción alguna más importante, por su efecto geoquímico, que la fotosíntesis de las plantas.

Como ya dijimos, el ciclo de transformación del carbono no termina con la formación de compuestos orgánicos, a partir del anhídrido carbónico en las plantas, y después en los animales. Los organismos mueren. Sus cuerpos y tejidos se acumulan en grandes cantidades en el fondo de los estanques, lagos, mares y depósitos de turba. Estos restos de organismos sufren la acción del agua y diversos procesos de fermentación y putrefacción. Las bacterias cambian radicalmente la composición de los tejidos de los organismos. Sólo se conserva invariable la celulosa, la lignina de las plantas.





*Figura 11.5 Explotación a cielo abierto de un yacimiento de lignito*

Los restos orgánicos van cubriéndose de espesa capa de arena y arcilla.

Después, bajo la influencia del calor, presión y complicados procesos químicos, se va formando lentamente la hulla o el petróleo, según sea la naturaleza de estos restos y las condiciones de conservación.

El carbono orgánico sólido, originado durante el proceso de descomposición de las plantas, se encuentra en la naturaleza en tres formas: antracita, hulla y lignito.

La antracita es la más rica en carbono. Su estructura, vista al microscopio, confirma la naturaleza y el origen vegetal de la hulla y de los lignitos. Estos carbones son de estructura estratiforme y en ciertos lugares de las capas pueden descubrirse, incluso a simple vista, las huellas de hojas, esporas y semillas. Cada trocito de carbón constituye una parte del carbono que en su tiempo, en forma de anhídrido carbónico, fue absorbido por las células vivas de la planta con el concurso de la energía solar y de la clorofila.

"Rayo solar capturado", así llaman a la hulla. En efecto, en cada trocito pequeño se conserva el rayo solar capturado por la planta, convertido primero en tejido vegetal complejo y, después, transformado gradualmente durante el lento proceso de descomposición. El calor que desprende al quemarse se utiliza en las calderas de las fábricas y barcos marítimos, su energía pone en movimiento máquinas colosales. La producción de las minas de carbón determina el desarrollo gigante de la industria actual.

Si en la formación del carbón intervinieron principalmente las células de los tejidos vegetales, una sustancia orgánica líquida, como el petróleo, se formó de otros organismos elementales y de sus esporas; por consiguiente, este líquido combustible, de más valor todavía que el carbón, es también una especie de "rayo solar capturado". Los barcos veloces actuales, la aviación, el transporte, marchan basado en petróleo destilado en forma de kerosene o bencina. A partir de ciertas clases de hulla se aprendió a obtener artificialmente bencina, pero los carbones adecuados para este fin no son muy abundantes, el rendimiento en productos líquidos es pequeño y la calidad de la bencina artificial obtenida es inferior a la de origen natural. Para extraer el petróleo, el hombre perfora pozos de gran profundidad (a veces alcanza más de cuatro kilómetros), sacando de las entrañas de la tierra este líquido precioso.



Estos pozos funcionan varios años. Para las operaciones de perforación, se dispone en la superficie de la tierra una instalación complicada, una torre de 37 a 43 metros de altura. El bosque de torres perforadoras de las explotaciones petrolíferas, observado desde lejos, tiene aspecto muy impresionante. Explotaciones petrolíferas hay en el Cáucaso, en las vertientes

occidentales de los Urales (Bashkiria), en el Asia Central y en Sajalín. También existen yacimientos importantes de petróleo en Irán, Irak y otros países del globo terráqueo.

De este modo, el carbono surge de nuevo a la superficie de la tierra.

Los hombres no sólo queman el petróleo y el gas natural, que le acompaña. El desarrollo impetuoso de la Química dio lugar a su amplia utilización para la obtención de la valiosa materia prima necesaria para elaborar el caprón, el nilón, los diferentes plásticos, resinas y muchos otros productos que en nuestros días le hacen falta al hombre.

Con objeto de obtener calor, el hombre lo transforma todo de nuevo en anhídrido carbónico y agua.

Así luchan entre sí los agentes de diverso género y distinta significación, bien oxidando el carbono, bien transformándolo en su estado nativo.

Pero, como ya dijimos, en la naturaleza existen además del carbón otras dos variedades interesantes del carbono puro: el diamante y el grafito. ¡Cuán distinto es el diamante precioso con resplandor de fuego del simple grafito gris, con el cual escribimos! La diferencia de las propiedades de los cuerpos, la interpretamos siempre por la diferencia de su composición. Sin



embargo, en el caso dado las diferentes propiedades se explican por la distinta distribución de los átomos en los cristales.

En el cristal de diamante, los átomos están muy próximos uno al otro, de forma compacta. A esto se debe su elevado peso específico, gran dureza (que supera la de todos los demás minerales), así como un índice de refracción extraordinariamente

alto.

El diamante puede formarse de las masas rocosas en estado fundido, sólo a base de grandes presiones, que alcancen 30 y, quizás hasta 60 mil atmósferas.

Tales presiones existen únicamente en profundidades de 60 a 100 kilómetros de la superficie terrestre. Por tanto, es raro que las rocas consolidadas a semejante profundidad puedan surgir a la superficie, lo que explica por qué el diamante se halla a nuestro alcance con tanta escasez.

Debido a su dureza e irisado, se valora altamente como piedra preciosa de primera calidad. El diamante tallado y pulido se llama brillante.

Desde tiempos remotos son célebres los diamantes de India, extraídos en diversos placeres de este país. Después, fueron descubiertos placeres diamantíferos en Brasil (1727), en Africa (1867) y en la Unión Soviética. En la actualidad, la mayor parte de diamantes se extrae de los yacimientos africanos, descubiertos en el valle del río Vaal, afluente de la orilla derecha del río Orange.

Primero se extraían de los yacimientos arcillosos de origen fluvial, pero pronto se descubrió que se encuentran diamantes también en la arcilla azul existente en las colinas de pendiente suave a lo lejos de los ríos. Se comenzó la explotación y tratamiento de esta arcilla, se inició, "la fiebre de diamante". Terrenos de arcilla azul de área de 3×3 metros se vendían a precios fabulosos; se cavaban fosos de enorme profundidad. En los fosos, la gente hormigueaba buscando y extrayendo las rocas, se tendían cables para el transporte de la arcilla preciosa por ferrocarril aéreo.



*Figura 11.6 Bosque de torres perforadoras en las explotaciones petrolíferas de Bakú*

Sin embargo, la arcilla ya a profundidades no muy grandes desapareció y, en su lugar, aparecieron las duras rocas verdes de kimberlita. También contenían diamantes, pero su extracción se dificultó extraordinariamente y los pequeños propietarios se vieron obligados a renunciar a esta empresa que exigía tanto dinero y trabajo. Después de cierto período de inactividad, una sociedad accionista con gran capital empezó de nuevo los trabajos de extracción, pero empleando ya la técnica minera.

La masa rocosa diamantífera se prolonga en la tierra a profundidades inaccesibles. De ella están llenos los canales formados durante las explosiones volcánicas.

Se conocen quince embudos formados por explosiones eruptivas. El mayor de ellos tiene 350 metros de diámetro, los restantes de 30 a 100 metros.

En la kimberlita, los diamantes están incrustados en forma de granitos muy pequeños con peso inferior a 100 miligramos (o sea, medio quilate). Pero, a veces, se han encontrado también piedras de gran tamaño. Durante mucho tiempo, el diamante Excélsior de 972 quilates o 194 gramos se consideraba como el más grande. En 1906 se descubrió otro todavía más grande, denominado Cullinan, de 3.025 quilates o 605 gramos. Las piedras de más de 10 quilates son poco abundantes y se valoran a alto precio. Los brillantes más notables pesan de 40 a 200 quilates. Los diamantes corrientes diminutos, se estipulan igualmente a precios elevados, puesto que tienen aplicación en la industria como material abrasivo en las herramientas de taladrar y en las fresas para perforación de rocas. Las piedras bastante grandes se emplean en los tornos de estirado, destinados a la fabricación de filamentos de wolframio para lámparas eléctricas.

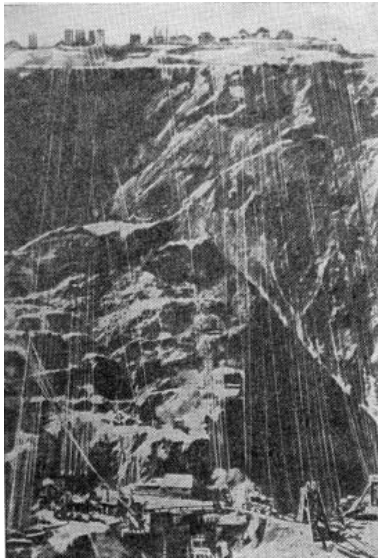
La industria soviética ha asimilado durante los últimos años la fabricación de diamantes artificiales, los cuales encuentran un amplio campo de aplicación industrial.

El grafito es también carbono, pero, ¡qué distinto por sus propiedades del diamante!

Sus átomos están algo separados unos de otros y dispuestos en un plano. Es un mineral blando, con brillo metálico, opaco, se divide fácilmente en hojas sueltas y deja huellas en el papel al frotarlo. Se combina con dificultad con el oxígeno y puede resistir temperatura muy elevadas y emplearse como material termoestable.

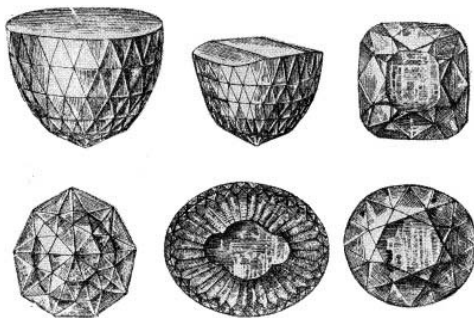
Existen dos explicaciones acerca de su origen. Se formó, bien debido a la descomposición del anhídrido carbónico, desprendido de los magmas al originarse las rocas eruptivas, bien al modificarse el carbón de piedra. Un yacimiento notable, correspondiente al primer tipo, se encuentra en Siberia. En la sienita nefelínica, roca ígnea de origen volcánico, se hallan lentes grafito muy puro. En la cuenca del Yenisei yacen estratos enormes de grafito que se formó de la hulla y contiene abundantes cenizas.

El grafito lo empleamos cada día cuando escribimos con lápiz. Para la fabricación de lápices, se mezcla el grafito con arcilla purificada; de la proporción de ambos componentes depende la dureza del lápiz: para los lápices duros se toma poca arcilla, para los blandos, mayor cantidad.



*Figura 11.7 Trabajos al aire libre en los fosos diamantíferos situados en los alrededores de Kimberley (año 1880). Se ven numerosos cables para elevar el mineral perteneciente a los propietarios de pequeños sectores.*

Después, se prensa la masa, se le da forma de barritas y se pegan a la madera. Pero en la industria de lápices se utiliza sólo el 5% del grafito que se produce. La masa principal se gasta en la construcción de crisoles refractarios para la fabricación de aceros especiales de alta calidad, en los electrodos para hornos eléctricos, en la lubricación de piezas sometidas a fricción en los mecanismos pesados (por ejemplo, trenes de laminado). Pulverizado, el grafito se emplea para espolvorear las cajas de arcilla utilizables en el moldeado de piezas metálicas de máquinas diversas.



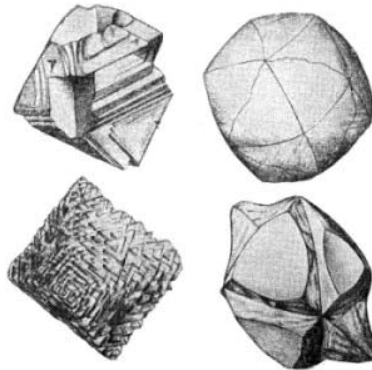
*Figura 11.8 Los brillantes de mayor tamaño del mundo; (fila superior) "Gran mogol", antes de ser tallado pesaba 780 quilates; "Orlov", peso 194 quilates; "Regente", 137 quilates; (fila inferior) "Florentino", 140 quilates; tallado antiguo y nuevo de brillante "Koinor" (186-106 quilates)*

El grafito se utiliza también en las centrales atómicas de electricidad como moderador de los neutrones.

Nos queda solamente recordar la suerte del anhídrido carbónico, que se conservó en los estratos de la tierra en forma de caliza, creta y mármol. Ante todo, ¿cómo se formaron estos minerales? Esta pregunta es fácil de contestar. Basta con examinar al microscopio una pequeña cantidad de creta en polvo. Veremos un mundo entero de organismos fósiles de tamaño microscópico: multitud de circulitos, palitos y cristalitos, formando a menudo dibujos finos y bonitos. Son los restos de los esqueletos calizos de organismos microscópicos, los



rizópodos. Algunas especies se encuentran todavía en los mares templados. En la composición de los esqueletos de los rizópodos entra el carbonato cálcico.



*Figura 11.9 Formas originales de diamantes naturales, dibujados por Fersman en 1911*

Al morir estos organismos, las masas de esqueletos formaron la roca. Pero no sólo organismos inferiores microscópicos toman parte en la formación de las rocas, intervienen también los esqueletos de otros muchos animales y plantas marítimas que contienen carbonato cálcico. Sus esqueletos también se descubren en las calizas.

Los hombres de ciencia, al identificar los restos de los organismos, determinan la antigüedad de las calizas.



Investigaciones geoquímicas modernas permiten establecer las leyes que definen la relación existente entre el carbón y el petróleo y la cantidad total de calizas en todo el globo terrestre.

Por consiguiente, de modo aproximado, puede determinarse, por la abundancia de rocas calizas, la cantidad de carbón y petróleo formada en cada época geológica. La importancia de tales conclusiones geoquímicas es grandísima, incluso si los cálculos prácticos resultan algo inexactos.

Muchas calizas antiquísimas, sometidas a altas presiones, se convierten en mármoles, desapareciendo en ellas todo indicio de vida orgánica. El anhídrido carbónico, acumulado en su masa durante millones de años, queda paralizado y no toma parte en el ciclo de transformación del carbono. Sólo en el caso de que surjan, en algún lugar próximo, procesos orogénicos y volcánicos, pueden, bajo la influencia del calor, liberar el anhídrido carbónico y comenzar un nuevo ciclo.

De este modo, en el ciclo eterno de procesos químicos que se verifican en la Tierra, la propia naturaleza mantiene el equilibrio.

El impetuoso desarrollo de la Química ha dado lugar al empleo en gran escala de los gases naturales, uno de cuyos compuestos más importantes es el carbono. El gas natural no es solamente un combustible para cocina, sino también una materia prima muy preciada para la industria química, de la cual se obtiene caprón, nilón, diversos plásticos y otros muchos productos.

Investigando la cantidad de carbono radiactivo que contienen los distintos restos fosilizados, los arqueólogos pueden calcular con gran precisión la edad que tienen aquellos.



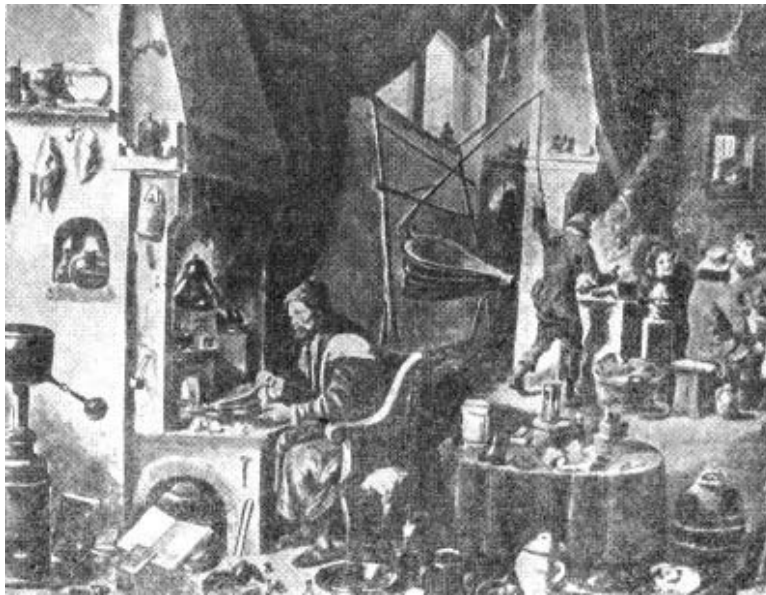


**Capítulo XII****EL FOSFORO, ELEMENTO DE LA VIDA Y DEL PENSAMIENTO**

Con objeto de comprender mejor la historia de este admirable elemento de la naturaleza, voy a citarles dos relatos. Uno se refiere a los tiempos lejanos de fines del siglo XVII, el otro a nuestros días. Luego, trataré de hacer deducciones y describir la historia legendaria del fósforo, sin el cual no puede existir ni la vida ni la facultad de pensar.

\* \* \* \*

Un sótano oscuro, iluminado débilmente por una ventana con reja dispuesta en la parte alta. Un horno con braseros y fuelle grande de herrería, voluminosas retortas, densas humaredas que se extienden por la habitación... En las paredes, inscripciones diversas, sentencias árabes, pentágramas, cálculos astronómicos, un cuadro del cielo estrellado y los astros celestes. Por las mesas, en el suelo, infolios antiguos con encuadernaciones gruesas de piel, llenos de signos enigmáticos. En el suelo, repartidos por la habitación, se ven grandes copas para triturar sales, montones de arena, huesos humanos, recipientes con agua "viva", gotas relucientes de mercurio sobre la mesa, vasos finos de Cristal, retortas, disoluciones amarillas, pardas, rojas y verdes.



*Figura 12.1 Alquimista de la Edad Media en su laboratorio*

En el centro de este laboratorio antiquísimo, se alza la figura de un alquimista de pelo canoso, encerrado en sus cavilaciones y aislado por muchos años del mundo exterior. Busca la forma de transformar el mercurio en oro, de utilizar la fuerza misteriosa de la combustión para obtener un metal a partir de otro.

De mil modos diferentes disuelve polvos y huesos humanos, evapora orina de diversos animales y personas, busca la piedra filosofar que convierte los viejos en jóvenes, que le ayude a obtener el oro valioso a partir de metales simples.

En este ambiente misterioso y complejo, resolvían sus problemas los alquimistas del siglo XVII. Sin embargo, sus intentos de obtener el oro del mercurio o de extraer de los huesos la piedra filosofar, fueron infructuosos. Pasaban los años, los experimentos no tenían éxito. Cada vez era mayor el misterio con que los alquimistas cercaban sus laboratorios, ocultando recetas y libros enormes con sus anotaciones.

Pero en 1669, un alquimista, que trabajaba en Hamburgo, tuvo más suerte. Tratando de encontrar la piedra preciosa, tomó orina fresca, la evaporó hasta secarla y calcinó el residuo negro obtenido. Al principio lo calentó con cuidado, luego con más intensidad y en la parte superior del tubo comenzó a depositarse una substancia blanca de aspecto céreo que, con gran sorpresa para el alquimista, emitía luz.

Hennig Brand, así se llamaba este alquimista, durante largo tiempo mantuvo en secreto su descubrimiento. Los intentos de otros alquimistas de penetrar en su laboratorio fueron inútiles. Gentes poderosas venían a Hamburgo con el propósito de comprar este secreto. El descubrimiento produjo una impresión fantástica, los cerebros más eminentes del siglo XVII se interesaron por él, pensando que había sido descubierta la piedra filosofar. La piedra obtenida emitía a la temperatura ordinaria una iluminación suave; se le llamó "fuego frío" y a la propia substancia "fósforo" (que en griego significa "portador de luz").

Roberto Boyle, uno de los químicos ingleses más notables, y Leibniz, filósofo del siglo XVII, se interesaron enormemente por el descubrimiento de Brand. Poco tiempo después, un discípulo y ayudante de Boyle, consiguió en Londres tan admirables resultados que llegó, incluso, a escribir un anuncio en el periódico:

*"Gankviz, químico, reside en Londres, calle tal, prepara diversas clases de medicamentos. Además, pone en conocimiento de todo aquel que le interese, que únicamente él, en la capital de Inglaterra, puede preparar fósforo de distintas clases a tres libras esterlinas la onza".*

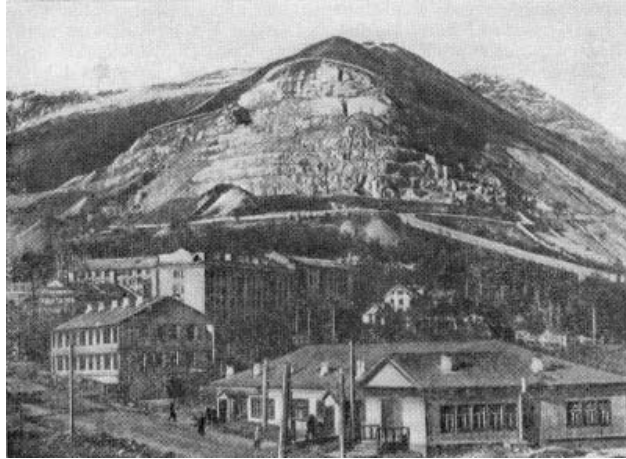
No obstante, hasta 1737, la obtención del fósforo continuó siendo un secreto de los alquimistas. Todos sus intentos de utilizar este elemento maravilloso fueron infructuosos. Convencidos de que habían descubierto la piedra filosofar, trataban de transformar, con ayuda del fósforo blanco luminiscente, los metales corrientes en oro. Pero sus intentos siempre fracasaban. La piedra filosofar no revelaba las propiedades enigmáticas que se le atribuía y lo único que recibían los investigadores era algún que otro susto debido a las explosiones que acontecían de vez en cuando durante sus experimentos. El fósforo continuaba siendo una substancia misteriosa y no se le encontraba aplicación adecuada. Hubo necesidad de que transcurrieran cerca de dos siglos hasta que el químico Liebig, en su modesto laboratorio, descubrió un secreto más, la importancia del fósforo y del ácido fosfórico en la vida de las plantas. Se puso en claro que los compuestos de fósforo constituyen la base de la vida en los campos de cultivo; y en este laboratorio fue expuesta por primera vez la idea de que para elevar el rendimiento de las cosechas es preciso diseminar por los campos los compuestos de "fuego frío".



Liebig

Conocemos la desconfianza con que fueron acogidas estas palabras de Liebig. Su propósito de introducir en la agricultura el fertilizante de salitre no tuvo éxito y la carga de sales traída en barco desde América del Sur fue arrojada al mar en vista de que nadie deseaba comprarla. Durante mucho tiempo se consideró como fantasía inadmisibles la posibilidad de emplear las sales de "fuego frío" para elevar la cosecha de centeno y trigo, para incrementar el desarrollo de los tallos de la apreciada planta fibrosa, el lino. Nuevamente debían

transcurrir años de trabajo científico perseverante, antes de que el fósforo se convirtiera en uno de los elementos químicos más importantes en la agricultura.



*Figura 12.2 Vista general de un yacimiento de apatito (1940)*

El segundo relato se refiere al año 1939. En la parte septentrional de la URSS, en las vertientes cubiertas de nieve de las cordilleras montañosas, se efectúa la extracción en gran escala de una piedra de color verde claro, el apatito, mineral de gran utilidad y valor. Su producción anual es enorme, compite con la de fosforita que se extrae en las costas del mar Mediterráneo, en África o en Florida. El apatito se envía a grandes fábricas para su concentración, donde se tritura el mineral, se separa la mena de la ganga y demás componentes inútiles, y se obtiene un polvo blanco, limpio y blando que se disgrega con facilidad, muy parecido a la harina. Luego, el producto concentrado se carga en vagones y decenas de trenes lo transportan desde las regiones transpolares a las fábricas de Leningrado, Moscú, Odesa, Vinnitsa, Donbás, Perm y Kúibishev para tratarlo con ácido sulfúrico y convertirlo en una nueva substancia, el fosfato soluble, polvo blanco utilizable como fertilizante. Millones de toneladas de estos compuestos de fósforo son diseminados por máquinas agrícolas especiales en los campos de cultivo, duplicando la cosecha de lino, aumentando la proporción de sacarosa en la remolacha azucarera, multiplicando el número de cápsulas en la planta de algodón, elevando la fecundidad de los cultivos de huerta.



Los insignificantes átomos de fósforo esparcidos por el terreno van a parar al trigo, verduras, a numerosos productos que empleamos para nuestra alimentación. Los cálculos muestran que en cada pedazo de pan de 100 gramos de peso que nos comemos, hay hasta  $1 \times 10^{22}$  átomos de fósforo, o sea, una cifra colosal difícil de expresar en el lenguaje ordinario.

Hemos hablado de un yacimiento importante de sales fosfóricas, de apatito, en las montañas de Jibini. Pero, aun teniendo en cuenta la grandiosidad de la producción de las minas de la península de Kola, ellas por sí solas no están en condiciones de abastecer de fósforo todos los campos del inmenso país, puesto que surge el problema del transporte. La cantidad de vagones de concentrado de apatito que llegan a Siberia, Kazajstán y Asia Central no es suficiente. En ayuda del apatito polar vienen los yacimientos recién explorados. La fosforita se produce intensamente en muchos lugares de la parte europea de la Unión Soviética. Yacimientos no menos importantes de este mineral se conocen actualmente en Siberia y Asia Central. En diversas regiones continúa la búsqueda y exploración de nuevos yacimientos. Los depósitos naturales existentes de fosforita

permiten obtener decenas de millones de toneladas de fertilizantes fosfóricos, que aportan su fuerza vivificante a los campos del país, saturando con sus átomos creadores de vida los granos de las espigas y los tallos de las plantas.

Hemos descrito dos episodios de la historia del fósforo: su descubrimiento y su utilización actual. Más de diez millones de toneladas de abonos fosfóricos se producen anualmente en todo el mundo; de ellas dos millones de toneladas de fósforo se diseminan por los campos de cultivo. El fósforo no sólo se emplea como fertilizante. La importancia de esta sustancia va creciendo de año en año. En la actualidad, se utiliza este "fuego frío", como mínimo, en 120 ramas de la industria.

Antes de todo, el fósforo es la sustancia básica de la vida y del pensamiento. El contenido de fósforo en los huesos determina el crecimiento y desarrollo normal de las células de la médula ósea y, en resumidas cuentas, es el que implica solidez a los organismos vivos. El contenido elevado de fósforo en la sustancia medular demuestra el papel importantísimo que desempeña para el trabajo funcional del cerebro. La falta de alimentación fosfórica conduce al debilitamiento de todo el organismo. No en vano existe gran número de medicamentos y preparados farmacéuticos a partir de fósforo, destinados a restablecer a los enfermos débiles o convalecientes.



El fósforo le necesitan, no sólo el hombre, sino también las plantas y animales en grandes cantidades. Hemos aprendido a abonar con fertilizantes fosfóricos, no sólo la tierra, sino también el mar. En las bahías cerradas y en los golfos, la fertilización del agua del mar con fósforo, acrecienta considerablemente la multiplicación y crecimiento de algas diminutas y otros organismos microscópicos, lo que conduce a una reproducción intensa de los peces. En los últimos tiempos, el fósforo ha adquirido suma importancia en la preparación de diversos productos alimenticios, especialmente, para las aguas minerales. Aguas minerales de alta calidad se obtienen con ayuda del ácido fosfórico. Con sales de los ácidos fosfóricos, sobre todo las de manganeso y hierro, se fabrican excelentes materiales de recubrimiento, dotados de gran estabilidad. Los mejores artículos de acero inoxidable se obtienen recubriéndolos con sales fosfóricas. Las superficies de los aviones pueden hacerse inoxidables empleando revestimientos fosfóricos. El "fuego frío" del fósforo en otros tiempos ha creado una de las ramas más importantes de la industria, la fabricación de cerillas. Nuestros jóvenes lectores no conocen las cerillas de fósforo que se usaban antes de ser inventadas las cerillas actuales. Recuerdo todavía, de los años de mi niñez, las cerillas con cabeza roja basado en fósforo que se encendían frotándolas en cualquier objeto. Sobre todo nos gustaba mucho encenderlas raspándolas en la suela de los zapatos. Sin embargo, las cualidades peligrosas del fósforo obligaron a orientar otro tipo de cerillas como las que usamos actualmente.



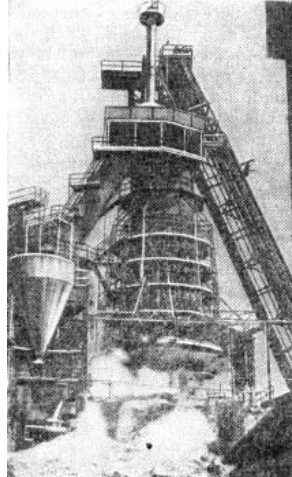


Figura 12.3 Alto horno para la sublimación del fósforo

La aplicación del fósforo en las cerillas sugirió la idea de aplicar esta sustancia, no para el fuego frío, sino para la niebla fría. Al arder el fósforo se forma en la atmósfera ácido fosfórico que tiene la propiedad de mantenerse prolongadamente en el aire en forma de niebla. La técnica de guerra aprovecha esta propiedad del ácido fosfórico para producir cortinas fumígenas. Las bombas incendiarias contienen considerable cantidad de fósforo. Las bombas de fósforo, propagadoras de niebla blanca fría, son uno de los medios ofensivos y de destrucción empleados en la guerra moderna. No vamos a hablar de las formas químicas complejas por las cuales pasa el fósforo en la naturaleza, desde las profundas masas fundidas, pasando por las finas agujas de apatito y terminando por los filtros vivientes, por los microorganismos, que se apoderan del fósforo de las disoluciones débiles del agua del mar.

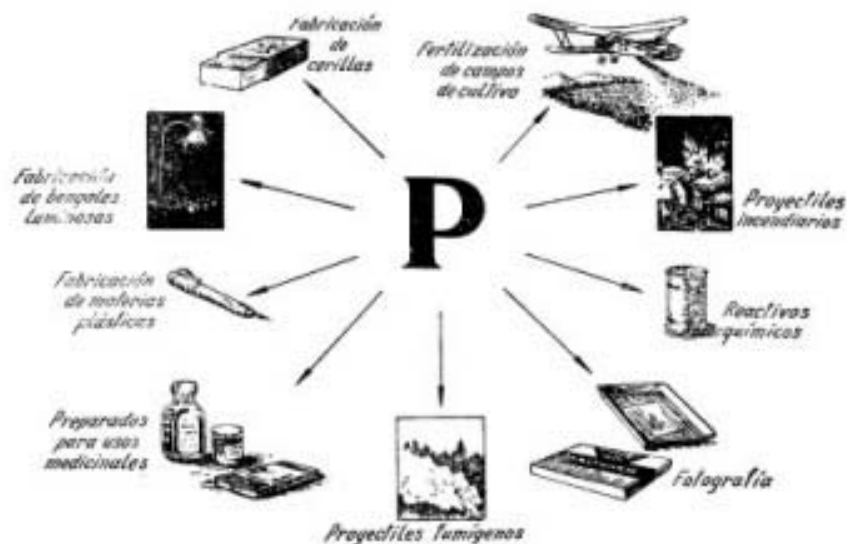


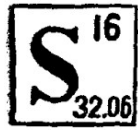
Figura 12.4 Aplicaciones del fósforo en diversas industrias

La historia de la migración del fósforo en la corteza terrestre tiene extraordinario interés. El destino del fósforo está íntimamente ligado a los procesos complejos de la vida y la muerte. El

fósforo se acumula donde muere la vida orgánica y donde tiene lugar la muerte en masa de animales, en los puntos de enlace de las corrientes marítimas, donde se forman los cementerios submarinos. El fósforo se concentra en la tierra de dos formas: bien en los yacimientos profundos de apatito, procedentes de los magmas fundidos calientes, bien en los restos de las partes óseas de los animales. El ciclo de transformación que experimenta el fósforo en la naturaleza es complicadísimo. Eslabones aislados de su "peregrinación" han sido descubiertos por los químicos, geoquímicos y técnicos. Su pasado se pierde en las entrañas de la Tierra. Su futuro está en la industria mundial, en las complicadas formas de progreso técnico.

**Capítulo XIII****EL AZUFRE, PROPULSOR DE LA INDUSTRIA QUIMICA**

El azufre es uno de los primeros elementos químicos conocidos por el hombre. Encontrándose en numerosos lugares de las costas del mar Mediterráneo, no pudo dejar de llamar la atención de los pueblos antiguos: griegos y romanos. Las erupciones volcánicas arrastraban consigo, invariablemente, enormes cantidades de azufre; y el olor del gas sulfuroso y el ácido sulfhídrico se consideraban síntomas de la actividad del dios subterráneo Vulcano. Los limpios y transparentes cristales de azufre en los grandes yacimientos de Sicilia fueron ya advertidos muchos siglos antes de nuestra era. De manera especial llamó la atención la capacidad que tiene esta piedra de desprender gases tóxicos. Precisamente esta propiedad singular fue la causa de que el azufre se considerase en aquel tiempo uno de los elementos fundamentales del mundo.



Por esto no es sorprendente que el azufre jugase un papel tan excepcional en las ideas de los antiguos naturalistas y especialmente de los alquimistas, en la descripción de los procesos de actividad volcánica o de formación de cordilleras y vetas rocosas.

El azufre, como creían los alquimistas, poseía al mismo tiempo la propiedad enigmática de producir nuevas sustancias al arder, por lo cual se le consideraba como el componente que faltaba para la piedra filosofal, que tan infructuosamente trataban de hallar para poder obtener oro artificial.

La noción del extraordinario papel que desempeña el azufre en la naturaleza fue expuesta maravillosamente en el célebre tratado del sabio ruso Lomonósov Sobre las capas terrestres, del año 1763. Citamos algunos fragmentos:



*"Juzgando cuán abundante es el fuego subterráneo, enseguida se orienta el pensamiento al conocimiento de la materia que aquél contiene. . ."*

*"¿Qué hay mejor para arder que el azufre? ¿Qué hay más insuperable para mantener y alimentar el fuego?" ... "¿Qué materia combustible sale en mayor abundancia de las entrañas de la Tierra?"*

*"Pues no sólo del incansable erupcionar de las fogosas mandíbulas de las montañas, y en los ardientes surtidores que hierven en la tierra, y del seco respirar subterráneo, se recoge gran cantidad; no hay ni una roca, no hay casi ninguna piedra que, por el roce de unas con otras, no desprenda olor a azufre y no declare con ello su presencia... Gran cantidad de azufre al arder en el seno de la Tierra y extender el aire pesado por los abismos, aprieta la tierra de encima, la levanta y, por lados distintos, con distintas cantidades de movimiento, produce diversos tipos de sacudidas y rompe antes que nada en aquellos lugares donde encuentra menor resistencia, dispara al aire las partes ligeras de la superficie terrestre destruida que, al caer, ocupan los terrenos próximos, otros, debido a su grandor, vencen a las llamas con su peso y derrumbándose, crean las montañas. Hemos visto, oyentes, enorme cantidad de fuego en las entrañas de la Tierra, y la abundancia de azufre necesaria para su alimentación, suficiente para sacudir la tierra y producir transformaciones grandiosas catastróficas pero útiles también; aterradoras, pero portadoras de goce".*

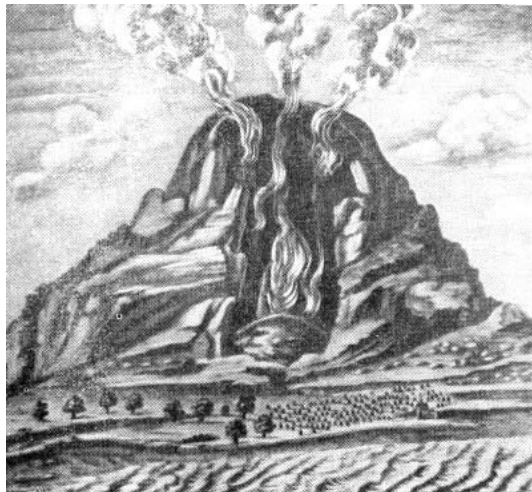
En efecto, las profundidades del seno terrestre contienen una cantidad considerable de azufre y al enfriarse desprenden numerosas combinaciones volátiles de diversos metales unidos al azufre, arsénico, cloro, bromo y yodo.

Sobre este particular podemos juzgar, no sólo por el olor específico de las emanaciones de los volcanes, las sofocantes solfataras del sur de Italia, o las nubes de gas sulfuroso de las erupciones de Kamchatka, el azufre es arrastrado también en forma de disolución, acumulándose en las fisuras y formando vetas rocosas.



*Figura 13.1 Fundición del azufre en la Edad Media*

Junto con el arsénico y el antimonio, sus amigos y compañeros de viaje en estos fluidos calientes y volátiles, forma aquellos minerales de los que el hombre, desde los tiempos más remotos, extrae zinc, plomo, plata y oro.



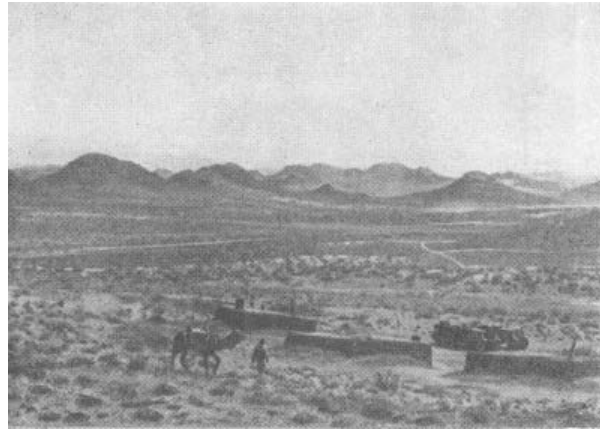
*Figura 13.2 Grabado antiguo. El Vesubio*

Pero en la superficie terrestre, estas rocas oscuras, opacas, lustrosas, polimetálicas y diversos géneros de minerales brillantes y piritas, sufren la acción del oxígeno del aire y del agua. Estos últimos actúan sobre los compuestos azufrados y forman nuevas combinaciones; el azufre, al oxidarse, se convierte en gas sulfuroso. Conocemos este gas por el olor de las cerillas de azufre. Cuando reacciona con el agua da ácido sulfúrico y ácido sulfuroso.

De manera análoga, el azufre y sus productos se desprenden durante el proceso de oxidación de las piritas, destruyen las rocas circundantes y, uniéndose a elementos más estables, dan origen al yeso y otros minerales. Hay que decir que el ácido sulfúrico que se forma en los yacimientos de piritas y, también, en los lugares donde se extrae el azufre nativo, posee propiedades destructivas. Recordemos las minas de Mednogorsk en los Urales del sur, donde la cantidad de ácido sulfúrico desprendido durante la oxidación de las piritas es tan grande que no queda posibilidad alguna de

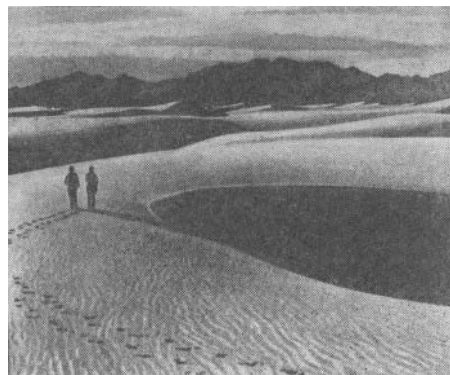


protegerse contra su acción tóxica y la ropa de los trabajadores ocupados en estas minas, se deteriora con extrema rapidez, debido a los efectos corrosivos de dicho ácido.



*Figura 13.3 Cúmulos azufrados en Kara-Kumi. RSS de Turkmenia*

Trabajando en las arenas del Kara-Kumi (RSS de Turkmenia), nosotros no conocíamos esta propiedad de los yacimientos sulfurosos. Y cuando nuestros ejemplares de minerales de azufre, cuidadosamente envueltos en papel, llegaron a Leningrado, resultó que el papel estaba completamente corroído, de las etiquetas quedaban sólo algunos fragmentes, y en ciertos sitios se estropearon incluso hasta los cajones. Al culpable de estas desgracias, el ácido sulfúrico natural, hubo que clasificarlo como un nuevo mineral líquido independiente.



*Figura 13.4 Dunas de polvo de yeso*

El mineral de Kara-Kumi se distingue por estar compuesto de una mezcla de arena y azufre. Para separar el azufre puro, el ingeniero químico soviético P. Vólkov propuso un procedimiento original. En una caldera, que funciona a gran presión, se coloca el mineral desmenuzado, se echa agua, se cierra la caldera herméticamente y se hace pasar una corriente intensa de vapor (suministrado por una caldera generadora de vapor), a una presión de 5 a 6 atmósferas. La temperatura en la autoclave se eleva hasta 130-140°, el azufre se derrite y se acumula en la parte inferior de la caldera, en tanto que la arena y la arcilla, agitadas por el vapor, ascienden a la superficie. Al cabo de un cierto tiempo se abre un grifo, y el azufre se desliza, en chorro tranquilo, por un canalón especial y es recogido en depósitos convenientes. Todo el proceso de fundición dura cerca de dos horas. De esta forma tan



sencilla resolvieron los ingenieros soviéticos el problema de la purificación del azufre de Kara-Kumi.

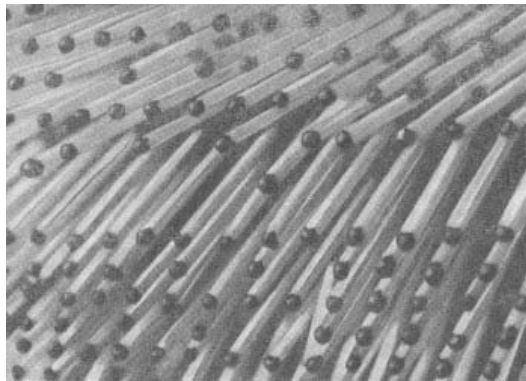
El azufre no se mantiene mucho tiempo en su estado nativo inicial; pronto se une con diversos metales, originando en las regiones volcánicas conglomerados de alunita, en forma de manchas blancas o trozos divergentes alrededor de los volcanes activos.

Algunos astrónomos opinan que es precisamente la alunita la que determina las aureolas y rayos blancos que rodean los cráteres de los montes de la Luna.



*Figura 13.5 La explosión de la pólvora*

Una gran cantidad de azufre oxidado se halla en combinación con el calcio. Esta combinación es bastante difícil de disolver en el laboratorio, pero en cambio es una combinación muy activa en la tierra. Esta combinación, que denominamos yeso, se deposita abundantemente, formando gruesas capas en los lagos salinos y cuencas marinas durante su evaporación.



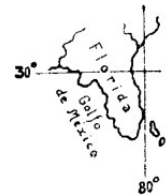
*Figura 13.6 En una fábrica de cerillas. Las cerillas antes de ser empaquetadas*

Pero con lo dicho no se acaba la historia del azufre en la superficie terrestre. Parte del ácido



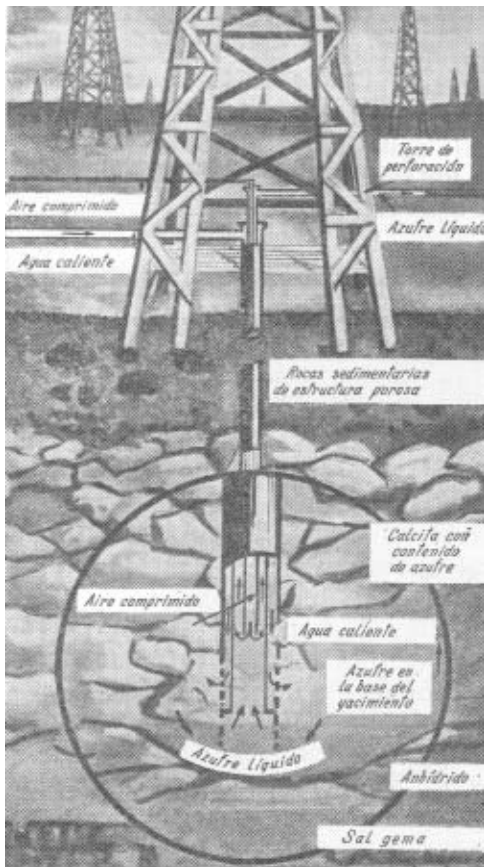
sulfúrico se transforma de nuevo en gas; toda una serie de microorganismos reducen el azufre; de las soluciones de sus sales se forma ácido sulfhídrico y gases volátiles que, en cantidades grandiosas, llevan consigo las aguas petrolíferas, saturando con estos gases el aire en los bajos pantanosos y en muchos estuarios y lagos,

creando una negra masa legamosa, que se denomina barro curativo y es extensamente utilizado para fines medicinales en Crimea y el Cáucaso.



Enorme cantidad de azufre se volatiliza, pasando al aire en forma de ácido sulfhídrico, volviendo de nuevo al estado activo. Así se verifica uno de los ciclos de la compleja circulación de este elemento en la historia geológica de la Tierra.

Pero el hombre ha cambiado de manera brusca las formas de migración y transformación del azufre en la Tierra, pues este elemento resultó ser un objeto valiosísimo para la industria. En estado puro su producción mundial alcanza sólo un millón de toneladas al año. En combinación con el hierro, de donde se obtiene azufre para los ácidos, se producen al año decenas de millones de toneladas.



*Figura 13.6 Instalación para la extracción del azufre de los pozos profundos de perforación. El vapor de agua sobrecalentado y el aire comprimido se inyectan por tubos dobles concéntricos a las calizas que contienen azufre, y este último se funde. El azufre líquido se eleva por el espacio anular que queda entre los tubos y se derrama en la superficie, donde se endurece al enfriarse, formando enormes monolitos rectangulares*

El azufre se ha convertido en la base de la industria química, es incluso difícil enumerar las ramas de la técnica industrial para las que es imprescindible. Nombraré sólo las más importantes de ellas, y con estos ejemplos será suficiente para ver que sin azufre no puede existir la industria. El azufre es necesario para la obtención de papel, celuloide, pinturas, la mayoría de los medicamentos, cerillas; para el refinado de la bencina, éter y aceites; para la preparación de abonos fosfatados, vitriolos, alumbres, sosa, vidrio, bromo, yodo... Sin él es difícil obtener ácido nítrico, clorhídrico y acético. Y es claro que en la historia del progreso industrial, desde principios del siglo XIX, el azufre juega un papel inmenso. En forma de ácido sulfúrico es necesario para la obtención de dinamita, y su utilización en la pólvora negra, lo hizo absolutamente imprescindible para las armas de fuego.

Por esto la lucha por el azufre pasa a través de toda la historia del siglo XVIII. Durante largo tiempo, el único abastecedor de azufre fue Sicilia. La isla se hallaba en manos de la monarquía italiana y en muchas ocasiones, desde principios del siglo XVIII, las fragatas inglesas

bombardearon las costas sicilianas, tratando de adueñarse de esta riqueza. Pero después los suecos descubrieron el procedimiento de obtener azufre y ácido sulfúrico de la piritita. Los enormes yacimientos españoles de pirititas fueron objeto de la atención de todos los estados europeos y, entonces, las fragatas inglesas se presentaron ante las costas de España, para conquistar estas fuentes de azufre y ácido sulfúrico. Los yacimientos sicilianos fueron abandonados y toda la atención se concentró en España.

Pero he aquí, que en América se descubre el primer yacimiento, riquísimo, de azufre en la península de Florida.

En el afán de aumentar la productividad con objeto de obtener mayores ganancias, fue aplicado aquí un método extractivo, a primera vista inverosímil. Consistía en inyectar en las profundidades vapor de agua sobrecalentado, el cual, debido a la baja temperatura de fusión del azufre (119'), le fundía bajo tierra, empujándole en estado líquido hacia la superficie.

Se consiguió construir la primera instalación para la extracción, por medio de bombas aspirantes, del azufre derretido, que se derramaba sobre el suelo formando enormes montículos al enfriarse.

Este método es muy productivo, y con su ayuda comenzaron a obtener en Norteamérica cantidades enormes de azufre. Los yacimientos españoles e italianos pasaron a segundo plano. De nuevo una idea brillante surgió en el país de las rocas sulfurosas, en la Suecia polar. En una de las fábricas comenzaron a obtener el azufre paralelamente con el proceso de tratamiento de los minerales de piritita.

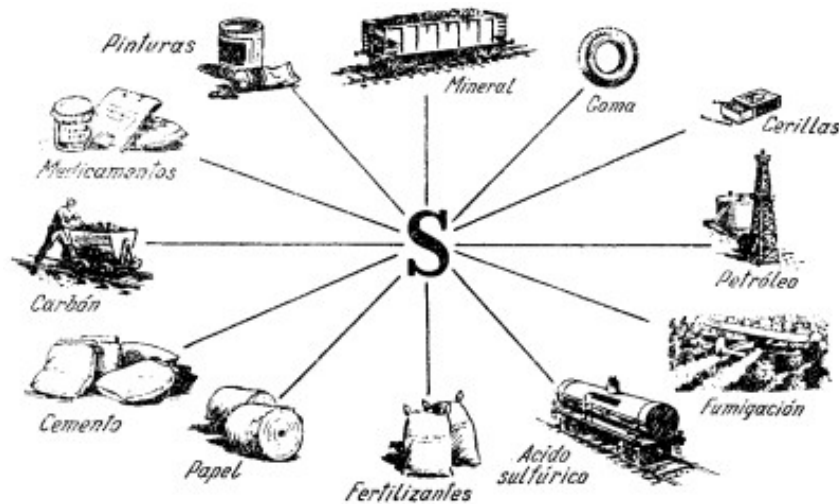
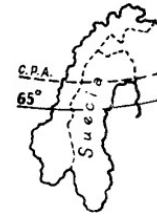


Figura 13.8 Aplicaciones del azufre en distintas ramas de la producción

Otra vez la fuente productora resultó ser el sulfuro metálico y nuevamente el ácido sulfúrico cambió su destino, reconstruyéndolo en una nueva dirección.

Hablo de todo esto para que se comprenda con qué complejidad varía a veces el empleo de las sustancias en la industria, en dependencia del desarrollo y aciertos de las ideas técnicas creadoras. Estos nuevos métodos penetraron en la historia de la ciencia, transformaron de manera radical la técnica de extracción del azufre y rompieron con una serie de relaciones en la producción. No en vano,



en una revista italiana se decía que los métodos nuevos "mataron" a la población de Sicilia, obligándola a mantener una vida semihambrienta: cultivar naranjas en sus pobres plantaciones y apacentar cabras en los pastizales montañosos abrasados por el sol.

## Capítulo XIV EL CALCIO, SIMBOLO DE FIRMEZA

En cierta ocasión, deteniéndome de paso en Novorosiisk, se me dirigió un grupo de ingenieros y peritos de las enormes fábricas de cemento existentes cerca de la ciudad, con la petición de que diese en su club una conferencia sobre las margas y calizas que son el material primordial para la fabricación del cemento.



Hube de contestarles que no conocía en absoluto ese tema. Sabía perfectamente que la base de la cal y el cemento la constituyen distintos géneros de piedras calizas, y el valor que tienen la cal y el cemento de buena calidad; les hablé del trabajo que costó obtener estos dos productos tan necesarios para las edificaciones en el Norte.



*Figura 14.1 Vista general de una fábrica de cemento*

La cal común solían encargarla de los yacimientos situados en las alturas de Valdái, a mil quinientos kilómetros de los nuevos centros en construcción; el cemento salía de Novorosiisk y navegaba, siguiendo una ruta circular, a través de los mares Negro, Egeo y Mediterráneo, y los océanos Atlántico y Artico. Les hablé de cómo comprendía por esto la exclusiva importancia de la cal para la vida y la construcción, pero yo nunca me había dedicado al estudio de las calizas y no conocía nada acerca de ellas.

- Entonces, hablemos del calcio - dijo uno de los ingenieros, remarcando que la base de todas las calizas es el metal calcio, cuéntenos, qué representa este metal desde el punto de vista geoquímico, cuáles son sus propiedades, cuál es su destino, dónde y cómo se concentra y por qué él precisamente transmite su belleza a los mármoles y tan maravillosas propiedades técnicas a las calizas y las margas cementosas.

Les di una conferencia sobre este tema y así apareció esta narración sobre los átomos del calcio en el universo que expongo a continuación.

- Ustedes trabajan en la industria del cemento, en la industria de materiales de ligazón, rama importantísima de la industria de la construcción. Para ustedes es de interés especial conocer la historia de los átomos de calcio.

Los químicos y físicos dicen que el calcio ocupa un puesto particular en el sistema de Mendeléev, con el número de orden 20. Esto quiere decir que consta del núcleo (o sea, partículas ínfimas: protones y neutrones) y veinte partículas libres con carga negativa, que se denominan electrones.



El número 40 determina el peso atómico de este elemento, situado en el segundo grupo del sistema de Mendeléev, en la segunda fila. Para la obtención de moléculas estables, exige en sus combinaciones dos cargas negativas. Como dicen los químicos, su valencia es igual a dos.

*Figura 14.2 Extracción del mármol*



Ustedes ven que en esta enumeración he tenido necesidad de dar cifras todas múltiples de cuatro. Estos números son muy importantes en Geoquímica. Sabemos que en la vida corriente, cuando queremos hacer algo estable, siempre acudimos a estos números; así, por ejemplo, la mesa tiene cuatro patas. Un cuerpo estable, una construcción cualquiera, por regla general son simétricos, de tal manera que la mitad derecha y la izquierda sean coincidentes.

El número 2 y los números 4, 20, 40 nos hablan de estabilidad excepcional de los átomos de calcio, e incluso, todavía no se conoce cuántos centenares de millones de grados serían necesarios para poder disgregar este firme edificio formado por un núcleo diminuto con una pléyade de



veinte planetas negativos volando a su alrededor. Y a medida que los astrofísicos van comprendiendo la estructura del mundo entero, más y más se dibuja el enorme significado de los átomos de calcio en el universo.

Tomemos, por ejemplo, la corona del Sol durante un eclipse. Incluso a simple vista, se ven grandiosas protuberancias: partículas metálicas incandescentes que, arrojadas a distancias de cientos de miles de kilómetros, se mueven vertiginosamente; el papel fundamental, entre ellos, lo juega el calcio. Mediante la aplicación de métodos perfeccionados, consiguieron en la actualidad nuestros astrónomos saber qué es lo que llena el espacio interplanetario. Entre las dispersas nebulosas estelares, todo el universo está cruzado por el vuelo vertiginoso de átomos ligeros de varios elementos químicos; y entre ellos de nuevo corresponde un papel importante al calcio, así como al sodio.

He aquí determinadas partículas deambulantes del universo que, sumisas a las leyes de gravitación, describiendo sus complicadas trayectorias, vienen a caer a la Tierra. Caen en forma de meteoritos y de nuevo el calcio desempeña en ellos un enorme papel.

Es difícil imaginarse cualquier otro metal que tuviese más importancia en todos los complejos destinos que intervienen en la formación de la corteza terrestre, en la creación de la vida y del progreso técnico.

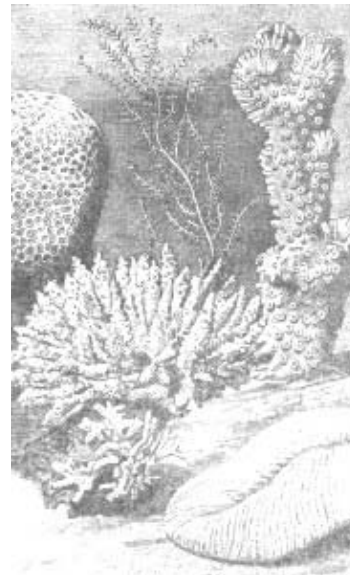
Aún en los tiempos en que las masas fundidas, hervían en la superficie terrestre, cuando paulatinamente se desprendían vapores pesados formando la atmósfera y se condensaron las primeras gotas de agua, creando los mares y océanos, el calcio, junto con su amigo el magnesio, elemento tan denso y firme como él y también par (su número es el 12)-, eran ya los metales más importantes de la Tierra.



En las distintas rocas que entonces salían a la superficie o que se consolidaban en las profundidades, los átomos de calcio y magnesio jugaban un papel especial. El fondo de los grandes océanos, sobre todo el Pacífico, aún hoy está cubierto de una capa de basalto en el que los átomos de calcio tienen gran significación, y sabemos que nuestros continentes flotan sobre esta alfombra de basalto que semeja la original y fina corteza procedente de la consolidación de las masas fundidas de las entrañas de la Tierra.

Los geoquímicos incluso han calculado que en la composición de la corteza terrestre entran, en peso, el 3,0 % de calcio y el 1,9 % de magnesio. Ellos relacionaron las leyes de difusión del calcio con las notables propiedades de su átomo mismo, con la paridad de sus electrones, con la admirable firmeza de este edificio tan maravilloso y perfecto.

Inmediatamente después de la formación de la corteza terrestre, comenzaron las complejas rutas de "peregrinación" de estos átomos.



*Figura 14.3 Pólipos de coral en el océano*

En aquellos tiempos remotos, las erupciones volcánicas sacaban consigo al exterior gran cantidad de anhídrido carbónico. Densas nubes de la atmósfera aérea, saturadas de vapor de agua y anhídrido carbónico, rodeaban la Tierra, destruyendo su superficie, arrastrando, en el torbellino de las salvajes tempestades primarias masas terrestres aún calientes. Así comenzó la etapa más interesante en la historia de la "peregrinación" de los átomos de calcio.

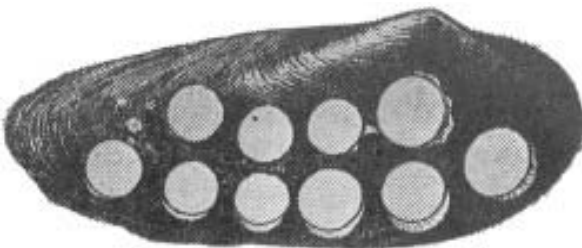


*Figura 14.4 Termitero de carbonado cálcico, construido y habitado por hormigas blancas (termitas). Africa*



Con el anhídrido carbónico, el calcio daba combinaciones firmes y estables. Si existía exceso de anhídrido carbónico, el carbonato cálcico era transportado por las aguas; si había pérdida de anhídrido carbónico, el carbonato cálcico se precipitaba en forma de polvo blanco cristalino. Así se crearon las potentes capas calcáreas. Allí donde los aluviones de la superficie terrestre acumularon restos de arcilla, se depositaron capas de margas. En sus movimientos tempestuosos, las masas subterráneas incandescentes, lanzándose sobre las capas calizas, las abrasaban y quemaban con sus vapores a miles de grados, transformándolas en montañas de mármol de nívea blancura, cuyas cúspides gallardas se confunden con la nieve.

De los complicados ovillos de ciertas combinaciones del carbono germinaron las primeras bolas de substancia orgánica. Gradualmente, se fueron haciendo más complejas estas gelatinosas masas coloidales, semejantes a las medusas de nuestro mar Negro; nacieron en ellas nuevas propiedades, las propiedades de la célula viva. Las leyes fundamentales de la evolución, la lucha por la existencia, la lucha por el desarrollo ulterior del género, complicaron estas moléculas, las llevaron a nuevas combinaciones y aparecieron nuevas propiedades sobre la base de las leyes del mundo orgánico.



*Figura 14.5 Concha de un molusco de agua dulce empleada en la obtención de botones*

Poco a poco nacía la vida... Al principio, en forma de células simples entre ardientes mares y océanos; después, en forma de organismos multicelulares más complejos, y así hasta el organismo más perfecto existente en la Tierra: el hombre.

*Figura 14.6 Las conchas de los moluscos se recogen dragando el fondo del mar. Van a la industria del cemento como  $\text{CaCO}_3$  Puro y también, para la fabricación de botones.*



En este proceso paulatino de complicación del desarrollo de cada organismo se reflejó siempre su lucha por crear un cuerpo firme y estable. El cuerpo blando y elástico del animal no podía, en una serie de casos, luchar contra los enemigos que a cada paso lo desgarraban y destruían. La substancia viva, en el proceso de evolución progresiva, tendía más y más a defenderse. Había que crear, o bien una envoltura impenetrable alrededor del cuerpo blando, tras la cual fuera posible protegerse como tras una coraza, o bien era necesario un fuerte armazón interno, lo que llamamos esqueleto, para que el cuerpo blando pudiera sujetarse con firmeza en los duros huesos. Y la



historia de la vida nos muestra que en esta búsqueda de un material duro y consistente, el calcio juega un papel especialísimo. Primero en las conchas se acumuló el fosfato cálcico y las primeras valvas que se encuentran en la historia de la corteza terrestre eran de mineral apatito.

Sin embargo, este camino no resultó ser el más acertado; el fósforo es necesario para la propia vida, pero sus reservas no son tan grandes por doquier, como para que pudiese fácilmente construir conchas consistentes; la

historia del progreso del mundo animal y vegetal mostró que es más conveniente construir las partes firmes a base de otras combinaciones menos solubles, como el ópalo, sulfatos de estroncio y bario y, mejor de todo, de carbonato cálcico.

Es verdad que el fósforo resultó ser no menos necesario. Al tiempo que diversos géneros de moluscos y cangrejos, así como también los organismos unicelulares, comenzaron a utilizar ampliamente el carbonato cálcico para sus bellas conchas, las partes óseas de los animales terrestres se fueron construyendo de sales fosfóricas. Los huesos del hombre y de los animales de gran tamaño se componen de fosfato cálcico, cuya composición se asemeja mucho a la de nuestro mineral apatito. Pero, aquí y allá, el calcio jugó un papel importante. La única diferencia es que el esqueleto del hombre se construyó de fosfato de este metal y las conchas, principalmente, de carbonato.

Es difícil imaginar un cuadro más admirable que el que se abre ante el naturalista cuando éste se aproxima a la costa, por ejemplo, del Mediterráneo.

Recuerdo cómo, siendo aún joven geólogo, visité por primera vez la costa acantilada de Nervi, cerca de Génova. Quedé admirado por la belleza y variedad de conchas, algas multicolores, cangrejos ermitaños, con sus lindas casitas calcáreas, distintos moluscos, colonias enteras de musgos marinos y diversos corales calizos. Me sumergí por completo en este mundo maravilloso de agua transparente, a través de cuyo azul refulgían, con todos los colores del iris, diversas combinaciones de este mismo carbonato cálcico.



*Figura 14.7 Palacio de Mármol de la filial del Museo de V. I. Lenin en Leningrado. A excepción del piso bajo (construido de granito), todo es de mármol ruso*

Bajo cientos de miles de formas diferentes se acumula el calcio en las conchas y esqueletos en el fondo de los mares. Los restos caprichosos de organismos muertos formaron allí cementerios enteros de carbonato cálcico, comienzo de nuevas formaciones rocosas y futuras cordilleras.



*Figura 14.8 Escultura de una niña, hecha de mármol blanco de los Urales. Trabajo de S. Konionkov*

Cuando nos embelesamos con la diversidad de colores y tonalidades de, los mármoles que adornan nuestras obras arquitectónicas, cuando admiramos en una central eléctrica el bonito mármol gris o blanco del tablero de distribución, o cuando observamos, al descender las escaleras del metro, los peldaños pardo-amarillos de caliza marmórea de Shemardinó, no debemos olvidar que en todos estos casos el principio básico de las aglomeraciones calizas fue establecido por una pequeña célula viva y los complejos procesos químicos, que captan los átomos de calcio diseminados en el agua del mar, los convierten en duros esqueletos cristalinos, en filamentos de los minerales cálcicos que denominamos calcita y aragonita.

Pero nosotros sabemos que con esto no termina la "peregrinación" de los átomos de calcio.

De nuevo lo disuelve el agua, de nuevo comienzan a deambular por la corteza terrestre sus iones globulares en complejas soluciones acuosas, ya formando las llamadas aguas duras, ricas en



calcio, ya precipitándose, junto con el azufre, como yeso, ya cristalizándose en estalactitas y estalagmitas: complejas y fantásticas formaciones de las cavernas de caliza.

Después empieza la última etapa en la historia de la peregrinación de los átomos de calcio: ellos son dominados por el hombre. No sólo los emplea en los mármoles y calizas en estado puro, sino que también en los grandes hornos de las fábricas de cemento y en los hornos de calcinación, liberando al calcio del dominio del ácido carbónico, y creando grandes cantidades de cemento y cal, sin los cuales no podría existir nuestra industria.

En los más complicados procesos de la Química farmacéutica, orgánica e inorgánica, el calcio juega un papel enorme, determinando la marcha de los procesos en los laboratorios químicos, tecnológicos y metalúrgicos. Pero esto es poco aún para el hombre. Existe mucho calcio a nuestro alrededor; se puede emplear este estable átomo para reacciones químicas más precisas. El hombre invierte en él decenas de miles de kilovatios de energía eléctrica; no sólo del anhídrido carbónico libera los átomos de calcio en las calizas: rompe su enlace con el oxígeno, lo separa en estado puro, en forma de metal refulgente, brillante, blando y elástico, que arde en el aire, recubriéndose de una película blanca de la misma cal.



*Figura 14.9 Estación "Oktiabrskaja" del metropolitano de Moscú. Las paredes están revestidas con mármol blanco de los Urales*

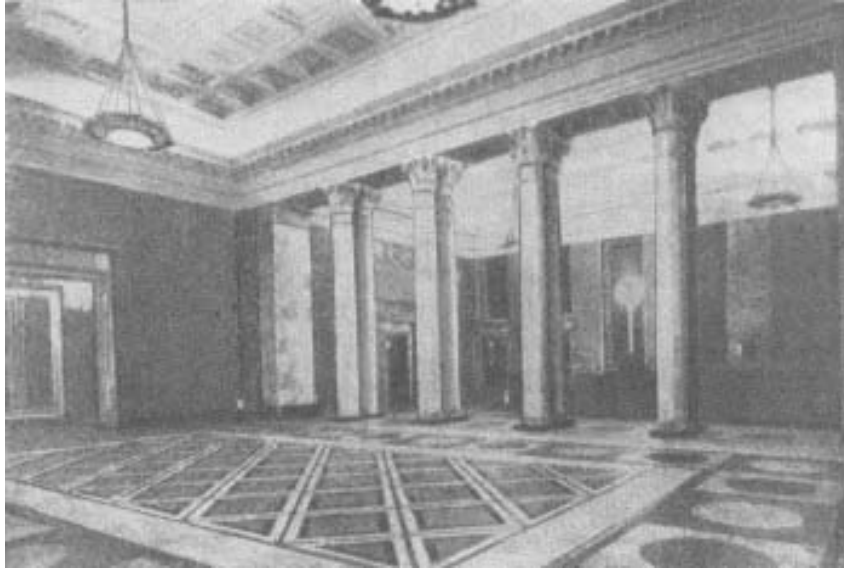
Precisamente esta tendencia a combinarse con el oxígeno, precisamente este estrecho y sólido enlace que se establece entre los átomos de calcio y de oxígeno es lo que utiliza el hombre. El introduce los átomos metálicos de calcio en la fundición de hierro y, en lugar de otros diversos y complicados desoxidantes, renunciando a toda una serie de métodos de depuración del hierro fundido y los aceros, limpiándolos de gases perniciosos, obliga a realizar este trabajo a los átomos metálicos del calcio, introduciéndolos en los altos hornos y hornos Martin.



Así comienza de nuevo la ruta de migración de este átomo. No dura mucho el brillo de sus partículas metálicas, de nuevo se transforman en complejas combinaciones oxigenadas, más estables en la superficie de la Tierra.

Como pueden ver, la historia de los átomos de calcio es mucho más complicada (le lo que pensamos; qué difícil es hallar otro elemento químico que recorra un camino tan complejo en el espacio mundial y que defina momentos más importantes en la historia del nacimiento de nuestros mundos y de nuestra vida industrial.

No hay que olvidar que el calcio es uno de los átomos más móviles y enérgicos del universo, que son infinitas sus posibilidades de unión para formar los edificios cristalinos del mundo. El hombre hará aún muchos descubrimientos, si sabe emplear adecuadamente estos móviles átomos para la creación de nuevos, tal vez nunca vistos por su solidez, materiales para la construcción y la industria.



*Figura 14.10 Estación "Bielorruskaia" del metropolitano de Moscú. Las columnas son de mármol blanco; las paredes y el piso de mosaico de mármoles del país dotados de vivos colores*

Pero para esto hay que trabajar todavía mucho, hay que reflexionar y estudiar profundamente la naturaleza de este átomo. Para ser buen geoquímico y marcar con acierto nuevos caminos a la Geología, hay que ser químico y físico reflexivo y conocedor de la Geología.

Hay que dominar todas estas ciencias: Química, Física, Geología y Geoquímica para poder ser un buen tecnólogo y comprender las nuevas formas de desarrollo de la industria que conducirán a victorias brillantes sobre la naturaleza, a una amplia utilización de los elementos más difundidos de la Tierra.



**Capítulo XV****EL POTASIO, FUNDAMENTO DE LA VIDA DE LAS PLANTAS**

El potasio es un elemento alcalino característico, que ocupa un lugar bastante bajo en el primer grupo de la Tabla de Mendeléev. Elemento típico impar, puesto que sus datos característicos son impares: el número de orden, esto es, la cantidad de electrones que constituyen su envoltura electrónica es 19; su peso atómico es 39. Forma uniones estables sólo con un átomo de halógeno, por ejemplo, el cloro; como nosotros decimos, su valencia es igual a la unidad. Como elemento impar, el potasio se caracteriza también por las considerables dimensiones de sus partículas electrizadas de forma esférica y esto, junto con su imparidad, es causa de la constante tendencia a la "peregrinación" de sus átomos electrizados y particularmente activos.

Por esto no es de extrañar que toda la historia del potasio en la Tierra está ligada, así como el destino de su amigo el sodio, a una exclusiva movilidad y complejas transformaciones. Más de cien minerales distintos, forma el potasio en la corteza terrestre y, en pequeñas proporciones, toma parte en la composición de otras cien especies minerales. Su contenido medio en la superficie de nuestro planeta se aproxima al 2,5%. Esta es una cifra grande y muestra que el potasio, junto con el sodio y el calcio, pertenece a los elementos predominantes en la Tierra. Es muy interesante la historia del potasio en el complejo pasado geológico de nuestro planeta. Se la ha estudiado detalladamente y podemos ahora describir todos los caminos que recorren los átomos de potasio, hasta tanto que regresan al punto de origen de su peregrinación, verificando su complicado cielo vital.

Cuando se enfrían en las profundidades los magmas fundidos y los distintos elementos se distribuyen en ellos según su movilidad, su capacidad de migración, de formar gases volátiles o partículas móviles fusibles, el potasio pertenece a estos últimos. El no se halla entre los primeros cristales que, antes que otros, se crean en las profundidades de la Tierra; apenas lo encontramos en las profundas y verdes rocas de olivino que forman los enormes cinturones de las entrarías terrestres. Incluso en las masas basálticas que cubren el fondo de los océanos encontramos no más del 0,3% de potasio.

En el complicado proceso de la cristalización de los magmas fundidos, en sus partes altas se acumulan los átomos más móviles de la Tierra; allí hay muchos iones de silicio y aluminio, pequeños y fuertemente electrizados; aquí se encuentran también muchos átomos impares de los metales alcalinos (potasio y sodio) y de sus compuestos volátiles con el agua. De estos restos fundidos se forman las rocas que denominamos graníticas. Ellas cubren una enorme parte de la superficie terrestre, apareciendo como continentes que flotan sobre el basalto.

Los granitos se consolidan en lo profundo de la corteza terrestre y el potasio se concentra en ellos en cantidad de casi un 2%, entrando principalmente en la composición del mineral que denominamos feldespato: la ortoclasa. El potasio interviene también en la composición de las micas negras y blancas, tan bien conocidas por nosotros. En otros lugares se acumula en cantidad aún mayor, formando los grandes cristales del mineral blanco leucita, que abunda en las lavas de Italia ricas en potasio, y se extrae para la obtención de potasio y aluminio.

De tal modo, la cuna de los átomos de potasio en la tierra son los granitos y las ácidas lavas de rocas eruptivas.

Sabemos cómo en la superficie de la Tierra estas rocas se destruyen por la acción del agua, del aire y del anhídrido carbónico que satura la atmósfera y el agua, y cómo penetran en ellas las

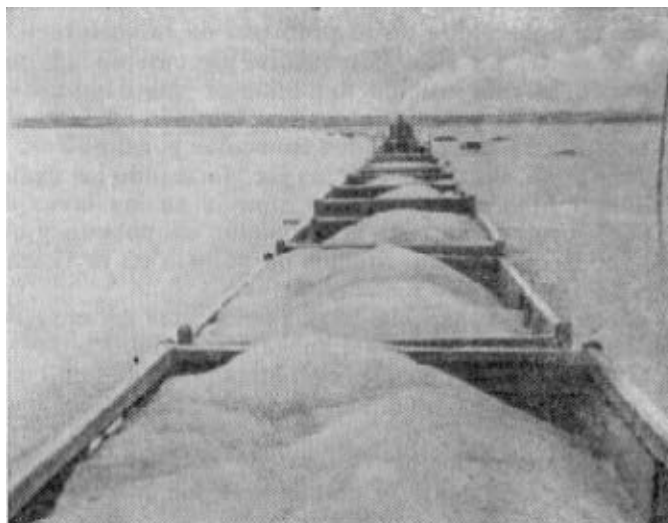
raíces de las plantas, corroyendo ciertas de sus partes minerales mediante los ácidos que segregan.

Quien haya estado en los alrededores de Leningrado habrá tenido ocasión de ver cuán fácilmente se desmoronan los granitos en los afloramientos y cantos rodados, cómo son erosionados sus minerales por el viento y cómo oscurecen las rocas; y la arena de cuarzo puro se acumula en forma de dunas, como últimos restos de lo que fueron potentes macizos graníticos.



*Figura 15.1 Sedimentos naturales de sal en la cuenca de las explotaciones de Karakonsk en la RSS de Tadzhihia*

Durante este proceso se disgrega también el feldespató. Los agentes activos de la superficie terrestre extraen de él el sodio y el potasio, dejando un original esqueleto de mineral laminar y formando complejas masas rocosas que llamamos arcilla.



*Figura 15.2 A través de la capa salina del lago Baskunchak*

A partir de este momento empiezan las nuevas formas de "peregrinación" de nuestros dos amigos: el sodio y el potasio. Por otra parte, estos dos elementos son amigos sólo hasta este

momento, ya que después de la destrucción del granito para cada uno de ellos comienza su vida propia. El sodio es fácilmente arrastrado por el agua; sus iones no son retenidos por nada ni por nadie en el medio circundante de lúgamos, arcilla y precipitaciones. Son llevados por los riachuelos y ríos a los grandes mares y allí crean el cloruro sódico que nosotros llamamos sal común o sal de cocina y que constituye el principal producto primario de toda nuestra industria química.

Pero el destino del potasio es otro. En el agua de mar se le encuentra sólo en pequeñas proporciones. El número de átomos de sodio y potasio contenidos en las rocas es aproximadamente el mismo, pero de cada mil átomos de potasio sólo 2 van a parar a las cuencas marinas y 998 quedan retenidos en la capa de terreno, en los lúgamos, en las sedimentaciones de los mares, pantanos y ríos. El suelo posee el poder mágico de absorber el potasio.



El académico K. Gedroits, notable agrólogo ruso, fue el primero que descubrió la naturaleza geoquímica del suelo. Halló en él las partículas que retienen a diversos metales, sobre todo al potasio, y demostró que la fecundidad del terreno depende en alto grado de los átomos de potasio que se ligan a él tan fácil y libremente, que cada célula vegetal puede absorber estos átomos y emplearlos para su vida. Y absorbiendo estos átomos de potasio tan débilmente afianzados, como si pendiesen libremente de hilos, las plantas echan sus vástagos.

Las investigaciones han demostrado que el potasio, junto con el sodio y el calcio, son extraídos con facilidad por las raíces de las plantas.

Las plantas no pueden vivir sin potasio. Todavía no sabemos con exactitud por qué esto es así y qué papel desempeña el potasio en el organismo vegetal, pero los experimentos demuestran que sin potasio las plantas se marchitan y mueren. ¡Y no sólo para las plantas es imprescindible el potasio! También constituye una parte substancial del organismo animal. Así, por ejemplo, en los músculos del hombre el potasio predomina sobre el sodio. Sobre todo hay mucho potasio en el cerebro, los riñones, el hígado y el corazón. Puede anotarse que el potasio tiene especial importancia en el período de crecimiento y desarrollo del organismo. En el hombre adulto, la necesidad de potasio disminuye considerablemente.



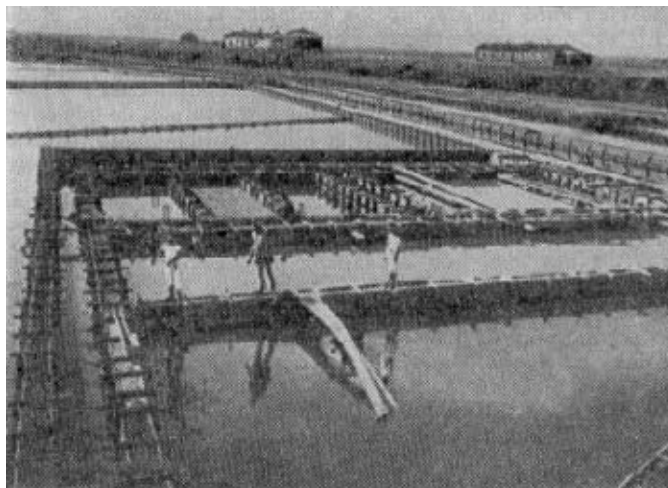
Uno de los cielos de su peregrinación lo comienza el potasio desde el suelo. Extraído de allí por las raíces de las plantas, se concentra en sus restos atrofiados, pasa en parte al organismo animal o del hombre y con el estiércol vuelve de nuevo al suelo de donde lo sacó la célula viva.

Una gran parte del potasio recorre precisamente este camino, pero ciertos átomos consiguen alcanzar los grandes océanos y, junto con otras sales, condicionar la salinidad del agua marina, a pesar de que en ella hay cuarenta veces más átomos de sodio que de potasio.

Aquí se inicia el segundo cielo de la "peregrinación" de los átomos de potasio.

Cuando grandes regiones de los océanos comienzan a desecarse bajo influencia del movimiento de la corteza terrestre, de ellos se separan, o mares de poco calado, o lagos aislados, estuarios, lagunas, golfos; se forman lagos salados del tipo del lago de Saki o de los lagos junto a Eupatoria, en la costa del mar Negro. En los meses calurosos de verano, la evaporación del agua del mar es tan fuerte, que la sal se precipita del agua y es arrojada a la orilla por las olas y, a veces, se acumula en el fondo de los lagos totalmente evaporados, en forma de refulgente espuma blanca.





*Figura 15.3 Estanques de evaporación en las explotaciones de Saki en Crimea, en los que se evapora la salmuera, rica en potasio y bromo*

Las distintas sales se depositan por determinado orden; primero, cristaliza en el fondo el carbonato cálcico, después, el yeso (sulfato cálcico), después el cloruro sódico, es decir, la sal común. En la cuenca queda una solución salina extraordinariamente saturada de sales, que contiene decenas de por ciento de diversas sales y, principalmente, sales de potasio y magnesio.



Resulta que el potasio es aún más móvil que el sodio; se ponen de manifiesto las propiedades de sus grandes átomos globulares y continúa su "peregrinación" hasta que el aliento más caliente del sol no evapora hasta el final los lagos, y en la superficie, en los yacimientos salinos, no se separan las sales potásicas blancas y rojas. Así se forman los yacimientos potásicos.

En la corteza terrestre aparecen a veces grandes acumulaciones de sales potásicas, tan necesarias al hombre para la industria. Y aquí no son las fuerzas enigmáticas del suelo, no son las plantas quienes determinan el camino a seguir por el potasio, no es el sol de los países meridionales el que lo acumula en las riberas de los lagos salinos; aquí, en la industria, es el propio hombre quien se presenta como agente de un nuevo, inmenso cielo de "peregrinación" de sus átomos.

Hace cien años que uno de los químicos más notables, el alemán Justo Liebig, observando el papel que desempeñan el potasio y el fósforo en la vida de los vegetales, pronunció las siguientes palabras: "Sin estos dos elementos no puede haber fecundidad en los campos". Se le ocurrió la idea, fantástica para aquellos tiempos, de que es necesario abonar los campos, introducir en ellos artificialmente diversas sales de potasio, nitrógeno y fósforo, calculando la cantidad necesaria de las mismas para que las plantas las puedan aprovechar.

Sus ideas fueron acogidas con desconfianza en los círculos agrícolas de los años 40-50 del siglo pasado, esto parecía una "aventura de científico", tanto más que el salitre, propuesto por él como abono, se transportaba en embarcaciones de vela desde América del Sur y resultaba descomunadamente caro no encontrando venta. No se conocían fuentes productoras de fósforo, y la harina de huesos que proponía Liebig daba un abono demasiado costoso. No sabían cómo emplear el potasio y sólo raras veces, recogiendo ceniza de plantas, la diseminaban por los campos. En Ucrania desde hace mucho tiempo ya quemaban los restos de tallos de maíz y la ceniza obtenida la espolvoreaban por el terreno, columbrando con su propia inteligencia, sin ayuda de la ciencia, el sentido y la importancia de esta ceniza para las cosechas.



*Figura 15.4 Recolección de la cosecha en campos abonados con sales de potasio, fósforo y nitrógeno (1945)*

Muchos años han transcurrido desde entonces y el problema de los abonos fertilizantes se convirtió en una de las tareas más importantes para todos los países del mundo; la feracidad de los campos llegó a depender en grado considerable de la siguiente cuestión: ¿puede el hombre aportar a los campos la cantidad suficiente de sustancias que los vegetales extrajeron del suelo y que el hombre recogió después en forma de grano, paja y frutos? En la actualidad el potasio se ha convertido en un elemento de los más necesarios para el trabajo pacífico y la agricultura.

Es suficiente decir que un país como Holanda consumió en 1940 hasta 42 toneladas de óxido de potasio por hectárea. Ciertamente que en otros países esta cifra era bastante menor; en los EE.UU. empleaban sólo unas cuatro toneladas por hectárea.

Autorizados agroquímicos opinan que en la URSS, se deben abonar los campos del país, como mínimo, con un millón de toneladas de óxido potásico al año.

Y ante la humanidad se ha planteado el problema de descubrir grandes yacimientos de sales de potasio, aprender a extraerlas y preparar de ellas abonos fertilizantes.

Durante mucho tiempo toda la producción mundial de potasio estaba en manos de Alemania. En los montes de Harz, en sus vertientes orientales, fueron descubiertos los célebres yacimientos salinos de Stassfurt, y del norte de Alemania, las sales potásicas se distribuían por todos los países en centenares de miles de trenes.

Pero con esto no podían conformarse aquellas naciones para las que la agricultura constituye el nervio vital del país. Muchos años, mucha fuerza y energía hubo de gastar Norteamérica, hasta que descubrió en su territorio un yacimiento no muy grande de potasio; los franceses consiguieron ciertos éxitos al descubrir en el valle del Rin yacimientos de potasio.

En tanto se buscaba potasio, iban empleándose los minerales potásicos de las rocas eruptivas de Italia. Pero todo esto era insignificante en comparación con la cantidad que exigían los campos extenuados.



Muchos años se esforzaron los investigadores rusos por hallar en el territorio de su país yacimientos de potasio. Hipótesis aisladas no daban resultados hasta que la labor tenaz de toda una escuela de jóvenes químicos, bajo la dirección del académico N. Kurnakov, condujo al descubrimiento de los mayores depósitos de sales potásicas del mundo.



*Figura 15.5 El académico Nikolái Kurnakov (1860-1941)*

El hallazgo tuvo lugar casualmente, pero la casualidad en el trabajo científico con frecuencia está ligada a una prolongada labor preparatoria y los "descubrimientos casuales" suelen ser simplemente el último paso de una larga lucha por determinada idea, recompensa de búsquedas prolongadas y porfiadas. Así ocurrió con el descubrimiento del potasio. El académico Kurnakov estudió durante muchas decenas de años los lagos salinos del país y su pensamiento buscó obstinadamente dónde se podía encontrar en las entrañas de la Tierra restos de los antiguos lagos potásicos. Investigando en el laboratorio químico la composición de las sales procedentes de las antiguas explotaciones salinas de la región de Perm, Nikolái Kurnakov advirtió en algunos casos un contenido elevado de potasio.



Visitando una de las explotaciones salinas, llamó su atención un trocito de mineral rojo-pardo que le recordó las sales potásicas rojas, las carnalitas, de los yacimientos alemanes.

Es cierto que nadie supo responder con seguridad sobre su procedencia, posiblemente era uno de los ejemplares de la colección de sales recibida de Alemania. Pero el académico Kurnakov tomó este trozo y lo llevó a Leningrado, donde lo analizó y, ante la admiración general, este trozo resultó ser cloruro potásico.

Se tenía el primer hallazgo, pero esto era aún poco. Había que demostrar que este potasio procedía de las profundidades de la región de Solikamsk y que allí existían grandes reservas.

Hubo que perforar pozos y, en las difíciles condiciones de la década del veinte, extraer la sal de las profundidades del suelo y estudiar su composición.

De esto se encargó uno de los más eminentes geólogos del Comité Geológico, P. Preobrazhenski.

Él señaló la necesidad de perforar pozos profundos, que pronto alcanzaron las espesas capas de sales potásicas, abriendo una nueva era en la historia del potasio en toda la superficie terrestre.

Ahora, después que han transcurrido varias decenas de años desde el momento de este descubrimiento histórico, ha cambiado completamente el cuadro de la distribución de las

reservas de potasio entre todos los países del mundo. Si expresamos estas reservas en millones de toneladas de óxido de potasio, gran parte corresponde a la Unión Soviética; a Alemania, sólo 2.500 millones de toneladas; a España, 350 millones; a Francia, 285 millones, y cantidades relativamente pequeñas a EE.UU. y otros países.



*Figura 15.6 El geólogo P. Preobrazhenski (1874-1944)*

Sin embargo, no toda la cantidad de potasio existente en los yacimientos de la Unión Soviética está todavía explorada. Es muy seguro que la URSS aumente pronto aún más sus reservas y se descubra el panorama de la migración del potasio en los antiguos mares de Perm, hace 300-400 millones de años.

Ahora nos figuramos este remoto pasado de la historia geológica de nuestro país del modo siguiente. El antiguo mar de Perm ocupaba todo el oriente de la parte europea de la Unión Soviética. Este mar era la parte sur poco profunda del océano que penetraba desde el norte. Golfos y brazos aislados entraban, junto al mismo Arjánguelsk, al Lago Blanco y hasta Nóvgorod. De límite oriental le servía la cordillera de los Urales y por el suroeste extendía sus largos brazos hasta la cuenca del Donetz y hacia Járkov. Por el sureste se alejaba hacia el sur en la región del Caspio. Algunos hombres de ciencia suponen incluso que el mar de Perm se unía, al principio de su existencia, con el gran océano Tetis que rodeaba la Tierra en los tiempos remotos de la época pérmica. Este gran océano fue descendiendo gradualmente, formando en sus costas lagos aislados y el clima húmedo fue reemplazado por vientos y el sol de los desiertos.



Las jóvenes cordilleras de los Urales fueron erosionadas por los fuertes y cálidos vientos que lo arrastraban todo consigo hacia las riberas del moribundo mar de Perm. Las aguas se desplazaron hacia el sur. En el norte, en los lagos y estuarios se acumularon el yeso y la sal común. En el sur aumentaba sin cesar el contenido de sales potásicas y magnésicas. En el sureste se aglomeraba la salmuera que obtiene artificialmente el hombre en las cuencas de sedimentación, por ejemplo, en el lago de Saki. Así se formaron paulatinamente distintos mares y lagos de poca profundidad, con sus aguas saturadas de sales de potasio y magnesio. Comenzaron a acumularse los sedimentos de sales potásicas. Desde Solikamsk hasta el mismo sureste de la cordillera de los Urales se extienden distintos yacimientos potásicos encubiertos bajo el suelo. Los pozos de sondeo tropiezan por doquier con espesas masas lenticulares subterráneas de sal común y encima de éstas con las

sales de potasio. Así, gracias al pequeño pedazo de sal rojo-parda, advertido por el ojo perspicaz de un hombre de ciencia en el laboratorio de una fábrica, fue resuelto uno de los problemas más grandiosos, el problema del potasio. En el país aparecieron posibilidades no sólo de abastecer por completo los campos con abonos y elevar su fecundidad; surgieron las posibilidades de crear una nueva industria química, la del potasio, y obtener las más diversas sales potásicas, tan necesarias para la industria química en general. Estos son los álcalis potásicos y las sales de los ácidos nítrico, clorhídrico y crómico; son las más diversas combinaciones que cada vez en mayor escala se introducen en la producción y la economía nacional. Junto con el potasio se obtiene una gran cantidad del metal magnesio en forma de "residuos", de los cuales, mediante electrólisis, se separa un metal ligero y brillante, cuya aleación, llamada "electrón"<sup>1</sup>, abre una página nueva en la industria constructora de ferrocarriles y aeroplanos.



Y ahora se realiza el sueño de los agroquímicos: obtener al año tal cantidad de óxido potásico que abastezca plenamente todos los campos de cultivo elevando sus cosechas.

Así se dibuja la historia del potasio en la tierra y en manos del hombre.

Pero hay todavía un pequeño rasgo característico de este elemento al que hay que conceder atención. Es curioso que uno de los isótopos del potasio posee propiedades radiactivas, es cierto que en un grado muy débil; es decir, que se presenta como átomo inestable, emite espontáneamente diversos rayos y se transforma en átomos de otra substancia, la cual, después de varias reagrupaciones, forma átomos de calcio.



*Figura 15.7 Silvinita, roca compuesta por capas de silvita y halita. Yacimiento de Solikamsk*

Durante largo tiempo este fenómeno no fue demostrado, pero después resultó que, en efecto, este mismo potasio 40 juega gran papel en la vida de la Tierra, pues al verificarse la transformación de los átomos inestables del potasio en átomos de calcio se desprende una cantidad de calor considerable. Los radiólogos soviéticos han calculado que a las sales potásicas les corresponde por lo menos el 20 % de todo el calor que se produce en la Tierra a causa de la desintegración atómica, y de aquí, la enorme importancia que la desintegración de los átomos de potasio tiene en

los procesos térmicos de la Tierra. Calculando la cantidad de argón-40 que se produjo durante esta desintegración, los hombres de ciencia determinan con gran exactitud la edad de las rocas. Se comprende que los biólogos y fisiólogos trataran de explicar el significado de estas propiedades en el problema de la vida de la planta misma y lanzaran la idea de que el milagroso y enigmático cariño de las plantas hacia el potasio está relacionado con el hecho de que los átomos de este elemento con sus radiaciones ejercen una influencia especial sobre la vida y crecimiento de las células.

En este sentido se han efectuado numerosos experimentos que por ahora no dieron resultados concretos. Seguramente el papel de estos átomos desintegrables de potasio y de sus radiaciones es muy considerable y provoca una nueva serie de particularidades en el crecimiento y desarrollo de la célula viva y de todo el organismo.



Estas son las páginas de la Geoquímica del potasio, de este elemento químico impar y vagabundo. Tal es la historia de su "peregrinación" Y de su cielo de transformación en la Tierra.

Sobre cada elemento químico podría relatarse una historia análoga de su peregrinación en el seno y la superficie de la tierra, en la industria, pero para muchos de ellos, las fases aisladas de su historia escapan aún de la observación del investigador; sobre muchos pueden escribirse sólo fragmentos sueltos. Al geoquímico del futuro le corresponde la tarea de agrupar y convertir estos fragmentos en una descripción completa y consecuente. La historia del potasio está más clara, porque todas las épocas de vida de este importante elemento son evidentes para nosotros.

No sólo conocemos su historia, sino que tenemos en nuestras manos medios potentes para la búsqueda de sus yacimientos, para la tecnología de su utilización y sólo se mantiene aún enigmático su papel en el organismo vivo, ¡seguramente la página más interesante y fundamental de su historia!

---

<sup>1</sup> No debe confundirse el electrón - aleación con el electrón-partícula de electricidad negativa; esto es sólo una coincidencia circunstancial de palabras.

**Capítulo XVI****EL HIERRO Y LA EDAD DE HIERRO**

El hierro no es sólo el metal más importante de la naturaleza que nos rodea, sino también la base de la civilización y de la industria, un arma de guerra y de trabajo pacífico. Es difícil encontrar en toda la Tabla de Mendeléev otro elemento que se halle tan ligado con el pasado, presente y futuro de la humanidad. Con palabras admirables habló del hierro uno de los primeros mineralogistas de la Roma antigua, Plinio el Viejo, que pereció en el año 79 de nuestra era durante la erupción del Vesubio asfixiado por *el polvo y cenizas vomitadas por el volcán*"; así escribió, refiriéndose a Plinio, el mineralogista ruso Vasili Severguín hace más de cien años.

En su magnífica traducción leemos las páginas vivas de la historia del hierro, tal como fue descrita por Plinio: "Las minas de hierro hicieron don al hombre del arma más excelente y más perversa. Ya que con ella hendimos la tierra, plantamos las matas, labramos los campos de las feraces huertas y, podando las viñas silvestres con uva, las hacemos retoñar cada año. Con esta arma construimos casas, demolemos las piedras y empleamos el hierro en usos análogos. Pero con ese mismo hierro hacemos la pelea, la lucha y el pillaje; y le utilizamos no sólo de cerca, sino también lanzándolo alado a lo lejos, ya desde troneras, con las vigorosas manos, bien en forma de flechas emplumadas. En mi opinión, este es el artificio más depravado del ingenio humano. Pues para que la muerte alcance más pronto al hombre, la hicimos alada, dotamos de plumas al hierro. De todo lo cual hay que adjudicarse la culpa al hombre y no a la naturaleza".

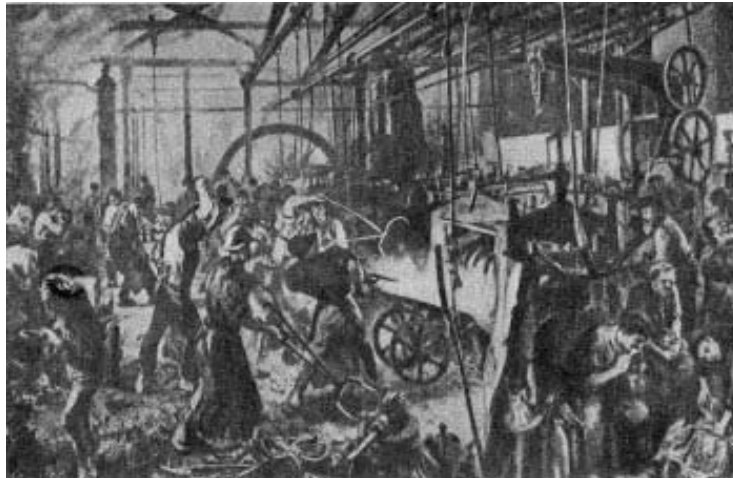
La lucha por el hierro transcurre a través de toda la historia de la humanidad, iniciándose en los milenios IV y III antes de nuestra era, cuando por primera vez aprendió el hombre a dominar y manejar este metal.



*Figura 16.1 Emblema alquimista del hierro, que se utilizaba en la Edad Media*

Es posible que al principio se limitara a recoger las piedras caídas del cielo, los meteoritos, y de ellos elaboró utensilios parecidos a los que usaban los aztecas de México, los indios de América del Norte, los esquimales de Groenlandia y los habitantes del Cercano Oriente. No en vano existe una antigua leyenda árabe en la que se dice que el hierro es de origen celestial. Incluso, en el lenguaje kóptico se le llama "piedra del cielo". Los árabes, haciendo eco a las antiguas tradiciones egipcias, decían que en el desierto de Arabia llueven gotas de oro del cielo; en la

tierra, el oro se transforma en plata y, después, en hierro negro, como castigo a las tribus que intentan posesionarse de las dádivas del cielo.



*Figura 16.2 Cuadro de una fábrica productora de hierro (siglo XIX)*

Durante mucho tiempo, el hierro no adquirió amplia difusión, puesto que su extracción por fusión de los minerales presentaba grandes dificultades, y, las piedras caídas del cielo, los meteoritos, eran muy escasos.

Solamente a partir del primer milenio de nuestra era, el hombre aprendió a fundir los minerales de hierro, y la edad de bronce fue reemplazada por la edad de hierro que se mantiene hasta nuestros días en la historia de la civilización.



En la compleja vida histórica de los pueblos, la lucha por el hierro, lo mismo que por el oro, jugó siempre un gran papel; pero un verdadero dominio de este metal no fue posible para los metalurgos de la edad media, ni para los alquimistas; esto se logró sólo a comienzos del siglo XIX; y de forma gradual el hierro fue convirtiéndose en el metal más importante de la industria. En el proceso de desarrollo de la metalurgia, los viejos hornos de tipo artesano fueron reemplazados por los altos hornos y junto a ellos se erigieron grandiosas fábricas metalúrgicas con capacidad de producción de miles de toneladas.

Los yacimientos de minerales de hierro han llegado a ser la riqueza fundamental de ciertos países. Las enormes reservas de hierro de Lorena, que se valoraban en varios miles de millones de toneladas, han sido la causa de numerosas luchas entre capitalistas. Sabemos cómo en la década del 70 del siglo pasado, Francia y Alemania se disputaron la posesión de las riquezas minerales de la cuenca del Rin.

Conocemos los episodios de lucha entre Inglaterra y Alemania por poseer Kirunavara, ese yacimiento maravilloso de la Suecia polar, que produce al año hasta 10 millones de toneladas de magnífico mineral de hierro.

Conocemos también, cómo fueron descubriéndose poco a poco las riquezas de hierro en Rusia, cómo comenzó su explotación, primero en Krivói Rog y en los Urales y, finalmente, en los yacimientos de la Anomalía de Kursk.

Los numerosos yacimientos del País Soviético constituyen una potente base para la industria suministrándole el hierro necesario para la producción de carriles, construcción de puentes, locomotoras, maquinaria agrícola y otros útiles destinados al trabajo pacífico. Los



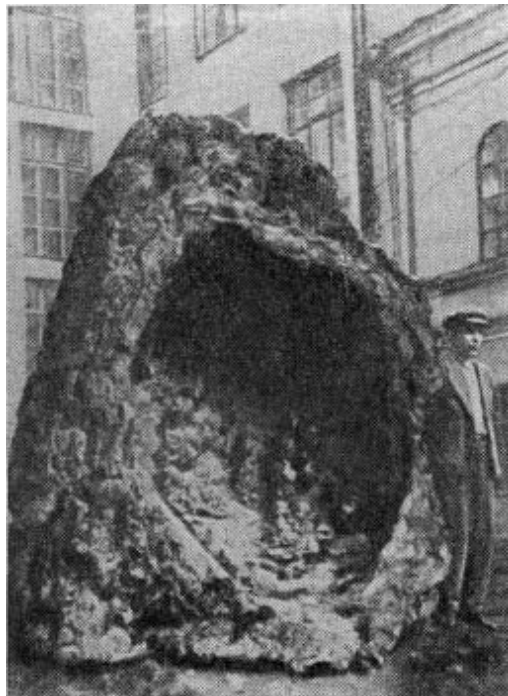


índices de crecimiento de la producción de hierro fundido y de acero alcanzan en la actualidad muchos millones de toneladas anuales.

En las diferentes fases de la lucha por este metal, se van estableciendo las nuevas formas de desarrollo de la metalurgia moderna.

Con frecuencia, el hierro y el acero ordinario son substituidos por nuevas clases de acero de alta calidad. Con objeto de fortalecer ciertas propiedades del metal, concediéndole mayor dureza, tenacidad y estabilidad, se adicionan a las aleaciones en cantidades de décimas por ciento, algunos metales, como el cromo, níquel, vanadio, wolframio y niobio.

En los altos hornos, en los talleres de fundición de acero, se resuelve una de las tareas más importantes de la humanidad en su lucha por el hierro: mejorar las cualidades del metal, descubrir nuevas reacciones químicas. El hierro, por decirlo así, se escapa de las manos del hombre; este metal no es el oro que se acumula y conserva en las cajas de caudales y en los bancos, y sólo una parte insignificante del mismo se pierde, se dispersa. El hierro es inestable en la superficie de la Tierra, en las condiciones que nos rodean. Todos sabemos con qué facilidad se oxida recubriéndose de una capa de herrumbre. Basta con exponer cierto tiempo a la acción del aire un trozo húmedo de hierro, para ver cómo aparecen rápidamente manchas de óxido en su superficie. Si no se pintan los tejados de hierro con pintura al aceite, al cabo de un año la herrumbre originaría en ellos agujeros enormes. En las excavaciones antiguas hallamos utensilios de hierro convertidos en óxidos hidratados de color pardo; las lanzas, flechas, corazas, todo se corroe, subordinándose a la ley química que rige los procesos de oxidación del hierro por la acción del oxígeno contenido en el aire. Una cuestión de capital importancia para la humanidad es preservar al hierro contra la corrosión.



*Figura 16.3 Geoda de limonita (hematite parda) de las minas de Bakal, en los Urales meridionales. Se originó a base de la descomposición del carbonato de hierro (siderita). Se conserva en el Museo del Instituto de Minas de Sverdlovsk*

El hombre, además de mejorar las cualidades del hierro por medio de los aditivos que acabo de mencionar, lo protege recubriéndolo de zinc o de estaño, transformándolo en hojalata; arena y níquel las partes activas de las piezas de las máquinas; cubre el hierro con distintas pinturas, le somete a tratamiento con sales fosfóricas. El hombre utiliza diversos procedimientos para defender al hierro contra la acción corrosiva de la humedad y del oxígeno que nos circundan. Y hay que reconocer que esta tarea le es muy difícil de realizar; para su resolución, inventa nuevos métodos de aleación y recubrimiento, empleando el zinc y el cadmio; busca elementos substitutivos del estaño. Pero los procesos químicos naturales se verifican espontáneamente; cuanto mayor sea la cantidad de hierro extraída por el hombre de las entrañas de la Tierra, cuanto más se incremento la industria siderúrgica, tanto mayor será su preocupación por proteger y conservar este metal.



*Figura 16.4 Extracción de mineral de hierro en las minas de la montaña Vysókaia en los Urales, cerca de Nizhni Taguil (región de Sverdlovsk)*

Qué extraño parece hablar de la protección y conservación del hierro, siendo este metal tan abundante en la naturaleza. A propósito, recientemente se han celebrado varios congresos científicos, donde los geólogos, al calcular las reservas existentes de minerales de hierro, señalaron la posible escasez en el futuro de este metal y pronosticaron que dentro de 50 ó 70 años se agotarán los yacimientos mundiales y la humanidad deberá sustituir este metal por otro. Dijeron que el hormigón, la arcilla y la arena sustituirán al hierro en la construcción, en la industria y en la vida. Pero el tiempo va pasando y lógicamente podría pensarse que se aproximan los años de agotamiento de las reservas, sin embargo, los geólogos continúan descubriendo nuevos y nuevos yacimientos de hierro. Las reservas de minerales férricos en la Unión Soviética satisfacen plenamente las necesidades de la industria y no se ve el fin de sus nuevos descubrimientos.

El hierro es uno de los elementos más importantes del universo. Sus líneas espectrales características se observan en todos los cuerpos cósmicos y brillan en la atmósfera de las estrellas incandescentes; vemos los átomos de hierro moviéndose sin cesar en la superficie del Sol; estos átomos caen durante todo el año sobre la Tierra en forma de polvo cósmico, en forma de meteoritos. En el Estado de Arizona, en Africa del Sur, en las montañas Sijoté-Alíñ, en la URSS, se han encontrado grandes masas de hierro nativo procedentes del espacio cósmico. Los geofísicos aseguran que el centro de la Tierra está constituido de masas de hierro-níquel y que

nuestra corteza terrestre consiste en una costra de óxido, semejante a la escoria vítrea que emana en los altos hornos durante el proceso de fundición de hierro.

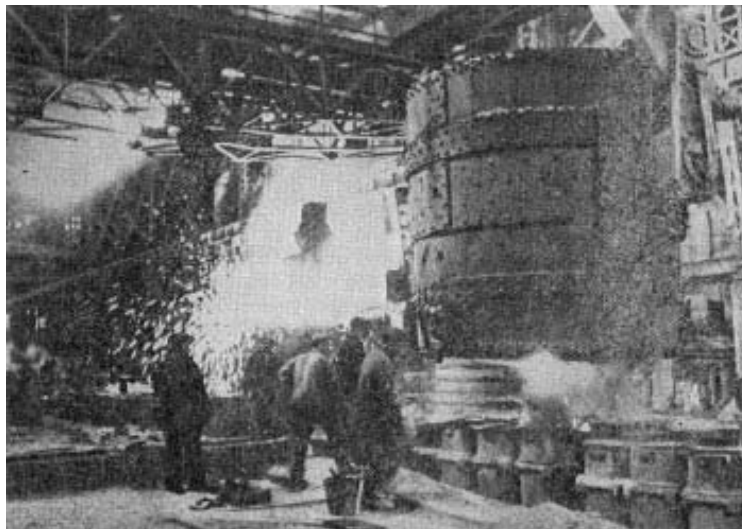
Pero todavía no son accesibles para la industria las enormes masas de hierro cósmico, ni los depósitos de este metal situados en las profundas entrañas de nuestro planeta. Vivimos y trabajamos en la primera y delgada capa de la Tierra y la metalurgia puede sólo contar con algunos centenares de metros de la misma, o sea, la profundidad, a la cual el arte minero actual permite extraer los minerales férricos.

Entretanto, los geoquímicos van descubriendo, paso a paso, la historia del hierro. Dicen incluso que la corteza terrestre contiene un 4,5% de hierro, que a excepción del aluminio, el hierro es el metal más abundante en la naturaleza. Se sabe que este elemento interviene en la composición de las masas que forman el manto de la Tierra.

Sabemos que en las rocas graníticas quedan cantidades relativamente pequeñas de hierro, como lo demuestran sus colocaciones blancas, rosa y verde de tono claro. Pero en la superficie terrestre se acumulan, debido a reacciones químicas complejas, enormes reservas de minerales férricos.

Unos minerales se forman en los subtrópicos, en donde los períodos de lluvias tropicales alternan durante los calurosos días de sol del verano. En estos lugares, la parte soluble de las rocas es acarreada por las aguas, originando grandes depósitos sedimentarlos, costras minerales de aluminio y hierro.

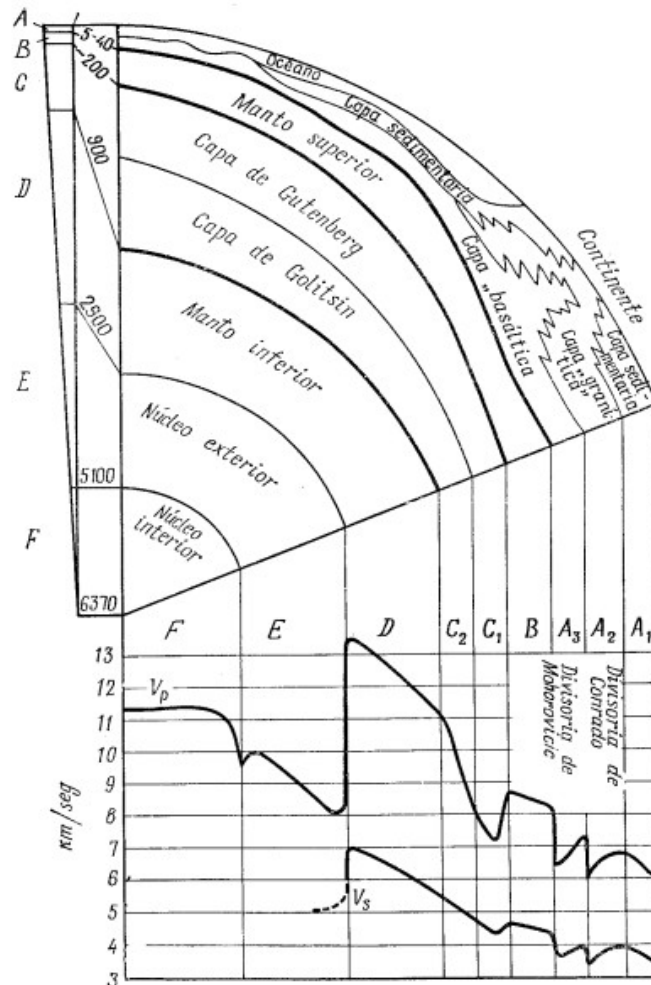
Sabemos cómo durante la primavera llega hasta los lagos de los países nórdicos, enorme cantidad de hierro, procedente de la erosión de diversas rocas, arrastrado por las aguas impetuosas de deshielo que contienen materias orgánicas; en el fondo de los lagos, a donde afluyen estas aguas, se sedimentan granos apelmazados o concreciones enteras de hierro, en cuya formación intervienen las bacterias especiales de hierro... Así, en el transcurso de la larga historia geológica de la Tierra, fueron depositándose concentraciones de mineral de hierro en los pantanos y en las profundidades del mar; y no hay duda de que en muchos casos, la vida vegetal y animal influyó en el proceso de formación de estos yacimientos.



*Figura 16.5 Vaciado en moldes del acero en una fábrica metalúrgica moderna*

De este modo, se originaron los grandes yacimientos de Kerch; seguramente, también así, se acumularon las enormes reservas de minerales ferruginosos de Krivói Rog y de la Anomalía magnética de Kursk.

Los minerales de estos dos últimos yacimientos fueron depositados por las aguas de los mares antiguos hace santísimo tiempo, que el aliento caliente de las profundidades tuvo tiempo suficiente para transformar su estructura y, en lugar de las hematites pardas, hallamos en ellos modificaciones minerales de color negro, compuestas de hematita y magnetita.



*Figura 16.6 Corte del globo terráqueo según los datos contemporáneos. Para mejor comprensión del esquema, su escala está deformada. La verdadera correlación de los estratos se muestra en el segmento estrecho de la izquierda. La base para distinguir los estratos en el interior de la Tierra son las observaciones sobre el paso de las ondas sísmicas: longitudinales, que se desplazan a gran velocidad (curva superior) y transversales (curva inferior)*

La "peregrinación" del hierro por la superficie terrestre se verifica sin interrupción. Verdad es que en el agua del mar se acumula en cantidades pequeñas, por lo que se acostumbra a decir que esta agua prácticamente no contiene hierro. Sin embargo, en condiciones especiales, excepcionales, en el mar y en los golfos poco profundos se depositan sedimentos ferruginosos, yacimientos enteros de mineral de hierro, que se observan en varias formaciones marítimas antiguas. De esta manera, se originaron nuestros notables yacimientos de este metal en Ucrania (cerca de Jopior), en Kerch y en los Urales (junto a Aiat). Por la superficie terrestre, por los arroyos, ríos, lagos y pantanos,

por todas partes "viaja" el hierro; y las plantas se alimentan de este importante elemento químico, sin el cual la vida vegetal no podría existir.



*Figura 16.7 Las rocas de magnetita atraen los clavos de una nave. La nave se va a pique. Grabado antiguo (año 1497).*

Si privamos de hierro un tiesto con flores, veremos que éstas pronto pierden su colorido y aroma, las hojas se ponen amarillas y comienzan a secarse.



La clorofila vivificante, que crea esta fuerza de las células vivas, que extrae el carbono del anhídrido carbónico y entrega el oxígeno al aire, no podría existir sin el hierro, puesto que la presencia en ella de este elemento, es una condición indispensable para su formación.

Así, de esta forma, en las plantas, en los organismos vivos se verifica el ciclo del hierro en la Tierra, y los glóbulos rojos de la sangre humana constituyen una de las etapas finales en la "peregrinación" de este metal, sin el cual no existiría la vida, ni el trabajo pacífico.

## Capítulo XVII EL ESTRONCIO, METAL DE LAS LUCES ROJAS

¿Quién no conoce los bellos fuegos de "bengala" y deslumbradores cohetes, cuyas rojas chispas se extinguen lentamente en el aire, cambiándose en luces verdes también vivaces?



En las grandes fiestas encienden sus millares de fuegos bengalas, soles giratorios, cohetes silbantes de los fuegos artificiales alumbrando la oscuridad de la noche con luces rojas o verdes, amarillas o blancas. Estos fuegos rojos de las bengalas se elevan sobre el mar lanzados por los buques en ocasiones de grave peligro, se arrojan desde los aeroplanos para la señalización nocturna.

Pocos saben cómo se hacen estos vivos fuegos de "bengala", que recibieron su denominación de la India. Allí, durante las ceremonias religiosas, los sacerdotes infundían temor a los orantes, encendiendo súbitamente, en la penumbra de los templos y santuarios, misteriosos fuegos verde-mortecinos o rojo-sangrientos.

No todos saben que estos fuegos se obtienen de sales de los metales estroncio y bario, dos metales peculiares de las tierras pesadas, que durante mucho tiempo no se consiguió distinguir uno del otro, hasta que se advirtió que al arder uno da luz verde amarillenta y el otro roja viva. Pronto se supo obtener sales volátiles de ambos metales, mezclarlas con sal de Berthollet, con carbón y azufre, y con esta mezcla moldear a presión bolitas, cilindros y pirámides con los que se elaboran las bengalas y las mechas de los fuegos artificiales.

Tal es una de las últimas paginas de la compleja y prolongada historia de estos dos elementos. Posiblemente resultaría aburrido si me pusiera a describir con detalle el largo camino que recorren los átomos de estroncio y bario en la corteza terrestre, comenzando en la masa fundida de magmas graníticos y alcalinos y terminando en los establecimientos industriales: en la producción del azúcar, en la industria militar, en la metalurgia, en la fabricación de fuegos artificiales.

Hay que decir que, siendo todavía estudiante de la Universidad de Moscú, leí en un periódico del Volga un magnífico relato sobre los minerales del estroncio, descrito por un especialista de Kazan. Este notable mineralogista contaba cómo junto con su acompañante recogía en la ribera del Volga bellos cristales color cielo del mineral celestina.



Figura 17.1 Salva de fuegos artificiales en Leningrado

Escribía cómo se originaron estos cristales de los átomos diseminados en las calizas de Perm y cuales eran sus propiedades y empleo; este relato quedó tan grabado en mi memoria que durante muchas decenas de años recordé el mineral celestina, así llamado de la palabra latina "celum" ("cielo"), debido a su bello color azul celeste.

Durante muchos años soñaba con encontrar esta piedra y en 1938 lo conseguí. Un inesperado hallazgo me hizo recordar aquel maravilloso relato.

Descansábamos en Kislovodsk, en el Cáucaso del Norte. Después de una enfermedad grave, no podía aun andar por los montes, pero de todas formas un pensamiento me llevaba hacia los peñascales, canteras y precipicios rocosos.

Cerca del sanatorio estaban construyendo un bello edificio para una nueva casa de reposo. Lo recubrían con toba volcánica de color rosa traída de Armenia, de la aldea Artik. El cerco y el pórtico lo construían con dolomita amarillenta que tallaban cuidadosamente a martillo, esculpiendo preciosos ornamentos y adornos.

Me acostumbré a visitar la construcción y observar largo rato como la mano hábil de los obreros tallaba la blanda piedra dolomítica, separando de ella algunos trozos más compactos. "En esta piedra - dijo uno de ellos - se encuentran nódulos duros perniciosos, que nosotros llamamos "enfermedad de la piedra", porque perjudican el acabado de sus superficies. Los arrancamos y los arrojamos en aquel montón". Me acerque a mirar, y de pronto, en un pedazo partido, vi un cristalito celeste. ¡Oh, esto era verdadera celestina! Una aguja azul preciosa, transparente, como el zafiro claro de la isla de Ceilán, como el aciano pálido y quemado por el sol.



Tome un martillo a un obrero, me puse a romper las piedras desechadas y enmudecí de júbilo.

Ante mi se hallaban cristales de celestina. Escobillas enteras de color celeste llenaban los huecos de los nódulos. Entre ellas había cristales blancos transparentes de calcita y el propio nódulo estaba formado de cuarzo y calcedonio gris, como un engaste firme y compacto para el collar de celestina.

Pregunte a los obreros de donde extraían la piedra para la edificación y ellos me mostraron el camino de la cantera. No pasaron dos días, cuando por la mañana temprano nos sentamos en un break y marchamos por un camino polvoriento al lugar de donde extraían la dolomita. Ibamos a lo largo del impetuoso riachuelo Alikonovka, pasamos junto al bello edificio del "Castillo del amor y la perfidia". El valle se estrechaba convirtiéndose en desfiladero; en los declives cortados pendían como cornisas las calizas y dolomitas. Y pronto vimos a to lejos las hendiduras con enormes estelas de escombros y pedazos de rocas laterales.

Al principio no tuvimos suerte. Todas las piedras que partíamos sin escatimar esfuerzos, obstinadamente, contenían cristales de calcita y cristal de roca o masas amorfas de ópalo blanco y gris y calcedonio semitransparente. Pero al fin acertamos con el lugar adecuado. Uno tras otro separábamos trozos de celestina azul, transportándolos abajo cuidadosamente y envolviéndolos en papel, y de nuevo nos arrastrábamos por las escombreras, recogiendo ejemplares admirables.



Llenos de orgullo llevamos nuestros ejemplares al sanatorio, los clasificamos y lavamos, pero esto nos pareció poco. Pasaron solo unos días y de nuevo nos balanceaba un caballejo en busca de celestina.

Nuestra habitación estaba abarrotada de terrones de dolomita con sus ojuelos celestes; el director del sanatorio nos miraba con reproche, pero nosotros traíamos mas y más minerales. Nuestra conducta acabó por intrigar a los vecinos y demás enfermos convalecientes del sanatorio. Todos se interesaron por la piedra celeste; algunos incluso marcharon siguiendo nuestros pasos a la cantera y para darnos envidia trajeron también ejemplares muy buenos.

Nadie comprendía para que recogíamos estas piedras. Y, cierta tarde aburrida de otoño, nuestros camaradas del sanatorio pidieron que les contase que es esta piedra azul, por qué se formó en la dolomita amarilla de Kislovodsk y para qué sirve. Nos reunimos en una habitación cómoda, coloqué los ejemplares ante los oyentes y, un poco intimidado por tan inesperado auditorio, del que muchos no sabían ni Química ni Mineralogía, comencé mi narración.

...Hace mucho, varias decenas de millones de años, el mar Jurásico superior arrastraba sus olas hasta las potentes cordilleras del Cáucaso, ya existentes entonces. El mar, ora se retiraba, ora inundaba de nuevo la costa, erosionando los acantilados graníticos y depositando en sus lindes esa arena roja que ahora alfombra los caminos alrededor del sanatorio.

En pequeños golfos, en las desembocaduras de los ríos turbulentos descendientes de las cúspides del antiguo Cáucaso, se fueron creando grandes lagos salinos. El mar Jurásico se retiró hacia el norte y, a lo largo de las costas, en el fondo de los lagos, estuarios y marismas, se depositaban aluviones arcillosas, arenas, se formaron estratos de yeso y a veces, incluso sal gema. En los lugares más profundos se depositaron capas compactas de dolomita, que ahora constituyen grandes estratos de color amarillo uniforme, gris y blanco.

Pero ¡qué destino más complejo y variado el de aquel mar del que se formaron estos sedimentos! Su litoral era un hervidero de seres vivos. Aquí se podría admirar esa estampa abigarrada de la vida que nos asombra en las murallas rocosas del mar Mediterráneo a incluso en los golfos templados del fiordo de Kola.

Variadas algas azul-verdosas y rojas, cangrejos con sus bellas caperuzas, caracolas y conchas de las más distintas formas y color, todo esto poblaba las peñas, cubriéndolas de un tapiz multicolor. En el agua fulguraban los erizos marinos con sus lindas espinas, grandes estrellas de cinco picos radiales de estructura sinuosa, medusas de todas las formas posibles.

En las piedras del fondo, a lo largo de la costa, vivían en cantidad innumerable diminutos radiolarios; algunos de ellos eran transparentes como el cristal, constituidos de ópalo puro; otros, a modo de pequeños globitos blancos de dimensiones no superior a un milímetro, dotados de un pequeño tallo tres veces mayor que el cuerpo. Descansaban sobre las piedras en bellas malezas mohosas y a veces incluso recubrían las espinas de los erizos de mar, navegando con ellos por el fondo.

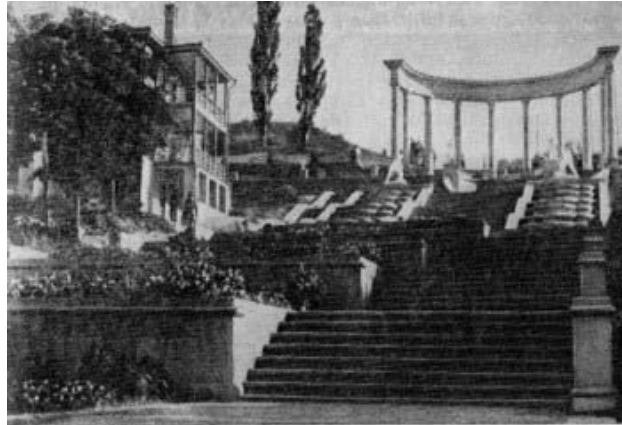
Estos eran los célebres radiolarios acantáridos, cuyos esqueletos se componían de espículas en cantidad de 18 a 32. Durante mucho tiempo nadie supo de qué estaban formados y sólo casualmente se descubrió que están constituidos no de sílice, ni de ópalo, sino de sulfato estróncico.



*Figura 17.2 Sanatorio en Kislovodsk, construido de dolomita del lugar*



Estos innumerables radiolarios acumulaban en su complicado proceso vital el sulfato de estroncio, extrayéndolo del agua del mar, y, gradualmente, construían sus espículas cristalinas. Al morir los radiolarios caían al fondo del mar. Así se dio comienzo a la acumulación de uno de los metales raros, que vino a parar a las aguas costeras de los mares del Cáucaso procedentes de los macizos graníticos erosionados, de aquellos feldespatos blancos que entran en la composición del granito caucasiano.



*Figura 17.3 Escalera de dolomita en Kislovodsk*

Puede ser que nunca hubiésemos adivinado la existencia de estos acantáridos en los mares Jurásicos, y a los químicos no se les hubiera ocurrido buscar estroncio entre las calizas puras y dolomitas de nuestras canteras, si en aquellos remotos tiempos geológicos, nuevos acontecimientos no hubiesen turbado el reposo de los antiguos sedimentos de dichos mares.



El Cáucaso comenzó a sufrir nuevos paroxismos de su actividad volcánica. De nuevo se repitieron las erupciones de masas derretidas, comenzó la formación de cordilleras, por las fisuras y resquebraduras infiltrábanse los vapores hirvientes y surtidores que emergían a la superficie terrestre, y en la región de Minerálnie

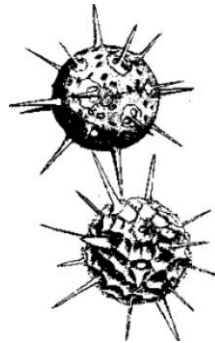
Vody, rompiendo los estratos de rocas cretáceas y terciarias, surgieron los notables lacolitos, los montes de Beshtau, Zheléznaia, Mashuk y otros.

La respiración ardiente de las profundidades impregnaba las calizas, los sedimentos de yesos y sales, formando mares y ríos subterráneos de aguas minerales, bien frías, bien calientes todavía por el aliento de la Tierra; estas aguas se infiltraban por las grietas de las dolomitas y calizas de las depositaciones antiguas, obligándolas a recristalizarse por la acción de sus soluciones químicas y convertirse en la bella y consistente piedra dolomítica con que se construyen los edificios.

Por efecto de complicadas reacciones químicas, los diminutos y dispersos átomos de estroncio, restos de los radiolarios acantáridos, pasaron al estado de disolución y de nuevo se depositaron en los huecos de las dolomitas jurásicas, originando los bellos cristales de celestina azul.

Así, en el transcurso de muchos miles de años, paulatinamente, tuvo lugar la formación de nuestros geodas celestínicos, y ahora, cuando penetran las soluciones frías de la superficie terrestre, los cristales de celestina se enturbian, se hacen opacos, se corroen sus brillantes facetas y los átomos de estroncio comienzan de nuevo a migrar por la superficie terrestre en busca de nuevas combinaciones químicas más estables.

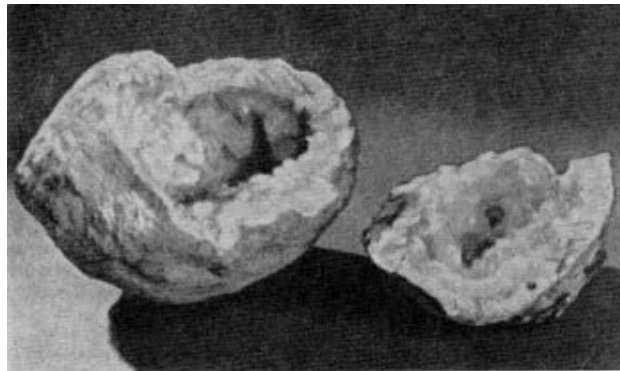
El cuadro de la historia de las celestinas de Kislovodsk que acabo de diseñar, se repite en muchas regiones del país. Por doquiera donde en el transcurso de la historia de la corteza terrestre desaparecieron grandes cuencas marinas y se formaron mares pequeños y lagos salados, allí murieron, durante decenas de millones de años, los glóbulos de los acantáridos y de sus diminutas espículas se fueron formando los cristallitos de estroncio.



*Figura 17.4 Esqueletos de organismos elementales, los acantáridos, cuyas espículas se forman de sulfato de estroncio*

Un cinturón compacto de rocas de celestina rodea las cordilleras del Asia Central, en los antiquísimos mares del periodo silúrico hallamos los mismos cristales en la República de Yakutia; pero los yacimientos más grandes están ligados a los mares de la época de Perm, que depositaron enorme cantidad de celestina en las calizas de la región del Volga y del Dviná Septentrional.

No voy a contar qué ocurre después con los cristales de celestina en la corteza terrestre. Muchos de ellos, como hemos visto, comienzan de nuevo a disolverse, sus átomos van a parar al suelo, son arrastrados por las aguas, se disuelven en el espacio sin límites de los océanos, se concentran en lagos salinos y estuarios marinos, forman las espículas de los acantáridos y nuevamente, después de millones de años, aparecen los cristales de celestina.



*Figura 17.5 Geoda de celestina partido en dos trozos*

En esta sucesión permanente de procesos químicos, en el complejo ciclo de los fenómenos naturales, el mineralogista y el geoquímico captan sólo ciertos episodios sueltos, fases aisladas. Para llegar a penetrar en los complicados caminos de la "peregrinación" de los átomos en el universo, hay que poner un ojo experto, sutileza en el análisis de los problemas y concepciones científicas claras y profundas. De fragmentos se crean páginas completas, de páginas sueltas el gran libro de la Química de la Tierra, que nos cuenta, desde el principio hasta el fin, cómo viaja

el átomo por la naturaleza, con quién comparte caminos comunes, dónde encuentra su muerte tranquila o agitada en forma de cristales estables, dónde los átomos dispersos eternamente cambian de acompañante, bien pasando a disoluciones, bien diseminándose sin fin en el gran espacio de la naturaleza.

El geoquímico debe comprender estos complejos caminos del átomo.

A través del menor cristal, estudiando e investigado, debe llegar como por un hilo hasta el principio de la madeja. ¿Acaso podemos ahora hablar sobre el principio de la historia de los átomos de estroncio?

¿Dónde y cómo nacieron en la villa del universo? ¿Por qué brillan las líneas del estroncio con especial viveza en algunas estrellas, qué hacen allí y de dónde provienen las líneas del estroncio en los rayos del Sol? ¿Cómo se congregó este metal en la superficie de la corteza terrestre, cómo se concentró en la masa fundida de los magmas graníticos, cómo, junto con el calcio, se acumuló en los blancos cristales de feldespato?

Todas estas son preguntas a las que el geoquímico no puede dar respuesta. El no puede hablar de esto con la claridad con que yo acabo de contar la historia de los cristales azules de celestina que hallé en los alrededores de Kislovodsk. Y poco también puede contar de las páginas finales de la historia de los átomos de estroncio.

Durante mucho tiempo el hombre no prestó atención a este elemento. A veces lo empleó para los fuegos rojos, pero para esto no era necesario extraer grandes cantidades de sales de estroncio del seno de la Tierra.



Pero, he aquí, que un químico halló una aplicación acertada del estroncio en la producción del azúcar. Descubrió que el estroncio forma con el azúcar un compuesto especial, el sacarato de estroncio, que se puede emplear con éxito para purificar el azúcar, separándolo de la melaza. Se inició el uso amplio de este metal, cuya obtención en Alemania e Inglaterra alcanzó grandes proporciones. Pero otro químico halló que el estroncio puede ser sustituido por el calcio, elemento más barato. El método del estroncio resultó innecesario y de nuevo este metal cayó en el olvido, se

cerraron minas y sólo en algunos lugares, tratando los residuos de sus sales, los elaboraban para utilizarlos en los fuegos rojos.

Comenzó la guerra imperialista de los años 1914-1917. Se requerían enormes cantidades de bengalas de señales. Las luces rojas, atravesando la niebla, se hicieron imprescindibles para iluminar el espacio, para la fotografía aérea; las sales de las tierras raras y de estroncio se aplicaban como material impregnante para los carbones de los reflectores.

El estroncio halló una nueva aplicación.

Después los metalurgos aprendieron a obtener el estroncio metálico. A semejanza del calcio y bario metálicos, limpia los metales férreos de gases perniciosos y otras impurezas.



Empezaron a utilizarlo en la metalurgia del hierro. Químicos, técnicos-metalurgos y encargados de la producción se interesaron nuevamente por el estroncio, y en la actualidad los geoquímicos buscan de nuevo sus yacimientos, estudian las acumulaciones de estroncio en las grutas del Asia Central, obtienen en grandes fábricas sus sales, las extraen de las aguas minerales. En una palabra, el estroncio ha vuelto a convertirse en un factor de la industria y la economía. Cuál será su destino en el futuro, no lo sabemos. Lo mismo que la primera, la última página de la historia de este metal tampoco es conocida por los geoquímicos...



De este modo concluí mi relato a los oyentes del sanatorio sobre las piedras azules. Aquellos cristales azules, a primera vista innecesarios, se convirtieron ante sus ojos en partículas de la construcción socialista. Todos comenzaron a mirar de otro modo nuestras expediciones mañaneras a la cantera y hasta el médico-jefe dejó de gruñir porque atestábamos la habitación de piedras, violando el régimen sagrado del sanatorio. En una palabra, la celestina nos reconcilió. Entonces decidí incluso escribir una narración sobre este mineral. Se encuentra impresa en mi libro "Memorias sobre las piedras".

**Capítulo XVIII****EL ESTAÑO, METAL DE LOS BOTES DE CONSERVA**

El estaño es un metal "modesto" que al parecer no se distingue en ningún aspecto. En la vida ordinaria es raro oír hablar de él, a pesar de que lo empleamos con mucha frecuencia.



Su destino es servir al hombre, pero con otras denominaciones. Posiblemente a muchos jamás se les habrá ocurrido pensar que el estaño es el constituyente esencial de diversos y útiles materiales, como el bronce, la hojalata, el metal de soldar, el metal antifricción, la piedra de imprenta, el metal para cañones, el "estaño", los bellos esmaltes con que se recubre la porcelana, las pinturas, etc., etc.

Se caracteriza por sus admirables y particularísimas propiedades, algunas de las cuales no han sido todavía descifradas por los geoquímicos y continúan siendo un enigma.

El estaño se formó en el seno del magma granítico rico en sílice, llamado magma "ácido", que ascendía de las entrañas de la Tierra. Sin embargo, no en todos los magmas ácidos se descubre la presencia de estaño y, hasta la fecha, desconocemos las leyes que establecen el enlace mutuo entre este metal y el granito: no sabemos por qué el estaño abunda en unos yacimientos, mientras que en otros, al parecer de constitución idéntica, casi no existe.

Otra cuestión interesante es ¿por qué el estaño, siendo un metal pesado, no se hunde en la masa magmática fundida, como ocurre con otros metales pesados, sino que al contrario, tiende a elevarse y ocupar la parte alta del macizo granítico?

La causa reside en que en el seno de los vapores y gases, intensamente volátiles y dotados de gran energía, que se hallan disueltos en el magma, los elementos halógenos cloro y flúor juegan un importante papel. De la experiencia práctica sabemos que el estaño se une con estos dos gases incluso a la temperatura ordinaria. En el magma forma con estos gases combinaciones muy volátiles: los fluoruros y cloruros de estaño. Y en este estado gaseoso, el estaño, junto con otros compuestos volátiles (de silicio, sodio, litio, berilio, boro, etc.), ascienden hasta la zona superior del macizo granítico, durante el período de su enfriamiento, a incluso traspasan dicha zona llegando hasta las fisuras de las rocas próximas a la superficie terrestre. Aquí, al variar las condiciones fisicoquímicas, el cloruro y fluoruro de estaño reaccionan con los vapores acuosos. El estaño abandona a sus acompañantes, el cloro y el flúor, se combina con el oxígeno del agua y se separa, no como antes en forma de gas, sino como sustancia dura y brillante, la casiterita (piedra de estaño), mineral de gran importancia industrial. A veces, junto con la casiterita, se forman otros muchos minerales interesantes: topacio, cristal de roca ahumado, berilio, espato flúor, turmalina, wolframita, molibdenita, etc.



*Figura 18.1 Vetas pegmatíticas con rocas estanníferas en las formaciones graníticas. Cordillera de Turquestán*

Relativamente no hace mucho supimos que los grandes yacimientos de casiterita se originan no sólo de las combinaciones haloideas volátiles contenidas en los magmas graníticos, sino también de los restos graníticos en períodos más avanzados de su enfriamiento. Cuando los vapores acuosos se condensan y se transforman en agua líquida, ésta difunde lejos del foco materno diferentes compuestos metálicos, lo más frecuente en forma de sulfuros, o sea, combinaciones de los metales con el azufre. Varios de estos procesos no están del todo claros para nosotros, sin embargo, sabemos que el estaño también se desprende del magma de esta misma manera.



Lo interesante es que en este caso se repite el proceso antes mencionado, o sea, abandona a su agente portador, el azufre, lo mismo que entonces hizo con los halógenos, se combina con el oxígeno y forma su mineral predilecto, la casiterita.

El estaño entra también en la composición de otros muchos minerales, pero todos ellos se hallan en la naturaleza en cantidades pequeñísimas, algunos son extraordinariamente raros, por tanto, su importancia industrial es insignificante.

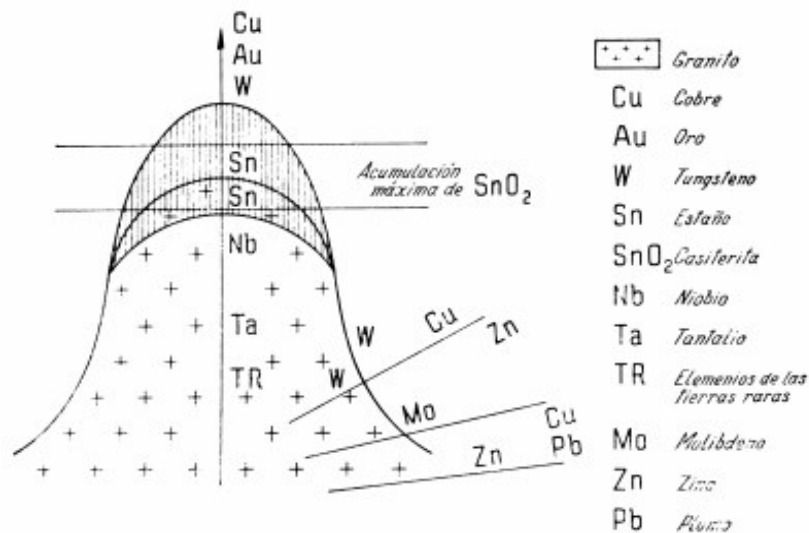


Figura 18.2 Esquema de la distribución del estaño y de sus elementos acompañantes en la parte superior de un macizo granítico

El mineral característico de estaño fue y es por ahora sólo la casiterita, SnO<sub>2</sub>, que en estado puro contiene cerca del 78.5% de estaño.

La casiterita (del griego "kassiteros" que significa "estaño") es por lo general de color negro o pardusco. Su coloración negra se explica por las impurezas de hierro y manganeso que contiene. A veces es amarilla o roja, rara vez incolora. Sus cristales son de ordinario muy pequeños.

Debido a su dureza, estabilidad química y gran peso, la casiterita no es barrida, ni destruida por el viento al actuar éste sobre las masas graníticas. Por el contrario, se concentra, junto con otros minerales pesados, en las zonas de destrucción de los granitos, en los lechos de los ríos o en las costas del mar, formando a veces extensos depósitos superficiales, los yacimientos de piedra estannífera.

Por tanto, la casiterita se extrae, bien de los yacimientos "básicos", bien de yacimientos secundarios, los depósitos superficiales.



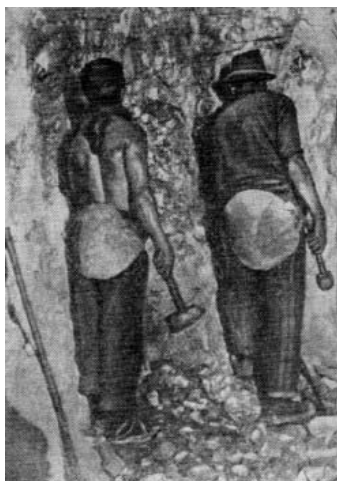
Cualquiera que sea el procedimiento de extracción empleado; el mineral de estaño se somete primeramente a un proceso de enriquecimiento o concentración para liberarlo de las diversas impurezas que le acompañan. Después, pasa a la fundición, donde el material es triturado, se mezcla con carbón y se calienta. El estaño es reducido por el carbono del combustible, el oxígeno se une al carbono, que se desprende en forma de anhídrido carbónico, y queda el estaño en estado metálico.

El estaño, obtenido por fundición de la casiterita, es un metal blando de color blanco argéntico (menos brillante que la plata), maleable, y puede extenderse en láminas finísimas. Funde a 231°C.

Posee propiedades muy originales. Al doblarse produce cierto crujido característico, llamado "grito" del estaño. Otra cualidad particular de este metal es su sensibilidad ante el frío. Expuesto a la influencia del frío, el estaño "enferma". En lugar de blanco argéntico adquiere color gris, aumenta de volumen, comienza a desmenuzarse y con frecuencia se convierte en polvo. Esta grave enfermedad se llama "peste del estaño". Por su causa, se han visto destruidos numerosos objetos de estaño de gran valor artístico o histórico. El estaño enfermo puede contagiar al metal sano. Por fortuna, la peste del estaño tiene curación. Para ello hay que refundirlo y dejarlo enfriar lentamente. Si esta operación se efectúa con suficiente cuidado (sobre todo el enfriamiento), el estaño adquiere de nuevo su aspecto y propiedades iniciales.

En un pasado remoto, precisamente el estaño fue el que dio un gran impulso al desarrollo cultural de la humanidad. El hombre hace muchísimo tiempo que conoce y utiliza este metal. Cinco o seis mil años antes de nuestra era, mucho antes de que aprendiera a extraer y trabajar el hierro, el hombre ya sabía fundir el estaño.

Debido a su blandura e inestabilidad, el estaño puro no se emplea para fabricar objetos. Sin embargo, el "bronce", aleación de color dorado compuesta de cobre y 10% de estaño (cuyo nombre proviene de la palabra persa brontpsion, que significa "aleación"), posee propiedades admirables: es más duro que el cobre, se moldea, forja y trabaja perfectamente. Si designamos la dureza del estaño con la cifra convencional 5, el cobre tendrá una dureza igual a 30, y la del bronce, aleación de cobre y pequeña cantidad de estaño, será de 100-150.



*Figura 18.3 Trabajos de extracción en las vetas estanníferas de Llallagua en Bolivia a la altura de 4.500 metros sobre el nivel del mar (año 1940)*

Esta propiedad fue la que dio en su tiempo tan amplia difusión al bronce, por lo cual los arqueólogos incluso le dedican una época especial, la edad de bronce, en la que los útiles de trabajo y las armas, así como los utensilios domésticos y los detalles de adorno eran casi exclusivamente de bronce. No sabemos cómo descubrió el hombre esta maravillosa aleación. Es posible que al fundir repetidas veces los minerales de cobre impurificados con estaño (semejantes yacimientos "mixtos" de cobre y estaño existen), el hombre llegara a observar las interesantes cualidades de esta fundición conjunta y comprendió su importancia.



En las excavaciones arqueológicas de colonias antiguas, con frecuencia se hallan, entre otros objetos, artículos de bronce bien conservados: utensilios de uso doméstico, monedas y figuras diversas. Cuando se precisa establecer la procedencia de estos objetos de bronce, si son de origen local o importados, el análisis químico proporciona valiosas indicaciones en este respecto. La purificación del metal en la antigüedad se efectuaba con mucha deficiencia.

Los métodos precisos actuales de análisis permiten descubrir la presencia de numerosos y diversos elementos en su composición en forma de impurezas insignificantes. Por la composición de estas impurezas se puede a veces presuponer a qué yacimientos corresponden el cobre y el estaño que constituyen el bronce en cuestión. Si el histórico o el arqueólogo consiguen demostrar que los objetos de bronce se elaboran en el lugar donde fueron hallados, el geólogo y el geoquímico deben emprender inmediatamente la búsqueda de estaño en esta región. De este modo puede descubrirse de nuevo la existencia de yacimientos estanníferos hace tiempo olvidados. Pero incluso después, cuando la edad de bronce fue remplazada por la edad de hierro, el bronce no perdió su significación. El hombre hizo de él objetos artísticos, acuñó monedas y moldeó campanas y cañones.



*Figura 18.4 Depósitos de arenas estanníferas en la Península de Itzamal. La masa mineral se lava con hidromonitores (lanzas de agua). El barro líquido obtenido se hace escurrir por zanjas especiales. Placer de Iogore-Bagrú (año 1940)*



El estaño posee la particularidad de formar también aleaciones notables con otros metales, por ejemplo, con el plomo, antimonio, etc.

En la actualidad, las aleaciones constituyen una rama del prodigio técnico, un mundo de transformaciones "hechiceras". Los hombres de ciencia soviéticos han estudiado e interpretado estos fenómenos "milagrosos", estas redistribuciones de los átomos que se verifican durante la fusión conjunta de dos o varios metales. Debido a los cambios que experimenta la estructura molecular, la aleación adquiere nuevas propiedades, distintas de las de cada metal tomado por separado.



*Figura 18.5 Un muchacho chino lavando las arenas estanníferas en la zanja. Archipiélago Malayo*

Por ejemplo, la aleación de metales blandos con frecuencia adquiere inesperadamente durezas elevadas.

La aleación de estaño y plomo, llamada metal blanco, se utiliza para las piezas de aparatos y tornos de gran potencia y precisión, en los que se requiere anular la acción del vástago de acero al girar a alta velocidad. Este tipo de aleación, denominado también "antifricción", tiene una gran resistencia al desgaste, o sea, un bajo coeficiente de rozamiento. Su aplicación técnica es amplísima, pues prolonga enormemente el plazo de servicio de máquinas costosas.

El estaño posee la notable propiedad de unirse por fusión a otros metales. En esta propiedad está basado el empleo en la industria y técnica de los llamados "materiales de soldadura", o sea, aleaciones de estaño con plomo y antimonio. No todos conocen la significación del estaño en la industria tipográfica. Es el componente esencial del llamado "metal de imprenta o tipográfico" del cual se moldean los "clichés", o sea, las composiciones con grabado en relieve que se utilizan en la impresión de ilustraciones.



No existe otra substancia que conceda tal brillo especular al mármol blanco y multicolor, como el polvo blanco de óxido de estaño.

Diversos compuestos de estaño se emplean en gran escala en la industria química y del caucho, en el estampado de percales, en el tinte de lana y seda, en la fabricación de esmaltes, barnices,

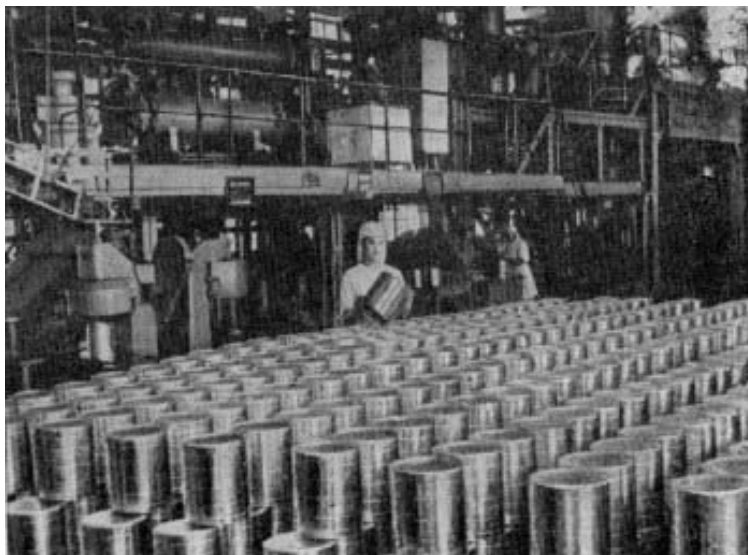
vidrios coloreados, oropeles dorados y plateados, y ni que decir tiene su importancia extraordinaria en la industria bélica.

Los yacimientos más antiguos de estaño se hallan en Asia y, también, en Europa al sur de las Islas Británicas, las cuales se llamaban "Casitérides". Sin embargo, es difícil decir si el mineral casiterita recibió su denominación de las islas, o son éstas las que recibieron su nombre de la palabra griega kassiteros, término que ya se usaba en la Iliada de Homero para designar al estaño. Es notorio que en la península inglesa de Cornwallis, la casiterita se encuentra junta con el mineral de cobre calcopirita, por tanto al fundir este mineral mixto puede obtenerse directamente bronce.

En la actualidad, los yacimientos más importantes de estaño corresponden a la península de Malaca, que dan casi el 50% de la producción mundial de este elemento.

En este lugar se conocen más de doscientos yacimientos dislocados en las formaciones graníticas, así como una enorme cantidad de placeres riquísimos. Los placeres se explotan por métodos hidráulicos, o sea, proyectando sobre la masa mineral fuertes chorros de agua lanzados por potentes monitores. El barro líquido, compuesto de una mezcla de distintos minerales, se hace escurrir por zanjas especiales con esclusas y removiéndolo constantemente a su paso. Este arduo trabajo es realizado por obreros reclutados entre la población civil, en su mayoría adolescentes. La casiterita, debido a su elevado peso específico, se sedimenta y queda retenida en las esclusas, de donde se va retirando de cuando en cuando. Este procedimiento, como ustedes pueden ver, es muy primitivo y se efectúa a base de una cruel explotación del trabajo.

El concentrado con un contenido de 60 a 70% de casiterita se envía a las fábricas, donde se extrae el estaño por fusión.



*Figura 18.6 Pilas de botes de conservas en una fábrica*

Los países imperialistas mantienen una lucha constante y feroz por el monopolio del estaño. Durante la segunda guerra mundial, el Japón trató de apoderarse de los yacimientos de este metal existentes en el continente y en las islas, así como de las fábricas productoras de estaño en Singapur pertenecientes a empresas inglesas, con objeto de abastecer las demandas de la industria de guerra y ayudar a la Alemania hitleriana que sufría entonces una aguda crisis de estaño. Al mismo tiempo perseguía otro objetivo: privar a los EE.UU. y a Inglaterra de los yacimientos de este importante metal de aplicación bélica.

Examinemos el mapa geográfico del mundo y veremos que la zona de granitos estanníferos y los yacimientos correspondientes de estaño, así como de volframio y bismuto, se extiende por la Costa del Océano Pacífico, pasando de sur a norte a través de las islas Billington, Banko, Singkep, península de Malaca, Siam y China del Sur.

La Geoquímica trata de descubrir la causa explicativa de la formación de tales zonas, en las que están situados los ricos yacimientos de minerales de estaño y de otros compuestos químicos que se encuentran juntas con este metal.

Además de los yacimientos de Malaca, existen concentraciones ricas de estaño en Bolivia. Estos yacimientos están distribuidos a todo lo largo de la Cordillera. Yacimientos de menos importancia se conocen en Australia, en la isla de Tasmania y en el Congo (Africa)<sup>1</sup>

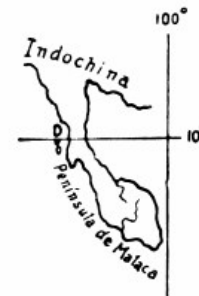
De las 200.000 toneladas de estaño que se producen anualmente, el 40-50% se destina a la fabricación de hojalata.

Las exigencias de hojalata blanca crecen progresivamente con el desarrollo de la industria conservera. ¿Han meditado ustedes sobre la importancia de este material, sobre el papel de los botes de lata en los que se conservan millones de kilogramos de carne, pescado, verduras, frutas, etc.?

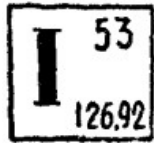
¿Qué es la hojalata? Es una lámina de hierro recubierta con una delgada capa de estaño de una centésima de milímetro de espesor. La película de estaño protege a las hojas de hierro y a los botes de lata contra la corrosión.

El estaño puro es insoluble en los jugos de las conservas y prácticamente es inofensivo para la salud humana. No hay ningún otro tipo de recubrimiento que pueda competir con el estaño en lo que respecta a su estabilidad.

Ahora podemos decir que el estaño ha sobrevivido su "edad de bronce" y es el metal de los botes de conserva.



<sup>1</sup> República de Zaire

**Capítulo XIX****EI YODO, ELEMENTO QUE SE HALLA EN TODAS PARTES**

Todos conocemos bien el yodo, lo empleamos cuando nos herimos un dedo y tomamos sus gotas rojo-pardas con leche en los años de vejez. El yodo es un medicamento bien conocido y, sin embargo, ¡qué poco sabemos sobre el yodo y su destino en la naturaleza!

Es difícil hallar otro elemento tan lleno de misterios y contradicciones como el yodo. Además, sabemos de él tan poco y conocemos con tanta insuficiencia los jalones fundamentales de la historia de su "peregrinación", que hasta hoy no comprendemos por qué cura el yodo y de dónde apareció en la Tierra.

Hay que decir que ya Mendeléev chocó con desagradables peculiaridades de las propiedades del yodo. Mendeléev distribuyó sus elementos por orden creciente de sus pesos atómicos, pero el yodo y el telurio infringieron este orden: el telurio está antes que el yodo aunque su peso atómico es más alto. Así quedó esta cuestión hasta el día de hoy.

El yodo y el telurio resultaron ser casi los únicos elementos capaces de quebrantar el edificio de la ley de Mendeléev. Cierto que hoy adivinamos la causa de esta irregularidad, pero durante muchos años quedó como una excepción inexplicable. Repetidas veces los críticos de la brillante teoría de Mendeléev arguyeron que él colocó los elementos como le pareció más cómodo.

El yodo es un cuerpo sólido; forma cristales grises dotados de verdadero brillo metálico. Parece metal y se transparenta con luz violeta, pero al mismo tiempo, si colocamos en un frasco de vidrio unos cristallitos de yodo, en seguida vemos aparecer en la parte alta del recipiente vapores violados. El yodo se sublima con facilidad, sin pasar por el estado líquido.

Esta es la primera contradicción que salta a la vista, pero le sigue otra. El color de sus vapores es violeta oscuro y el del propio yodo, gris metálico. Las sales de yodo son, en general, incoloras y se parecen a la sal común; sólo algunas de ellas poseen un ligero tono amarillento.

He aquí otros enigmas del yodo. El yodo es un elemento extraordinariamente raro. Nuestros geoquímicos han calculado que la proporción de yodo en la corteza terrestre viene a ser de una o dos cienmilésimas por ciento; no obstante, el yodo existe en todas partes. Quizás podamos nosotros decir todavía más: no hay nada en el mundo que nos circunda, donde los métodos analíticos de gran precisión no descubran la presencia de átomos de yodo.

Todo está impregnado de yodo. La tierra dura, las rocas, incluso los cristales más puros del transparente cristal de roca o espató de Islandia, contienen bastantes átomos de yodo.

Considerablemente más lo contiene el agua de mar y también, en gran cantidad, se halla en las aguas corrientes, en el suelo y, sobre todo, en las plantas, los animales y el hombre. Nosotros aspiramos el yodo del aire que respiramos, pues se halla saturado de sus vapores; introducimos yodo en nuestro organismo con la comida y con el agua. Sin yodo no podemos vivir.

Y es comprensible la pregunta: ¿por qué el yodo se encuentra en todos los sitios? ¿De dónde procede tanta cantidad del mismo, dónde están sus fuentes originarias, de qué profundidad de las entrañas terrestres llega a nosotros este raro elemento?

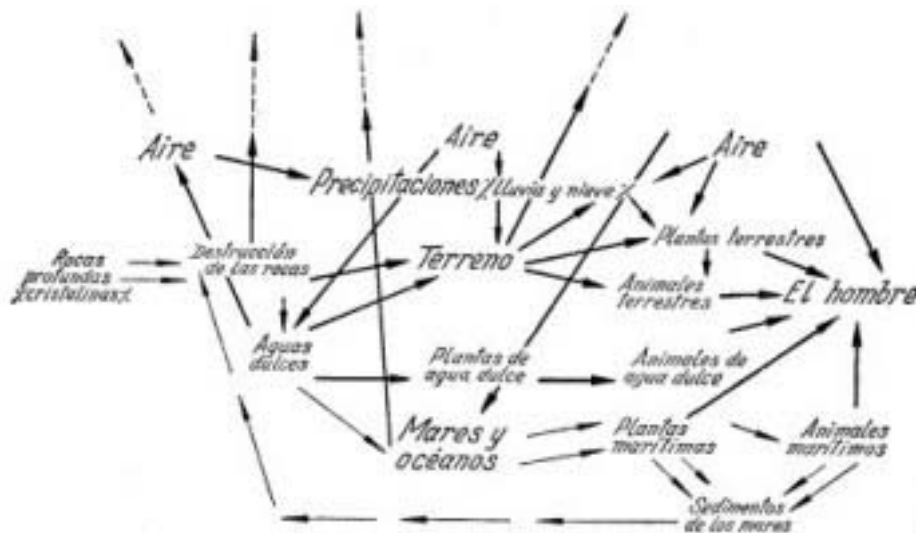
Incluso los métodos de análisis y observación más precisos no han podido descubrirnos su enigmático origen, ya que ni en las profundas rocas eruptivas, ni en las masas fundidas de los magmas emergidos, no se conoce ni un solo mineral en cuya composición intervenga el yodo.

Los geoquímicos explican su historia en la Tierra de la forma siguiente: En tiempo remoto, antes de la historia geológica de la Tierra, cuando nuestro planeta se cubrió por vez primera de corteza dura, los vapores volátiles de diversos elementos envolvían con nubes espesas la tierra aún caliente.



*Figura 19.1 Cordilleras del Pamir Central. Foto hecha durante el ascenso al pico del Comunismo, a la altura de 6.500 metros*

Entonces, el yodo, junto con el cloro, se desprendieron de lo hondo de los magmas líquidos de nuestro planeta, entonces también, se apoderaron de él las primeras corrientes de agua depositadas al condensarse los vapores calientes, y los primeros océanos de los cuales se originaron posteriormente los mares, concentraron en su masa el yodo de la atmósfera terrestre.



*Figura 19.2 Ciclo del yodo*

Fue o no así, nosotros hoy todavía no lo sabemos con exactitud. Lo único que sabemos es que su distribución en la corteza terrestre está llena de enigmas. En los países árticos, en las altas montañas existe menos yodo que en los lugares bajos; en las costas, la cantidad de yodo en las rocas aumenta y es aún mayor en las formaciones desérticas; en las sales de los grandes desiertos del sur de Africa o de Atacama (Sudamérica), se encuentran verdaderos compuestos minerales de yodo.

El yodo se halla también disuelto en la atmósfera; su distribución en el aire, según los datos analíticos, obedece a una ley determinada y estricta: su cantidad varía con la altura. En las alturas del Pamir y Altái, a más de 4.000 metros, hay mucho menos yodo que al nivel de Moscú o de Kazan.

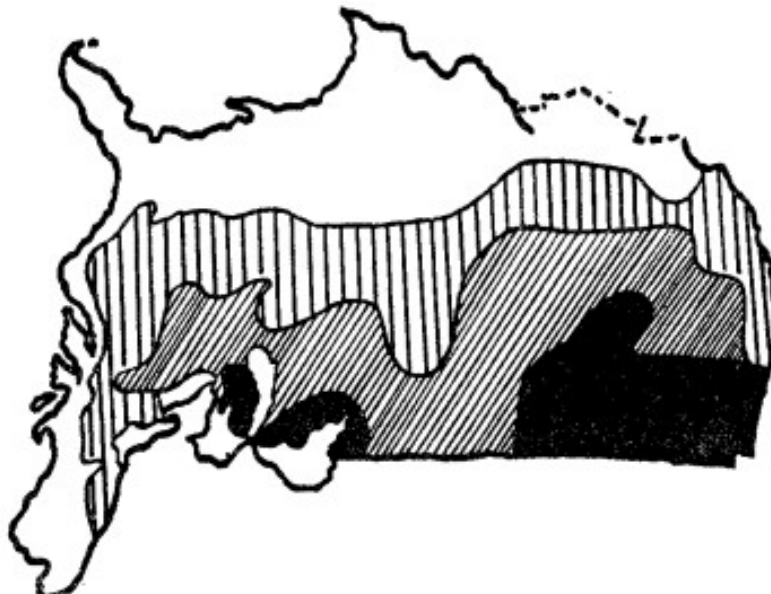


Pero el yodo existe no sólo en la Tierra, lo hallamos también en los meteoritos que caen desde los espacios ignorados del universo. En las atmósferas del Sol y las estrellas, los hombres de ciencia lo buscan hace tiempo con ayuda de métodos nuevos, pero, por ahora, infructuosamente.

El agua de mar contiene bastante yodo: dos miligramos por litro, y esto es ya una cantidad apreciable. El agua marina se espesa en las costas, estuarios y lagos de litoral; allí se acumulan las sales y recubren la orilla con su manto blanco. Estas concentraciones salinas han sido bien estudiadas en las costas de Crimea, en el mar Negro, así como en los lagos del Asia Central. Pero en ellas no existe yodo. Se esconde, por lo visto, en algún otro lugar. Al parecer, cierta cantidad se concentra en el fondo, en el limo, gran parte se evapora, marchando al aire, y sólo una pequeña parte queda en las salmueras residuales. Allí donde se acumulan las sales de potasio y bromo, yodo casi no hay.



Pero a veces en las orillas de los mares y lagos salinos se desarrolla vegetación, se forman bosques enteros de diversas algas que cubren las piedras ribereñas.



*Figura 19.3 Esquema de la difusión de la enfermedad del bocio en Norteamérica y del contenido de yodo en el agua. Donde escasea el yodo, abundan los enfermos de bocio. Zona blanca: contenido de yodo en el agua potable, de 3 a 20 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 0 a 1 por mil habitantes al año. Zona con rayado vertical: contenido de yodo en el agua, inferior a 2-9 milmillonésimas, casos de bocio, de 1 a 5. Zona con rayado oblicuo: yodo en el agua, de 0,2 a 5 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 5 a 15 casos. Finalmente, zona negra: yodo, de 0 a 0,5 milmillonésimas, enfermos de bocio, de 15 a 30 casos por cada mil habitantes*

En estas algas se concentra el yodo en virtud de ciertos procesos bioquímicos inexplicados, y a cada tonelada de algas corresponden varios kilogramos de yodo puro, de este notable elemento.



En algunas esponjas marinas la cantidad de yodo es aún mayor y alcanza el 8-10 %.

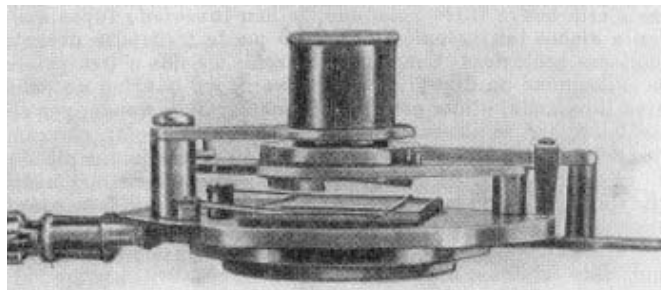
Los investigadores soviéticos han estudiado con todo detalle el litoral del Pacífico. En todo el inmenso espacio de la región costera, las olas acarrear, sobre todo en otoño, gran cantidad de algas laminarias, más de trescientas mil toneladas. Estas algas pardas contienen muchos cientos de miles de kilogramos de yodo. Las recogen y seleccionan, una parte se emplea como alimento, el resto se quema, calentando con cuidado, para extraer de ellas el yodo y la potasa.

Pero con esto no termina la historia del yodo en la corteza terrestre. Lo contienen, también, las aguas petrolíferas. En los alrededores de Bakú, se forman grandes lagos de aguas residuales, de las que, actualmente, se extrae el yodo.

Algunos volcanes lo arrojan también de su misteriosa profundidad.

Tan variado es el destino de este elemento en la historia de nuestro planeta, que es difícil representarse el cuadro completo y coherente de la vida y aventuras de este átomo, eterno errante de la naturaleza.

Pero he aquí que el yodo cae en manos del hombre y aquí surge un nuevo enigma. Curamos con yodo, con él cortamos la hemorragia de sangre, destruimos las bacterias, defendemos las heridas contra la infección y, al mismo tiempo, el yodo es extraordinariamente venenoso, sus vapores provocan la irritación de las membranas mucosas.



*Figura 19.4 Lupa mineralógica de bolsillo con polaroide de compuestos de yodo. Construida por el profesor v. Arshinov*

Un exceso de gotas o cristales de yodo puede ser mortal para el hombre. Pero lo más asombroso es que para la salud es aún peor la falta de yodo. El organismo humano y, probablemente, el de muchos animales, debe tener una cantidad determinada de este elemento. Es sabido que la escasez de yodo se señala en algunos lugares por una enfermedad especial, llamada bocio. Esta enfermedad la sufren principalmente los habitantes de las altas regiones montañosas. Conocemos algunas aldeas situadas en las altas montañas del Cáucaso Central y en el Pamir donde esta enfermedad está difundida. También es bien conocida en los Alpes.

En el último tiempo, los investigadores americanos han determinado el índice de propagación del bocio en el territorio americano. Resulta que si se compone un mapa de la distribución de esta enfermedad y otro con el porcentaje de yodo contenido en el agua, los datos de ambos mapas coinciden unos con otros.

El organismo humano es muy sensible al yodo y el descenso de su contenido en el aire y en el agua se refleja inmediatamente en la salud. El bocio se cura empleando sales de yodo.

No menos interesantes son las formas de aplicación del yodo en la industria que, cada vez, se hacen más amplias y variadas. Han sido descubiertas combinaciones de yodo con sustancias orgánicas que constituyen una coraza impenetrable para los rayos X, por tanto si se introducen estos compuestos en el organismo, pueden fotografiarse los tejidos internos con especial precisión.

Se conocen otras esferas de aplicación del yodo, surgidas en los últimos años. Un significado especial ha adquirido el empleo del yodo en la industria del celuloide, donde se utilizan ciertas sales de yodo en forma de diminutos cristalitos aciculares. Estos cristalitos se distribuyen por la masa celulósica de tal modo, que las vibraciones de los rayos luminosos no pueden pasar a su través en todas direcciones. Se obtiene lo que se llama rayo polarizado. Durante muchos años se construían microscopios especiales de polarización muy caros, pero actualmente, gracias a este nuevo filtro polaroide, se han inventado lupas que sustituyen a dichos microscopios. Con ellas puede trabajarse durante las expediciones geológicas. Con la combinación de dos o tres polaroides puede conseguirse un dibujo de color vivo: y me imagino un panel decorativo iluminado, o una pantalla cinematográfica, donde, por el giro de dos polaroides, se alcancen magníficos efectos de color, con cambios rápidos de todos los tonos del espectro solar.

Colocando una placa polarizada en el parabrisas de un automóvil, puede conducirse el coche por la calle iluminada y no les cegará la vista la luz proyectada por los faros de los coches que vengan al encuentro, ya que con el polarizador no se ven las vivas aureolas de las luces encendidas, sino sólo el propio coche con un punto luminoso aislado.

Cuando un avión se eleva sobre una ciudad apagada y deja caer en paracaídas el vivo resplandor de los compuestos de magnesio, las gafas polarizadas permiten observar todo lo que acontece en el suelo bajo la bengala luminosa.

Ustedes ven con qué amplitud y variedad se aplica este elemento y cuántos problemas están todavía sin aclarar, cuántas contradicciones aparecen en el destino de su "peregrinación". Se necesitan aún muchas investigaciones profundas para poner en claro todas sus propiedades y llegar a comprender la naturaleza de este universal elemento presente en todo el mundo circundante.

Es interesante la historia del descubrimiento de este elemento. Fue descubierto en las cenizas de las plantas en 1811 por el farmacéutico Courtois que poseía una pequeña fábrica donde transformaba las cenizas vegetales en salitre. Sin embargo, el descubrimiento de este elemento no causó gran sensación en el mundo científico y sólo después de cien años recibió la apreciación merecida.

Podría terminar con lo dicho mi relato sobre este interesante elemento, pero llama aún mi atención un pensamiento. En la Tabla de Mendeléev, debajo del yodo y en el mismo grupo, hay una casilla vacía. Ya la señaló el propio Mendeléev y dijo que aquí debería ser descubierto un nuevo elemento. Lo denominó eka-yodo. Nosotros designamos esta casilla con el número 85.

¿Dónde se halla o dónde se esconde este elemento número 85? El no puede no existir en algún sitio del mundo y debe ser descubierto.

Largo tiempo lo buscaron en las salmueras residuales de los lagos y yacimientos salinos. Lo buscaron en el espacio interplanetario, entre los átomos dispersos que se observan en el universo, entre soles y estrellas, planetas y cometas. Lo buscaron entre todos los metales naturales, pero no se le halló.

Muchas veces pareció a los hombres de ciencia, que en los aparatos espectrales brilló en algún sitio la línea que corresponde a los átomos luminosos del número 85, pero experimentos



posteriores no corroboraban este descubrimiento, y la casilla número 85 no se llenó hasta el año 1940, en que fue obtenido el elemento radiactivo astatino, cuyas propiedades coinciden con las que predijo Mendeléev para el eka-yodo.

**Capítulo XX****EL FLUOR, ELEMENTO QUE TODO LO CORROE**

Reflexionando el plan de este libro destiné en él un capítulo dedicado al flúor y sus notables propiedades; pero cuando llegó el momento de su composición tuve que detenerme. Nunca trabajé sobre el flúor y sus combinaciones, no me había interesado por sus magníficos minerales y su utilización en la industria, debido a lo cual me encontré en un aprieto.



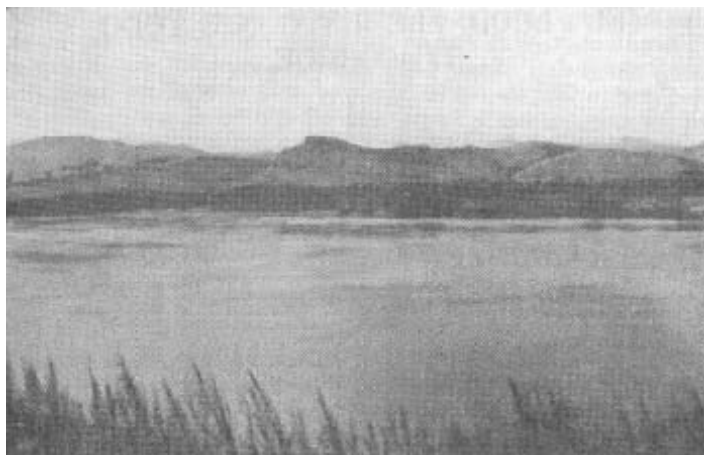
Hubo que acudir a los apuntes; comprobé numerosas anotaciones antiguas sobre elementos aislados de la Tierra y encontré una serie de hojas, de las que compuse este capítulo.

Carlos Darwin en su autobiografía indica cómo debe trabajar el hombre de ciencia.

Dice que el científico no puede, ni debe recordarlo todo, que cada observación interesante y todo lo que encuentre curioso en los libros, debe apuntarlo en hojas separadas y colocar cada libro que se refiera a la cuestión de que se ocupa en un estante aparte, junto con las anotaciones.

Darwin estaba en contra de que el científico tuviese una biblioteca grande y variada. El se marcaba para los años próximos grandes tareas y, con todo afán, se dedicaba a la resolución del objetivo marcado. Decenas de veces sorteaba los materiales para cada cuestión y a cada problema le dedicaba uno o dos estantes de su librería.

Al cabo de algunos años y, a veces, después de decenas de años, se le acumulaba de este modo una gran cantidad de datos sobre cada problema científico determinado. Repasó repetidas veces estos materiales y libros, los puso en orden y compuso el capítulo correspondiente de su célebre tratado que sirvió de fundamento para la ciencia biológica moderna.



*Figura 20.1 Vista de la Transbaikalia del Sur*

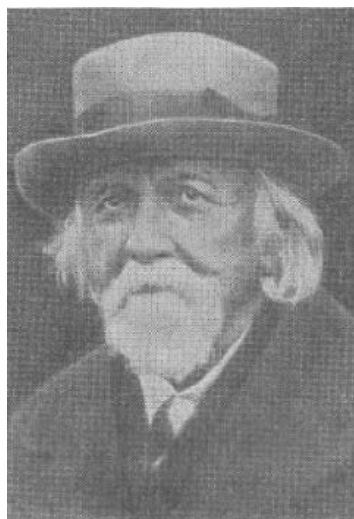
Este sistema de compilación de grandes libros y monografías es muy cómodo, y confieso que hace ya veinte años comencé a imitar el magnífico ejemplo de Darwin y decidí preparar los materiales y libros para mi trabajo de un modo idéntico al suyo. Me separé de mi gran biblioteca, que regalé a la Estación minera de Jibini, en la península de Kola, y dejé conmigo sólo aquellos libros referentes a las tareas planteadas ante mí para los años próximos.

Entre ellas existía un gran problema: describir la historia de todos los elementos químicos de la Tierra, mostrar a los geólogos, mineralogistas y químicos los complicados caminos que recorre el átomo de cualquier metal en su "peregrinación" por el universo, relatar sus propiedades y comportamiento en la tierra y en las manos del hombre.

Y cuando tuve que escribir el capítulo sobre el flúor, encontré en la carpeta con el título Flúor cinco hojas. Las transcribo aquí aproximadamente en la misma forma en que fueron escritas.

### HOJA 1

Hace mucho que soñaba con visitar los célebres yacimientos de la Transbaikalia, desde donde me enviaban magníficos cristales de topacio (un mineral muy bello y raro, que contiene flúor), cristales de todos los colores y drusas de espato flúor, materiales que se extraían para las necesidades de la industria. Y al fin me monté en el exprés que me llevó hasta la estación Manchuria. En la estación me esperaba una troika de caballos y corrimos por las admirables estepas de la Transbaikalia del Sur, recubiertas por una espesa alfombra blanca de preciosas flores alpinas. El cuadro encantador se mostraba cada vez más amplio ante nosotros, a medida que ascendíamos por el declive de los montes. Aquí, de determinados afloramientos de granito se extraían los cristales de topacio azul, amarillo y celeste; aquí, en los huecos de las pegmatitas graníticas se veían bellos octaedros de espato flúor, combinación de flúor con el metal calcio. Pero el cuadro que más me sorprendió fue el de los ricos yacimientos de este mineral situados en un valle reducido. Aquí no había ya cristales sueltos, depositados por las soluciones acuosas calientes de los granitos al enfriarse, sino enormes conglomerados de espato flúor de color rosa, violeta y blanco de los más diversos matices, reluciendo y centelleando bajo el vivo sol manchuriano. En las explotaciones mineras extraían esta valiosa piedra para enviarla, a través de toda Siberia, a las fábricas metalúrgicas de los Urales, Moscú y Leningrado. Y ante mis ojos surgió el cuadro grandioso de las emanaciones gaseosas de las arcaicas y profundas masas graníticas fundidas. Tse los compuestos volátiles del flúor se formaron conglomerados de espato flúor.



*Figura 20.2 El académico Alexandr Karpinski (1847-1936)*

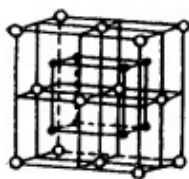
En ellos se reflejó una de las etapas del lento proceso de enfriamiento consolidación del macizo granítico, en la profundidad terrestre, rodeado ele los vapores y gases de él emanados. Recordé aquí otro episodio de la historia de este mismo espato, flúor. Recordé la descripción del espato flúor en las antiguas mineralogías, de ese espato flúor de tono encantadores por su belleza, del que se elaboraban valiosos jarrones.

Recordé, también, que en Inglaterra existía toda una industria para la elaboración de esta piedra cuyos bellos artículos podemos ver en los museos.

Finalmente, recordé otros cuadros completamente distintos de los, alrededores de Moscú.

Siendo aún joven catedrático de Mineralogía en la primera Universidad Popular de la ciudad de Moscú, planteé ante mis oyentes la tarea de determinar y clasificar, con el esfuerzo común, los minerales que rodean nuestra ciudad. Entre estos minerales había una admirable piedra morada, hallada más de ciento cuarenta años atrás (en 1810) en el pequeño barranco Ratovski, del distrito de Vereisk en la provincia de Moscú y denominada ratovkita.

Reposaba entre las calizas, en conglomerados sueltos, en forma de bellas láminas violáceas.



Vetas enteras, formadas por sus cubitos de color violeta oscuro, fueron halladas en las riberas de los afluentes del Volga, el Osuga y el Vazuza. Con todo afán, nos pusimos a estudiar esta piedra violeta que resultó ser fluoruro de calcio puro, la fluorita de que hablo aquí. Sus bellas piedrecitas violáceas se encontraban en cantidad tan grande y tan bien adosada estaba la capa entre las calizas, que se hacía difícil atribuir su formación a las emanaciones calientes de los granitos fundidos, que dieron principio a los maravillosos topacios de la Transbaikalia y a los yacimientos de espato flúor en Manchuria.

Más de 2.000 metros separaban estos depósitos sedimentarios des los antiguos granitos, constituyentes básicos del suelo moscovita. Nosotros debíamos buscar algún otro factor químico que explicara la sedimentación de estas bellas piedras en los afluentes del Volga. Con la colaboración del académico A. Karpinski, nuestros jóvenes descubrieron la procedencia de esta piedra. Resultó que el origen de la ratovkita está ligado a los antiguos sedimentos de los mares moscovitas y que en su proceso de formación jugaron un gran papel los seres vivos, las conchas marinas, sobre todo calcáreas, que acumulaban los cristalitas de fluoruro cálcico en sus células. Los cuadros del pasado, dibujados aquí, muestran con claridad cuán peculiares y complejas son las formas de migración del flúor en la naturaleza.

Más de 2.000 metros separaban estos depósitos sedimentarios des los antiguos granitos, constituyentes básicos del suelo moscovita. Nosotros debíamos buscar algún otro factor químico que explicara la sedimentación de estas bellas piedras en los afluentes del Volga. Con la colaboración del académico A. Karpinski, nuestros jóvenes descubrieron la procedencia de esta piedra. Resultó que el origen de la ratovkita está ligado a los antiguos sedimentos de los mares moscovitas y que en su proceso de formación jugaron un gran papel los seres vivos, las conchas marinas, sobre todo calcáreas, que acumulaban los cristalitas de fluoruro cálcico en sus células. Los cuadros del pasado, dibujados aquí, muestran con claridad cuán peculiares y complejas son las formas de migración del flúor en la naturaleza.

## HOJA 2

Breve descripción de una jornada en Copenhague, la capital de Dinamarca, durante un viaje en comisión de servicios a un congreso geológico.

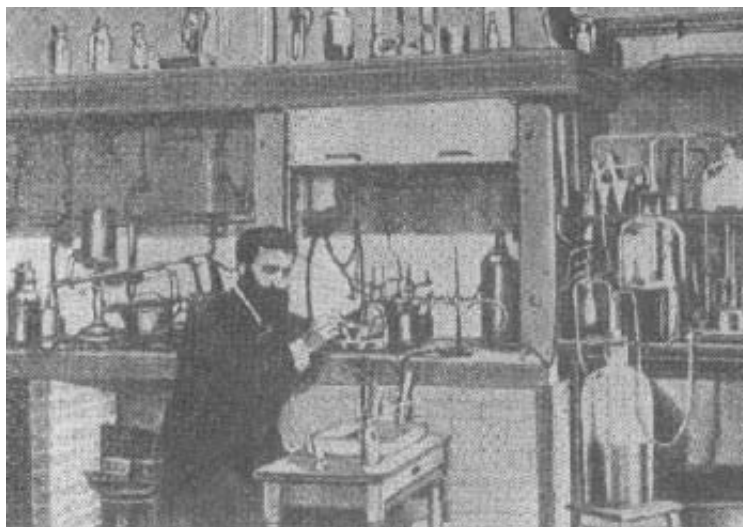
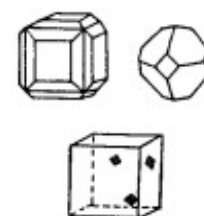
Al final del congreso visitamos una fábrica de criolita en las proximidades de esta ciudad. La piedra de nívea blancura semejante al hielo, la traían aquí de las alturas existentes en las costas heladas de Groenlandia. Por una coincidencia extraña de la naturaleza, esta piedra, que por su aspecto exterior no se distingue del hielo, se encuentra en un solo lugar de la Tierra, en las regiones árticas de la costa occidental de Groenlandia.



*Figura 20.3 Tadhicos observando un conglomerado de cristales de fluorita de los yacimientos dn Tadhilzistán*

Allí se obtiene en grandes explotaciones, se carga en barcos y se envía a Copenhague. Reexpedida a fábricas especiales, la criolita es separada de otros minerales, sobre todo, minerales de plomo, zinc y hierro, y queda limpia en polvo blanco como la nieve, que se emplea como fundente para la obtención de aluminio.

En cajones especiales, como artículo de gran valor, este polvo llega a las fábricas químicas donde le aguarda un nuevo destino: junto con el mineral de aluminio es fundida en hornos eléctricos y un torrente de metal derretido, con fulgor argentino, se derrama en grandes recipientes preparados de antemano para este fin. Este metal es el aluminio y toda la producción actual de este elemento no podría conseguirse sin la criolita.



*Figura 20.4 El profesor Moissan obtiene por primera vez flúor en su laboratorio de París en el año 1886*

Por ahora, no existen otros procedimientos para obtener este metal tan primordial para la industria, tanto de paz, como de guerra, y cuya producción mundial alcanza hoy día casi dos millones de toneladas al año.

Enormes instalaciones eléctricas transmiten la energía de grandes ríos y cascadas para fundir y disolver, con ayuda de la criolita, el óxido de aluminio y obtener aluminio metálico puro. Es verdad que aquí, en lugar de la criolita natural se emplea el fluoruro de aluminio y sodio. Pero esta sal es la criolita misma, sólo que obtenida artificialmente por el hombre en las fábricas químicas.

### HOJA 3

En el Tadjikistán, en las cortadas pendientes de un maravilloso y bello lago, fueron hallados trozos de espato flúor puro y transparente. Tan grande era su transparencia, que con él se podían hacer lentes para microscopios y aparatos de precisión. La demanda de espato flúor transparente era tan grande que hubo que enviar una expedición especial a las abruptas riberas de este lago<sup>1</sup>.



Con extremado interés leímos los informes de esta expedición sobre las extraordinarias dificultades que presenta la extracción del blanco y transparente espato flúor, incrustado en compactas calizas.

Después de prolongados trabajos fueron abiertas veredas hasta los yacimientos colgados sobre el lago. Pero aún más dificultoso era trasladar los preciosos trozos <le mineral abajo, hasta la orilla del lago. Enormes cargas de esta rara piedra bajaron los tadjikos, pasándolas en

cadena de mano a mano y embalándola después intercalando hierba blanda entre los trozos, en cajones, las mandaban a la ciudad de Samarcanda<sup>2</sup>. La industria de instrumentos ópticos recibió un espato flúor único por su pureza y pudo preparar, a base de este mineral, lentes finas y limpias y fabricar los mejores instrumentos ópticos del mundo.



*Figura 20.5 En el lago Iskander-Kul. RSS de Tadzhihia. A la izquierda: "setas de piedra", resultado de la erosión de las rocas por el viento*

#### HOJA 4

Durante mi curación en un balneario checoslovaco, fuimos invitados a una excursión a la fábrica de vidrio existente cerca de la ciudad, mecanizada según la última palabra de la técnica. Visitamos los talleres donde se hacían grandes cristales de luna. Sus dimensiones eran verdaderamente gigantescas. En cinta ininterrumpida se laminaban grandiosas hojas de vidrio para ventanas. En determinados talleres se obtenía cristal de alta calidad, coloreado en distintos tonos por sales de las tierras raras y de uranio. Pero el taller más interesante era el de dibujo artístico. Los jarros de cristal de roca purísimo se cubrían con una



delgada capa de parafina y el experto artista grabador dibujaba con su instrumento un complicado dibujo sobre la parafina. Con su bisturí iba quitando la parafina de un sitio, la cortaba con finas líneas en otro y ante nosotros aparecía un cuadro del bosque y la caza del ciervo. Con ayuda de un aparato especial se calcaban los contornos del dibujo y en una amplia sala este mismo dibujo se repetía en decenas de jarros también recubiertos de parafina. En todos ellos iban apareciendo los contornos del mismo bosque y el venado acosado por los perros. Después, los jarros se colocaban en hornos especiales recubiertos de plomo, a través de los cuales se hacían pasar vapores de compuestos tóxicos de flúor. El ácido que contiene flúor corroe el vidrio allí donde no está cubierto con parafina, penetrando en él profunda o débilmente, lo necesario para que la superficie se vuelva mate. Después, la parafina se derrite en alcohol caliente, a veces en agua o simplemente calentándola, y ante nosotros aparece, con toda su belleza, el



**C. Scheele**

delicado dibujo corroído por los vapores de flúor. Resta sólo en algún que otro sitio limpiar o ahondar un poco este dibujo con ayuda de cuchillas especiales de giro rápido, y el trabajo queda concluido.

### HOJA 5

Finalmente, entre mis hojas y recuerdos sobre el flúor y sus minerales, encontré el apunte siguiente del curso de Química de la Universidad.

"El flúor es un elemento gaseoso de olor desagradable y picante, extraordinariamente activo desde el punto de vista químico. Se combina con explosión o con ignición viva con todos los elementos, incluso con el oro. No en vano su obtención entraría grandes dificultades. Fue obtenido en estado puro el año 1886, a pesar de que había sido descubierto por Scheele en 1771".

En la naturaleza se le conoce sólo en forma de sales del ácido fluorhídrico, principalmente fluoruro cálcico, mineral de bello colorido, la fluorita, denominado espato flúor. Goza de la propiedad de facilitar la fusibilidad de las menas metálicas.

Sin embargo, el flúor está muy difundido en la naturaleza asociado a otros minerales, por ejemplo, el apatito le contiene hasta en un 3 %.



*Figura 20.6 Dientes sanos y corroidos por el flúor*

En su historia geoquímica está relacionado con los sublimados volátiles desprendidos de los magmas graníticos fundidos, sin embargo, se le halla también, aunque raras veces, formando sedimentaciones marinas que originan ciertas aglomeraciones de combinaciones fluoradas de la substancia orgánica. El espato flúor, en trozos, se emplea para los cristales ópticos que, en contraposición al vidrio común, dejan pasar los rayos ultravioletas. En sus variedades de bellos colores se utiliza como piedra decorativa.

Pero la principal aplicación del flúor se basa en su capacidad de facilitar la fundición de los metales. Se utiliza también para la obtención de ácido fluorhídrico, dotado de una fuerza disolvente excepcional, que corroe el vidrio e incluso el cristal de roca.



En forma de sal doble, fluoruro de sodio y aluminio, o mineral criolita, es necesario para la electrólisis del aluminio metálico. El flúor juega un papel inmenso en la vida de las plantas y organismos vivos, es una sustancia imprescindible para la vida, aunque su exceso es muy perjudicial y causa muchas enfermedades.

Muy grande es el papel que desempeña el flúor en la vida del mar, donde se concentra, en parte por procesos biológicos (conchas, huesos, dientes), en parte en forma de carbonatos complejos y, sobre todo, fosfatos (fosforitas). El agua de mar contiene 1 miligramo de flúor por litro. En las valvas de las ostras hay veinte veces más flúor que en el agua marina.

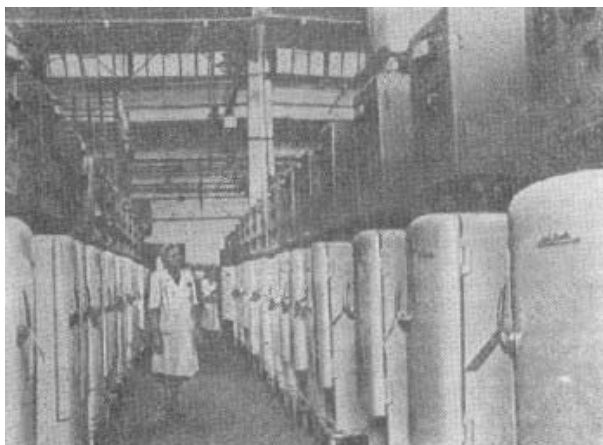


Figura 20.7 Comprobación de frigoríficos eléctricos en la fábrica Lijachov de Moscú

En los últimos tiempos, los científicos, analizando las propiedades de los compuestos del flúor a base de la Tabla de Mendeléev, descubrieron una nueva y notable aplicación del flúor: aprendieron a obtener una sustancia especial, el tetrafluoruro de carbono, que no es venenoso, ni explota al unirse con el aire, es muy estable y posee la propiedad de pasar del estado sólido al gaseoso con gran absorción de calor. Esta propiedad hizo posible el empleo del fluoruro de carbono en refrigeradores especiales. Enormes instalaciones frigoríficas para la conservación de diversos productos pudieron crearse sólo gracias al empleo del tetrafluoruro de carbono.



Figura 20.8 Principales formas de aplicación del flúor en la industria



## CONCLUSION

He relatado con mis propias palabras el contenido de las cinco hojas halladas en mi carpeta. Parece que con ellas se podría cerrar el capítulo sobre este notable elemento de la naturaleza, pero su porvenir es bastante más amplio y grandioso. Los más complicados productos gaseosos del futuro están relacionados con el flúor. No existen tóxicos más peligrosos que los compuestos de este elemento, y, al mismo tiempo, no hay un agente de conservación mejor que permita conservar productos alimenticios sin grandes gastos, en reducidos armarnos que mantienen bajas temperaturas, incluso hasta de 100° bajo cero.

El flúor es un elemento de la naturaleza poco estudiado aún. Encierra en sí grandes posibilidades provenientes de las propiedades de sus complicadas combinaciones y es difícil ahora predecir con qué amplitud se le utilizará en la economía nacional y cuáles son sus perspectivas en la técnica del futuro.



<sup>1</sup> Los tadjikos llaman a la fluorita "sang y safet", "piedra blanca". El yacimiento fue hallado por un niño-pastor, llamado Nazar-Alí, el año 1928.

<sup>2</sup> La fluorita óptica es un mineral delicado. Cualquier sacudida, golpe o, incluso, un cambio brusco de temperatura le hace perder sus excelentes cualidades. Si se sumerge el mineral en agua, cuya temperatura difiera de la del ambiente del aire en algunos grados, aparecen en su masa numerosas grietas que desvalorizan sus propiedades ópticas.

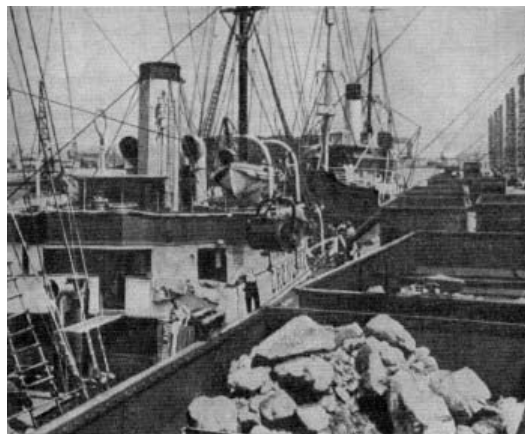
*Capítulo XXI***EL ALUMINIO, METAL DEL SIGLO XX**

El aluminio es uno de los elementos químicos más interesantes. Interesante no sólo porque en el transcurso de varias decenas de años se ha introducido de forma inesperada, rápida y victoriosa en nuestra vida, en nuestras necesidades cotidianas, en la técnica y en las ramas fundamentales de la economía, no sólo porque sea este ligero elemento, junto con el magnesio, el que ha creado la potencia alada del avión. Gran interés presentan sus propiedades y, en primer orden, su importancia desde el punto de vista geoquímico. Es que, el aluminio, con el que la humanidad civilizada ha entablado conocimiento hace relativamente poco tiempo, es uno de los elementos químicos más importantes y más difundidos en la naturaleza.

Sabemos perfectamente que bajo la costra de arcillas y arenas, formada en distintos períodos como resultado de la erosión por el viento y el agua y la destrucción de los macizos rocosos, se halla la ininterrumpida y compacta envoltura pétreo de la Tierra, a la que por lo general llamamos corteza terrestre.

Esta corteza terrestre tiene un espesor mínimo de cien kilómetros y, como se deduce de investigaciones recientes, es posible que sea mucho mayor. Al ir profundizando, esta envoltura es remplazada, pasando por una zona de transición gradual, por otra capa envolvente concéntrica de estructura mineral, compuesta de hierro y otros metales, hasta llegar al centro de la Tierra donde se encuentra, por lo visto, un núcleo de hierro.

En la superficie de la Tierra, dicha envoltura rocosa forma enormes salientes, las masas continentales o continentes, en los cuales, a su vez, se originaron grandes pliegues a modo de largas cordilleras. Esta envoltura rocosa de la Tierra, que constituye la base de los continentes y sus cordilleras, se compone de aluminosilicatos. Los aluminosilicatos, como su nombre indica, constan de silicio, aluminio y oxígeno. He aquí por qué a la capa discontinua que envuelve a la Tierra se le llama frecuentemente "sial", por combinación de las primeras sílabas de las denominaciones latinas de los elementos esenciales que la componen, silicio y aluminio.



*Figura 21.1 Mineral criolita, fluoruro de aluminio y sodio. Es importado en Europa procedente de Groenlandia. La criolita se emplea para obtener aluminio metálico*

La composición en peso aproximada de esta capa envolvente, formada principalmente de rocas graníticas, es la siguiente: oxígeno 50%, silicio 25% y aluminio 10%. Por tanto, en lo que respecta a su grado de difusión, el aluminio ocupa el tercer lugar entre todos los elementos químicos constituyentes de la Tierra, y el primer puesto entre los metales. En la Tierra, es más abundante que el hierro.

Los tres elementos: aluminio, silicio y oxígeno, son los componentes fundamentales de la corteza terrestre, a base de los cuales se forman, en la capa rocosa exterior de la Tierra, numerosos y variadísimos minerales.

Estos minerales son combinaciones atómicas de estructura tetraédrica. En el centro de cada tetraedro se halla un átomo de silicio o de aluminio, rodeado de átomos de oxígeno dispuestos simétricamente en los cuatro vértices.

De este modo, junto con los tetraedros oxisilícicos se forman también oxialumínicos. En este caso, el aluminio desempeña un doble papel: bien, a semejanza de otros metales, se sitúa entre los tetraedros oxisilícicos, ligándolos unos con otros, bien se coloca en el centro de algunos tetraedros remplazando al silicio.

Al unirse entre sí estos tetraedros silícicos y alumínicos, se obtiene multitud de minerales importantes de la corteza terrestre, unificados bajo la denominación común de aluminosilicatos. A primera vista, el complicado esquema de distribución de los átomos de aluminio, silicio y oxígeno, nos recuerda los finos encajes o los dibujos de los tapices. Estos esquemas de distribución han sido establecidos con ayuda de los rayos X, que tienen la facultad de fotografiar la estructura interna de los minerales.

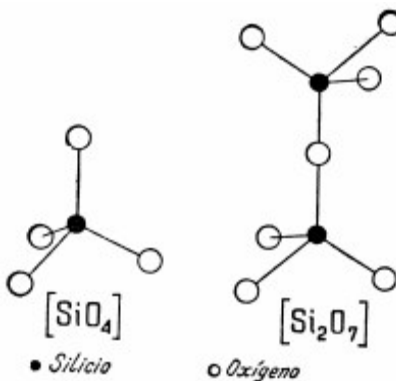


Figura 21.2 Tetraedros oxisilícicos

Recordemos el aspecto externo gris y uniforme de las piedras cuando las observábamos durante nuestra infancia y el aspecto tan complejo y variado que adquieren cuando profundizamos en su estructura.

El grado de difusión de algunos aluminosilicatos en la naturaleza es enorme. Basta con decir que más de la mitad de la corteza terrestre está constituida por los minerales llamados feldespatos. Estos minerales toman parte en la composición de los granitos, gneises y otras rocas, que envuelven a la Tierra a modo de continua coraza pétreo y que sobresalen de su superficie en forma de potentes cordilleras.

Por la acción del viento y el agua sobre los feldespatos, se fueron formando, en el transcurso de miles de años, enormes concentraciones de arcilla, que contienen del 15 al 20% de aluminio.

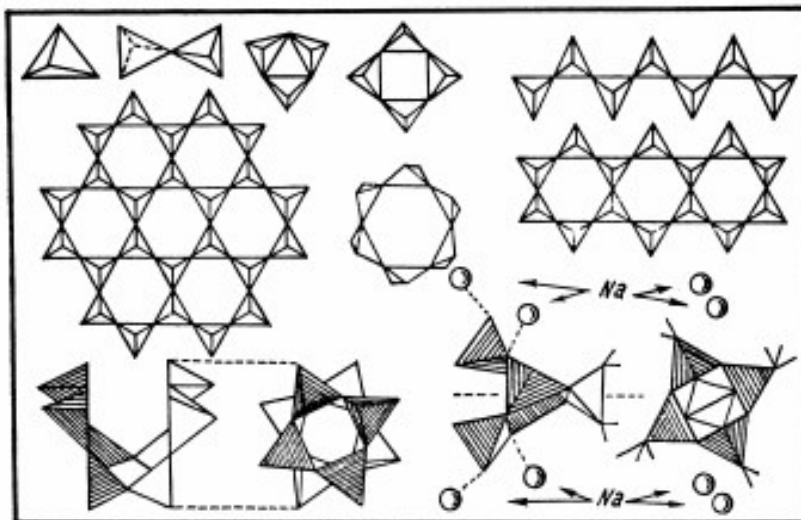
Por fortuna, el aluminio se halla en la naturaleza no sólo como arcilla, de la que es muy difícil extraerlo. Una parte considerable de este elemento se encuentra en forma de alúmina, o sea, la combinación natural del aluminio con el oxígeno. La alúmina se presenta en la naturaleza en aspectos muy diversos.

El óxido anhidro de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) constituye el mineral corindón, caracterizado por su extremada dureza y, a veces, por su extraordinaria belleza. Las variedades transparentes de alúmina, en las que el aluminio y el oxígeno van unidos con cantidades insignificantes de otros elementos (cromo, hierro, titanio) que les conceden diversas y bellas coloraciones, constituyen gemas preciosas de primera calidad. ¡Qué diversidad y riqueza de colorido adquiere una misma clase de alúmina cuando se adicionan cantidades ínfimas de una a otra sustancia! Esto lo vemos en el rubí rojo y el zafiro azul de tonalidades vivas y relucientes, que fascinaron al hombre desde tiempos inmemoriales. ¡Cuántas leyendas están ligadas a estas piedras preciosas! También desde tiempos remotos el hombre emplea las variedades cristalinas menos puras de corindón, opacas, con coloraciones parda, gris, azulada y rojiza, como material abrasivo, pues sigue al diamante en lo que respecta a su dureza.

Los usamos para pulimentar diversos materiales duros, como el acero para instrumentos, armas, tornos, máquinas, etc.

Todos conocemos la mezcla íntima y finamente granular de corindón con magnetita y otros minerales, llamada "esmeril", que ustedes más de una vez habrán empleado para limpiar su cortaplumas.

Es natural que el corindón podría utilizarse para obtener aluminio metálico, pero es demasiado caro y poco abundante en la naturaleza,



*Figura 21.3 Diversas formas de agruparse los tetraedros oxisilícicos: tetraedros individuales, dobles (tipo reloj de arena), anulares, en cadena, en fila y en redícula plana a base de anillos hexagonales. En la parte inferior del dibujo están representadas, en dos proyecciones distintas, las estructuras de carcasa del feldespató y de la natrolita (mineral perteneciente al grupo de las zeolitas)*

Desde los tiempos más antiguos, en los albores de la civilización humana, desde la edad de piedra hasta nuestros días, el hombre emplea ampliamente los granitos, basaltos, pórfidos, arcillas y

otras rocas aluminosilicáticas para construir edificios, ciudades enteras, crear obras de arte, fabricar utensilios diversos, cerámica, loza y porcelana.

Pero en el transcurso de milenios, el hombre no llegó a sospechar las maravillosas propiedades del aluminio, metal que se halla oculto en estas rocas.

En la naturaleza, el aluminio nunca se encuentra en estado metálico, siempre se halla combinado, formando diferentes compuestos de propiedades y aspecto totalmente diferentes a los del metal puro.

Y fue preciso el genio humano, su actividad laboriosa y perseverante para llegar a extraer y despertar a la villa este prodigioso metal.

Aproximadamente unos 135 años atrás, se consiguió obtener, por primera vez, una pequeña



cantidad de este metal brillante, de color argéntico. Y nadie pudo pensar sobre el papel tan importante que habría de desempeñar en la vida del hombre, tanto más que su proceso de obtención presentó enormes dificultades. A principios del siglo pasado varios hombres de ciencia obtuvieron aluminio por electrólisis de los compuestos de aluminio fundidos a altas temperaturas. El aluminio se deposita en el cátodo debajo de una costra de escorias. Este era ya metal puro, plateado, "plata de arcilla", como le llamaban en aquel tiempo.

Cuando el método electrolítico se aplicó a la obtención industrial del aluminio, este metal adquirió rápidamente una utilización amplísima. Su color es parecido al de la plata. Posee propiedades realmente maravillosas.

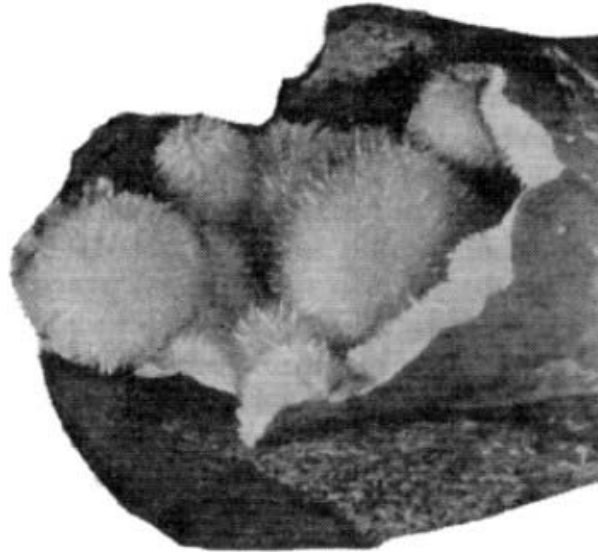
En la actualidad, el óxido puro de aluminio no se obtiene a partir de la arcilla. El mineral más adecuado para la producción de aluminio es el hidróxido (hidrato de alúmina), que se encuentra en la naturaleza formando los minerales diasporo e hidrargilita. Estos minerales, que contienen con frecuencia óxido de hierro y sílice, forman depósitos arcillosos o pétreos, las bauxitas, especialmente en los estratos sedimentarios del litoral marítimo.

La bauxita contiene gran cantidad de óxido aluminico (del 50 al 70%) y constituye el principal mineral de aluminio para fines industriales. Los químicos soviéticos han ideado y puesto en explotación un nuevo procedimiento para transformar el mineral de Jibini, la nefelina ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), en óxido aluminico. En los últimos tiempos, con este objeto, se trata de utilizar las pizarras disténicas, con 50-60% de óxido aluminico, así como otros minerales, la leucita y la alunita. Pero ninguno de estos minerales, a excepción de la nefelina, puede competir con la bauxita.

La obtención de aluminio metálico está fundada en dos procesos independientes. Primero se extrae el óxido anhidro aluminico, la alúmina, de la bauxita a base de tratamientos bastante complicados. Después, se somete el óxido aluminico a electrólisis en baños especiales contruidos de placas de grafito.

En estos baños se carga una mezcla de alúmina y criolita previamente pulverizadas. Se hace pasar corriente eléctrica de alta tensión, lo que produce una temperatura elevada (de unos  $1.000^\circ\text{C}$ ). La criolita se funde y disuelve en su seno a la alúmina, que después se descompone, por efecto de la corriente eléctrica, en aluminio y oxígeno. El fondo del baño cumple la función de cátodo (polo negativo) y en él se va acumulando el aluminio fundido, al que se le da salida de vez en cuando a través de una llave especial, vaciándose la masa líquida en moldes, donde se deja enfriar, obteniéndose el metal en forma de barras o lingotes brillantes de color plateado.

Cien años atrás, la obtención de este metal blanco y ligero constituía una tarea muy difícil, y la libra de aluminio costaba cuarenta rublos en oro.



*Figura 21.4 Agujas de natrolita, variedad de zeolita, sobre una roca eruptiva, la fonolita. Esta muestra se conserva en el Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS*

Actualmente, la poderosa energía de los ríos, convertida en energía eléctrica, permite obtenerlo en cantidades enormes a precios más económicos.



*Figura 21.5 Maestra de bauxita de forma esférica, mineral de aluminio, encontrado en el yacimiento "Caperucita roja" de los Urales*

Algunas de sus propiedades son muy conocidas. El aluminio es un metal ligero, casi tres veces menos pesado que el hierro, muy dúctil y maleable, puede estirarse en alambres finos y extenderse en láminas sumamente delgadas. No menos interés presentan sus propiedades químicas. Por una parte parece como si no tuviera miedo a la oxidación, lo que se aprecia, por ejemplo, en el comportamiento de las baterías de cocina, cacerolas, sartenes y bidones de aluminio. Por otro lado, su afinidad con el oxígeno es enorme. Esta aparente contradicción ya fue señalada por el propio Mendeléev. Es que el aluminio de brillo argéntico que se obtiene después del proceso de fundición, se recubre en contacto con el aire de una película fina de óxido que le protege de la oxidación ulterior. No todos los metales poseen esta capacidad de autoprotección. Por ejemplo, el óxido de hierro, la



herrumbre que todos conocemos, no impide en lo más mínimo la destrucción ulterior del metal, pues es permeable al aire y al agua; debido a su alta porosidad. Por el contrario, la delgada película de óxido con que se recubre el aluminio, es muy compacta, elástica y le sirve de sólida cubierta, que obstaculiza la propagación del proceso de oxidación. Cuando se calienta el aluminio se une ávidamente al oxígeno, transformándose en óxido. Esta reacción va acompañada de un gran desprendimiento de calor, propiedad que se aprovecha en la industria para la fusión y obtención de otros metales a partir de sus óxidos, mezclándolos con polvo de aluminio finamente dividido. En este proceso, llamado aluminotermia, el aluminio metálico se apodera del oxígeno de los óxidos, los reduce y deja los metales en libertad.

Si mezclan ustedes óxido de hierro pulverizado con polvo de aluminio y provocan la ignición de la mezcla con una cinta de magnesia encendida, observarán una violenta reacción exotérmica, elevándose la temperatura hasta 3.000°C. El hierro, desplazado por el aluminio, funde a esta temperatura y el óxido aluminico formado surge a la superficie de la masa fundida en forma de escoria. El hombre aplica esta interesante propiedad del aluminio para obtener ciertos metales refractarios, muy apreciados para diversos fines industriales.

De este modo se funden el titanio, canadio, cromo, manganeso y otros metales. Debido a que por el método aluminotérmico se obtienen temperaturas muy elevadas, la mezcla de óxido férrico y aluminio, llamada "termita", se usa para soldar el acero.

¡Pocos metales pueden contarse que hayan hecho una carrera tan rápida y brillante como la del aluminio!

El aluminio se ha introducido de modo impetuoso en las industrias del automóvil, de construcción de maquinaria y otras ramas, remplazando en muchos casos al acero y al hierro. En la construcción de barcos de guerra, su aplicación produjo una verdadera revolución técnica, permitiendo construir, por ejemplo, "acorazados de bolsillo" (barcos de dimensiones semejantes a un crucero ligero, pero con la potencia de un dreadnought).



Figura 21.6 Lingotes de aluminio metálico

El hombre aprendió a obtener en gran escala esta "plata" a partir de los minerales nativos. Y la "plata de arcilla" le permitió subyugar definitivamente al elemento aéreo.

El aluminio o sus aleaciones ligeras constituyen el material más adecuado para la construcción de aerostatos ligeros, fuselajes, alas o aviones de estructura enteramente metálica.

Esta nueva industria, que de forma tan amplia utiliza el aluminio, experimentó un incremento prodigioso.

Cuando vemos un avión volando sobre nuestras cabezas, debemos recordar que el 69% de su peso, sin contar el motor, corresponde al aluminio y a sus aleaciones. Incluso en los motores de aviación, el peso de aluminio y magnesio, de estos dos ligeros metales, alcanza el 25%.

Simultáneamente con el enorme consumo de aluminio en la industria pesada, en la construcción de trenes, de maquinaria y, sobre todo, en la industria aeronáutica, cientos de miles de toneladas de este elemento se emplean en la fabricación de cables y piezas diversas para fines electrotécnicos.

Pero con lo dicho no terminan las aplicaciones del aluminio.

Podemos agregar también los espejos reflectores para proyectores, las piezas importantes de los proyectiles y de las cintas de ametralladora,

las bengalas luminosas, el polvo de aluminio mezclado con óxido férrico para las bombas incendiarias, etc.

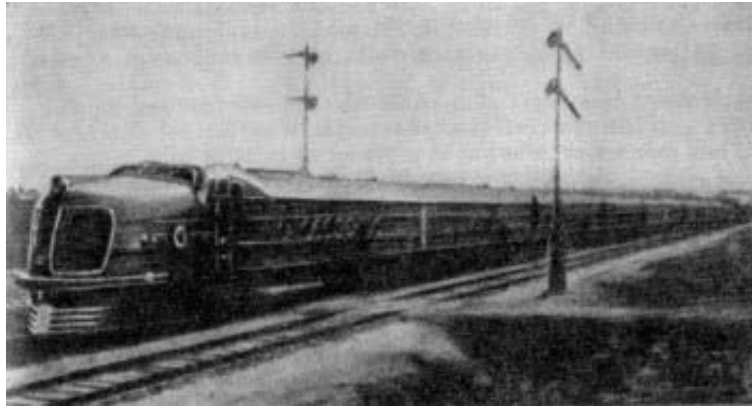
Recordemos la enorme significación de la alúmina cristalina artificial (electrocorindón, alundum) obtenida en la actualidad de las bauxitas y utilizable en la llamada técnica abrasiva, principalmente, en la pulimentación de metales.



Figura 21.7 Vaciado en moldes del aluminio en un taller de fundición

Cuando se cristaliza el óxido aluminico puro mezclado con ciertos aditivos colorantes, obtenemos rubíes y zafiros que compiten con las variedades naturales de estas piedras preciosas en lo que se refiere a su dureza y belleza. Los empleamos como piedras de apoyo, por su gran resistencia al desgaste, en los aparatos de precisión: mecanismos de relojería, balanzas, contadores eléctricos, galvanómetros, etc.





*Figura 21.8 Tren expreso moderno, construido fundamentalmente de aleaciones ligeras de aluminio*

Con polvo fino de aluminio recubrimos las planchas de hierro y obtenemos una especie de hojalata aluminica muy refractaria a la corrosión. Este mismo polvo se usa para preparar pinturas y tintas litográficas. Se emplea para la pintura al fresco sobre madera. El polvo de aluminio se extiende, por medio de "muñecas", sobre la superficie del objeto, previamente impregnada con aceite. De esta forma se obtiene un fondo plateado, donde el artista pinta los dibujos complejos y coloreados del cuadro.



¿Por qué llamamos al aluminio el metal del siglo XX?

Porque, debido a las excelentes propiedades de que está dotado, su empleo se incrementa de año en año y las colosales reservas naturales de este metal son inagotables, por lo que hay razón para considerar que el aluminio penetra actualmente en la vida diaria del hombre en grado semejante a como en su tiempo se introdujo el empleo del hierro.

¡Pasarán varios siglos y posiblemente llamaremos a nuestra época la era de aluminio!

**Capítulo XXII****EL BERILIO, METAL DEL FUTURO**

Cuentan los historiadores que al emperador romano Nerón le gustaba ver en el circo las luchas de gladiadores a través de un gran cristal de esmeralda verde.



Cuando ardía Roma, incendiada por orden suya, se extasiaba con el furioso fuego, observándolo a través de un cristal de esmeralda, en el cual los colores rojos de las llamas se combinaban con el verde de la piedra, semejando malignas lenguas negras. Cuando los artistas de la Grecia y Roma antiguas, que no conocían todavía el diamante, deseaban grabar en piedra el rostro de alguien para eternizarlo y expresar su veneración hacia él, elegían para este fin las esmeraldas puras de los desiertos de Nubia en Africa.

Desde hace mucho tiempo, en la India ya apreciaban, a la par con las esmeraldas, los crisoberilos amarillodorados que se hallaban en las arenas de la isla de Ceilán en el Océano Indico, los berilios de color verdeamarillo de serpiente, el aguamarina azulverde, como el agua del mar. Más tarde conocieron el rarísimo mineral euclasa, el delicado "agua azul" como dicen los joyeros, así como la fenacita rojo-fuego, que se descolora en unos minutos cuando se expone a la luz del sol. Desde muy antiguo, todas estas gemas llamaron la atención por la belleza de su irisado, brillo admirable y pureza de colorido; y aunque muchos químicos intentaron descifrar su naturaleza química, no descubrían en ellas nada nuevo y erróneamente las consideraban como compuestos de simple alúmina.

Dos milenios antes de nuestros días, en las caprichosas sinuosidades de los pasos subterráneos de los áridos desiertos de Nubia se extraían berilios y esmeraldas de las célebres minas de la emperatriz Cleopatra.

Las piedras verdes sacadas del fondo de la Tierra eran transportadas en caravanas de camellos a las costas del mar Rojo y de allí iban a parar a los espléndidos palacios de los rajaes de la India, de los shas del Irán y de los soberanos del Imperio Otomano.

Después del descubrimiento de América, en el siglo XVI fueron llevadas desde Sudamérica a Europa esmeraldas verdeoscuras, admirables por su tamaño y belleza.

Después de una cruenta lucha con los indios, los españoles se adueñaron de fabulosas riquezas de esmeraldas, extraídas en el Perú y Colombia, que los naturales del país ofrendaban en el altar a su diosa. Como imagen sagrada representativa de esta diosa servía un cristal de esmeralda del tamaño de un huevo de avestruz.

Saquearon el tesoro de la población indígena. Pero los yacimientos de piedras preciosas situadas en las montañas poco accesibles de Colombia, mantuviéronse secretos por largo tiempo para los advenedizos, y sólo después de prolongada lucha, los españoles se abrieron paso hasta las propias minas y se apoderaron de ellas.



*Figura 22.1 Berilios. Al fondo está representada la sección hexagonal de un cristal*

A fines del siglo XVIII todos estos yacimientos fueron empobreciendo y agotándose. Por este mismo tiempo en las arenas del soleado Brasil comenzaron a extraerse aguamarinas de colores encantadores. No en vano esta piedra recibió el nombre de aguamarina, esto es "color de agua de mar", ya que su color es tan mutable como el color de los mares del sur, con toda la esplendidez y variedad de sus tonos.



En el año 1831, el campesino uralense Maxim Kozhévnikov, recogiendo árboles desgajados en el bosque, halló en la tierra, bajo las raíces retorcidas de un árbol, la primera esmeralda rusa. Más de cien años se explotaron las minas de esmeralda. Vagones enteros de berilio de color claro eran extraídos de la tierra, pero sólo las variedades de color verde vivo pasaban al tallado, las demás se desechaban.



*Figura 22.2 Gigantesco berilio verde opaco de una camera de feldespato. Peso: 18 toneladas*

...De esta forma es como fue desarrollándose el pasado en la historia de las piedras preciosas verdes, sobre las cuales, con el nombre de "berilios", ya se escribía varios siglos antes de nuestra era.

Así se esboza ahora ante nosotros el principio de la historia del metal del porvenir, llamado berilio.

Hasta el año 1798 nadie adivinaba que estas bellas piedras de vivo color contienen un metal, aún no conocido, de gran valor.



En la sesión solemne de la Academia Francesa del "26 del pluvioso del año VI" del calendario revolucionario (o sea, el 15 de febrero de 1798), el químico francés Vauquelin hizo la sensacional declaración de que en varios minerales, aquello que se consideraba alúmina o tierra aluminica, era en realidad una substancia completamente nueva, para la que propuso el nombre de "glucinio" (de la palabra griega "dulce"), ya que sus sales parecieronle al químico francés

de sabor dulce.

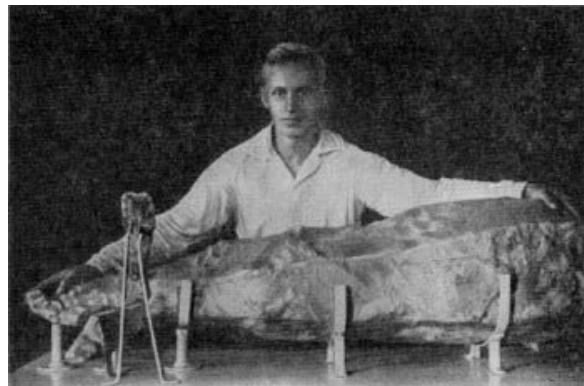
Pronto esta comunicación fue confirmada por numerosos análisis efectuados por otros químicos, pero resultó que los minerales contenían este nuevo metal en cantidades muy pequeñas, por lo general, sólo del 4 al 5%. Después, cuando los químicos estudiaron con detalle este elemento y su grado de difusión en la naturaleza, se aclaró que el berilio es un metal muy escaso. Su proporción en la corteza terrestre no supera a cuatro diezmilésimas por ciento (0,0004%), aun así, en la

Tierra hay dos veces más berilio que plomo o cobalto y veinte mil veces menos que su compañero, el metal aluminio, con el que todo el tiempo se le confundía. Pero los químicos y metalurgos soviéticos se dedicaron al estudio de este metal y en los últimos quince años se abre ante nosotros un panorama totalmente nuevo. No en balde podemos ahora denominar al berilio el gran metal del futuro.



*Figura 22.3 Cristales de berilio en una roca feldespática*

En efecto, resulta que este metal de brillo argéntico es dos veces más ligero que el liviano aluminio, bien conocido por nosotros. Es sólo 1,85 veces más pesado que el agua, en tanto que el hierro lo es 8 veces y el platino más de 20 veces. Da aleaciones magníficas con el cobre y el magnesio, que también son muy ligeras.



*Figura 22.4 Cristal de berilio de gran tamaño*

Es cierto que la amplia utilización actual del berilio se mantiene en secreto y para varios estados constituye un secreto militar, sin embargo, hoy sabemos perfectamente que las aleaciones de este metal se emplean cada vez más en la aviación de todos los países, que para obtener buenas bujías de automóvil se agrega polvo de mineral berilio a la masa de porcelana, que las hojas metálicas finas de berilio permiten fácilmente el paso de los rayos X y que sus aleaciones asombran por su ligereza y solidez. Los muelles de bronce de berilio poseen propiedades excelentes.

En efecto, el berilio es uno de los elementos más notables, de enorme significación teórica y práctica.

Ya hemos aprendido a buscarlo, sabemos que se encuentra en las regiones de los macizos graníticos, se acumula en los últimos alientos de sus masas en fusión, se reúne junto con otros gases volátiles y metales raros en los restos finales de los granitos enfriados y consolidados en las profundidades.

En estas vetas rocosas, que denominamos pegmatitas graníticas, hallamos al berilio formando bellas y refulgentes gemas preciosas.

Se le encuentra también asociado a otros minerales; sabemos dónde buscarlo, puesto que hemos descifrado el comportamiento de este ligero metal, todo su carácter y sus propiedades.

Cada año se incrementa más y más la búsqueda de sus yacimientos.

Las rutas que sigue el berilio en la corteza terrestre nos insinúan sus formas de aplicación industrial. Los tecnólogos estudian los métodos para su extracción de los minerales que lo contienen, y los metalurgos, su empleo en las aleaciones superligeras para la construcción de aviones.

El dominio del aire, los vuelos audaces de aeroplanos no son posibles sin metales ligeros y prevemos ya que en ayuda de los actuales metales de la aviación, el aluminio y el magnesio, vendrá el berilio.

¡El porvenir es del berilio!

Puede ser que ahora estas palabras parezcan utópicas. Pero cuántos sueños se convirtieron en realidad.



**Capítulo XXIII****EL VANADIO, FUNDAMENTO DEL AUTOMOVIL**

"Si no existiese el vanadio, no existiría el automóvil", dijo Ford, que comenzó su carrera precisamente con la acertada aplicación del acero al vanadio para los ejes de los coches.

"Si no existiese el vanadio, no existirían ciertos grupos de animales", dijo Y.

Samóilov, conocido mineralogista ruso, cuando se descubrió en la sangre de algunas holoturias hasta un 10% de dicho metal.

"Si no existiese el vanadio no habría petróleo en la Tierra", piensan algunos geoquímicos, que atribuyen al vanadio una influencia especial en la formación de la nafta.

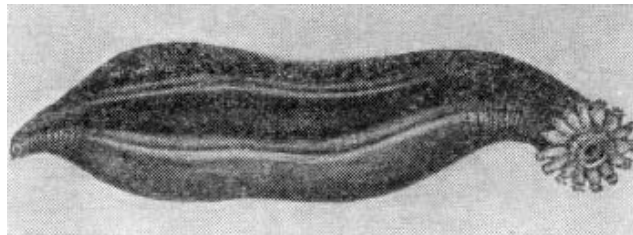
Durante largo tiempo, el hombre no conocía la existencia de este notable metal y muchas decenas de años duraron las discusiones y la lucha por su obtención.

"En tiempos remotos, en el Norte lejano, vivía Vanadis, una bella diosa amada por todos. Cierta día alguien llama a la puerta de su casa. La diosa, cómodamente sentada en su sillón, pensó:

"Dejaré que vuelva a llamar otra vez". Pero los golpes cesaron y el que llamaba se alejó de la puerta. La diosa sintió curiosidad. "¿Quién será este visitante tan tímido e indeciso?" Abrió la

ventana y miró a la calle. Este era un tal Wöhler, que se marchaba apresuradamente del palacio.

Al cabo de varios días, oyó de nuevo que alguien llamaba, pero esta vez los golpes persistieron hasta que se levantó y abrió la puerta. Ante ella se hallaba el joven galán Nils Sefström. Pronto se amaron y tuvieron un hijo, que recibió el nombre de Vanadio. Este es el nombre del nuevo metal descubierto en 1831 por el físico y químico sueco Nils Sefström".



*Figura 23.1 Holoturia, en cuya sangre hay vanadio*

Así comienza el relato sobre el vanadio y su descubrimiento, escrito por el químico sueco Berzelius. Pero en su narración olvida que a la habitación de la diosa Vanadis llamó antes un hombre eminente, el célebre Don Andrés Manuel del Río. Este fue una de las figuras más brillantes de la vieja España, partidario ardiente de la libertad de México y luchador por su futuro, destacado químico y mineralogista, ingeniero y topógrafo de minas, impregnado de las ideas de los sabios más avanzados de aquel tiempo. Ya en 1801, del Río, al estudiar los minerales pardos de plomo de México, descubrió en ellos un metal al parecer nuevo. Como sus compuestos poseían los colores más diversos, lo denominó al principio pancromio, o sea, multicolor, y después cambió esta denominación por la de eritronio, es decir, rojo.

Pero del Río no consiguió demostrar su descubrimiento. Los químicos, a quienes envió muestras, tomaban al elemento contenido en el pardo mineral plomífero por cromo y este mismo error lo repitió el químico alemán Wöhler, que de manera tan tímida y desacertada llamó a la puerta del palacio de la diosa Vanadis.

Después de largas vacilaciones y muchos intentos infructuosos encaminados a demostrar la existencia independiente de este metal, la solución fue hallada por el joven químico sueco Sefström. En aquel tiempo se construían en distintos lugares de Suecia altos hornos para la fundición del hierro.



*Figura 23.2 Andrés Manuel del Río, catedrático de Mineralogía y Química en México (1764-1849)*

Se advirtió que los minerales de ciertas minas daban hierro frágil, mientras que de los de otras, por el contrario, se obtenía un metal dúctil y viscoso de alta calidad. Al estudiar la composición química de estos minerales, el joven químico no tardó en separar un polvo negro especial de las magnetitas procedentes del monte de Taberg en Suecia.

Continuando sus investigaciones bajo la dirección de Berzelius, demostró que se trataba de un nuevo elemento químico, el mismo que se halla en el mineral pardo de México, del que hablaba del Río.

¿Qué le quedaba por hacer a Wöhler después de este éxito indiscutible del joven sueco? En una carta dirigida a un amigo suyo, escribía: "He sido un verdadero asno al dejar pasar inadvertido el nuevo elemento en el mineral pardo de plomo. Berzelius tiene razón cuando, no sin ironía, se burla de cuán desventurada y débilmente, sin tesón, llamé a la puerta de la diosa Vanadis".

En la actualidad, el notable metal vanadio se ha convertido en uno de los metales más importantes de la industria. Sin embargo, ¡cuánto tiempo se mantuvo inaccesible para el hombre! Al principio, cada kilogramo de vanadio costaba 50 mil rublos oro y ahora cuesta nada más que 1 rublo. En el año 1907, la producción de este metal era sólo de unas 3 toneladas ya que a nadie le hacía falta, mientras que en la actualidad ¡qué lucha tan obstinada existe en todos los países, por los yacimientos de vanadio! ¡Qué excelentes propiedades posee, y cuán necesario es en cada país! En 1910 obtuviéronse ya 150 toneladas de metal y se descubrieron yacimientos en América del Sur. En 1926 la extracción alcanzó 2 mil toneladas; en la actualidad, supera a 5 mil toneladas. El vanadio es el metal fundamental para los automóviles, para los blindajes, para los proyectiles perforadores que atraviesan planchas del mejor acero de 40 centímetros de espesor. El vanadio es el metal de los aviones de acero, de la industria química fina, se utiliza en el proceso de obtención del ácido sulfúrico y para fabricar magníficas y variadas pinturas.

¿Dónde está la clave de sus principales méritos? Influye sobre las propiedades del acero, haciéndole menos quebradizo, lo protege de la recristalización por efecto de golpes y sacudidas. Y esto es precisamente lo que se requiere para los ejes de automóvil y cigüeñales del motor, sometidos a constantes vibraciones. Pero no menos notables son las sales de este metal: verdes, rojas, negras, amarillas, doradas como el bronce o negras como la tinta. Ellas ofrecen una paleta completa de magníficos colores para la porcelana, papel fotográfico y tintas especiales. Sirven también para la curación de ciertas enfermedades. No vamos a enumerar todas las maravillosas aplicaciones de este metal; sólo debemos recordar todavía una de ellas. El vanadio coopera con su concurso a la obtención del ácido sulfúrico que es el nervio central de la industria química. En este caso se comporta de manera muy "astuta". Facilita únicamente las reacciones químicas, las cataliza como dicen los químicos, pero se conserva en el sitio, sin variar su forma inicial y no se consume. Es cierto que algunas sustancias lo intoxican y estropean, pero para remediar esto existe también el "medicamento" adecuado.



*Figura 23.3 Camión de 40 t. de capacidad*

Tanto el vanadio, como algunas de sus sales, ejercen, con su presencia, una acción mágica en los procesos preparativos de los compuestos orgánicos más complejos, que sin su participación serían imposibles de obtener.

Mas, siendo el vanadio un metal tan maravilloso, ¿por qué sabemos tan poco de él? ¿Por qué muchos de ustedes, seguramente, incluso no habrán oído hablar de este elemento? La cantidad anual que de él se obtiene en todo el mundo es muy pequeña, unas cinco mil toneladas. Esto



supone 20 mil veces menos que la producción anual de hierro y sólo cinco veces más que la de oro.

Por lo visto existen ciertas causas desfavorables en lo que respecta a sus yacimientos y obtención. Para responder a esta cuestión debemos preguntar a nuestros geólogos y geoquímicos. He aquí, cómo explican ellos el comportamiento de este metal en la corteza terrestre.

En nuestro suelo hay bastante cantidad de vanadio. En la parte accesible de la corteza terrestre, los geoquímicos calculan, por término medio, hasta un 0,02 % , lo que no es poco si recordamos que la cantidad de

plomo contenida en la superficie terrestre es 15 veces inferior y la de plata, 2.000 veces menor. Así que, en esencia, existe en la Tierra tanto vanadio como zinc y níquel y, no obstante, de estos dos últimos metales se obtienen actualmente cientos de miles de toneladas.



Pero el vanadio se halla no sólo en la Tierra y en la parte accesible para nosotros de su corteza. Seguramente, allí donde se acumula el hierro nativo, la cantidad de vanadio es bastante grande. De esto nos hablan los meteoritos que caen sobre la Tierra. En ellos, el hierro metálico contiene de 2 a 3 veces más vanadio que en la corteza terrestre. En el espectro solar, los astrónomos ven las líneas brillantes de sus átomos y esto precisamente no es del agrado de los geoquímicos. En todas partes hay mucho vanadio, por todo el Universo está difundido este metal impar, sin embargo, pocos son los lugares donde se acumula, donde sea fácil su extracción para la industria. En efecto, se halla en casi todos los minerales férricos, y allí donde su contenido alcanza décimas de por ciento la industria comienza a extraerlo. La posibilidad de obtener este costoso metal a partir de miles de toneladas de hierro adquiere gran interés e incluso es ventajoso.



Cuando los químicos descubren un mineral con contenido de vanadio de 1%, los periódicos escriben sobre el descubrimiento de un rico yacimiento de este metal. Por lo visto, deben existir ciertas fuerzas químicas internas que se esfuerzan constantemente en diseminar por la naturaleza los átomos de este elemento. La misión de nuestra ciencia en este respecto consiste en aclarar qué es lo que reúne y acumula estos átomos dispersos, qué es lo que puede vencer su ansia de "peregrinación", diseminación y migración. En la naturaleza existen tales fuerzas y nosotros, estudiando los yacimientos de este metal, leemos hoy páginas magníficas sobre los procesos que reúnen los átomos de vanadio y que les obligan a acumularse.

El vanadio, ante todo, es un metal de desierto. Teme al agua que lo disuelve con facilidad y que dispersa sus átomos por la superficie terrestre; elude los terrenos ácidos. Encuentra su "tranquilidad" sólo en las latitudes meridionales, donde hay mucho oxígeno en el aire y se descomponen las vetas de rocas sulfurosas. En las ardientes arenas de Rhodesia y en su patria, en el México inundado de sol, entre agaves y cactus, crea caperuzas ferruginosas pardo-amarillentas, montículos pardos, como cascos de guerrero, que recubren los afloramientos de rocas sulfurosas. Vemos estos compuestos en los antiguos desiertos del Colorado, los encontramos en el desierto de la región de los Urales, perteneciente al antiguo período pérmico, festoneado al este por la cordillera ensanchada de los grandes Uralides. Bajo el sol ardiente y en las arenas, en todas partes se forman sales de vanadio, sus átomos dispersos se congregan originando yacimientos de importancia industrial. Pero de todos modos, estas reservas son pequeñísimas, sus átomos tienden a escapar de la mano del hombre; no obstante, existen aún fuerzas poderosas que retienen al vanadio y no lo dejan desperdigarse. Estas fuerzas las constituyen las células de sustancia viva, los organismos cuyos glóbulos sanguíneos se construyeron no de hierro, sino a base de vanadio y cobre.



El vanadio se acumula en el cuerpo de algunos animales marinos, especialmente en los erizos de mar, ascidias y holoturias, que cubren con sus aglomeraciones millares de metros cuadrados de golfos y costas marítimas. De dónde capturan ellos los átomos de vanadio, es difícil decir, pues en el agua no se ha conseguido descubrir la presencia de este metal. Por lo visto, dichos animales están dotados de cierta propiedad química especial que les permite extraer el vanadio de las partículas de alimentos, limos, restos de algas, etc. No hay ningún reactivo químico que funcione con tanta precisión y limpieza como el organismo vivo, capaz de acumular en su cuerpo, partiendo de millonésimas de gramo, y dejar después de su muerte unas cantidades tan grandiosas que posibilitan al hombre extraer de ellos metales para su industria.

Pero aunque las fuerzas vitales son grandes, siguen siendo escasos y pobres los verdaderos yacimientos de este metal y difícil su obtención de los asfaltos negros, betúmenes y nafta. Las formas de concentración de estos átomos en la superficie terrestre son misteriosas, y mucho han de trabajar aún los hombres de ciencia para llegar a descifrar la clave de su extracción y poder relatar su historia de forma hilvanada, de manera que los eslabones aislados de la vida del vanadio en la Tierra se entrelacen en una cadena única.

Entonces conoceremos no sólo el pasado de este metal, sino también dónde y cómo buscarlo, y las profundas conclusiones teóricas se convertirán en grandes victorias industriales. Los automóviles recibirán su metal para los ejes, los acorazados y tanques elevarán el porcentaje de vanadio en el acero de su blindaje. Delicadas reacciones químicas, con ayuda de catalizadores de vanadio, producirán en las fábricas cientos y miles de nuevos compuestos orgánicos complejos, necesarios para la alimentación, economía y cultura.

Así es como nos contestan los geoquímicos cuando les preguntamos sobre los yacimientos de vanadio. Nosotros no podemos considerar su respuesta como satisfactoria; debemos exigir de ellos un trabajo tenaz y perseverante hasta conseguir dominar este metal para las necesidades del país.



**Capítulo XXIV****EL ORO, REY DE LOS METALES**

Hace mucho tiempo que el oro fue advertido por el hombre, seguramente, en forma de refulgentes pepitas amarillas en la arena de los ríos.



Puede aprenderse mucho de curioso e ilustrativo siguiendo la historia del empleo del oro en los complejos caminos del progreso de la humanidad. Desde la propia cuna de la cultura humana hasta las guerras imperialistas, con el oro están ligadas las empresas bélicas, las conquistas (le continentes enteros, la lucha de varias generaciones de pueblos, los crímenes y la sangre.

En las antiguas sagas escandinavas el oro juega un enorme papel; y la lucha de los Nibelungos es la lucha por liberar al mundo de la maldición y el poder del oro. El anillo forjado con oro del Rin simboliza el principio del mal. Sigfrido, a cambio de su vida, debe librar al mundo del dominio del oro y derrocar los dioses de Walhalla.

En la poesía épica helénica existe el mito del viaje de los argonautas a Cólquida en busca del vellocino de oro.

Allí, en las costas del mar Negro, en la Georgia actual, ellos debían hallar el vellocino, pieles de carnero cubiertas de polvo de oro, y arrancárselas al dragón guardián.

En las antiguas leyendas griegas y papiros egipcios puede leerse sobre la lucha por el oro en el mar Mediterráneo. El rey Salomón, para construir el célebre templo de Jerusalén, tenía que conseguir una enorme cantidad de oro y emprendió una serie de campañas contra el antiquísimo país de Ophir, que inútilmente buscan los historiadores en las fuentes del Nilo o en Etiopía.

Algunos opinan que la palabra "Ophir" significa en realidad "riqueza" y "oro".

Existe una leyenda sobre las hormigas que extraían oro. Conócense muchas versiones de esta leyenda en la interpretación de distintos investigadores.



*Figura 24.1 Los argonautas en Cólquida (antigua denominación de Georgia), examinando el vellocino de oro. Grabado antiguo*

Le sirvió de fundamento el relato de cómo una tribu de la India vivía en un desierto arenoso en el que había hormigas del tamaño de zorros. Estas hormigas arrojaban desde el fondo de la tierra, junto con la arena, gran cantidad de oro, en busca del cual acudían los habitantes con camellos. Heródoto confirma este relato; algo parecido escribía Estrabón el año 25 antes de nuestra era. Plinio da una versión algo diferente, pero, en todo caso, los escritores europeos y árabes más de una vez volvieron a ese tema aún en la Edad Media. Hasta el momento actual no existe una

explicación exacta de esta leyenda; la aclaración más aceptable es la de que en sánscrito la palabra "hormiga" y la palabra "grano" (oro de aluvión) se expresan por el mismo sonido. En este parecido de las palabras "grano de oro" y "hormiga" se funda, por lo visto, el origen de la leyenda.

Magníficos objetos de oro se guardaban en los antiguos tesoros de las épocas escíticas en el sur de Rusia. Estas admirables labores de los artífices escitas, representando lo más frecuente animales salvajes en furiosos movimientos, se conservan en el Museo de la Ermita junto a las labores de oro, tan finas como, aquellas de los tesoros siberianos.

El oro siempre jugó un papel inmenso en la mente de los antiguos. Los alquimistas le dieron el signo del sol. Al tiempo que los pueblos eslavo, germánico y finlandés tenían en la raíz de esta palabra las letras G, Z, O, L (zóloto, gold), los pueblos indo-persas ponían las letras A, U, R, de donde procede la palabra latina "aurum" de la que los químicos tomaron el símbolo químico actual del oro, Au.

Los lingüistas han efectuado investigaciones especiales sobre el problema de la denominación del oro y determinación de la raíz de esta palabra. Estos investigadores se esforzaron por hallar los nidos en que se encontraba el oro en el mundo antiguo.

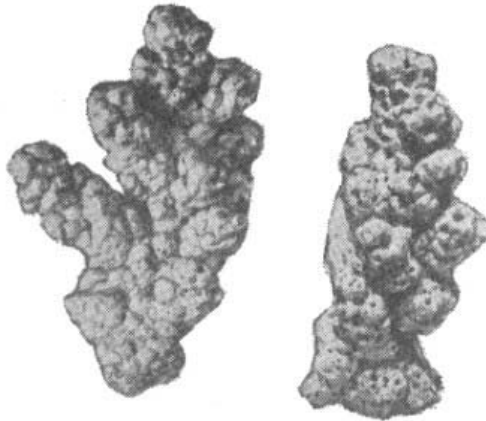


*Figura 24.2 Peine de oro con representación de un combate de los excitas con los griegos. Cultura de los siglos V, final del IV antes de nuestra era. Túmulo de Soloj (RSS de Ucrania). Se conserva en el Museo Nacional de la Ermita*

Es interesante señalar que en Egipto sirvió de jeroglífico para el oro la representación de un pañuelo, saco o balde, lo que por lo visto habla de los métodos de obtención del oro en los placeres.

El oro se distinguía por su calidad y color. Sus fuentes en Egipto eran las arenas, cuyo emplazamiento se señala con todo detalle en varios escritos antiguos. Fue hallado oro en distintos lugares del noroeste de Egipto, por las costas del mar Rojo, en las arenas de antiguos granitos en la región del Nilo y, principalmente, en la región de Kosseir. Los textos antiguos indican numerosos puntos de extracción de oro. También existían antiguas excavaciones en los desiertos de Arabia y Nubia. Las minas de oro se constatan ya 2-3 mil años antes de nuestra era.

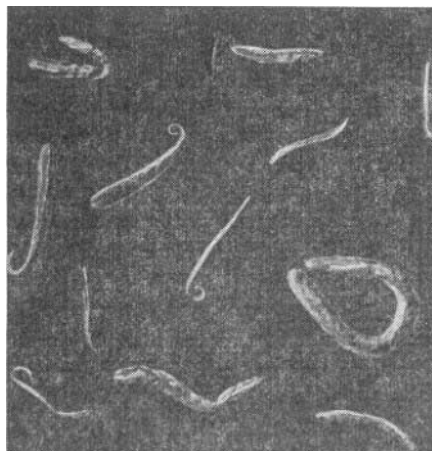
En escritos posteriores, las explotaciones auríferas fueron representadas y descritas maravillosamente por muchos autores. En una serie de textos se indica que el oro se halla ligado a rocas blancas brillantes (por lo visto, vetas de cuarzo), que ciertos autores antiguos denominaron incorrectamente con la palabra griega "marmoros". Se conocen los precios, extracción, métodos de explotación, etc.



*Figura 24.3 Concreciones nodulares de oro. Kachkar. Urales Meridionales*

El descubrimiento de América en el siglo XV constituye una nueva página en la historia del oro. Los españoles trajeron de América una cantidad grandiosa de este precioso metal, que obtuvieron por el saqueo militar, e inundaron de oro Europa.

A principios del siglo XVIII (en el año 1719) fueron descubiertos ricos placeres auríferos en las arenas del Brasil. Comenzó por doquier la "fiebre del oro" y se inició la búsqueda de este precioso metal en otros países. A mediados del mismo siglo en Rusia, cerca de la ciudad de Ekaterinburgo (hoy Sverdlovsk) fueron hallados los primeros cristales de oro en rocas de cuarzo. Un siglo más tarde en Norteamérica, el año 1848, se hizo un descubrimiento admirable: en el Lejano Oeste, tras el límite de las Montañas Rocosas, cerca de la costa del Océano Pacífico, en la entonces aún misteriosa California fueron descubiertos yacimientos de oro por un tal John Sootter que murió después en la indigencia.



*Figura 24.4 Ejemplares de oro cristalino en forma de filamentos a modo de ganchos y espirales*

Allá se lanzaron los buscadores de oro; caravanas enteras de carros uncidos con bueyes se dirigían al Oeste en busca de nueva fortuna. No pasaron cincuenta años cuando se descubrió oro en Klondike en la península de Alaska, que tan irreflexivamente y a tan mísero precio fue vendida por el gobierno de la Rusia zarista a los Estados Unidos de América.



*Figura 24.5 Lavado de arenas auríferas en la antigüedad. Grabado antiguo*

De los relatos de Jack London sabemos cómo transcurrió la lucha por el oro en Klondike. Se conservan fotografías de las "serpientes negras" abriéndose camino a través de las cumbres nevadas y vastos espacios de las montañas polares: eran torrentes continuos de gente que cargaba sobre sus espaldas o en pequeños trineos sus bártulos, arrastrada por la idea de regresar con montones de oro.

En 1887 fueron descubiertos los primeros placeres auríferos en Africa del Sur, en el Transvaal, pero esta riqueza no trajo la felicidad a los bóers que la descubrieron. Después de una lucha prolongada y sangrienta, Inglaterra consiguió conquistar este país y casi destruyó al pueblo libre de los bóers. Actualmente se obtiene en el Transvaal más del 50 % de toda la extracción mundial de oro. También hay oro en Australia.

Muy específica fue la historia de la conquista del oro en Rusia. El año 1745 en los Urales, cerca de Ekaterinburgo, en el río Beriózovka, fue descubierto por el campesino Eroféi Márkov oro en filones. También en los Urales fueron descubiertos en 1814 los primeros placeres auríferos por el capataz Brusnitsin, que organizó su explotación. Así, la cuna de la industria del oro rusa son los Urales. En la segunda mitad del siglo XIX causó sensación el descubrimiento de yacimientos en el río Lena, en Siberia. Estas eran riquezas fabulosas a las que se lanzaron aventureros de toda índole y de todos los países. Unos ponían jalones y vendían parcelas; otros, en las difíciles condiciones de la taigá, lavaban oro y regresaban ricos; otros extraían oro y se bebían en el sitio las ganancias; y otros, la mayoría, perecían de escorbuto y por las inclemencias del tiempo.

Aún mayores riquezas fueron halladas a principios de la segunda década de este siglo en el Aldán.

Tuve ocasión de conocer a un buscador de oro que trabajó durante los primeros años después del descubrimiento de los célebres placeres del Aldán. Me describió el fluir de aventureros huidos de los ejércitos blancos, que lo abandonaban todo para penetrar en el curso alto de dicho río y enriquecerse con el oro. Me contó de un sacerdote que dejó su parroquia y con

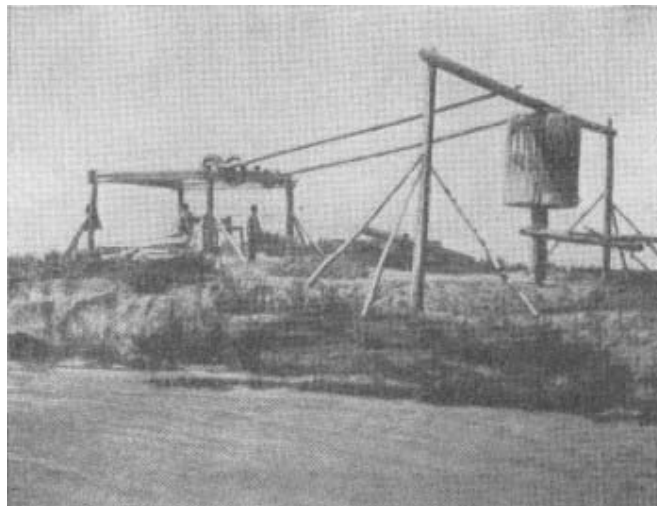


enorme trabajo alcanzó el curso superior de este río, armó una balsa y atravesó lugares casi inaccesibles, donde lavó 25 "puds" (400 kilogramos) de este precioso metal.



*Figura 24.6 Primeras explotaciones de cuarcitas auríferas en el Transvaal*

Relataba después cómo llegó al Aldán el Poder soviético y la región de los placeres auríferos, denominada "comarca de oro y lágrimas", se convirtió en una base para el suministro planificado de valuta al País Soviético. Después se descubrieron muchos otros ricos yacimientos. Así se desarrolló gradualmente la lucha por el oro en la historia de la humanidad. Más de 50.000 toneladas de este metal han sido extraídas y, aproximadamente, la mitad fue a parar a los bancos, donde se concentraron más de 10.000 millones de rublos oro. Los progresos de la técnica fueron permitiendo obtener cada vez más cantidad de metal, pasando de los minerales ricos a los pobres. Al principio se emplearon sencillos procedimientos artesanos de obtención, lavando la arena en cubetas, azafates y más tarde en las "americanas"<sup>1</sup>, que se extendieron por todo el mundo después del hallazgo de oro en California.



*Figura 24.7 Extracción de arenas auríferas en pozos sin entibar por medio de tornos movidos por fuerza animal. Forma habitual de mecanización en la Rusia de antes de la Revolución*

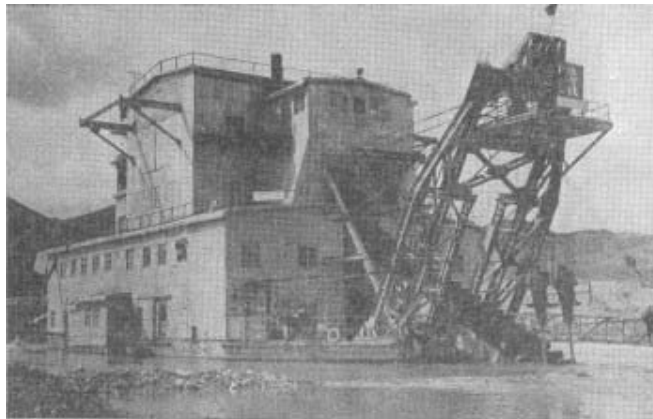
Posteriormente empezaron a explotar los yacimientos por el método hidráulico, con potentes chorros de agua y disolviendo las pepitas pequeñas de oro en soluciones de compuestos cianúricos. Finalmente se aprendió a separar el oro de las duras rocas fundamentales que lo

contienen empleando los más perfeccionados procedimientos de extracción en enormes fábricas de enriquecimiento.



La humanidad toma todas las medidas para conservar el oro reunido y lo guarda bajo llave en las cajas fuertes de los bancos estatales; y los buques que transportan oro van acompañados por una escolta de navíos de guerra. Como moneda, el oro se retiró de la circulación porque se desgastaba muy pronto y se perdía.

El hombre extrajo durante los milenios pasados de su cultura y vida económica no más que una millonésima parte del oro que contiene la corteza terrestre. Entonces, ¿cómo es que la gente hizo del oro su ídolo, base de riqueza? No cabe ninguna duda que el oro posee una serie de particularidades notables. Es el representante de los "metales nobles", es decir, metales que no se alteran al aire libre, conservan su brillo refulgente y no se disuelven en los disolventes químicos habituales. En efecto, sólo son capaces de disolver el oro los halógenos en estado libre, como el cloro o el agua regia (que consiste en una mezcla de tres partes de ácido clorhídrico y una parte de ácido nítrico), así como algunas sales venenosas del ácido cianhídrico.



*Figura 24.8 En los placeres auríferos. Draga eléctrica que trabaja hasta una profundidad de 25 metros*

El oro se distingue por su gran peso específico. Al igual que los metales del grupo del platino, es uno de los elementos más pesados de la corteza terrestre, siendo su peso específico 19,3. Se funde con relativa facilidad, calentándolo a una temperatura algo superior a mil grados, pero, en cambio, es muy difícil transformarlo en vapor volátil. Para alcanzar su punto de ebullición, hay que calentarlo hasta 2.600°. El oro es muy blando y se moldea muy bien; su dureza no es mayor que la de los minerales más blandos y en estado puro puede arañarse con la uña.



Los químicos determinan el oro con gran precisión. Es suficiente la presencia de un átomo de este elemento entre miles de millones de átomos de otros metales para que pueda ser identificado en los laboratorios (es decir, basta para su determinación  $1 \times 10^{-10}$  gramos). Tal cantidad de substancia no puede ser pesada por ninguna de las balanzas de que dispone la técnica actual.

No es poco el oro que hay en la corteza terrestre, pero se halla muy diseminado; en la actualidad, los químicos calculan que la proporción de oro en la Tierra es aproximadamente de cinco cienmillorésimas por ciento. ¡Pero la plata, que se considera como metal mucho más barato, existe sólo dos veces más en la corteza terrestre! Lo más notable es que



el oro se encuentra en la naturaleza por doquier. Se le ha hallado en los vapores incandescentes de la atmósfera solar, se le encuentra (cierto que en menos cantidad que en la Tierra) en los meteoritos y, también, lo contiene el agua del mar. Los últimos experimentos de precisión muestran que la cantidad de oro en el agua del mar es de cuatro diezmilmillonésimas partes, es decir, que en un kilómetro cúbico de agua marina hay 400 kilogramos de oro.

El oro se halla en el granito, se acumula en las postreras masas fundidas de los magmas graníticos, penetra en las vetas calientes cuarcíferas y allí, junto con otras combinaciones sulfurosas, principalmente de hierro, arsénico, cinc, plomo y plata, cristaliza a temperaturas relativamente bajas (cerca de 150-200°C).



Figura 24.9 Los excavadores abriendo un arenal aurífero

Así se forman los grandes depósitos auríferos. Al destruirse los granitos y vetas de cuarzo, el oro se dispersa y gracias a su estabilidad y alto peso específico se reúne en las capas bajas de las arenas. Sobre él casi no influyen las soluciones químicas acuosas que circulan por las capas de la corteza terrestre.

Mucho y largo tiempo hubieron de trabajar los geólogos y geoquímicos para llegar a aclarar el destino del oro en la superficie terrestre. Investigaciones precisas demostraron que también aquí "peregrina".

No sólo se desmenuza mecánicamente hasta dimensiones submicroscópicas y en tal forma es arrastrado por los ríos en cantidades enormes, sino que en parte se disuelve, sobre todo en los climas meridionales donde los ríos contienen mucho cloro,

recristaliza y va a parar a las plantas y al suelo. Se ha demostrado experimentalmente que las raíces de los árboles absorben oro para su madera. Hace varios años los científicos demostraron que en los granos del maíz hay oro en cantidad bastante considerable. Pero aún más oro se concentra en las cenizas de ciertos tipos de hullas, donde su cantidad llega a un gramo por tonelada de ceniza.



De este modo vemos que el oro recorre un camino complicadísimo en la corteza terrestre antes de ser extraído por el hombre. Pero de todas formas, por más que se haya esforzado durante más de 2.000 años la mente humana en la lucha por la obtención de oro, y por grandes que sean determinadas empresas auríferas, la historia completa de este metal nos es desconocida.





*Figura 24.10 Cubas enormes en donde se disuelve el oro por el método de cianuración*

Nuestros datos sobre el destino del oro disperso son tan escasos, que no podemos establecer una cadena completa con eslabones aislados de su "peregrinación". ¿Dónde fue a parar el oro arrastrado por las aguas hasta los mares y los océanos después del proceso de erosión de grandiosas cordilleras y peñas graníticas, dónde desapareció el oro del gran mar de Perm, que dejó en las costas de los Urales tan ricos sedimentos de sales, calizas y betúmenes?

A los geoquímicos y geólogos les queda aún mucho trabajo por hacer. Sin embargo el futuro del oro no es la permanencia en los depósitos de los bancos ni su participación en los juegos de los corredores de bolsa y de los capitalistas, su futuro es el uso amplio en las ramas más diferentes de la ciencia y la industria soviéticas, en la industria precisa de electrotecnia y radiotecnia, en dondequiera que se necesite un metal de alta electroconductibilidad y de características constantes resistente contra cualesquier reactivos químicos.

De los depósitos y las cajas fuertes el oro, como metal eterno, pasará a las fábricas y a los laboratorios.



<sup>1</sup> Tinajas largas y estrechas con umbrales transversales que sirven para retener el oro.

## Capítulo XXV ELEMENTOS RAROS DISPERSOS

La corteza terrestre consta de muchas decenas de elementos químicos. Sólo 15 de ellos son relativamente frecuentes y habituales, pues toman parte en la composición de casi todas las rocas. Los demás son menos corrientes.

Algunos de los elementos más raros originan grandes concentraciones, formando depósitos minerales en diferentes yacimientos; otros, como, por ejemplo, el oro o el platino, muy poco abundantes en la corteza terrestre, forman granos diminutos, casi imperceptibles de metal en estado nativo, y raras veces pepitas de mayor tamaño.

Pero aun siendo raros, se les encuentra formando minerales independientes, aunque su tamaño sea pequeño, incluso tan pequeño que la vista no los percibe, pero en todos los casos constituyendo minerales propios. Sin embargo, existen ciertos elementos químicos muy escasos en la corteza terrestre que no forman minerales propios e independientes. Las combinaciones químicas de estos elementos se hallan disueltas en otros minerales más comunes, del mismo modo que el azúcar o la sal se disuelven en el agua, aunque por el aspecto exterior no podamos decir si el agua es pura o tiene algo disuelto.



Exactamente igual, es difícil y no siempre posible juzgar por el aspecto exterior de los minerales qué impurezas químicas contienen en disolución. En el caso del agua, es suficiente probarla para saber si es insípida, dulce o salada. El análisis químico en los minerales es más complejo y el proceso de separación de los elementos químicos que se ocultan en minerales ajenos presenta grandes dificultades.

Los elementos químicos efectuaron largas y complicadas "peregrinaciones", por las disoluciones y masas fundidas antes de llegar a combinarse en el seno de las rocas y vetas minerales, constituyendo minerales sólidos, compuestos químicos más estables. Durante este largo proceso, los elementos experimentan numerosas y diversas transformaciones. Este camino lo recorren juntos, sin separarse unos de otros, sólo los elementos muy semejantes entre sí.

Cuanto más semejantes sean las propiedades químicas de dos elementos cualesquiera, tanto más difícil será encontrar la reacción química que sirva para separarlos. Ciertos elementos raros, en vez de aislarse y formar minerales independientes, se disuelven, se difunden en los minerales pertenecientes a otros elementos químicos. Por ello los llamamos elementos dispersos.

¿Qué clase de elementos son éstos?: En la vida ordinaria, incluso durante las clases de Química en la escuela media, casi no oímos hablar de ellos, a pesar de que con el progreso de la técnica estos elementos van introduciéndose cada vez más en nuestra vida.

Estos elementos son el galio, indio, talio, cadmio, germanio, selenio, telurio, renio, rubidio, cesio, radio, escandio y hafnio. Únicamente hemos mencionado los más característicos, si quisiéramos podríamos enumerar todavía más.

Veamos dónde y en qué condiciones se hallan estos elementos en la naturaleza, de qué modo el hombre los descubrió en otros minerales y cuáles son sus aplicaciones.

He aquí, sobre la mesa, un trozo de mineral amarillo pardusco, que en las superficies de fractura presenta con frecuencia facetas perfectamente planas y brillantes. Es un mineral pesado que por su aspecto exterior no se parece en nada a una mena, a pesar de que lo es. Se denomina blenda de zinc o, también, esfalerita.

Su composición es muy sencilla: a cada átomo de zinc le corresponde otro de azufre. Pero estos son sólo los elementos primordiales. La simplicidad de su composición es sólo aparente. Nuestro ejemplar es amarillo-pardusco, sin embargo, existen otras variedades de este mismo mineral de

distintos colores: pardo, pardo oscuro, negro pardusco e, incluso, totalmente negro y, en este caso, poseen verdadero brillo metálico.



*Figura 25.1 Laboratorio moderno donde se verifica el proceso de separación de las tierras raras de las soluciones que las contienen, a base de cristalizaciones sucesivas*

¿A qué se debe esto?

La coloración oscura de la blenda de zinc se debe a las impurezas de sulfuro de hierro que se hallan disueltas en su masa. La blenda de zinc sin impurezas de hierro, es casi incolora, amarillo-verdosa o de color verde claro. Por tanto, la tonalidad más o menos oscura de este mineral es el rasgo característico que indica el contenido de hierro. El análisis roentgenográfico de la estructura de la blenda de zinc ha demostrado que las partículas sueltas de zinc y de azufre se hallan distribuidas de la forma siguiente: cada átomo de zinc está rodeado de cuatro átomos de azufre y cada átomo de azufre, de cuatro de zinc.



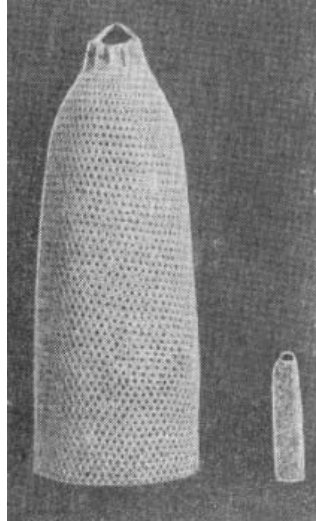
Cuando existen impurezas de hierro, este elemento reemplaza a algunos de los átomos de zinc, debido a lo cual la blenda adquiere una nueva coloración. Los átomos de hierro se distribuyen de modo completamente uniforme: un átomo de hierro ocupa el puesto de cada centésimo átomo de zinc, o el lugar correspondiente a cada quincuagésimo, trigésimo, vigésimo, décimo... Y el "dueño hospitalario", el zinc, se dirige al hierro y le dice: ¿No habrás poblado en exceso mi casa? A pesar de que el hierro abunda en la naturaleza mucho más que el zinc, la capacidad del primero para reemplazar en la blenda al segundo tiene ciertos límites determinados. Los hombres de ciencia llaman a esta propiedad miscibilidad limitada.

Este ejemplo puede utilizarse también para hacer una comparación interesante: del mismo modo que en una madriguera desocupada, en la que antes habitaba una zorra, nunca buscarán acogimiento, por ejemplo, un ratoncito, ni un oso, que necesita una guarida más espaciosa para pasar el invierno, sino que la utilizarán sólo animales de tamaño semejante al de la zorra, en la blenda de zinc, el puesto de este último podrán ocuparlo sólo aquellos elementos cuyos átomos sean de tamaño aproximado al átomo de zinc.

En la blenda de zinc, encontramos los siguientes elementos raros dispersos: cadmio, galio, indio, talio, germanio... Como pueden ustedes ver, el zinc es un dueño muy hospitalario. Y no sólo el zinc, el azufre también está capacitado, pero en grado mucho menor, para dar hospitalidad a otros dos elementos raros dispersos, el selenio y el telurio.

La composición de la blenda de zinc es, por tanto, mucho más compleja de lo que parece a primera vista. Aproximadamente lo mismo puede decirse de los llamados minerales descoloridos, de la pirita de cobre (calcopirita) y de otros minerales.

Pero los geoquímicos han descubierto nuevas leyes complementarias.



*Figura 25.2 Manguito o camiseta de incandescencia en cuya composición entra el óxido de torio, utilizable para los mecheros de gas*

Resulta que las blendas negras de zinc ricas en hierro, por lo general, no contienen cadmio; en cambio, son ricas en indio y, a veces, en germanio. El galio se concentra principalmente en las blendas de zinc de color pardo claro, y el cadmio en las de color amarillo de miel.



*Figura 25.3 Sección de selenio en una fábrica*

El selenio y el telurio abundan, por lo general, en las variedades oscuras. Como ven ustedes, el grado de amistad entre los elementos químicos no es siempre igual; las condiciones, los diferentes elementos vecinos son los que determinan qué clase de "inquilinos" pueden instalarse en el lugar designado para el zinc...

El descubrimiento e identificación de los elementos raros dispersos constituye una tarea difícil que exige el empleo de métodos especiales. Debido a su gran valor industrial, la búsqueda de estos elementos se realiza incluso en el caso de que su porcentaje en el mineral hallado sea muy pequeño. En ayuda de los métodos analíticos usuales más perfeccionados y de las reacciones químicas más sensibles, vienen los métodos especiales de análisis espectroscópico y roentgenoquímico.



Estos métodos que no exigen complejas reacciones químicas de separación, permiten determinar rápidamente (cualitativa y cuantitativamente) qué otros elementos entran en la composición del mineral dado. La blenda de zinc con 0,1 % de indio se considera ya como mineral de indio y no de zinc, puesto que el precio del indio, incluso en tan pequeñas cantidades, es superior al de todo el zinc...

¿Por qué se les dedica tanta atención a los elementos raros dispersos, por qué despiertan tanto interés, qué es lo que determina su alto precio? La causa principal es la importancia de sus aplicaciones, las propiedades especiales y características que poseen, tanto los propios metales, como los productos obtenidos de sus combinaciones.

Por ejemplo, el óxido de torio, cuando se calienta, emite una luz viva, cegadora, a lo que debe su aplicación para los manguitos o camisetas de incandescencia.



*Figura 25.4 Verificación de un filamento de wolframio para lámparas eléctricas de incandescencia. En la parte superior se ve la silueta de un hilo arrollado en espiral, aumentado 80 veces, para lámparas de 60 vatios; en el centro, una vuelta de espiral. En la parte inferior se muestra un cabello humano, como término de comparación*

Con rubidio y cesio se obtienen superficies especulares que despiden fácilmente electrones, lo que les hace insustituibles para las células fotoeléctricas.

Veamos dónde y cómo se utilizan los metales raros o sus compuestos, obtenidos exclusivamente de la blenda de zinc que acabamos de describir.

El cadmio es un metal de color gris claro, relativamente blando y que funde a 321°C. Sin embargo, si preparamos una mezcla compuesta de una parte de cadmio metálico, una parte de estaño, dos de plomo y cuatro de bismuto (estos cuatro metales funden a temperaturas superiores a 200°C), obtendremos una aleación, conocida con el nombre de Wud, que funde a 70°C.

¡Qué cosa más curiosa! Si hacemos una cucharilla de esta aleación y tratamos de disolver, agitando con ella, azúcar en un vaso de té caliente, nuestra cucharilla se fundirá y... en el fondo del vaso, bajo la capa de infusión de té, se acumulará el metal líquido. Modificando las

proporciones de estos cuatro elementos, puede obtenerse la aleación de Lipóvich que funde a 55°C. Semejante aleación en estado líquido puede tocarse con la mano sin el menor cuidado. Los metales de bajo punto de fusión se emplean en numerosas ramas de la industria. Existe un metal al que le basta el calor de la mano para fundirse. Este metal es el galio, uno de los elementos más dispersos que se hallan en la blenda de zinc. Además, el galio se encuentra en las micas, arcillas y en algunos otros minerales.

El galio funde a 30°C, y es, después del mercurio (que funde a -39°C), uno de los metales con más bajo punto de fusión, lo que le permite remplazar en muchas aplicaciones al mercurio, cuyos vapores, como sabemos, son muy tóxicos, cosa que no ocurre con el galio. Por ello, el galio, lo mismo que el mercurio, puede utilizarse en la fabricación de termómetros. Pero si con los termómetros ordinarios de mercurio se miden temperaturas desde -40° hasta +360° (punto de ebullición del mercurio), con los termómetros de galio pueden determinarse temperaturas desde +30° hasta 700-900° (temperatura de reblandecimiento del vidrio). Si se emplea cristal de cuarzo pueden medirse temperaturas hasta de 1500°C, pues el galio hierve a 2300°C.

Si los tubos de estos termómetros se hacen de vidrio especial refractario, entonces puede medirse la temperatura de la llama o la de muchos metales en estado fundido.



A propósito, el galio tiene otra particularidad muy interesante: lo mismo que el agua es más pesada que el hielo, debido a lo cual los témpanos de hielo flotan en el agua, el metal galio es más ligero en estado sólido que fundido y, por consiguiente, flota en el galio líquido.

Esta rara propiedad la tienen también el bismuto, la parafina y el hierro colado. En todos los demás casos, las sustancias sólidas, al fundirse, se hunden en su propia masa líquida.

Ocupémonos nuevamente del cadmio. Este metal, además de servir para preparar valiosas aleaciones fusibles, se utiliza en la industria de tranvías. ¿Han tenido alguna vez ocasión de ver un trole viejo de tranvía, de los que tienen forma de arco? ¡Qué hendidura tan profunda se forma en la parte central del arco como resultado de su constante rozamiento con el cable de línea! El cable, por el mismo motivo, también se desgasta.

Sin embargo, basta agregar sólo un 1 % de cadmio, para que la resistencia al desgaste de los cables se eleve considerablemente. El cadmio se emplea también en las redes tranviarias para los cristales coloreados de las luces de señales. La adición de sulfuro cádmico concede al vidrio un bello color amarillo; si se agrega seleniuro cádmico, el vidrio adquiere color rojo.



Figura 25.5 Pezuñas de vaca corroídas por la acción del selenio existente en la hierba de un terreno infectado

Las aplicaciones del indio no son menos interesantes que las del cadmio. Sabemos que las aleaciones de cobre se deterioran con gran rapidez por la acción del agua salada del mar. Sin embargo, en la construcción de submarinos e hidroaviones no siempre es posible substituir estas aleaciones por otros metales químicamente más estables. Pero si agregarnos a estas aleaciones cantidades pequeñísimas de indio, su estabilidad ante la acción corrosiva del agua del mar crece en alto grado.



La adición de indio a la plata hace aumentar su brillo de modo extraordinario, o sea, eleva su capacidad reflectora. Esta propiedad se utiliza en la fabricación de espejos para reflectores; el indio contenido en la capa especular incrementa notablemente la densidad de la luz reflejada por el proyector.

Propiedades completamente inesperadas posee el selenio, elemento raro disperso, pariente próximo del azufre. De ordinario se halla en pequeñas cantidades en los minerales sulfurados. Según sea la intensidad de luz que le ilumine, su conductividad eléctrica varía de modo brusco. Debido a esta particularidad, el selenio se utiliza en la técnica de transmisión de imágenes por telégrafo y por radio. En ella se basa el funcionamiento de muchos dispositivos de control automático, destinados a registrar el paso de piezas de colores claro u oscuro en las cadenas transportadoras de las fábricas. Por último, la medición exacta de la intensidad luminosa sólo ha sido posible gracias al empleo del selenio.



Otra importante aplicación del selenio: para la fabricación de vidrio limpio e incoloro. De ordinario, el vidrio se obtiene fundiendo una mezcla de arena cuarcífera, piedra caliza y un álcali (carbonato sódico o sulfato sódico). Debe emplearse arena lo más pura posible, sobre todo que no tenga hierro, pues este elemento transmite al vidrio

un tono verdusco característico, como vemos en el vidrio de las botellas ordinarias.

Es suficiente una cantidad insignificante de hierro para que aparezca esta coloración. Para los cristales de las ventanas se necesita un vidrio puro y transparente, todavía de mejor calidad debe ser el que se emplea para los cristales de las gafas y lentes, y de una pureza irreprochable el que se utiliza en los aparatos ópticos (microscopios, gemelos y telescopios). Si se agrega seleniato sódico al vidrio en estado fundido, el selenio se combina con el hierro, extrayéndolo de



esta forma de la masa vítrea fundida y se obtiene un cristal incoloro de excelente calidad.

El vidrio que se emplea para la fabricación de aparatos ópticos, para gemelos dotados de alta luminosidad y gran capacidad de amplificación, para aparatos fotográficos, etc., debe poseer también otras propiedades especiales. Y esto se consigue adicionando dióxido de germanio en pequeñas proporciones.

El germanio, lo mismo que el selenio, es uno de los elementos raros y dispersos que se hallan en cantidades ínfimas en ciertas variedades de la blenda de zinc. Se encuentra también en algunas clases de hulla.

Hasta hace poco tiempo casi nadie se interesaba por el germanio. Pero en estos últimos años, después del descubrimiento de los semiconductores, este elemento ha pasado a ser uno de los más importantes. Los dispositivos semiconductores de germanio pueden verse en los radorreceptores portátiles, en las máquinas calculadoras y hasta en los cohetes cósmicos.





Hemos visto cómo se comportan los elementos raros dispersos en los minerales y menas que los contienen, cuáles son las propiedades que caracterizan a estos metales tan poco comunes, hemos hablado también de sus diversas aplicaciones.

La importancia de estas aplicaciones explica el por qué los geoquímicos prestan tanta atención a los elementos raros dispersos.

**Capítulo Vigésimosexto****LOS METEORITOS, EMISARIOS DEL UNIVERSO**

Noche oscura sin luna. Se apagaron los últimos resplandores del crepúsculo vespertino. Arden vivamente las estrellas en la profundidad ilimitada de la bóveda celeste, difuminándose y parpadeando con rayos multicolores. Poco a poco se extingue el ruido de los poblados. Alrededor todo parece haber muerto en el silencio nocturno y solamente la brisa ligera susurra apenas en el follaje de los árboles...

De repente todo se enciende con una luz viva y temblorosa. Velozmente cruza por el cielo un globo de fuego, desprendiendo chispas y dejando tras de sí una estela de luz débil, nebulosa. El globo se apaga sin llegar al horizonte de manera tan súbita como apareció, y de nuevo se sumerge todo en la oscuridad de la noche. Pero apenas transcurren unos minutos suenan golpes cortados como explosiones o disparos de piezas pesadas. Después se oyen estampidos, crujidos y un ruido sordo, prolongado, que se extingue gradualmente...



*Figura 26.1 Vuelo de un bólido*

Seguramente, alguno de nuestros lectores habrá tenido ocasión de presenciar el fenómeno descrito. ¿Qué es esto? ¿Qué es ese globo de fuego y de dónde proviene?

En el espacio interplanetario, aparte de los nueve planetas grandes, Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón<sup>1</sup>, se mueve alrededor del Sol un gran número



de pequeños planetas, los asteroides. En la actualidad se conocen más de 1.500 asteroides, el mayor de los cuales, Ceres, tiene un diámetro de 770 kilómetros, en tanto que el menor de ellos, Adonis, tiene sólo un kilómetro. Es indudable que existe una multitud ilimitada de asteroides más pequeños. Sus diámetros se miden ya en metros e, incluso, en centímetros.

En esencia estos ya no son planetas, sino más bien pedazos de roca o piedras y pequeños granos que pueden hasta tenerse en la mano. ¿Qué cuerpos son esos? Desde la Tierra no se les ve incluso con los telescopios más potentes. Se les denomina cuerpos meteóricos y ninguno tiene forma esférica regular.

La mayoría de los asteroides grandes giran alrededor del Sol, cada uno por su órbita determinada, en el espacio existente entre las órbitas de Marte y Júpiter. Aquí constituyen en su conjunto el denominado "cinturón" de asteroides. Las órbitas de una enorme cantidad de asteroides menudos o cuerpos meteóricos salen de los límites de este cinturón, cortando las órbitas de

los grandes planetas, entre ellos de nuestra Tierra. Verificando su movimiento alrededor del Sol, la Tierra y un cuerpo meteórico pueden llegar simultáneamente al punto en que se cruzan sus órbitas. En este momento el cuerpo meteórico penetra a gran velocidad en la envoltura atmosférica de la Tierra, produciendo la aparición en el aire del globo inflamado, denominado bólido.

El cuerpo meteórico al penetrar en la atmósfera puede moverse en el espacio interplanetario en dirección contraria a la de la Tierra. En este caso su velocidad puede ser extraordinariamente grande, alcanzando 70 o más kilómetros por segundo. Si el cuerpo meteórico se movía en la misma dirección que nuestro planeta, es decir "alcanzando" y "siendo alcanzado", su velocidad inicial es aproximadamente igual a 11 kilómetros por segundo. Pero esta mínima velocidad es también muy grande; supera en muchas veces la velocidad de los proyectiles y las balas al salir del ánima.

Debido a esa velocidad tan grande, llamada cósmica, el cuerpo meteórico, al atravesar la atmósfera terrestre, encuentra una gran resistencia originada por la masa aérea. Incluso a la altura de 100120 kilómetros sobre la superficie terrestre en la que, como sabemos, la atmósfera está extraordinariamente enrarecida, debido a que la velocidad es tan grande, el aire ofrece una resistencia enorme y la superficie del cuerpo meteórico se calienta hasta varios miles de grados y comienza a brillar.



También se caldea el aire que rodea al cuerpo meteórico. En este momento, aparece en el cielo con movimiento vertiginoso el globo de fuego, el bólido. Es en realidad la envoltura gaseosa en estado incandescente que rodea al cuerpo meteórico. Las corrientes de aire que marchan a su encuentro, arrancan sin cesar la substancia derretida de la superficie del cuerpo, pulverizándola en pequeñas gotas. Al solidificarse, en forma de pequeñas bolitas, estas gotas forman una especie de estela de humo que el bólido deja tras de sí en su camino.

A la altura de 50-60 kilómetros sobre el suelo, donde la atmósfera es ya suficientemente densa para transmitir las ondas acústicas, se crea alrededor del cuerpo meteórico la llamada onda balística. Esta es la capa de aire comprimido que se forma delante del cuerpo meteórico durante su movimiento. Al chocar con la superficie terrestre, la onda balística produce estampidos, golpes y ruido, que suelen oírse varios minutos después de la desaparición del bólido.

Atravesando vertiginosamente capas más bajas de la atmósfera, de mayor densidad, el cuerpo meteórico encuentra una resistencia cada vez mayor del aire. Su movimiento se amortigua y a la altura de unos 10-20 kilómetros pierde su velocidad cósmica. El cuerpo meteórico parece como si se "enfangase" en el aire. Este sector de su camino se llama "zona de retención". Aquí cesa la incandescencia y la destrucción del cuerpo meteórico. Si no tuvo tiempo de disgregarse del todo, las capas derretidas de su superficie se enfrían con rapidez, se endurecen y se transforman en corteza. Desaparece la envoltura gaseosa incandescente que le rodeaba, y con ella desaparece el bólido que volaba por el cielo. Los restos del cuerpo meteórico, recubiertos por su corteza de fundición, caen, después de la zona de retención, casi verticalmente, obedeciendo a la atracción terrestre. Este trozo de cuerpo meteórico que cae a la Tierra se llama meteorito.

Los bólidos más luminosos pueden distinguirse incluso de día a plena luz del sol. Se ven bien sobre todo las estelas, como de humo, que dejan tras de sí. Estas estelas pueden observarse en el transcurso de muchos minutos y, a veces, más de una hora.

Bajo la influencia de las intensas corrientes de aire existentes en las capas superiores de la atmósfera, la huella del bólido, recta en un principio, se va volviendo curva. Como una gigantesca serpiente legendaria se retuerce por el cielo y desaparece, deshaciéndose en jirones. Los bólidos con sus estelas consecutivas dieron origen entre el pueblo a diversas leyendas sobre el vuelo de serpientes de fuego.

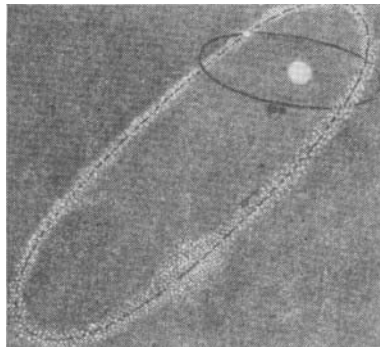
Los bólidos luminosos son poco frecuentes, pero los meteoros o, como suelen llamarse, "estrellas fugaces", seguramente los han visto muchos de los lectores.

Los meteoros se originan cuando penetran en la atmósfera, procedentes del espacio interplanetario, cuerpos meteóricos de muy pequeñas dimensiones y con peso de menos de un gramo. Tales partículas meteóricas se disgregan por completo en la atmósfera y no llegan a alcanzar la superficie terrestre.

Ahora pasemos a conocer con detalle los meteoritos, estos emisarios del universo llegados del espacio interplanetario.

En el Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS, en Moscú, se halla la colección de meteoritos mayor del país y la mejor del mundo. Allí hay muchos de tipo poco corriente o que poseen unas u otras particularidades interesantes.

En las numerosas vitrinas de la amplia y luminosa sala del museo pueden verse ejemplares de piedras magníficas; de muchas de ellas se habla en este libro.



*Figura 26.2 El torrente meteórico y la órbita de la Tierra*

Sorprenden por la diversidad de su colorido, a veces muy vivo. Pero junto a estas piedras tan llamativas, en vitrinas especiales se ven piedras monótonicas, grises, pardas y negras y trozos de hierro en parte oxidado. ¿Qué son estos ejemplares tan deslucidos? Estos son precisamente meteoritos. Largo tiempo, miles de millones de años viajaron por el espacio sideral, hasta que finalmente chocaron con la Tierra cesando su "peregrinación".

Los meteoritos son la única substancia extraterrestre que podemos estudiar directamente en los laboratorios aplicando complejos métodos modernos de investigación y complicados aparatos.



*Figura 26.3 Fotografía de la estela de un bólido en forma de "3", observada el 27 de septiembre de 1948*

Podemos tener los meteoritos en nuestras manos, determinar su composición química y mineralógica, estudiar su complicada estructura y propiedades físicas. Ellos abren ante nosotros páginas maravillosas de la historia del universo y de la evolución de los cuerpos celestes. Ellos pueden contarnos sobre muchos fenómenos interesantes y sorprendentes que se verifican fuera de los límites de nuestra Tierra. Todavía queda mucho por descifrar en los meteoritos y algunas de sus interesantes peculiaridades no han sido aún aclaradas definitivamente. Sin embargo, el



estudio de los meteoritos se desarrolla cada año con más profundidad y nuestros conocimientos se van haciendo más complejos.

La tarea principal planteada ante los hombres de ciencia que se ocupan del estudio de los meteoritos consiste en establecer y aclarar las condiciones de su origen y la historia de la evolución ulterior.

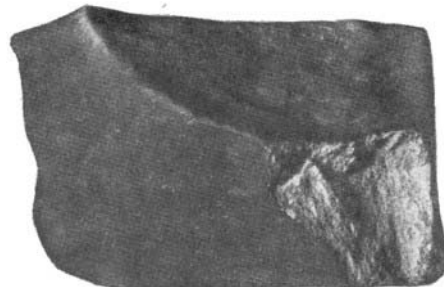
Los meteoritos se dividen en férricos, pétreos y férrico-pétreos. Los meteoritos férricos se componen de una aleación de hierro y níquel. Caen con mucha menos frecuencia que los pétreos. Así, por cada 16 meteoritos pétreos cae, por término medio, uno férrico. Con más rareza aún caen los

férrico-pétreos.

He aquí un pedazo negro de forma irregular. Es el meteorito pétreo Kuznetsovo<sup>2</sup>, caído en Siberia Occidental el 26 de mayo del año 1932; pesa algo más de dos kilogramos y medio, y está cubierto de una costra de fundición negra. Sólo en un sitio está un poco desconchado y se ve la substancia interna gris-cenicienta del meteorito.

Por su aspecto exterior no se diferencia en nada de las rocas terrestres. Pero observando atentamente la fractura pueden verse numerosas partículas brillantes diseminadas en la substancia meteórica, inclusiones de ferrocromo (aleación de hierro y níquel). Entre tales inclusiones se ven partículas brillantes de color amarillo bronceado, que son el mineral troilita, combinación química de hierro y azufre. Junto con la troilita se encuentran inclusiones de otro mineral de color más claro, combinación de hierro y fósforo, llamado shreibersita.

En la fractura se ve que la corteza de fundición que recubre al meteorito es muy delgada, con un espesor que no sobrepasa décimas de milímetro. Llamen la atención ciertas concavidades, bien redondeadas, bien algo alargadas, que tiene en su superficie, semejantes a huellas de dedos. Estas concavidades se denominan regmaglitos. Se originan en los meteoritos como resultado de la acción sobre ellos de corrientes aisladas de gases incandescentes durante el movimiento en la atmósfera del cuerpo meteórico con velocidad cósmica. La corteza de fundición y los regmaglitos son los principales rasgos que distinguen a los meteoritos.



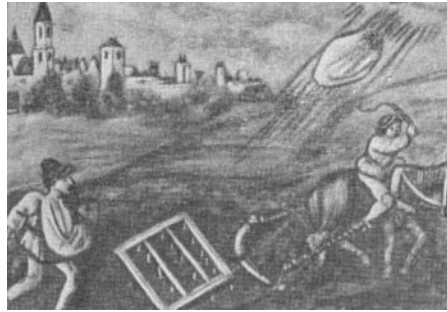
*Figura 26.4 Meteorito pétreo "Kuznetsovo", aproximadamente de 2,5 kg de peso, caído el 26 de mayo de 1932 en la región de Novosibirsk*

He aquí otro meteorito pétreo. Está partido por la mitad y en el lugar de la fractura se ve la substancia meteórica interna tan negra como su corteza. Esta es la condrita carbonácea, llamada

Stároe Boriskino, caída el 20 de abril de 1930 en la región de Orenburg. Este meteorito posee otras particularidades que veremos más adelante.

Junto a estos meteoritos hay otro pétreo de color casi blanco, tanto en su interior (en las superficies de fractura), como en el exterior (color de la corteza). Es el meteorito Stároe Pesíánoe que cayó en la región de Hurgán el 2 de octubre de 1933.

Después de su caída fueron halladas más de diez piedras sueltas con un peso total de casi 3,5 kilogramos.



*Figura 26.5 Caída de un meteorito en Suiza (De un dibujo antiguo del siglo XV)*

Este meteorito se distingue por su fragilidad. Se desconcha con facilidad, incluso por una ligera presión de los dedos. Es sorprendente que un meteorito tan frágil pudiera vencer la enorme resistencia de la atmósfera terrestre, sin deshacerse en polvo cuando la atravesaba con velocidad cósmica. Resulta ser que la zona de retención de este meteorito se encontraba muy alta sobre la superficie terrestre, en capas muy enrarecidas de la atmósfera.

Hemos entablado conocimiento con ejemplares de meteoritos que muestran sus rasgos típicos y la diferencia de color de su substancia interna.



*Figura 26.6 Humboldt y Bonplan observan una lluvia meteórica en América del Sur el año 1799*

Sigamos haciendo conocimiento con los meteoritos de la colección. En la vitrina siguiente hay grupos de piedras de distintas dimensiones y de forma irregular.

En la vitrina vemos el letrero: "lluvias meteóricas". Resulta que los cuerpos meteóricos, a su paso por la atmósfera terrestre con velocidad cósmica, casi siempre se parten en trozos aislados que se dispersan por la superficie terrestre en áreas de decenas de kilómetros cuadrados. La escisión de los cuerpos meteóricos generalmente tiene lugar antes de llegar a la zona de retención, donde aumenta con especial rapidez la resistencia del aire. A consecuencia de la forma irregular de los cuerpos meteóricos, la presión del aire, que adquiere una gran magnitud, se distribuye desigualmente por la superficie frontal del cuerpo, que se divide en pedazos.

Se dieron casos de caer en la Tierra verdaderas lluvias de piedras, después de las cuales se recogieron del suelo muchos miles de pequeños meteoritos aislados.

La lluvia meteórica más abundante cayó en los EE.UU. el 19 de julio de 1912 cerca del lugar Golbruck. En una superficie de cerca de 4 kilómetros cuadrados fueron recogidas 14.000 piedras, con un peso total de 218 kilogramos.



En una vitrina vemos piedras de la lluvia meteórica Pervomaiski Posiólok, que fue una de las más copiosas en la URSS. Cayó en la antigua región de Ivánovo el 26 de diciembre de 1933, y en un área de cerca de 20 kilómetros cuadrados, se reunieron 97 piedras con un peso total de 50 kilogramos.

En la recogida y selección de esta lluvia meteórica tuvieron una gran participación los escolares. La lluvia meteórica cayó en invierno, y algunos meteoritos atravesando la cubierta de nieve se detuvieron en la superficie helada de la tierra. Esto permitió que en la primavera del año siguiente, en cuanto se derritió la nieve, se pudiesen recoger los meteoritos por los campos con relativa facilidad.

En el museo, junto a las piedras de esta lluvia meteórica, están las de otra, *Zhovtnevi jútor*, caída el 9 de octubre de 1938. Estas piedras se destacan por sus grandes dimensiones, las mayores de ellas pesan 32, 21, 19 kilogramos y el peso de todas juntas (las 13 piedras reunidas) es de 107 kilos.

Son interesantes las piedras de otra lluvia meteórica, Pultusk, caída en Polonia el 30 de enero de 1868. Recogieron 3.000 piedras.



*Figura 26.7 Cráter meteórico en el Estado de Arizona (EE.UU.). Anchura: 1.200 metros, profundidad: cerca de 180 metros.*

En una vitrina aparte se muestran juntos dos meteoritos interesantes: un gigante y un enano. Uno de ellos pesa 102,5 kilogramos y el otro, del tamaño de una avellana, cerca de 7 gramos. Estos

dos meteoritos cayeron simultáneamente el 13 de septiembre de 1937 en la RSS de Tartaria a una distancia, uno de otro, de unos 27 kilómetros. Además de estos dos, se recogieron allí otras 15 piedras, con un peso total de cerca de 200 kilogramos.

Pasamos a la vitrina siguiente. Aquí se muestran ejemplares de meteoritos con formas típicas. La mayoría son de forma fragmentada; hay uno parecido a la cabeza de un proyectil. Es el meteorito pétreo *Karakol*, caído en la antigua provincia de Semipalátinsk el 9 de mayo de 1840. Pesa cerca de 3 kilogramos. Su forma cónica o, como se dice, orientada, se produjo como resultado de la frotación de la atmósfera terrestre durante su vuelo con velocidad cósmica. Este meteorito cayó al suelo sin sufrir disgregación en el aire.



*Figura 26.8 Meteorito pétreo Karakol, aproximadamente de 2,8 kg de peso, caído el 9 mayo de 1840 en la antigua provincia de Semipalátinsk. Posee forma orientada, semejante a la cabeza de un proyectil*

Al lado de éste hay otro meteorito, férrico, *Repeiev jútor*, también de forma cónica. Cayó el 8 de agosto de 1932 en la región de Astracán y pesa más de 12 kilogramos.



*Figura 26.9 Meteorito caído el 29 de septiembre de 1938. Atravesó el tejado de un garaje, la cubierta de un automóvil y cayó en el asiento del coche. Pesa 1.814 gramos*

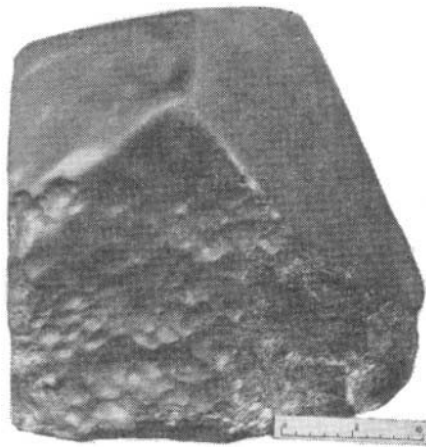
Llama nuestra atención el meteorito siguiente, que por su forma nos recuerda a un enorme cristal. Es el meteorito pétreo *Timojina*, de cerca de 49 kilogramos de peso, caído el 25 de marzo de 1807 en la antigua provincia de Smolensk. Recibió tal forma a consecuencia de la escisión del cuerpo meteórico inicial en varias partes en su movimiento en la atmósfera con velocidad cósmica.



Según han demostrado las investigaciones, los meteoritos pétreos tienen la propiedad de partirse a lo largo de sus superficies lisas, como si fueran trozos de azúcar. Esto se explica por las peculiaridades de su estructura interna y composición mineralógica. Vemos cómo en muchos otros meteoritos de la clase pétreo, y entre ellos en ciertas piedras de las lluvias meteóricas, algunas de sus superficies son planas y lisas.



Sobre soportes especiales, reposan los meteoritos más grandes. El mayor de ellos pesa cerca de dos toneladas (1.745 kg). Es el ejemplar más voluminoso de la lluvia de meteoritos férricos de Sijoté-Alín. Llama la atención por la interesante estructura de su superficie. Posee regmagliptos muy marcados de forma alargada y dirigidos radialmente hacia la parte central de la ancha superficie del meteorito. Los regmagliptos muestran cómo envolvieron al meteorito diversas corrientes de gases incandescentes durante su movimiento en la atmósfera con velocidad cósmica.



*Figura 26.10 Meteorito pétreo Timojina de casi 49 kg de peso, caído el 25 de marzo de 1807 en la antigua provincia de SmoleDsk. Tiene forma poliédrica, que recuerda la de un cristal*

Junto a este meteorito hay otros tres grandes ejemplares de la misma lluvia con pesos de 500, 450 y 350 kilogramos.

Es notable también un meteorito férrico, *Boguslavka*, caído el 18 de octubre de 1916 en el territorio de Primorie. Se compone de dos pedazos de 199 y 57 kilogramos de peso. Este meteorito se partió durante su movimiento en el aire.

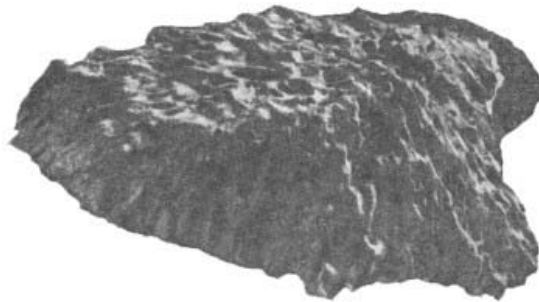
El meteorito pétreo más grande es el *Kashin*, de 127 kilogramos de peso, caído el 27 de febrero de 1918 en la antigua provincia de Tver.

Finalizando nuestro reconocimiento, contemplamos aún una vitrina. En ella vemos dos mitades de un meteorito de gran tamaño cortado especialmente y que entero pesaba más de 600 kilogramos. Las superficies de corte de ambas mitades están pulidas, lo que permite observar la notable estructura interna del meteorito.

Vemos que el meteorito es como una especie de esponja de hierro, cuyos huecos se hallan llenos de una sustancia vítrea transparente de color amarillo-verdoso, el mineral olivino. Este es el primer meteorito de nuestro país que se conserva, llamado Hierro pallasítico, correspondiente a la clase de los ferricopétreos (pallasitas).



El meteorito fue hallado el año 1749 en Siberia por el herrero Medvédiev. En 1772 fue llevado por el académico P. Pallas a la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Aquí fue estudiado por el conocido profesor E. Jladny, miembro correspondiente de la Academia. Los resultados de sus investigaciones fueron publicados en Riga el año 1794 en un libro especial. En este libro demostró por primera vez la procedencia extraterrestre de este bloque de hierro, es decir, su procedencia meteorítica, así como la posibilidad de caída de meteoritos sobre la Tierra. En aquel tiempo, las conclusiones de Jladny fueron objeto de críticas y burlas por parte de los sabios de Europa Occidental. Ellos no reconocían la posibilidad de que cayesen meteoritos y los informes de casos vistos se consideraban imaginados. Pero unos diez años después de publicarse el libro de Jladny, el 26 de abril de 1803, en Francia, cerca de la ciudad l'Aigle cayó una abundante lluvia meteórica de la que fueron recogidas cerca de 3.000 piedras.



*Figura 26.11 El mayor ejemplar de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín, caído en el territorio de Primorie el 12 febrero de 1947. Pesa 1.745 kg.*

La caída de esta lluvia meteórica fue observada por muchos habitantes. Después de esto, a los científicos de París y con ellos a otros de Europa Occidental no les quedó más remedio que reconocer la existencia de los meteoritos.

De lo dicho vemos que nuestro país fue la cuna de la ciencia de los meteoritos, la Meteorítica.

Los grandes meteoritos que acabamos de describir, pertenecientes a la colección de la Academia de Ciencias de la URSS, no son aún los mayores existentes.



*Figura 26.12 Meteorito férrico Boguslavka, caído en el Extremo Oriente el 18 de octubre de 1916 compuesto de dos partes, con pesos de 199 y 57 kilogramos*

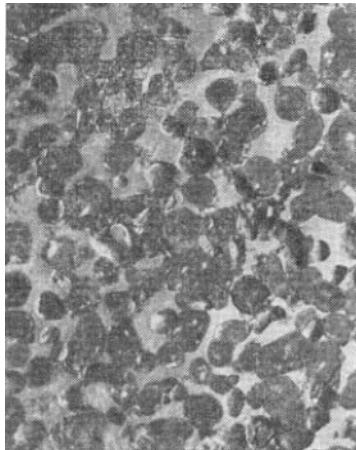
El más grande del mundo es el meteorito férrico *Goba*, hallado en Africa Occidental en 1920. Pesa cerca de 60 toneladas y posee forma de lápida cuadrangular con dimensiones  $3 \times 3 \times 1$  metros. Se encuentra hasta hoy en el lugar del hallazgo, sufriendo la acción destructiva de la atmósfera.

Existen también meteoritos férricos de peso 33,5, 27, 15 toneladas. Entre los meteoritos pétreos, el mayor pesa cerca de una tonelada. Cayó en los EE.UU. en 1948.

Veamos ahora cómo es la estructura interna de los meteoritos.

En una vitrina aparte, vemos ejemplares elegidos especialmente. Un trozo de hierro de superficie pulida, brillante como un espejo. A su lado, otro cuya superficie pulimentada ha sido corroída por una solución ácida débil. Vemos en esta superficie un dibujo sorprendente de trazos entrecruzados, festoneados por finos y brillantes rebordes. Este dibujo se produjo a causa de la acción corrosiva desigual del ácido.

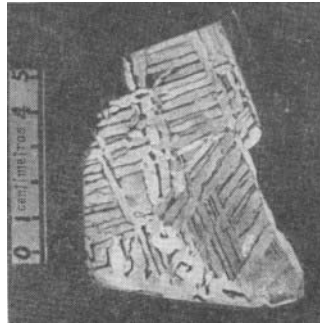
Es el caso, que los meteoritos férricos no son de masa homogénea, sino que están constituidos por láminas alargadas cuyo espesor oscila entre décimas de milímetro y 2 o más milímetros. Estas láminas son de hierro mezclado con cierta cantidad de níquel, no mayor del 7%. Debido a esto, la superficie pulida de estas laminitas es atacada por el ácido y se vuelve basta y mate por la corrosión. Por el contrario los estrechos bordes brillantes que festonean estas láminas están constituidos por hierro con gran proporción de níquel, superior al 25%.



*Figura 26.13 Meteorito Hierro pallasítico hallado al sur de Krasnoyarsk en 1749. Se ven las granulaciones de olivino en el hierro metálico*

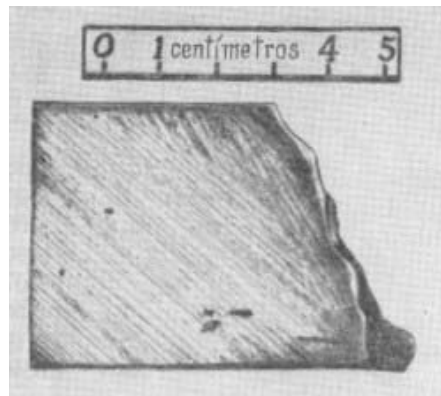
A consecuencia de esto son muy resistentes a la acción corrosiva de la solución ácida y quedan tan brillantes como antes. El dibujo que se obtiene en las láminas corroídas de los meteoritos férricos, se llama figuras de Widmanstätten, por el nombre del científico que las descubrió.

Los meteoritos férricos que, después de la corrosión, muestran las figuras de Widmanstätten se denominan octaedritas, porque las láminas que las originan se disponen a lo largo de los planos cristalográficos, formando estructuras geométricas limitadas por ocho caras semejantes, que se llaman octaedros. No en todos los meteoritos férricos aparecen estas figuras después de someter a corrosión sus superficies pulidas. En algunos de ellos aparecen líneas finas paralelas entre sí, que se llaman líneas de Neyman, en honor de su descubridor.



*Figura 26.14 Figuras de Widmanstätten en la superficie corroída de una lámina cortada del meteorito férrico Chebankol*

Los meteoritos que dan líneas de Neyman son los que menos níquel contienen: cerca del 5 al 6%. Están formados por monocristales distribuidos en toda su masa, es decir, por el único cristal del sistema cúbico que posee seis caras, llamado hexaedro. Por eso los meteoritos férricos que dan líneas de Neyman se denominan exaedritas.



*Figura 26.15 Líneas de Neyman en la superficie corroída de una lámina cortada del meteorito férrico Boguslavka (véase la figura 26.13)*

Existe aún otro tipo de meteoritos férricos, llamados ataxitas, que quiere decir "sin orden". Estos meteoritos son los que contienen mayor cantidad de níquel (más del 13%) y, sometiendo a corrosión ácida sus superficies pulidas, no dan ningún dibujo determinado.

También es muy interesante la estructura de los meteoritos pétreos. He aquí un pedazo de meteorito, en cuya superficie de fractura se ven muy bien, incluso a simple vista, esferitas absolutamente regulares que semejan perdigones. Con el microscopio se ve que en algunos meteoritos toda la superficie del lugar de ruptura está llena de tales esferitas de muy pequeñas dimensiones (décimas de milímetro y aún menos). Estos granos se llaman cóndrulos y los meteoritos que los contienen, condritas.

Las condritas constituyen el tipo más difundido de meteoritos, alcanzando aproximadamente el 90% de todos los meteoritos pétreos. Los cóndrulos son formaciones propias sólo de los meteoritos. En las rocas terrestres no se les encuentra nunca, y por ello, el hallarlos en un ejemplar desconocido es ya una indicación segura de que este ejemplar es un meteorito pétreo. Los hombres de ciencia han llegado a la conclusión de que los cóndrulos son gotas súbitamente enfriadas de la substancia fundida del meteorito, y se crearon en el momento de formación de los meteoritos.



Figura 26.16 Cóndrulos en la fractura de un meteorito pétreo (condrita). Sarátov

Junto a las condritas existen, aunque en mucho menos cantidad, meteoritos pétreos que carecen en absoluto de cóndrulos y se denominan acondritas. En los sitios de fractura de estos meteoritos se ven fragmentos angulosos de distintos minerales, cementados por la masa granulosa fundamental del meteorito. La estructura de estos meteoritos es muy parecida a la de las rocas terrestres. Hay también otros tipos menos frecuentes de meteoritos pétreos, con sus particularidades, pero no nos detendremos en ellos.

Veamos ahora de qué se componen los meteoritos. He aquí la tabla de la composición química de las distintas clases de meteoritos.

Vemos en esta tabla elementos químicos conocidos sin que haya ninguno nuevo.

**COMPOSICIÓN QUÍMICA MEDIA DE LOS METEORITOS DE DISTINTAS CLASES**

Denominación de los elementos químicos	Composición química media			Denominación de los elementos químicos	Composición química media		
	Férricos	Férrico-pétreos	Pétreos		Férricos	Férrico-pétreos	Pétreos
Hierro . . . . .	90,85	49,50	15,6	Magnesio . . . . .	—	14,20	14,30
Níquel . . . . .	8,5	5,00	1,40	Calcio . . . . .	—	—	1,80
Cobalto . . . . .	0,60	0,25	0,08	Silicio . . . . .	—	9,75	21,00
Cobre . . . . .	0,02	—	0,01	Sodio . . . . .	—	—	0,80
Fósforo . . . . .	0,17	—	0,10	Potasio . . . . .	—	—	0,07
Azufre . . . . .	0,04	—	1,82	Aluminio . . . . .	—	—	1,56
Carbono . . . . .	0,13	—	0,16	Manganeso . . . . .	—	—	0,16
Oxígeno . . . . .	—	21,30	41,00	Cromo . . . . .	—	—	0,40

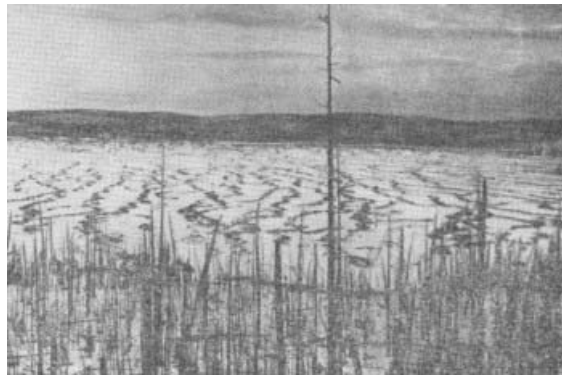
¿Acaso en los meteoritos, en estos visitantes llegados a nosotros desde los remotos espacios del universo, no hay en realidad ningún nuevo elemento químico cualquiera, más extraordinario que los elementos químicos terrestres que conocernos?

¿Será posible que en los rincones alejados del espacio interplanetario no hay nada nuevo que no se parezca en nada a lo terrestre?

En efecto, los análisis químicos más completos y precisos de los meteoritos de composición más variada, efectuados en el transcurso de más de cien años por un gran número de hombres de ciencia, demostraron que en ellos no existe ni un solo elemento químico que no se conozca en la Tierra. Además de esto, los meteoritos contienen prácticamente todos los elementos químicos conocidos en la Tierra, aunque la mayoría de ellos constituye una porción insignificante, apreciable sólo mediante análisis espectroscópicos muy exactos.

Durante los últimos años los hombres de ciencia han obtenido una importante confirmación más de la procedencia común de estos cuerpos celestes.

Fueron realizadas investigaciones sobre la composición isotópica de toda una serie de elementos de procedencia terrestre y tomados de los meteoritos. Y se obtuvo una identidad completa de los compuestos isotópicos de los elementos, tanto meteóricos, como de origen terrestre.



*Figura 26.17 Lugares pantanosos en la región de caída del meteorito Tunguski*

De la tabla de la composición química media de los meteoritos, vemos que en los meteoritos pétreos los elementos químicos más difundidos son los siguientes: oxígeno (41,0%), hierro (15,6%), silicio(21,0%), magnesio (14,3%), azufre (1,82%), calcio (1,8%), níquel (1,1%) aluminio (1,56%).



*Figura 26.18 Arboles derribados en la región de caída del meteorito Tunguski*

El oxígeno se encuentra en los meteoritos combinado con otros elementos, formando diversos minerales (silicatos) y óxidos. El hierro se halla en parte también combinado con otros elementos,

en parte, en estado metálico, constituyendo diminutas partículas brillantes que se observan en las fracturas de los meteoritos y dispersadas por toda su masa.



Las cifras de la tabla corresponden a la composición química media.

Sin embargo, el contenido de elementos químicos en determinados meteoritos puede diferenciarse considerablemente de su composición media.

Los metales preciosos se encuentran en los meteoritos en cantidades insignificantes. Por ejemplo, 1 tonelada de substancia meteórica viene a tener, por término medio, 5 gramos de oro y de plata, y 20 gramos de platino.

Los meteoritos caen constantemente sobre la Tierra. Según cálculos de los científicos, en todo el globo terrestre caen, como mínimo, mil meteoritos al año. No obstante, sólo suele hallarse al año una parte insignificante de ellos, 4 ó 5 meteoritos.

El resto, caídos en los mares y océanos, en las regiones polares y desiertos, en las zonas montañosas y forestales, y, en general, lejos de los lugares habitados, quedan ignorados, sin ser buscados. Disgregándose por la acción de los agentes atmosféricos, acaban por mezclarse con el terreno.

Los átomos meteóricos se mezclan con los terrestres. Del terreno van a parar a las plantas y a través de las plantas empleadas como alimento, así como de los animales que se nutren de esas plantas y utilizados como alimento por el hombre, los átomos meteóricos llegan hasta el organismo humano.

Podemos observar el más estrecho enlace, no sólo de nuestra Tierra con el resto del universo que la circunda, sino también del mundo orgánico que puebla la Tierra.

Los hombres de ciencia han intentado calcular el incremento anual de la masa de la Tierra debido a la caída de meteoritos. Resultó que cada día caen en la Tierra muchas toneladas de substancia meteórica.



*Figura 26.19 El mayor embudo, con 28 m de diámetro y 6 m de profundidad, existente en el lunar de caída de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín.*

De tal modo, el incremento anual de la Tierra alcanza millones de toneladas. Esta, desde luego, es una cantidad insignificante. El académico V. Vernadski consideraba que en la masa de la Tierra no se produce ningún incremento. Recibiendo substancia en forma de meteoritos y polvo meteórico, la Tierra, escribía él, devuelve al sistema solar otras partículas materiales, átomos, principalmente gases y polvo fino. Como resultado existe un equilibrio dinámico de la materia. De esta forma, el académico Vernadski llegó a la conclusión de que se trata "no de la caída casual de meteoritos aislados, bólidos y polvo cósmico sobre la Tierra, sino de un gran proceso planetario, del intercambio material de nuestro planeta con el espacio cósmico". En este proceso reside la inevitable acción recíproca entre nuestra Tierra y el medio circundante, el espacio interplanetario.

Si bien por ahora el análisis químico de los meteoritos no dio nada nuevo, aunque los datos obtenidos condujeron a conclusiones muy importantes acerca de la unidad material de los cuerpos celestes y la Tierra, en cambio el estudio de la composición mineralógica de los meteoritos mostró sus peculiaridades.



*Figura 26.20 Fragmento de un ejemplar grande de la lluvia de meteoritos férricos Sijoté-Alín*

En lo fundamental, los meteoritos se componen de los mismos minerales que abundan en las rocas terrestres, el olivino y los silicatos anhidros (enstatita, broncita, hiperesteno, diópsido y augita); se encuentran también minerales del grupo de los feldespatos. En los meteoritos no fueron hallados numerosos minerales, productos de la erosión por el viento y el agua. Tampoco se halló en ellos ninguna sustancia orgánica.



*Figura 26.21 Ejemplar individual de la lluvia meteórica férrica Sijoté-Alín, recubierto de corteza de fundición y con regmagliptos muy acusados*

Es característica en los meteoritos la ausencia de minerales del grupo de los silicatos hidratados, es decir, minerales que contienen agua en estado de combinación. Largo tiempo duraron los tenaces intentos de los hombres de ciencia con objeto de descubrir la presencia de estos minerales en los meteoritos, pero todos los esfuerzos resultaron inútiles. Solamente hace poco, los



científicos soviéticos descubrieron un mineral del grupo de las cloritas, es decir, silicato hidratado. Sin embargo, sólo lo contienen los meteoritos pétreos de la clase menos frecuente, llamados condritas carbonáceas.

Los experimentos han demostrado que el agua combinada que entra en la composición de las cloritas, constituye el 8,7% del peso de todo el meteorito.



*Figura 26.22 Estructura de la corteza de fundición de un ejemplar individual de la lluvia meteórica férrica Sijoté-Alín, amplificado cerca de 7 veces*

Este descubrimiento es de una importancia básica para la resolución de la cuestión fundamental: establece las condiciones que dieron origen a los meteoritos.

También es de gran importancia el descubrimiento en los meteoritos de minerales desconocidos en la Tierra. Cierto, que estos minerales existen en los meteoritos en cantidad muy pequeña, pero, así y todo, señalan la existencia de condiciones en la formación de los meteoritos, distintas de las que dieron origen a la corteza terrestre. El estudio y esclarecimiento de estas condiciones constituye una de las tareas fundamentales de la Meteorítica.

Interés excepcional tiene el descubrimiento en los meteoritos de fenómenos de metamorfismo, debido a lo cual experimentaron cambios, no sólo la estructura de los meteoritos, sino también los propios minerales. Este metamorfismo se debe al calentamiento de los meteoritos por los rayos solares en sus innumerables aproximaciones al Sol durante su movimiento por el espacio interplanetario en el transcurso de todo el tiempo de su existencia. El estudio detallado del metamorfismo de los meteoritos, que ha adquirido un gran desarrollo en los últimos años, nos descubre la historia de los meteoritos, la historia de su "peregrinación" en el espacio sideral.

También existen en los meteoritos elementos químicos radiactivos. Uno de ellos es el potasio que se encuentra en los meteoritos pétreos en cantidad apreciable. Durante la desintegración radiactiva del potasio, se produce argón. Por esto, de la proporción entre las cantidades de argón y potasio contenidos en el meteorito puede calcularse su edad, es decir, el tiempo transcurrido desde el momento de la formación (solidificación) del meteorito.

La determinación de la edad de los meteoritos por el argón y potasio, ha sido realizada por los científicos soviéticos durante los últimos años. Como resultado se obtuvieron edades para los meteoritos de 600 millones a 4.000 millones de años.



La cuestión de dónde caen a la Tierra los meteoritos se conoce en la actualidad. Pero cuándo y cómo se formaron los meteoritos, esto es aún un problema importantísimo sobre cuya resolución trabajan los hombres de ciencia que se dedican al estudio de los meteoritos.

La mayoría de los sabios soviéticos consideran que los meteoritos, junto con los asteroides, son fragmentos de uno o varios grandes cuerpos celestes, planetas, disgregados en un pasado remoto. Pero esto, por ahora, es sólo una suposición, una hipótesis de trabajo, para cuya demostración y plena confirmación es necesario todavía un estudio ulterior profundo, en todos los aspectos, de los meteoritos. No hay duda de que la cuestión del origen de los meteoritos, su papel en la formación del sistema planetario y su desarrollo posterior será resuelta de manera definitiva.

---

<sup>1</sup> Enumeramos los planetas por el orden en que aumenta su distancia con respecto al Sol.

<sup>2</sup> Cada meteorito recibe su denominación del nombre del poblado mas próximo al lugar de su caída.

**Capítulo XXVII****LOS ATOMOS EN LA PROFUNDIDAD DE LA TIERRA**

No cabe ninguna duda de que el hombre ha conseguido grandes progresos durante los últimos cincuenta años en su lucha por la extensión del mundo conocido y por la conquista del mundo. Quedaron para el pasado las ideas de inaccesibilidad de las capas altas de la atmósfera, donde no llega ni el ruido, ni el tumulto terrestre, ni la lucha química de las moléculas terrestres. Los navegantes estratosféricos soviéticos Fedoséienko, Vásienko y Usyskin, a cambio de su vida, abrieron la primera página de la conquista de las alturas aéreas.

Los vuelos en estratostatos y los vuelos de cohetes y satélites artificiales dieron un gran adelanto al conocimiento de regiones en que disminuye bruscamente la cantidad de substancia, donde por cada metro cúbico hay millones de veces menos partículas que en el aire de la superficie terrestre. Al hombre le atraen más que nada las alturas y aquí los progresos son completamente reales: la técnica alcanzó enormes resultados y los científicos conocen este mundo lejano y aún inaccesible para nosotros, mucho mejor que el que se extiende bajo nuestros pies, el mundo de las profundidades terrestres.

Nuestros éxitos en el conocimiento de las profundidades son mucho más débiles. Aquí atrae principalmente al hombre la lucha por el petróleo y el oro. Perfora pozos y abre minas ahondando en las entrañas de la Tierra, pero los pozos petrolíferos más hondos no cuentan más de 7 kilómetros y las minas auríferas más profundas tienen menos de 3.000 metros. Y esto ya se considera un gran triunfo.

Es claro que el hombre, en su afán de petróleo y oro llegará más hondo. Es muy verosímil que el progreso de la nueva técnica supere estos récords aún en algunos kilómetros. Pero ¿qué suponen varios kilómetros en comparación con la magnitud del radio terrestre, de 6.377 kilómetros? ¡Sólo una milésima parte!

Es absolutamente claro que la mente humana no puede conformarse con este estado de cosas, y los hombres de ciencia, todos, empezando por los más antiguos filósofos hasta los astrónomos de la actualidad, se interesan por el problema de la estructura y constitución interna de la Tierra y las vías para adueñarse de las profundidades del planeta. Probemos, aunque sea de manera algo incompleta, a rememorar lo que conocemos sobre las profundidades terrestres; realicemos un viaje imaginario desde la superficie hasta el fondo de la Tierra, y veamos qué es lo que encontramos en nuestro camino.

\* \* \* \*

El primer intento de describir un viaje al fondo de la Tierra corresponde a Lomonósov. Ciertamente estas ideas tuyas se desperdigan en una serie de trabajos, pero el escritor A.

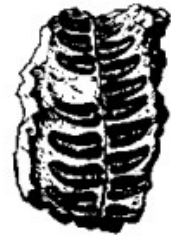


Radíchev en su Relato sobre Lomonósov (1790), las recopiló conjuntamente. Es curioso que Radíchev al acabar su Viaje de San Petersburgo a Moscú, precisamente dedica las últimas páginas al original viaje de Lomonósov al centro de la Tierra y describe los cuadros que habrá de ver el sabio si desciende consecutivamente de la superficie a las entrañas terrestres. He aquí esta magnífica descripción:

*"...Entra tembloroso (Lomonósov) en el orificio y pronto pierde de vista al astro del día. Quisiera yo seguir tras él en su viaje subterráneo, recoger sus reflexiones y expresarlas*

*en tal orden y con tal ligazón como nacieron en su mente. El panorama de sus ideas sería para nosotros entretenido a instructivo.*

*Atravesando la primera capa del suelo, fuente de toda vegetación, el viajero subterráneo la halló diferente de las siguientes, distinguiéndose de otras más que nada por su capacidad fecundativa. Es posible que de aquí llegara a la conclusión de que la superficie de nuestra Tierra no está constituida más que de putrefacciones de animales y vegetación; que su fertilidad, su fuerza nutritiva y renovadora, tienen su origen en los principios indestructibles y primarios de toda existencia, los cuales, sin cambiar su esencia alteran sólo su forma debido a la composición casual. Pasando adelante, el viajero subterráneo contempla la Tierra, siempre dispuesta en capas.*



*En estas capas encontró a veces restos de animales que viven en los mares, halló residuos de plantas y pudo opinar, en consecuencia, que la distribución por capas de la Tierra tiene su origen en la propia disposición de las aguas y que las aguas, transmigando de unas regiones a otras de la esfera terrestre, dieron a la Tierra el aspecto que ella presenta en sus entrañas.*

*Esta uniforme disposición de las capas, perdiéndose a su vista, le parecería a veces la mescolanza de muchas capas heterogéneas. Sacaría de esto la conclusión de que la rabia desatada del fuego, penetrando en el seno de la Tierra y encontrando la resistencia de la humedad, se enfureció, removiendo, derribando, destrozando y barriendo todo lo que inútilmente intentaba oponerse en su camino.*



*Revolviendo y mezclando todo lo heterogéneo, con su hálito cálido excitó en los metales primitivos la fuerza de atracción y los unió. Allí vio Lomonósov estos tesoros, muertos de por sí, en su forma natural; recordó la avaricia a infortunios de los hombres y con el corazón acongojado abandonó esta morada tenebrosa de la insaciabilidad humana."*

Analizando este texto, podemos decir que responde con plenitud a nuestras concepciones actuales; ni una de sus palabras puede ser rebatida. Sólo que el lenguaje nuestro es distinto.

Si nos proponemos comparar este cuadro de la fantasía de un sabio del siglo XVIII con el panorama de nuestra noción, mucho más real del subsuelo, estudiado con ayuda de instrumentos de sondeo, vernos lo siguiente.

Unos cuantos años atrás fue construida en Moscú, tras la Krestíánskaia Zastava, una torre no muy grande, que no se veía desde la calle. En esta torre había una máquina perforadora que debía taladrar la tierra hasta grandes profundidades, para saber sobre qué se sustenta Moscú.

Se horadó de manera tenaz y prolongada, esforzándose por alcanzar una profundidad de varios kilómetros. Al principio se atravesaron arcillas y arenas, depositadas en la llanura moscovita por las torrentes meridionales del gran glaciar descendiente de Escandinavia. Estos fueron los últimos paroxismos de la época glaciaria que cubrió todo el norte de la parte europea de la URSS con un manto compacto de nieve y hielo.

A las arcillas seguían calizas diversas, entremezcladas con margas, de nuevo con arcillas; a veces, entre las calizas aparecían esqueletos, conchas calcáreas. Las calizas se trocaron en arenas, con capas de carbón que recordaban las cuencas carboníferas que abastecen con su combustible y gas la región industrial del Centro.



Los geólogos examinaron detenidamente los sedimentos de los antiguos mares del período carbonífero, y hallaron que estos mares al principio no fueron profundos y sus costas estaban

cubiertas de frondosa vegetación, de crecimiento impetuoso en las condiciones de un clima cálido y húmedo. Después estos mares se hicieron más hondos y las aguas del norte y oriente sumergieron y destrozaron los bosques, aniquilaron las plantas; el esplendoroso mundo de seres vivos submarinos dio origen a arrecifes de coral y bancos de conchas. En aquel tiempo se depositaron las calizas que después se emplearon en la construcción de casas en Moscú, por lo cual Moscú recibió el sobrenombre de "ciudad de piedras blancas". Estas calizas se utilizan ampliamente en la actualidad.

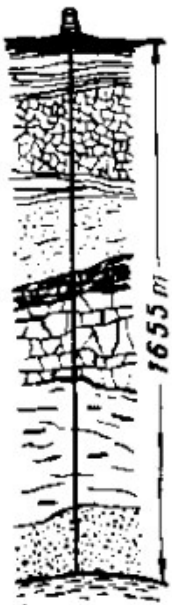
Toda esta complicada serie de capas, sedimentadas durante el largo período carbonífero, que duró muchas decenas de millones de años, fue atravesada por la instalación perforadora hasta encontrar nuevos estratos con enormes cantidades de yeso. Centenares de metros fueron horadados a través de sedimentos de yeso por las capas arcillosas, con grandes cantidades de agua.



Estas aguas, al principio, estaban saturadas de sulfatos, luego al ir profundizando, aumentaba su contenido en cloruros; el pozo taladrado llegó a las salmueras, diez veces más saturadas de sales que el agua del mar. Principalmente estas sales eran cloruros de sodio y calcio, pero entre ellas también había muchas sales de bromo y yodo.

Esto era el cuadro, no ya del período carbonífero, sino del período devónico, todavía más antiguo. Eran los mares desaparecidos, con lagos salinos, estuarios y desiertos que rodeaban las costas de estos mares; las sales se depositaban en el fondo, formando colosales depósitos entremezclados con delgadas capas de fango y con el polvo arrastrado por los huracanes y trombas de los desiertos devónicos.

El taladro había llegado ya a la profundidad de 1,5 kilómetros. ¿Qué habrá más allá? ¿Qué hay bajo estos sedimentos de los arcaicos mares devónicos, qué cuadros nuevos se presentarán al geólogo cuando profundice aún varios cientos de metros? Complejas conjeturas agitaban a los científicos y el pensamiento audaz buscaba diversas hipótesis. Y de pronto, a la profundidad de 1.645 metros apareció arena. Esto era por lo visto, la costa del mar devónico; la arena era un



síntoma de que cerca se hallaba el terreno firme. En ella se hallaron guijarros sueltos de rocas eruptivas, piedras aplanadas de las costas del mar. Esto eran ya costas, verdaderas costas, y a los 10 metros el taladro se encontró con el duro granito.

De tal modo, a fines de julio de 1940, la instalación perforadora de Moscú alcanzó por vez primera el fundamento de granito, sobre el que reposa toda la tierra rusa, desde Leningrado al norte, hasta Ucrania al sur. Poco después nuevos sondeos en Syzran y más al este, alcanzaron la base granítica aproximadamente a la misma profundidad, confirmando el pronóstico del académico A. Karpinski de que bajo la superficie de toda nuestra llanura europea existen rocas graníticas, la antigua plataforma o caparazón que conocemos por los bellos acantilados de granito y gneis, de Carelia en el norte y de las riberas del Dniéper y Bug en el sur. El taladro profundizó aún 20 metros en el duro granito. Según determinación de los geólogos, se trataba de verdaderas rocas de granito, antiquísimas formaciones sedimentarias, cuya edad puede calcularse, como mínimo, en mil millones de años.

Así, el pozo horadado alcanzó el profundo lecho granítico bajo Moscú. ¿Y qué hay más allá? ¿Qué puede esperarse hallar bajo este granito? ¿Puede continuarse hasta 2.000

metros, para ganar las profundidades en que flotan las masas graníticas? Estas cuestiones provocaban tempestuosas discusiones.

Unos consideraban inútil seguir perforando; que había que atravesar todavía muchos centenares a incluso miles de metros hasta que terminasen estas capas duras de la plataforma de granito y gneis.

Otros proponían taladrar hasta descifrar el secreto de mayores profundidades. Esperaban grandes dificultades y de metro en metro se hacía más complicado el trabajo de los perforadores, que extraían desde cerca de 2 kilómetros de profundidad bellas muestras de sondaje de color rosa de los granitos y gneis.

Por ahora no es posible alcanzar capas más profundas de la Tierra, por ser aún débil la técnica de que dispone el hombre. En la lucha por conquistar zonas más profundas, hay que ir por otros caminos. El primero que habló de esto fue el joven geólogo austríaco Eduardo Suess en 1875, que se planteó la tarea de observar la Tierra a vista de pájaro, desde el punto de vista de la Geología y la ya entonces naciente Geoquímica. Suess intentó marcar las capas fundamentales y más homogéneas de que se compone la Tierra. Para ello siguió en primer lugar el camino de los antiguos filósofos y dividió la Tierra en tres envolturas simples: aire, o atmósfera, circundando como compacta bóveda todo el planeta; hidrosfera, agua y océanos, que cubren la Tierra sólida y la impregnan; y, finalmente, litosfera, región de las piedras, donde reina alta temperatura y a veces el fuego, espirado por los volcanes.

Suess mantenía esta división más adelante a base del análisis químico de la composición de las rocas.

En 1910, el naturalista inglés Murray clasificó las capas de la Tierra en envolturas aisladas que denominó geosferas.



*Figura 27.1 Edificio de gran altura en Moscú, en la plaza Lérmontov, revestido de calizas blancas de las cercanías de Moscú*

Y desde este tiempo se inició el trabajo tenaz de los químicos y físicos, geoquímicos y geofísicos para descifrar más allá y con más profundidad la estructura y constitución de estas distintas envolturas o geosferas. Estas tareas fueron planteadas con la máxima amplitud y profundidad por el académico V. Vernadski y su escuela científica.

En lugar del cuadro externo de la "faz de la Tierra", surgió ante los geólogos y geoquímicos el problema de rehacer toda la originalidad de los procesos que se producen en cada geosfera y dar el panorama completo de la estructura interna de nuestro planeta.

Intentaremos ahora dar una breve característica de las envolturas de que se compone nuestro planeta, tal como las esboza la Geofísica a base del estudio del comportamiento de las vibraciones elásticas de ondas que, alcanzando enormes profundidades, señalan al ser reflejadas, los límites de las distintas geosferas.



*Figura 27.2 Cráter humeante en el declive de un volcán*

Iniciemos nuestra investigación desde una altura de cerca de 200 km. Más arriba se encuentra el espacio interplanetario lleno de meteoritos, átomos de hidrógeno, helio, sodio, potasio, nitrógeno y otros núcleos componentes del "viento solar". Más abajo empieza la estratosfera, donde la cantidad de nitrógeno y oxígeno aumenta. Una capa entera de ozono separa diferentes partes de la estratosfera. Las auroras boreales se encienden a alturas de varios cientos de kilómetros, las nubes luminiscentes se elevan hasta 100 km.

Al descender más, a una altura de 10 a 20 km empieza la segunda capa denominada troposfera. Este es nuestro elemento aéreo, nuestro aire habitual con nitrógeno, oxígeno, helio y otros gases nobles, impregnado de vapores de agua y anhídrido carbónico.

Después viene una zona de unos 5 kilómetros, denominada biosfera, región de la sustancia viva. Comprende también la parte superior de la corteza terrestre y de su envoltura acuosa.

Detrás va la zona de la envoltura acuosa, que se llama hidrosfera, hidrógeno, oxígeno, cloro, sodio, magnesio, calcio y azufre son los elementos que determinan su composición.

Seguidamente comienza la envoltura sólida; primero la corteza o zona de intemperización que está bien estudiada, con sales ácidas y la capa del terreno, después la envoltura de rocas sedimentarias, depósitos de los antiguos mares, esto es arcilla, arenales, calizas y capas carboníferas. Ya a profundidades de 20-40 kilómetros se encuentra una capa nueva llamada metamórfica.

Más hondo están los granitos, ricos en oxígeno, silicio, aluminio, potasio, sodio, magnesio y calcio. A la profundidad aproximada de 15-30 kilómetros, son remplazados por las rocas de la "capa basáltica" con gran contenido de magnesio, hierro, titanio y fósforo, que vienen a substituir al aluminio y potasio.

Un cambio brusco se produce a 40-60 km bajo los continentes y a 7-12 km bajo los océanos, en la así llamada "discontinuidad Mohorovicic". Aquí empieza el manto de la Tierra constituido de

peridotitas o rocas olivínicas compuestas de oxígeno, silicio, hierro, magnesio y metales pesados: cromo, níquel y vanadio.



*Figura 27.3 Lecho de varios kilómetros, creado por las corrientes de lodo surgidas de las grietas del terreno durante el terremoto de la noche del 2 de noviembre de 1946 en el distrito Yangui-Kurgan de la región de Namangán (Uzbekistán)*

La existencia de envolturas de diversa composición en el fondo de la Tierra se señala claramente a base del estudio de las ondas producidas por los terremotos, registrados con aparatos muy sensibles: los sismógrafos. Los aparatos inventados por el académico ruso B. Golitsin, dotados de gran sensibilidad, permiten capturar, no sólo las ondas que van por el camino más corto, sino también las ondas que contornean todo el globo terrestre y las ondas reflejadas por las zonas límites que separan capas de la Tierra de diferente densidad, por ejemplo, del núcleo terrestre.



*Figura 27.4 Kamchatka. La bahía de Avachin junto a la ciudad de Petropávlosk. Al fondo se ve el volcán Avachin*

Estos datos constituyen argumentos irrefutables en favor de la existencia de capas de la litosfera. Un salto más brusco aún en lo que respecta a la densidad se observa en profundidades de 2.900 kilómetros, donde al fin, según se supone, comienza el núcleo central, cuyas propiedades son aún



enigmáticas para nosotros, pero parece ser que consta de hierro y níquel, con cierta cantidad de cobalto, fósforo, carbono, cromo y azufre<sup>1</sup>.

Así es como dibujan hoy los geofísicos y geoquímicos la estructura de nuestra Tierra y cada una de estas envolturas se caracteriza por los elementos que predominan en su composición. Para cada una es peculiar su temperatura y su presión.

Pero así y todo, en este cuadro complicado y en muchos aspectos posiblemente no exacto, hay una región que de modo invariable llama nuestra atención. Esta es la región en que vivimos, que se distingue de las demás geosferas por sus particularidades específicas.

Esta es una faja de 100 kilómetros, zona de actividad química, región de los procesos químicos terrestres, de tempestuosos paroxismos, oscilaciones de temperatura y presión, región de terremotos, erupciones volcánicas, región de destrucciones en unos lugares y de creación en otros, región de enfriamiento de las masas fundidas de los focos profundos, fuentes termales, vetas minerales; finalmente, región de vida del propio hombre con sus agitadas búsquedas y lucha constante con la naturaleza y por la naturaleza, región poblada por millones de géneros de seres vivos, región de nuevas, originales y complejas combinaciones químicas de las moléculas, región de vida, lucha, creación; región de procesos nuevos y nuevas transformaciones.

No en vano esta región de la vida es llamada por los geólogos troposfera, es decir, zona de movimiento. Esta zona vive su compleja vida química, y los procesos de construcción y combinación de los elementos químicos determinan en ella el destino de la Tierra en las distintas épocas geológicas de nuestro planeta.



*Figura 27.5 Lago en el cráter del volcán Santorín (se originó cerca de 3.500 años atrás).  
Archipiélago griego*

Esta es zona de reacciones puramente terrestres y es notorio que a pesar de que miles y miles de cuerpos celestes, los meteoritos, caen en la Tierra y miles de trozos fragmentados de los cuerpos cósmicos vienen a las manos de los científicos, no hemos recibido ni un solo trozo que nos recordase esta tumultuosa zona de vida y muerte de nuestro planeta.

Así se forman en la humanidad, cuya existencia física se limita sólo a una pequeña envoltura de espesor de varios kilómetros, las concepciones químicas sobre las profundidades de la Tierra. Pero el genio humano en lenta y pertinaz lucha extiende los marcos del conocimiento del mundo. Tenemos la firme convicción de que tanto las profundidades de la Tierra como las alturas que se elevan más allá de las nubes serán conquistadas, no sólo por el pensamiento abstracto del hombre de ciencia, sino que también por la técnica.

Vemos cómo las ondas emitidas por grandes instalaciones geofísicas penetran por voluntad del hombre en lo profundo de la tierra y, reflejadas allí, traen la respuesta sobre la estructura de las envolturas terrestres. Enormes explosiones efectuadas en los Urales y en el sur del país abren nuevas páginas en estas concepciones. Toda una serie de máquinas de precisión, tuberías refractarias y barras con cuchillas de aleaciones de gran dureza, con fresas de diamante, perforarán libremente el duro granito con velocidad fabulosa de cientos de metros en la jornada, y tenemos la seguridad de que a la vuelta de unos años, las torres perforadoras de Moscú que parecían el extremo del progreso de la técnica quedarán en el remoto pasado. El hombre conquistará decenas de kilómetros en profundidad, no sólo en las novelas, sino en la vida real, obteniendo la victoria técnica sobre la Tierra. ¡No hay límites al conocimiento del mundo, no hay fronteras para los triunfos de la mente humana!

---

<sup>1</sup> La estructura de la Tierra que aquí se describe ha sido precisada durante los últimos años por hombres de ciencia de varios países. (Red.)

**Capítulo XXVIII****HISTORIA DE LOS ATOMOS EN LA HISTORIA DE LA TIERRA**

Hace más de cien años que el célebre naturalista Alejandro Humboldt (1769-1859) dio en la Universidad de Berlín, al regreso de su viaje por los entonces ignorados países de América, una serie de conferencias, en las que trató de describir ante sus oyentes el cuadro extraordinario del universo.

Las ideas expuestas en estas conferencias fueron después recopiladas por él en la obra que tituló El Cosmos. La palabra "cosmos", tomada del idioma griego, expresa, no sólo el concepto del mundo, sino que también la noción de orden y belleza, ya que esta palabra en griego significa igualmente universo y belleza del hombre.

En la obra de Humboldt, el Cosmos se presenta como un conjunto de factores heterogéneos. Basándose en los progresos de la ciencia del siglo XIX, trató de explicar el orden por la unidad de las leyes de la naturaleza y pretendió ver en el cuadro del presente algo más que uno de los momentos en el complicado proceso del desarrollo del mundo. Pero esto no lo consiguió y el mundo, según su concepción, se dividía en reinos aislados de la naturaleza. Cada uno de ellos tenía sus representantes propios, entre los cuales no existía ninguna relación común.



A. Humboldt

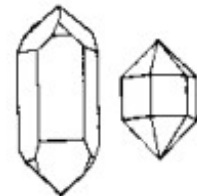
La antigua clasificación dividía el mundo en secciones aisladas, y fronteras infranqueables separaban uno del otro los "reinos" mineral, vegetal y animal. Aún pesaban los antiguos puntos de vista de los siglos XVII y XVIII, aún parecía el mundo inmutable, compuesto por la voluntad de Dios de una enorme cantidad de "reinos" independientes y, a pesar de que Alejandro Humboldt pretendió precisamente demostrar que todos los fenómenos de la naturaleza están

enlazados entre sí, no pudo conseguirlo por carencia de hechos, por no disponer de las pruebas, las unidades elementales que pudieran colocarse como base de las relaciones mutuas existentes en la naturaleza.

Estas unidades fueron los átomos y en nuestros días el cuadro del Cosmos se crea sobre un fundamento totalmente distinto. Leyes inexorables de la Física y Química regulan la compleja y larga historia de la "peregrinación" de átomos aislados en la naturaleza. Hemos visto cómo en el centro de los cuerpos cósmicos, ciertos núcleos atómicos han sido privados de sus electrones y cómo después, paulatinamente se va formando el complicado edificio del elemento con los electrones-planetas girando a su alrededor.

Hemos visto cómo, entrelazándose y envolviéndose unos a otros los anillos de estos planetas, nacen en el mundo desértico de las estrellas, durante el proceso de su enfriamiento, las moléculas, esto es, las combinaciones químicas. Después se originan edificios cada vez más complejos: los iones, átomos y moléculas se reúnen formándose los cristales, estos magníficos nuevos elementos del mundo, elementos de orden superior, correctos matemáticamente y físicamente perfectos. Puede servir de ejemplo el cristal puro transparente de cuarzo, que ya los antiguos griegos denominaron "*lirystallos*", es decir, "hielo petrificado".

Vemos cómo en la superficie misma de la Tierra crecen y se destruyen espléndidos edificios de cristales, cómo de sus fragmentos se crea un nuevo sistema mecánico, el mundo de los coloides, diminutos grupos de átomos y moléculas. Y en este medio se presenta como estable un tipo nuevo de moléculas grandes y complejas que contienen carbono, tipo que denominamos célula viva.



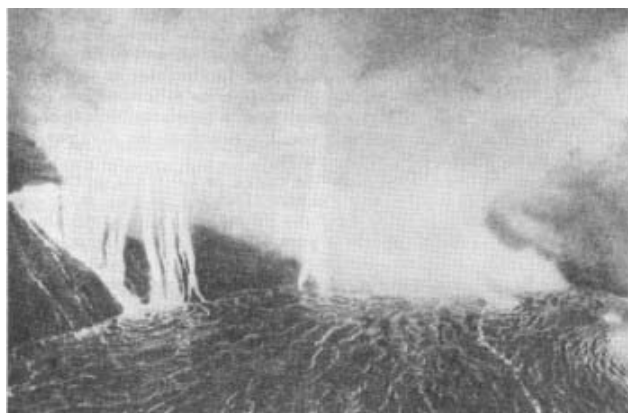
Las nuevas leyes del desarrollo de la sustancia viva complican más y más el destino de los átomos en su histórico camino, creando complejos coágulos micelínicos, pequeñísimos, apenas visibles en los ultramicroscopios, semianimales, semivegetales, semicoloides, a los que llamamos virus, y, finalmente, los primeros organismos unicelulares que distinguimos bien con el microscopio: las bacterias y los infusorios.



*Figura 28.1 Parte de la superficie solar, fotografiada en rayos de hidrógeno*

Por estas etapas de la historia pasan los átomos de los distintos elementos del mundo que nos circunda y para cada uno de ellos puede construirse la historia de su vida, comenzando por el momento de enfriamiento del primer ovillo terrestre y terminando con sus "peregrinaciones" en la célula viva.

Hubo un tiempo en que, casi del mismo modo como se cuenta en las fábulas, surgió en el caos mundial un ovillo de átomos emisores de ondas electromagnéticas; gradualmente va decreciendo el movimiento térmico, como dicen los astrónomos, y el sistema se enfría.



*Figura 28.2 Lava hirviente surgida el 6 de septiembre de 1934 que formó un lago de lava. Islas de Sandwich*

Para nosotros incluso no tiene importancia, cuándo y quién entre los diversos astrónomos y filósofos intentaron por primera vez descifrar la mecánica de este proceso. Lo importante para nosotros es la formación del ovillo donde se ponen en contacto los átomos de elementos aislados.

Conocemos la composición química de este ovillo; los trabajos de los geoquímicos de nuestro tiempo nos dicen que se compone aproximadamente de 40% de hierro, 30% de oxígeno, 15 de átomos de silicio, 10% de magnesio, 2-3% de níquel, calcio, azufre y aluminio. Siguen después elementos que entran en menores proporciones: sodio, cobalto, cromo, potasio, fósforo, manganeso, carbono, etc.



De esta lista vemos que los principales elementos químicos componentes del mundo son los átomos firmes y estables, contruidos según leyes sobre cuya paridad ya hemos hablado antes.

Este confuso ovillo consta de casi cien tipos de átomos de los que unos se encuentran en enorme cantidad y otros sólo en mil millonésimas partes de por ciento.

Poco a poco, con el enfriamiento ulterior, los átomos gaseosos libres se convierten en líquidos, y aproximándose unos a otros en forma de aisladas gotas fundidas ígneo-líquidas, sufren los mismos procesos que experimentan los

minerales fundidos en los altos hornos.

La primera prueba para descifrar la estructura de nuestro planeta nos la hicieron inesperadamente no los teóricos, ni los geofísicos, sino los metalúrgicos, gentes habituadas a fundir metal manejando escorias y que aprendieron a dirigir el destino de átomos aislados en el fuego de los altos hornos.

Según las leyes físicas y químicas, los átomos en tales condiciones se repelen unos a otros y la fundición primaria se divide en partes distintas. Todos los elementos químicos se distribuyen según un orden determinado. Las partes ligeras, más móviles, se dirigen hacia arriba, a la superficie, y las más pesadas hacia el centro.

De tal modo se concentra el núcleo metálico. Sobre él con frecuencia se crea una envoltura de sulfuros metálicos; finalmente, se sedimenta, en forma de escorias, una corteza de compuestos silícicos. Los geofísicos dicen que todas las distintas envolturas, o geosferas, de que consta la Tierra concuerdan precisamente con las zonas de los diversos productos de la fundición en los altos hornos.

En lo más profundo, formando una esfera de 1.370 km de radio, en torno al centro de la Tierra, se encuentra el núcleo interno, sobre cuya composición discuten aún los hombres de ciencia.

Aproximadamente a 2.900 kilómetros de la superficie pasa la zona límite del núcleo terrestre.

Aquí están concentrados los metales que acompañan al hierro en los altos hornos: antes que nada el propio hierro y sus más próximos amigos y semejantes, el níquel y el cobalto.

Aquí hay también otros elementos que los químicos denominan siderófilos, esto es "amantes del hierro", repitiendo casi exactamente las palabras de los alquimistas de quienes tanto se reían los escolásticos del siglo XVIII. A los siderófilos pertenecen el platino, molibdeno, tantalio, fósforo y azufre, metales todos parecidos al hierro. Así es como se nos dibuja la composición de las partes más profundas de nuestro planeta.

Sobre el núcleo, seguramente hasta una profundidad de 1.000 kilómetros, va otra zona, el manto inferior; muchas han sido las controversias sobre cómo descifrar su composición química, pero, como piensan los científicos, es la zona que se conoce bien en la fundición del cobre y el níquel; en las fábricas metalúrgicas se le denomina mata, que consiste en sulfuros metálicos. Y no en balde una zona enorme de 1.500 kilómetros de la corteza terrestre suele ser llamada envoltura mineral.

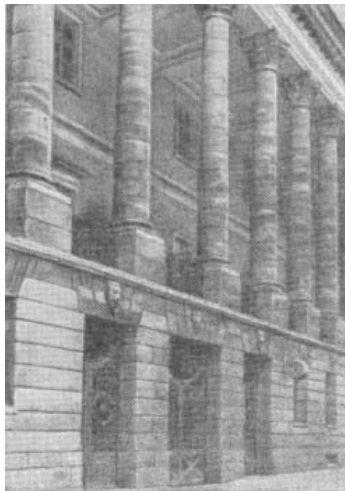
Pero los datos recopilados no han confirmado tal esquema. Lo que antes se llamaba "envoltura mineral", ahora se conoce como manto inferior de la Tierra. Esta parte de la corteza de nuestro



planeta está constituida probablemente de los mismos compuestos que los horizontes superiores. Pero éstos se encuentran en forma diferente, cristalina, más compacta, cuyas propiedades maravillosas sólo empiezan a manifestarse en los laboratorios de los científicos bajo presiones que llegan a casi un millón de atmósferas.

Después va el manto superior que llega hasta la misma corteza de la Tierra. Es una envoltura compuesta de grandes concentraciones de rocas ricas en silicio, magnesio y hierro. Esta es una zona cuya existencia comenzó a adivinarse solamente después de ser estudiadas las enormes chimeneas diamantíferas de Africa del Sur, repletas de los minerales más pesados y compactos llegados del fondo, productos de cristalización de las profundas masas fundidas.

Sobre esta zona, aproximadamente a una profundidad de 15-70 kilómetros, comienza la corteza terrestre en la que se desenvuelve nuestra vida. La concebimos como un complejo sistema de diversas rocas y minerales, aunque de hecho sólo la conocemos hasta varios kilómetros de profundidad.



*Figura 28.3 Columnata en Lefórtovo (Moscú), construida de piedra arenisca de los alrededores de Moscú*

Su composición se diferencia marcadamente de la composición media de la Tierra y puede expresarse por las cifras siguientes: la mitad la ocupa el oxígeno; al silicio le corresponde cerca del 25% ; al aluminio, 7% ; al hierro, 4% ; al calcio, 3% ; al sodio, potasio y magnesio, el 2% a cada uno; después siguen el hidrógeno, titanio, cloro, flúor, manganeso, azufre y todos los demás elementos.

Ya hemos visto que estas cifras fueron determinadas a base de miles de cálculos y análisis. A cada paso podemos convencernos de que la corteza terrestre es heterogénea, que la distribución de los átomos es extraordinariamente complicada y que es muy difícil representarse con exactitud el cuadro de la estructura y constitución de la corteza terrestre, compuesta, ora por refulgente granito sonrosado, ora por pesados basaltos oscuros, o bien por calizas y arenales absolutamente blancos o pizarras coloreadas. Sabemos que en esta abigarrada y confusa base están dispersados, con el mismo desorden caótico, los sulfuros metálicos, sales y minerales útiles. ¿Puede hallarse alguna ley de distribución de los átomos en este cuadro complejo, o no es posible descubrir las leyes que determinan la constitución y estructura de este abigarrado tapiz?

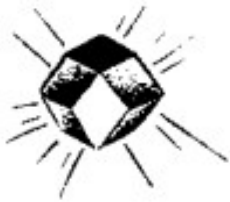
Durante los últimos años las investigaciones de los geoquímicos demuestran que en este mundo de aparentes casualidades existen sus leyes extraordinariamente precisas e inexorables. Los

geoquímicos no sólo separaron del vivo ovillo ígneo de los átomos la costra silícica, la corteza terrestre, sino que la dividieron en átomos aislados y estudian por orden riguroso el comportamiento de cada uno de ellos.



*Figura 28.4 Surtidor termal. El agua está tan caliente que no puede mantenerse en ella la mano sumergida*

Nos figuramos las masas fundidas y la costra de óxido semejantes a la escoria derretida vertida del alto horno, que comienza gradualmente a enfriarse. Sucesivamente, uno tras otro fueron cristalizándose los distintos minerales. Primero se separaron las sustancias más pesadas y fueron cayendo al fondo; las partes componentes más ligeras, gases y sustancias volátiles, iban ascendiendo. De este modo, de la masa basáltica fundida cayeron abajo los minerales ricos en hierro y magnesio; en ellos encontramos compuestos de cromo y níquel, hallamos los orígenes de las piedras preciosas de diamante y valiosos minerales, de platino; de otra parte, en la zona superior se reunieron otras sustancias de las que se formaron las rocas que denominamos granitos. Estas aparecen como extractos consecutivos del enfriamiento de los macizos, ellas crearon precisamente el fundamento de nuestros continentes que parecen flotar sobre la pesada capa de basalto que alfombra gran parte del fondo de los océanos.



Las rigurosas leyes de la Química física dirigieron esta nueva distribución de los átomos en los espacios del mundo y en la ciencia se encendieron las luces de nuevas ideas desde el momento en que se comenzaron a aplicar a la Geoquímica estas leyes de la Química física.

El proceso de enfriamiento de los macizos graníticos es complicado: de ellos se desprenden vapores sobrecalentados, gases volátiles que atraviesan las rocas circundantes, creando soluciones acuosas calientes, bien conocidas para nosotros por los manantiales de aguas minerales. El foco granítico se rodea, como una aureola, de este cálido aliento: gases y vapores con diverso contenido de sustancias volátiles irrumpen por las fisuras y hendiduras de las rocas graníticas que se enfrían: corren hirvientes ríos subterráneos que, enfriándose paulatinamente, depositan en las paredes costras cristalinas de minerales y se convierten en la superficie en manantiales fríos.

En esta aureola del granito en período de enfriamiento, vemos antes de nada las masas fundidas residuales; éstas son las notables vetas pegmatíticas portadoras de los átomos pesados de los minerales radiactivos. Arrastran consigo piedras preciosas, cristales refulgentes de berilio y topacio; en ellas se acumulan los compuestos de estaño, wolframio, circonio y de los metales raros.





de estas fajas minerales: unas se extienden a través de ambas partes del continente americano, comenzando en el norte, en la región de California, y contienen plomo, zinc y plata. Otras atraviesan toda Africa a lo largo del meridiano. Otras circundan, a manera de guirnalda, las firmes plataformas petrificadas de Asia, creando un cinturón rico en minerales y piedras coloreadas, de muchos centenares de kilómetros.

Este cuadro confuso de yacimientos minerales diseminados aparentemente al azar, se convierte de este modo para el geoquímico en el cuadro preciso y ordenado de distribución de los átomos. Los problemas y progresos más grandiosos se resuelven a base de estas ideas nuevas sobre las leyes naturales de distribución de los átomos en la corteza terrestre según sus propiedades y comportamiento.

A cambio de las antiguas observaciones de los mineros de la Edad Media y la vieja experiencia práctica del arte minero, surgen leyes verdaderas con las que tanto soñaba ya en el siglo XVI Agrícola al hablar del amor enigmático de ciertos metales entre sí.

También habló de esto el sabio ruso M. Lomonósov, cuando doscientos años atrás incitaba a los químicos a unirse a los metalúrgicos para buscar el equilibrio y las causas de la existencia conjunta de ciertos minerales y aclarar, por ejemplo, las cuestiones siguientes: ¿por qué el cinc y el plomo se encuentran juntos?, ¿por qué el cobalto sigue con tanta frecuencia a la plata?, ¿por qué los metales de estos duendes enemigos de la minería, el níquel y el cobalto, se hallan juntos con el extraño elemento uranio?

¿Qué es lo que obliga a los distintos átomos a distribuirse con tal regularidad en las rocas graníticas? Aquí aparecen en escena nuevas fuerzas de los procesos naturales; y si allí, en las profundidades, cuando el ovillo primario de átomos se dividía en núcleo y corteza del planeta, las leyes fundamentales de división fueron establecidas por la naturaleza de los propios átomos, aquí, en lugar de estas leyes, vienen a regir otras nuevas.

Los átomos y sus partes comienzan a agruparse, no sólo formando un sistema aglomerado de átomos libres y moléculas que denominamos líquido o vidrio, sino edificios que no existen en las profundidades de la Tierra y que aparecen en el espacio mundial solamente allí donde el frío de los espacios interplanetarios enfría los átomos de movimiento tempestuoso a menos de  $2.000^{\circ}$ .



*Figura 28.6 Volcán de dos cráteres apagado. California. Altura 4.300 m*

Esta edificación maravillosa y armónica determinante de toda estructura de nuestro mundo, se llama cristal. Ya hemos dicho que cada centímetro cúbico de cristal se compone de 40 mil billones de átomos, dispuestos en puntos definidos del espacio y a distancias determinadas el uno

del otro, formando a modo de retículas. De cristales está constituida toda la capa superior de la corteza terrestre, así como la aplastante mayoría del mundo que nos circunda.

Los cristales y sus leyes definen la difusión de los elementos que pueden frecuentemente remplazar unos a otros en estos edificios; surgen posibilidades para algunos de ellos de "peregrinar" en el interior del cristal, para otros de unirse entre sí a base de fuerzas eléctricas de potencia fabulosa, creando la firmeza del cristal, su resistencia mecánica, su capacidad de luchar contra todas las fuerzas que le son adversas en el universo.

Allí, en el fondo de los cuerpos cósmicos, los átomos se hallan en desordenado caos; aquí, en la Tierra, no existe ese caos, hay una serie infinita de puntos y retículas colocados con tanta perfección como las filas del entarimado en el suelo o las lámparas en una gran sala.

Así hemos llegado hasta la superficie terrestre. Aquí las entrañas de la Tierra cesan de influir sobre la vida de los átomos y ceden a la influencia del sol y las radiaciones cósmicas; y bajo la acción de nuevas formas de energía, el átomo comienza de nuevo su "peregrinación" en la superficie terrestre de acuerdo con las leyes de la Química física y la Química cristalográfica.



*Figura 28.7 Peña de toba volcánica. Raradag (Crimea)*

Medio siglo atrás, en sus conferencias pronunciadas en la Universidad de Petersburgo, el naturalista ruso V. Dokucháev desarrolló las ideas sobre las leyes de formación de los terrenos sobre la corteza terrestre. Decía que el clima, la vegetación y los animales condicionan la formación de diversas zonas de terreno y junto con ello la distinta distribución de átomos de

substancias en la capa del suelo. De tal modo, la cobertura del terreno, en sus generalizaciones, revivió como nuevo y original mundo de los átomos.

A Dokucháev le gustaba repetir: "El terreno es el cuarto reino de la naturaleza". Supeditó a las leyes de este mundo, no sólo la feracidad del suelo, sino también la vida del hombre.

Y precisamente aquí, en esta delgada película de la superficie terrestre, los átomos se complican extraordinariamente. Los esquemas claros y sencillos del tranquilo crecimiento de los cristales en las profundidades resultan aquí insuficientes.

El complejo paisaje geográfico subordinó a los propios átomos y los frecuentes cambios climatológicos, estaciones del año, días y noches, y procesos vitales, todo esto fue poniendo su sello, exigiendo nuevas formas de equilibrio y nuevas condiciones de estabilidad.



En las profundidades de la Tierra hay reposo, una marcha tranquila en la distribución espacial de los cristales; en la superficie, el reino tempestuoso de influencias tornadizas y contradictorias, lucha de fuerzas, cambios de temperatura y predominio de los procesos de destrucción. Aquí en lugar de nuestras exactas edificaciones cristalográficas, adquieren significación predominante sus fragmentos, como nuevo sistema dinámico. Estos fragmentos los denominamos coloides. Surge la contradicción entre el mundo ordenado de las profundidades y el mundo caótico de los gelatinosos coloides en la superficie. En las condiciones de rápidas alteraciones de la naturaleza que nos rodea, las reacciones químicas no pueden marchar de un modo tan tranquilo y regular como en las profundidades. La construcción recién empezada de un cristal se disgrega de repente, substituyéndose por otra. Con frecuencia los fragmentos cristalinos se unen y de estas grandes partículas, constituidas a veces de cientos y miles de átomos, nace una nueva forma de la substancia, el sistema inestable del coloide, las gelatinas y gomas que nos son bien conocidas en el mundo orgánico.



*Figura 28.8 Crimea, Gurzuf. Vista general del lacolito o "volcán frustrado". Al fondo el monte "Medved"*

Pero el sistema de minerales de la superficie terrestre no sólo se caracteriza por esa fuerza de destrucción; en él existen enormes fuerzas activas y contiene gran energía, mayor que la que hay en el sistema muerto y estable de los cristales.

En las arcillas y distintos géneros de estratos limoníticos y mangánicos que nos circundan, en toda la multitud de diversas combinaciones de átomos de hierro, aluminio, manganeso; en los glóbulos y concreciones de los compuestos fosfóricos; en todas partes entran en acción nuevas fuerzas provocadas por el contacto de medios diferentes que se encuentran entre sí, por doquier aparecen estas nuevas fuerzas del caos en que junto a la catástrofe marcha la construcción, donde surgen nuevas leyes que definen la naturaleza de los terrenos, facilitando la "peregrinación" de los distintos metales, incitando su intercambio recíproco en la superficie del terreno.

Así llegamos paulatinamente a la última etapa de la historia del átomo: los procesos vitales. El coloide ya preparó las condiciones para la creación de un nuevo sistema; en él, en este complejo encadenamiento de moléculas orientadas, con las enormes fuerzas superficiales que contienen, está el germen de la substancia nueva. Esta es la célula viva.

En esta edificación ágil y original donde los átomos se hallan ya enlazados, ya libres, es donde nació la villa como fase final de su desarrollo natural, como culminación lógica de todos los sistemas atómicos cada vez más complejos. Esta villa, pasando por el complicado camino de la evolución, continuó simplemente los cuadros que acabamos de describir. Subordinándose a nuevas formas de agrupación, comenzó a complicar el edificio atómico y se convirtió en el fenómeno predominante de la superficie terrestre, empezando por el organismo unicelular más diminuto y terminando por el hombre.

No podemos suprimir nada del medio que nos rodea. La vida junto con la naturaleza muerta, el aire y el agua, se fundieron en un todo único, creando los numerosos paisajes geográficos que nos circundan. Es la forma más superior de los sistemas atómicos, originada como resultado de las leyes de evolución y progreso del organismo. Créese el hombre pensador capaz de conocer con su mente las poderosas leyes de la energía que constituyen el fundamento de este nuevo sistema todavía más inestable, pero mucho más vigoroso y activo.

Así, siguiendo la historia de la "peregrinación" del átomo, vemos cómo se complica gradualmente su destino.

Al principio se trataba de un protón libre con carga eléctrica, después se engendraron los núcleos de los átomos.

Luego comenzó el proceso de complicación y a medida que se pasaba a sistemas de cosmos más fríos, el átomo recuperaba su envoltura electrónica. De manera gradual, estos átomos se unieron adquiriendo formas regulares, rigurosamente geométricas, to que llamamos combinaciones químicas.

El cristal es la forma de expresión de estas leyes, la forma más ordenada, la más armónica, con mínimas reservas de energía y, por ello, la forma más muerta de la substancia, privada de fuerzas libres.



Figura 28.9 Estudio de las erupciones de uno de los volcanes de Kamchatka

Pero aquí continuaron las complicaciones, nació el sistema coloidal de los átomos: las moléculas. Originóse la célula viva; se crearon moléculas complejas constituidas a base de cientos y miles de átomos sueltos; y como forma superior del sistema químico aún no descifrado, apareció la substancia albuminoidea, creadora de toda la diversidad, complejidad y enigma del mundo orgánico que nos rodea.

Pero en la historia de la naturaleza el átomo siempre se lanza a la búsqueda de formas nuevas. No podemos aún asegurar si existen formas nuevas, otras formas de equilibrio más estables que el cristal o más activamente cargadas de energía que la sustancia viva. Toda nuestra concepción de la naturaleza circundante tropieza con la insuficiencia de nuestros conocimientos sobre nuevos caminos del átomo y nadie se decidiría a afirmar que hemos conseguido conocer todos los caminos de su "peregrinación" y que el hombre domina ya las fuerzas poderosas que podría desatar en el ovillo atómico.

**Capítulo XXIX****LOS ATOMOS EN EL ELEMENTO AEREO**

¿Qué es el aire? ¡Qué noción más pobre tenemos del aire e, incluso, qué poca atención prestamos a esta cuestión! Estamos acostumbrados a que el aire nos circunda y, lo mismo que la salud, comenzamos a apreciarlo sólo cuando lo perdemos, cuando caemos en situaciones en que el aire nos falta.

Sabemos qué difícil es respirar a grandes alturas, cómo ciertas personas a la altura de 3 kilómetros sienten ya el "mal de montaña" y empiezan a notar debilidad; sabemos cómo sufren los pilotos cuando se vuelan en los aeroplanos a más de cinco kilómetros; a alturas de ocho y diez kilómetros, el aire ya falta en absoluto y hay que acudir a la ayuda de las reservas de oxígeno existentes en el avión.

Sabemos lo pesado que es descender a la profundidad de las minas, cómo zumban los oídos hasta que a la profundidad de 1.500 metros nos acostumbramos a la nueva presión del aire.



Lavoisier

Hoy el aire constituye uno de los problemas más interesantes, no sólo para la ciencia, sino que también para la industria química.

Durante mucho tiempo no pudo comprender el hombre qué es el aire. En el transcurso de varios siglos dominaba en la Química primitiva la convicción de que el aire está constituido por un gas especial, el flogisto, y que cuando arde una substancia cualquiera, de ella se desprende flogisto, el cual llena, como materia fina especial, todo el mundo.

Después, gracias al genial descubrimiento del químico francés Lavoisier, se puso en claro que el aire se compone fundamentalmente de dos substancias, una de ellas vivificadora que fue denominada oxígeno, y la otra indiferente para la vida, llamada por esto nitrógeno o "ázoe" (del griego, "sin vida").

En 1894, de manera completamente inesperada, se descubrió que la composición del aire es bastante más compleja y que el nitrógeno, este gas inerte, contiene, además, toda una serie de otros elementos químicos más pesados, que desempeñan en él un gran papel.

Los físicos modernos determinan la composición del aire de la forma siguiente (en peso):

	%		%
Nitrógeno	75,70	Neón	0,00125
Oxígeno	23,01	Helio	0,00007
Argón	1,28	Criptón	0,0003
Anhídrido carbónico	0,03	Xenón	0,00004
Hidrógeno	0,03	Vapor	cantidad variable

Ahora se conoce con tal exactitud la composición del océano aéreo, que incluso cada gota dispersa en un metro cúbico de aire no escapa a la percepción de nuestros químicos.

Y resulta que el océano gaseoso que nos circunda es la base no sólo de toda nuestra vida, sino también de la nueva y grandiosa industria.

Los ingleses calcularon en los últimos años que toda la población de Inglaterra y Escocia absorbe cada día hasta 20 millones de metros cúbicos de oxígeno del aire, y que instalaciones especiales, en este transcurso de tiempo, extraen 1 millón de metros cúbicos de este gas para las necesidades de la industria.

Simultáneamente, la industria quema carbón y petróleo, gastando oxígeno y devolviendo a la atmósfera una cantidad grandiosa de anhídrido carbónico. Este mismo proceso se verifica en los

organismos vivos. El hombre, por ejemplo, exhala cada día cerca de tres litros de anhídrido carbónico.



*Figura 29.1 Avenida de eucaliptos en un sovjos de la región central de la depresión de Cólquida (RSS de Georgia)*

Para comprender la significación de esta cifra, es suficiente decir que un árbol grande como el eucalipto puede, durante un día, descomponer anhídrido carbónico y devolver al aire oxígeno libre en cantidad aproximadamente de un tercio del anhídrido carbónico espirado por el hombre. En consecuencia, tres grandes eucaliptos descomponen tanto anhídrido carbónico como desprende un hombre, restableciendo de esta forma el equilibrio en la composición de la atmósfera.

De aquí vemos qué gran importancia tiene la vegetación que nos rodea y que nosotros tan cuidadosamente conservamos y plantamos en las ciudades. La vida de las plantas es la única fuente de reposición del oxígeno absorbido por el hombre. Y entre tanto, el oxígeno se va empleando en cantidades cada vez mayores.

En 1885, las pequeñas fábricas de preparación de peróxido de bario iniciaron la utilización industrial de oxígeno del aire. Hoy el oxígeno atmosférico sirve de base para toda una serie de industrias químicas; en la metalurgia, en lugar de aire se inyecta oxígeno puro en los altos hornos; en muchos procesos químicos industriales el oxígeno es el oxidante insustituible.

Cada año aumenta el número de nuevas y nuevas instalaciones que extraen, mediante aire líquido, el oxígeno de la atmósfera circundante.

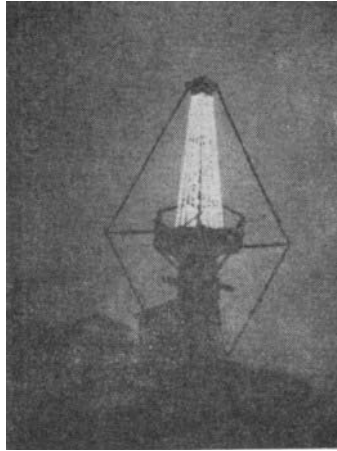
El hombre comienza a emplear cada vez en mayor escala, a la par que el oxígeno, los demás gases contenidos en el aire.

Poco tiempo atrás el argón, que entra en la composición del aire en proporción de un 1%, no jugaba ningún papel en la industria. Ahora se extrae anualmente del aire, con ayuda de complicadas instalaciones, cerca de un millón de metros cúbicos de este rarísimo gas.



Muchos de nosotros no saben que con este gas se llenan cada año más de mil millones de bombillas eléctricas.

El neón, otro gas noble componente del aire, se emplea cada vez con mayor amplitud en las lámparas especiales de los anuncios luminosos de las grandes ciudades. El océano aéreo lo contiene en cantidad muy pequeña: una parte por cada 55 mil partes de aire. Pero aun así la industria del neón se desarrolla a incrementa de año en año.



*Figura 29.2 Faro de tubos de neón en un aeródromo*

Se comienza a obtener también del aire helio. De él hay todavía menos cantidad que de neón, a pesar de que la atmósfera contiene por cada kilómetro cuadrado de terreno cerca de 20 toneladas de este valiosísimo gas. El helio se extrae del aire y, principalmente, de las corrientes gaseosas subterráneas y se emplea para llenar dirigibles; en la industria frigorífica se consiguen con su ayuda las temperaturas más bajas del mundo.

Comienzan a penetrar en la industria incluso los gases más raros, como el criptón y el xenón.



De criptón hay en el aire menos de una milésima por ciento. Y sería muy importante obtenerlo en grandes cantidades ya que aumentaría en un 10% (y con el empleo del xenón en un 20%) la densidad luminosa de las lámparas eléctricas. Esto significa que disminuiría en un 20% el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de alumbrado.

Pero, desde luego, la materia prima que se extrae del aire más importante para la industria, es el nitrógeno.

En 1830 fue realizado el primer intento de utilizar los compuestos nitrogenados para fertilizar los campos de cultivo.

Sobre el nitrógeno del aire ni pensaba nadie entonces, a incluso el salitre traído en barcos desde Chile no siempre encontraba empleo en los campos pobres de Europa Occidental. Pero la aplicación gradual de la Química en la agricultura exigió cada vez en mayor cantidad los tres elementos vivificadores a base de los cuales se construye la vida química de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. La demanda de nitrógeno adquirió tal magnitud que el físico y químico Crookes predijo en 1898 una futura "hambre de nitrógeno" y propuso buscar nuevos métodos de extracción de este elemento del aire.

Pasaron unos años. Los químicos aprendieron a transformar el nitrógeno atmosférico en amoníaco, ácido nítrico y cianamida, mediante descargas eléctricas.

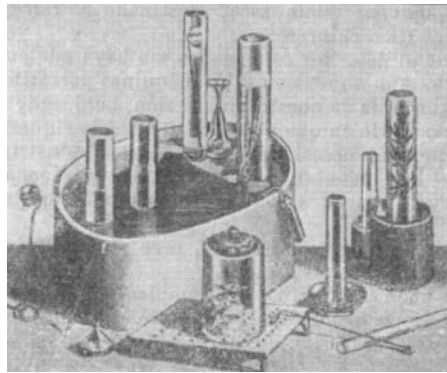




Durante la primera guerra mundial, el nitrógeno, necesario para la fabricación de sustancias explosivas fue objeto de numerosas investigaciones.

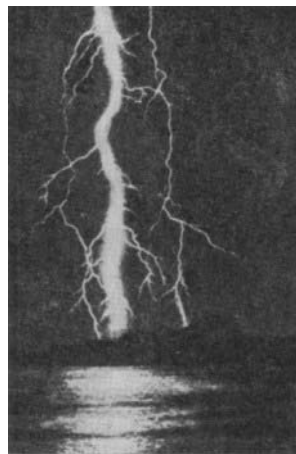
En la actualidad trabajan en el mundo más de 150 fábricas de nitrógeno, que extraen del aire anualmente 4 millones de toneladas de este gas. Pero incluso esta cifra resulta insignificante en comparación con las inmensas reservas de este gas que constituye aproximadamente el 81% del volumen total del elemento aéreo.

Es suficiente decir que todas las instalaciones de nitrógeno del mundo extraen cada año una cantidad de este elemento equivalente a la que contiene una columna de aire atmosférico, elevada sobre medio kilómetro cuadrado de la superficie terrestre. Así se dibujan ante nosotros las nuevas vías de aplicación industrial del aire. La industria utiliza cada vez más todos los componentes del océano aéreo. La atmósfera se convierte en fuente grandiosa de materias primas minerales, cuyas reservas son prácticamente inagotables. Sin embargo, aún no se ha hallado el camino para adueñarse de estas reservas.



*Figura 29.3 Aparatos de Priestley, con ayuda de los cuales estudió en los años 1774-1790 la composición del aire*

Los procesos, con cuya ayuda el hombre descompone el aire en sus partes constituyentes, son aún bastante imperfectos. Para la extracción del nitrógeno se exigen grandes presiones y una cantidad enorme de energía.



*Figura 29.4 Fotografía de un rayo*

Para la separación de los gases nobles y obtención de oxígeno hay que recurrir al empleo de instalaciones complicadas y costosas que liquidan primero el aire para después separar de él los distintos gases. En este terreno, durante los últimos años, se han hecho grandes descubrimientos en la Unión Soviética.

En el Instituto de problemas físicos de la Academia de Ciencias de la URSS se han construido máquinas nuevas, magníficas, que permiten separar minuciosamente de cantidades enormes de aire sus distintos elementos constitutivos. Y nos imaginamos ya pequeños aparatos instalados en cada habitación.

Abrimos la llave con la inscripción "Oxígeno", y en lugar de aire fluye de él un líquido azulado, enfriado hasta  $-200^{\circ}$ .

Abrimos otra llave y, gota a gota, sale en forma líquida el gas noble criptón o xenón, y allá en el fondo, como la ceniza en el horno, se acumulará el anhídrido carbónico sólido que después pasará a una prensa especial proporcionándonos hielo seco, destinado a refrigerar nuestra habitación en los días calurosos.

Puede ser que al describir este cuadro me haya adelantado un poco más de la cuenta. Aún no existen tales máquinas portátiles que puedan conectarse en el enchufe de nuestra habitación, pero estoy seguro de que no se halla lejano el día en que podamos utilizar la riqueza circundante del aire para nuestras necesidades y una gran industria química se edificará sobre las incontables



reservas de nitrógeno y oxígeno, elementos ambos destacados por su importancia en la vida de la Tierra.

Podría terminar con esto mi relato, pero pienso que aún está lejos de ser completo.

No he dicho nada todavía sobre el empleo del anhídrido carbónico del aire y sobre las posibilidades de aplicación de todos los gases que se forman durante la combustión del carbón, leña y la calcinación de las calizas.

En la industria ya se calcula la enorme cantidad de anhídrido carbónico que se arroja al aire en calidad de residuos. Se cuenta con utilizarlo para la preparación de hielo seco, se pretende extraer de nuestra atmósfera las tres centésimas por ciento existentes en ella de anhídrido carbónico.

Y los físicos van aún más lejos; dicen que nuestro aire contiene no sólo la decena de gases de que hablamos anteriormente, sino que contiene gran cantidad de otros gases aún más raros, todavía más dispersos, en millonésimas y mil millonésimas partes por ciento: los gases radiactivos.

Se trata de emanaciones del radio y diversos gases volátiles, productos de la desintegración de los metales ligeros. Estos gases viven poco tiempo en nuestra atmósfera; la vida de unos se mide en días, de otros en segundos, y de otros, incluso, en millonésimas de segundo. El aire está saturado de los productos de desintegración de los núcleos atómicos del mundo. Los rayos cósmicos provocan a cada paso la destrucción de átomos y la aparición de gases inestables que deben desaparecer de nuevo, pasando a constituir formas más estables de la sustancia sólida.

En el océano aéreo se verifican sin interrupción numerosas reacciones químicas. Procesos complicadísimos se producen entre los átomos dispersos de sustancias y aún son poco comprensibles para nosotros las constantes y complejas transmutaciones, las descargas eléctricas que tienen lugar a nuestro alrededor en este océano aéreo.

Descifrarlas significa dar un paso más en la supeditación de la naturaleza a la satisfacción de nuestras necesidades.

### **Capítulo XXX**

## **LOS ATOMOS EN EL AGUA**

Las aguas de los manantiales, ríos, mares, océanos y de las capas subterráneas forman, todas juntas, la envoltura acuosa ininterrumpida de la Tierra, o hidrosfera. En las extensiones inmensas de los océanos se verifica sin cesar la evaporación del agua bajo la influencia del calor y el sol. El agua se condensa en la atmósfera y cae sobre la Tierra en forma de lluvia, nieve y granizo. Erosiona el terreno, lo lixivia, destruye las rocas, disuelve gran cantidad de variadas sustancias y arrastra todo esto de nuevo a los mares y océanos.

De este modo el agua efectúa muchos millones de veces su ciclo: océano-atmósfera-tierra-océano. Y cada vez extrae de las duras rocas de la tierra nuevas y nuevas cantidades de sustancias solubles.

Se ha calculado que anualmente todos los ríos del mundo transportan de la superficie terrestre al océano cerca de tres mil millones de toneladas de sustancia en disolución. Dicho de otro modo, el agua destruye y se lleva de la tierra firme en 25.000 años una capa mineral de cerca de un metro de espesor.

El trabajo que realiza el agua en la superficie terrestre es grandioso.



*Figura 30.1 Figuras caprichosas, resultado de la erosión de rocas sedimentarias. Nueva Zelanda*

El agua, cuya fórmula química es  $H_2O$ , es una de las sustancias más difundidas en la Tierra. ¡El volumen mundial del agua de los océanos constituye 1.370 millones de kilómetros cúbicos! Enorme es la importancia del agua en la historia de la Tierra y, por consiguiente, en la Geoquímica.

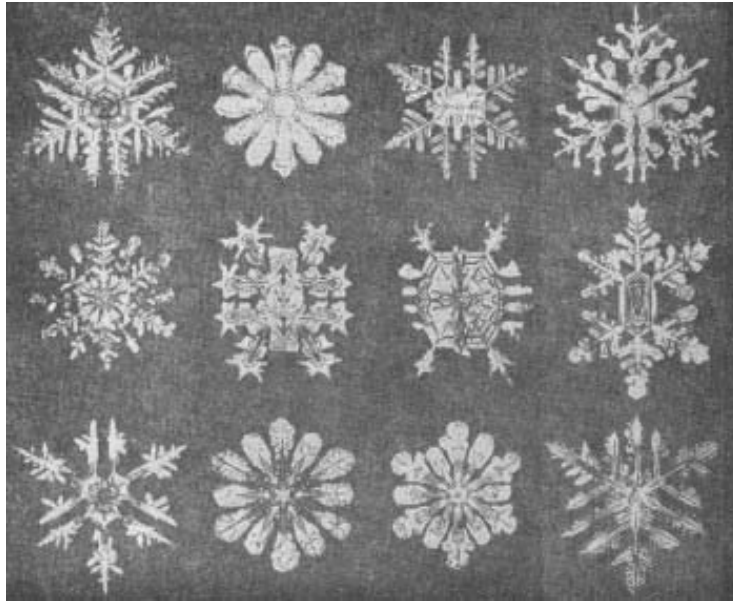
Por eso hubo un tiempo que en las geológicas existía la hipótesis que todas las rocas de la Tierra provenían del medio acuoso.

Los partidarios de esta hipótesis, los neptunistas (así denominados por el nombre del dios mitológico del agua, Neptuno) controvertían con los plutonistas que aseguraban a su vez la procedencia de las rocas de las masas fundidas, surgidas a la superficie desde las profundidades del reino subterráneo del dios Plutón.

Ahora se sabe que ambas fuerzas, agua y volcanes, participaron en la formación de los minerales terrestres.

Prácticamente, no existe en la naturaleza agua alguna que no contenga cualquier clase de impurezas, sustancias o sales disueltas en ella. Con otras palabras, en la naturaleza no hay agua

destilada. Incluso el agua de lluvia contiene anhídrido carbónico e indicios de ácido nítrico, yodo, cloro y otros compuestos.



*Figura 30.2 Formas de cristales de nieve (aumentados)*

Obtener agua químicamente pura es muy difícil, por no decir imposible. Los gases del aire, la substancia de que están hechas las paredes del recipiente en que se halla el agua, se disuelven en ella aunque sea en cantidades pequeñísimas. Por ejemplo, una porción de mil millonésima de plata se disuelve en el agua contenida en un recipiente de este metal.



*Figura 30.3 Catarata del Niágara en América*

La plata de una cucharilla de té pasa al agua en disolución en ínfima cantidad. El químico apenas puede percibir estos indicios. Pero algunos organismos inferiores, por ejemplo, las algas, son tan

sensibles a los residuos argentíferos y a algunos otros átomos en el agua, que perecen a causa de ellos.



Corriendo a través de la extraordinaria variedad de minerales terrestres (arenas, arcillas, calizas, granitos, etc.), el agua natural extrae de ellos diversos compuestos. Algunos hombres de ciencia dicen que sabiendo por qué cuenca corre un río se puede decir qué composición tienen sus aguas.

Pero, a pesar de que en la naturaleza están muy difundidos, como sabemos, los aluminosilicatos, el agua por regla general no contiene gran cantidad de aluminio ni de silicio. Si estos metales existen es más que nada en suspensión, a modo de turbiedad o de impurezas mecánicas. Por otra parte, las aguas de los ríos y mares siempre contienen álcalis, sodio, potasio, y también magnesio, calcio y otros elementos. ¿Qué es lo que ocurre?

Resulta que la composición química de las sales disueltas depende del grado de solubilidad de unas u otras sales en el agua. Los compuestos más solubles son los componentes más habituales de las aguas naturales. Como hemos dicho, la masa fundamental de los residuos salinos del agua natural está formada por átomos de sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, bromo y algunos otros elementos.

Las aguas saturadas de sales, las salmueras, también contienen precisamente estas combinaciones atómicas fácilmente solubles, tomadas de los minerales.

De tal modo, el océano es un depósito de sales solubles que se concentran en él durante todo el período de existencia de la Tierra, como resultado de la constante circulación del agua entre los continentes y el océano.

Los científicos han intentado calcular por la cantidad de sales disueltas en los océanos, qué cantidad de ellas aportan los ríos anualmente.

Basándose en esto, se ha calculado la edad del océano, o sea la cantidad de años que fueron necesarios para que su agua adquiriese la concentración salina que hoy se observa. Pero las cifras obtenidas ofrecen poca seguridad.



*Figura 30.4 En las orillas del mar de Azov*

Así, las combinaciones atómicas fácilmente solubles constituyen la base del contenido salino de las aguas naturales. El agua de los océanos contiene 3,5 % de sales, de las cuales el 80 % es de cloruro sódico (la sal común de todos conocida). Todos conocen su gran solubilidad en el agua. Los demás compuestos solubles se hallan en el agua en cantidades muy pequeñas. En cualquier agua natural (de mar, de río, subterránea) puede descubrirse la presencia de todos los elementos químicos. El problema reside en el grado de precisión y perfeccionamiento de nuestros métodos de investigación.

Si se recuerda que en total existen un poco más de cien elementos químicos, es fácil imaginar qué variedad de aguas, por su composición, pueden encontrarse en la naturaleza. Y, en efecto, los hombres de ciencia establecieron la existencia de una multitud de clases diferentes de agua.

La composición del agua de los océanos, tanto en la superficie como en las profundidades (pero lejos de la costa), es constante.

El contenido en ellas de elementos químicos se repite cuantitativamente con toda exactitud. La composición de las aguas fluviales es menos constante, pero, sin embargo, muy semejante entre sí. El hecho de que los ríos corren por distintos suelos y condiciones climatológicas heterogéneas no deja de marcarse en su composición. Así, los ríos de las latitudes septentrionales contienen más hierro, humus, a veces incluso toman su color. Los ríos de latitudes medias contienen fundamentalmente sodio, potasio, sulfatos y cloro. En zonas más cálidas, sobre todo en regiones privadas de salida de aguas al mar u océanos, el agua de los ríos y, con más frecuencia, de los lagos, suele ser salina.



*Figura 30.5 Géiser en el parque de Yellowstone (EE.UU.)*

Cambios análogos en la composición del agua pueden observarse, por línea vertical, en las capas acuosas subterráneas. Cuanto más profundas sean éstas, más se aproximan a las salmueras. Las aguas minerales subterráneas de composición más variada forman con frecuencia al surgir a la superficie manantiales minerales, a veces, con propiedades curativas.

Aquí podemos encontrar aguas con sales de calcio, radio y litio, yodo-bromadas, ferruginosas, sulfurosas, magnesio-bromadas, etc. Las propias denominaciones señalan qué compuesto o elemento químico constituye el componente principal de sus residuos disueltos.





Figura 30.6 Malecón en la ciudad de Sujumi (RSSA de Abjazia)

La procedencia de estas aguas minerales está relacionada con la disolución de los estratos minerales por las aguas subterráneas y los procesos de lixiviación de rocas de distinta composición.

Descifrar el proceso total de formación de las aguas por su composición química constituye una tarea recreativa y, al mismo tiempo, de importancia científica. De esta cuestión se ocupan los geoquímicos y los hidroquímicos.

Incluimos una tabla de la composición del agua marina (en por ciento):

Oxígeno	86,82	Titanio	0,0000001
Hidrógeno	10,72	Manganeso	0,0000002
Cloro	1,93	Níquel	0,0000002
Sodio	1,035	Cobre	0,0000003
Magnesio	0,13	Arsénico	0,0000003
Azufre	0,089	Estaño	0,0000003
Calcio	0,041	Uranio	0,0000003
Potasio	0,038	Vanadio	0,0000003
Bromo	0,007	Selenio	0,00000001
Carbono	0,002	Bismuto	0,00000002
Flúor	0,0001	Itrio	0,00000003
Silicio	0,0003	Plata	0,00000003
Boro	0,0005	Cesio	0,00000004
Estroncio	0,0008	Cobalto	0,00000005
Litio	0,00001	Torio	0,000000001
Nitrógeno	0,00001	Plomo	0,000000003
Rubidio	0,00005	Galio	0,000000003
Zinc	0,000001	Mercurio	0,000000003
Hierro	0,000001	Escandio	0,000000004
Aluminio	0,000001	Germanio	0,000000006
Molibdeno	0,000001	Cerio	0,0000000001
Bario	0,000002	Lantano	0,0000000003
Yodo	0,000005	Oro	0,0000000004
Fósforo	0,000007	Radio	0,00000000000001

Como se ve por la tabla, el contenido de los 15 primeros elementos en el agua del mar es igual, en peso, al 99,99 % , y el de los 74 restantes, cerca del 0,01 % .

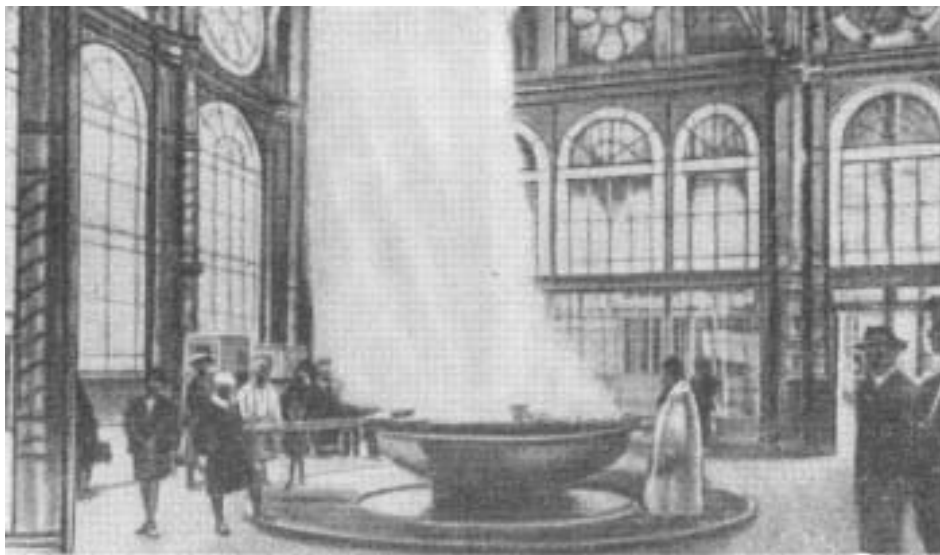


Sin embargo, en cifras absolutas esto no es poco; por ejemplo, de oro existen en el agua marina millones de toneladas.

Los científicos intentaron muchas veces construir fábricas fisicoquímicas que hiciesen rentable la obtención de oro del agua de mar. Pero hasta ahora esto no se ha realizado.

En el agua del mar es característica la concentración de bromo, yodo y, naturalmente, cloro, elementos químicos muy importantes para el hombre. El yodo del mar es absorbido por las algas y organismos marinos. De las algas obtiene el hombre la masa fundamental de yodo para la industria.

Cuando mueren las algas, el yodo contenido en ellas pasa al limo del fondo del mar. Del limo marino van formándose gradualmente rocas. El agua escurre de ellas, formándose capas acuosas, a las que pasa el yodo. Durante los sondeos en busca de petróleo se encuentran con frecuencia capas de agua, ricas en yodo y bromo. En la actualidad, se ha aprendido a extraer de ellas estos elementos. El agua del mar constituye un depósito ilimitado de bromo, elemento que, lo mismo que el magnesio, comienza ya a obtenerse directamente de ella en una serie de lugares.



*Figura 30.7 Surtidor mineral "Sprudel" en Karlovy Vary, Checoslovaquia. La temperatura del agua es de cerca de 75° y alcanza una altura de 9 metros*

Ofrece especial interés la historia de los átomos de calcio en las aguas naturales. Estas suelen estar sobresaturadas de iones de calcio y, entonces, este último, en forma de carbonato cálcico, se deposita en el fondo, creando las calizas o la creta.

En la historia del calcio juega un gran papel el anhídrido carbónico. El exceso de éste provoca la solución del carbonato cálcico, y su falta, su precipitación. Si recordamos que las plantas verdes absorben el anhídrido carbónico, veremos claramente su papel en la sedimentación del calcio del agua. En efecto, islas enormes, los atolones, se forman en los mares templados exclusivamente del carbonato cálcico depositado como resultado de la actividad vital de las plantas marinas, así como de los esqueletos calcáreos de animales marinos.





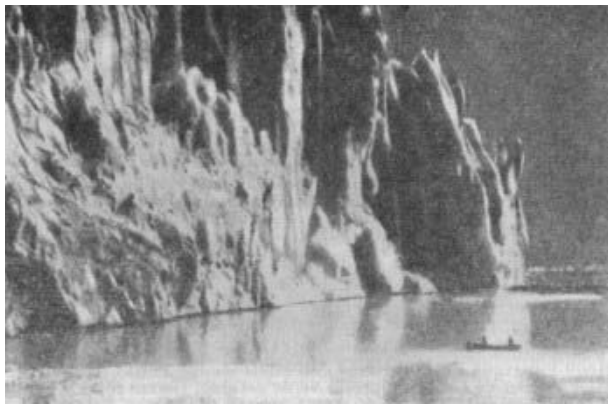
Con este ejemplo, hemos querido mostrar que en la composición de las aguas naturales tiene una influencia considerable la flora y fauna del depósito acuático en cuestión.

Sin conocer la influencia que ejerce la "substancia viva" en la composición del agua de los depósitos, no es posible representarse todos los procesos que condujeron a la composición actual de las aguas de los ríos, lagos, mares y océanos.

**Capítulo XXXI****LOS ATOMOS EN LA SUPERFICIE TERRESTRE. DESDE EL ARTICHO HASTA LOS SUBTROPICOS**

Siendo aún niño hice un viaje de Moscú al sur de Grecia y, entre los recuerdos infantiles, se me quedó grabado para toda la vida el cuadro del cambio de colores que se desarrollaba ante mí, conforme nos desplazábamos hacia el sur.

Recuerdo el día despejado de Moscú, pero con la tierra gris, monótona, las arcillas gris-rojizas y pardas de las tierras grises de Rusia. Recuerdo después el cuadro más vivo del colorido de las tierras negras de los alrededores de Odesa, iluminadas por los brillantes rayos de un sol meridional de primavera. Revive en mi mente cómo se cambiaron estos colores cuando entramos en el Bósforo: el azul del agua, el terreno pardocastaño cultivado de viñedos. Y, finalmente, me parece ver ahora el paisaje del sur de Grecia: cipreses verde oscuros, tierras rojas y huellas de este mismo color de los óxidos de hierro entre las calizas blancas como la nieve.



*Figura 31.1 Extremidad de un glaciar en Alaska*

Recuerdo, qué profundamente se grabó en mi imaginación el cuadro de esta variación de colores y con qué insistencia solicitaba a mi padre que me aclarase las causas de este cambio de colorido.



Sólo después de muchos años comprendí que ante mis ojos actuaba una de las leyes más importantes de la superficie terrestre, la ley de los procesos químicos oxidantes, que se verifican de tan variada manera en las distintas latitudes de la Tierra.

Desde aquel entonces he viajado mucho por la Unión Soviética, empezando por los bosques espesos de la taiga, llanuras, tundras y océanos polares, hasta las cúspides nevadas del "tejado del mundo", el Pamir. Y cada vez reaparecía de nuevo ante mí, aunque en escala mucho mayor, el cuadro de estas variadas reacciones químicas y los distintos destinos de los átomos en la superficie terrestre, desde el más profundo Artico hasta los cálidos subtrópicos.

Miremos este pequeño mapa y marchemos por la flecha que la cruza en viaje desde las islas de Spitzbergen hasta la isla de Ceilán, en el Océano Indico.

Alrededor del antiguo Svalbard, hielos continuos. Un desierto de hielo muerto. Ninguna reacción química, las rocas no se disgregan en arcilla o arena, la acción de las heladas se propaga hacia adentro, se crean desmoronamientos grandiosos.

Sólo en raras ocasiones, en las colonias de aves marinas, se concentran residuos de vida orgánica y las corrientes alargadas de fosfatos constituyen casi los únicos minerales entre el continuo hielo.



Figura 31.2

Con la misma lentitud transcurren las reacciones químicas más al sur en la península de Kola o en los Urales transpolares. ¡Qué frescas son las rocas en la península de Kola! Con unos gemelos, pueden ustedes observar en una mañana fría las rocas a decenas de kilómetros como si las contemplasen en un museo.

Finas películas pardas de óxidos de hierro se ven en enormes extensiones. Sólo en las depresiones se concentran las turberas, se quema lentamente la sustancia orgánica de los vegetales, transformándose en ácidos húmicos pardos, y las aguas primaverales las arrastran consigo, junto con otras sales solubles, coloreando las capas de masas gelatinosas de las turberas y los sapropeles en los lagos y pantanos.

Más al sur, en las cercanías de Moscú, pueden observarse otras reacciones químicas. Aquí también se verifica la combustión lenta de la sustancia orgánica, las mismas aguas pardas de primavera disuelven el hierro y el aluminio, arenas blancas y grises rodean las inmediaciones de Moscú, las capas azules de los fosfatos se destacan como manchas vivas en la enorme extensión de las turberas.

Todavía más al sur, cambia paulatinamente la coloración, se modifica la marcha de las reacciones químicas y los átomos se encuentran en una situación nueva. Las tierras negras de la región central del Volga sustituyen al suelo gris arcilloso de la región de Moscú. Vemos cómo, poco a poco, un sol vivo va variando el aspecto de la superficie terrestre, provocando procesos químicos más energéticos, más impetuosos.



Ya en la zona situada en la orilla izquierda del Volga encontramos reacciones naturales nuevas; venimos a parar a la inmensa zona salina que se extiende desde la frontera de Rumania, a través de Moldavia, por las estribaciones del Cáucaso del Norte, y, atravesando toda Asia Central, termina en las costas del Océano Pacífico. Se concentran diversas sales de cloro, bromo y yodo. El calcio, sodio y potasio son los metales de estas sales en los estuarios y lagos agonizantes, los cuales por decenas de miles están diseminados en esta zona. Aquí transcurre el proceso complejo de formación de depósitos sedimentarios.

Siguiendo hacia el sur, llegamos a la región de los desiertos. Aquí un cuadro nuevo se presenta ante nuestros ojos. Enormes salinas con sus campos blancos relucen entre las manchas verdes de la vegetación esteparia, atravesadas por las aguas rojo-chocolate del Amú-Dariá. Los vivos colores nos hablan de nuevas reacciones químicas; los átomos cambian de lugar y adquieren nuevos equilibrios químicos en la arena. Unos se concentran bajo el aspecto de las arenas originarias de los desiertos; otros se disuelven, son arrastrados por el viento y las tempestuosas lluvias tropicales, depositándose en los desiertos formando las tierras salinas y las saunas sedimentarias.

Pero vemos colores aún más vivos en las estribaciones del TianShan. Aquí se observan a cada paso enérgicas reacciones químicas y los caminos de "peregrinación" del átomo en la superficie de la tierra se hacen muy complejos. No puedo olvidar la impresión de aquellos colores vivos y abigarrados que me saltaban a la vista cuando visité por vez primera un notable yacimiento. En mi libro sobre los colores de las piedras, describí este cuadro con las palabras siguientes:

*"Películas de azul vivo y verde de compuestos de cobre cubrían los trozos de roca, bien espesándose en la corteza aterciopelada verde oliva de los minerales de vanadio, bien entrelazándose con los tonos azules de los silicatos hidratados de cobre. En una gama de vivos tonos se extendían ante nosotros una multitud de combinaciones del hierro, hidratos de sus óxidos: amarillos, ocre-dorados, bien los rojos poco hidratados, o los compuestos pardonegros de hierro y manganeso; incluso el cristal de roca adquiere aquí el color rojo vivo del "jacinto de Compostela", la barita transparente toma el amarillo, pardo y rojo de la "barita mineral", en los sedimentos de sonrosadas arcillas de las cuevas cristalizan agujas rojas de alaita, ácido vanádico libre, y en los blancos huesos del esqueleto humano aparecen brillantes hojitas verde-amarillentas de mineral nuevamente formado".*

El cuadro de los colores con tonos vivos y abigarrados es inolvidable y el geoquímico lo observa con atención, procurando descifrar sus causas. Antes que nada ve que todas las combinaciones se encuentran en estado de alta oxidación y el grado máximo de oxidación del manganeso, hierro, vanadio y cobre caracteriza a estos minerales; sabe que esto se debe al sol meridional, al aire ionizado, con su oxígeno y ozono, a las descargas eléctricas en las horas de tormenta tropical, cuando el nitrógeno se transforma en ácido nítrico.

Pero la flecha nos lleva más lejos, fuera de los límites de las arenas. Elevándonos a una altura de 4 mil metros, vamos a parar de nuevo al desierto, pero a un desierto de hielo; aquí no se ven ni los colores vivos, ni la "peregrinación" de átomos que acabamos de observar en las depresiones de Asia Central.



*Figura 31.3 Paisaje del Artico. Un geólogo con un tiro de perros en Tierra del Norte*

Ante nosotros casi el mismo cuadro que en las islas de Nueva Zembla o de Spitzberg. Por doquier, vemos taludes grandiosos de sedimentos mecánicos, y rocas recientes que casi no conocen las reacciones químicas, y, sólo de vez en cuando, entre hielos y nieve, se observan sales cristalizadas aisladas y concentraciones de salitre.



*Figura 31.4 Glaciar en los países polares*

Este panorama recuerda los desiertos árticos; y solamente las raras tormentas con fuertes relámpagos hablan de la vida y producen en el aire descargas eléctricas, originan partículas de ácido nítrico, que se depositan en forma de salitre en los elevados desiertos montañosos del Pamir y en, cantidades aún más grandiosas, en el desierto de Atacama, en Chile.



*Figura 31.5 Paisaje del desierto. Arenas de Kara-Kumi (RSS de Turkmenia)*

Avanzando por nuestra flecha más adelante, a través de las alturas del Himalaya, veremos de nuevo los vivos colores de los subtrópicos meridionales. Las continuas lluvias templadas se cambian por el seco verano tropical y en la superficie terrestre se verifican complicadísimas reacciones químicas, transportando las sales solubles, acumulando enormes estratos de sedimentos rojos, minerales de aluminio, hierro o manganeso.



Más allá se muestran los terrenos lateríticos rojo-sangre de Bengala. A veces se alzan hacia el cielo en forma de terribles torbellinos.

He aquí las tierras de color chocolate-rojizo de la India tropical; refulgen caldeados por el sol los trozos de rocas, recubiertos como de un barniz semimetálico y sólo raras veces se ven depositaciones de sales blancas y sonrosadas, mezclándose en el cuadro de las tierras rojas de los subtrópicos indios.



*Figura 31.6 En el Tian-Shan central (RSS de Kirguizistán)*

Aún con más amplitud y viveza se pone de manifiesto el cuadro de la "peregrinación" de los átomos en el sur de India, allí donde las aguas verde-esmeralda del Océano Indico bañan las costas rojas, y las erupciones volcánicas del basalto traen su aliento desde las profundidades. Complejas formaciones químicas varían a cada paso el cuadro del fondo del mar, comenzando por el litoral de poco calado con sus caracolas, briozoos y corales, y terminando en las zonas profundas con los bancos de coral y las grandiosas concentraciones de calizas coralinas.

En el fondo, en el fango, allí donde se acumulan los restos de los esqueletos de organismos vivos, se originan sales fosfóricas bajo el aspecto de nódulos fosforíticos.

Los radiolarios, con sus caparazones de la sílice traída por los ríos, construyen sus conchas de encaje y los foraminíferos, al formar su esqueleto, absorben el bario y el calcio. Así, tan rápidamente, se cambian los átomos al pasar del

Artico a los subtrópicos y tan grandiosos son los procesos de

"peregrinación", de los distintos elementos en la superficie terrestre.

¿Qué es lo que determina esta diferencia entre los paisajes del extremo norte y el sur tropical? Ahora ya sabemos que es debida a la acción de los rayos solares, a la abundancia de humedad y las altas temperaturas de la tierra. Es debida al impetuoso desarrollo de la vida orgánica, que exige una enorme cantidad de distintos átomos. Grandes concentraciones de residuos de células vivas se descomponen bajo el ardiente sol meridional despidiendo anhídrido carbónico que satura las aguas con sus soluciones ácidas.



*Figura 31.7 Paisaje subtropical. Avenida de palmeras en el parque de la ciudad de Gagra, en el litoral del Cáucaso*

La velocidad con que se realizan en el sur las reacciones químicas aumenta considerablemente, pues, como sabemos bien los geoquímicos por una de las leyes fundamentales de la ciencia química, en la mayoría de los casos por cada incremento de 10 grados la velocidad de las reacciones químicas corrientes se duplica.



*Figura 31.8 Capas arcillosas erosionadas por el viento*

Para nosotros se hace comprensible la inactividad y reposo de los átomos en el desierto ártico y las complejas vías de "peregrinación" de los átomos en los subtropicos y desiertos del sur. Vemos que puede hablarse de una Geografía química, que el mundo de la naturaleza con su variedad de continentes y países está estrechamente ligado a los procesos químicos que se desarrollan por todas partes.



*Figura 31.9 Estatuas enigmáticas talladas de peñas volcánicas. Isla de Pascua en el Océano Pacífico*

Entre los factores determinantes de la marcha de los procesos geoquímicos, cada vez va adquiriendo más importancia el propio hombre.

Durante el último siglo, su intensa actividad estaba ligada a las latitudes centrales y sólo paulatinamente va comenzando a dominar los desiertos del Artico y los desiertos arenosos del sur. Aportando sus reacciones químicas nuevas y complejas, altera los procesos naturales, provocando movimientos y "peregrinaciones" nuevas a los átomos que le son necesarios. La nueva Geografía química se diseñó ya hace tiempo con el establecimiento de las bases de la Agrología, cuya patria fue Rusia y cuyo futuro es el destino de la fecundidad de los campos.



Recordamos cómo en la década del ochenta del siglo pasado en un aula pequeña de la Universidad de San Petersburgo el "padre de la Agrología", V. Dokucháev, descubría en brillantes conferencias el cuadro atrayente de la nueva ciencia, dibujando las zonas de terreno que cubren la Tierra, desde las tundras polares hasta los desiertos del sur.

Entonces no podía aún traducirse al lenguaje de la Química su maravillosa estructuración. Pero hoy que la Química irrumpe impetuosamente en el dominio de las ciencias geológicas, cuando los agroquímicos comenzaron a dirigir la vida de las plantas y las reacciones que se verifican en el terreno, cuando los geoquímicos abarcan en sus investigaciones todos los caminos de "peregrinación" de los átomos, nosotros empezamos a comprender las complicadas rutas que recorre cada átomo en las distintas latitudes de nuestro planeta.

Y, entre tanto, el pasado nos enseña que estas latitudes cambiaron.





*Figura 31.10 Figura de Buda, de 15 metros de altura, tallada en arenisca. Afganistán*

En el transcurso de cerca de dos mil millones de años cambió la vida de nuestra corteza terrestre, varió la situación de los polos; las cordilleras elevaban en un principio sus nevadas cúspides sólo en los países polares y gradualmente los plegamientos se desplazaron hacia el sur creando tales cordilleras como los cinturones de los Alpes y el Himalaya. También se desplazaron del norte al sur los grandes mares que circundan la Tierra; modificáronse la estructura y constitución de las distintas zonas y las condiciones del paisaje. En cada lugar, los mares fueron remplazados muchas veces por montañas, los montes por desiertos y de nuevo por mares.



Así, en la larga historia geológica de la Tierra cambiaron la marcha de las reacciones químicas y "peregrinación" de los diferentes átomos, y la capa del terreno y la superficie en cada lugar determinado de la esfera terrestre es sólo el reflejo de las distintas alteraciones químicas experimentadas por los átomos en los largos períodos de la variada historia de la Tierra.

Ahora sabemos que todo vive, todo se mueve, todo cambia en el tiempo y el espacio, y lo más móvil en la naturaleza, buscando constantemente nuevas formas y caminos, es el átomo, la piedra inicial sobre la que se construye el edificio maravilloso del mundo, que eternamente busca reposo y equilibrio,

obediente a las leyes fundamentales de los procesos naturales.

Busca, pero no lo encuentra ni lo hallará jamás, porque en la naturaleza no hay reposo, sino que sólo existe eterna materia en eterno movimiento...

**Capítulo XXXII****LOS ATOMOS EN LA CELULA VIVA**

A simple vista puede verse que los carbones se componen de restos vegetales. Los restos fósiles de conchas de moluscos marítimos crean con frecuencia capas calizas.

Pero si observamos al microscopio las calizas, la creta, la diatomita y muchas otras rocas de las llamadas sedimentarias, veremos que con frecuencia están constituidas en su totalidad por restos de esqueletos de organismos de dimensiones microscópicas.



En una palabra, en la Geología hace mucho que se reconoce el inmenso papel de los organismos que pueblan la esfera terrestre en todos los procesos que se verifican en la superficie de la Tierra.

La sustancia viva toma más o menos parte en los procesos geoquímicos tales como formación de rocas, concentración o dispersión de distintos elementos químicos, precipitación de sustancias del agua, formación de calizas a base de los esqueletos calcáreos de los organismos.

Pero no todos los organismos marinos tienen el esqueleto de cal. En algunos, por ejemplo, en las esponjas, el esqueleto es de sílice.

Pero lo más esencial es que en el proceso vital todos los organismos de la Tierra, vegetales y animales, extraen, absorben o se alimentan y de nuevo desprenden una cantidad enorme de diversas sustancias.

La velocidad de este proceso es especialmente grande en los organismos más diminutos: bacterias, algas simples y otros organismos inferiores. Esto está en relación con la gran velocidad de su multiplicación. Se subdividen cada cinco o diez minutos.

Pero su vida es de corta duración.

El cálculo muestra que en este proceso de multiplicación de células interviene una cantidad de sustancias mayor en muchos miles de veces que la cantidad contenida en cada momento dado en todos los organismos de la Tierra, plantas y animales, o, como se dice, en toda la sustancia viva del planeta.

Recordemos que las plantas verdes expuestas a la luz desprenden oxígeno de sus hojas y absorben anhídrido carbónico. El oxígeno del aire, creado de tal modo, oxida los restos vegetales y a ciertos minerales y es absorbido por los animales a través de la respiración.



*Figura 32.1 Aspecto general de un mineral oolítico de manganeso*

En las plantas, el anhídrido carbónico se transforma en hidratos de carbono, proteínas y otros compuestos. Figurémonos por un momento que desapareciesen los organismos de la superficie terrestre, de sus mares y océanos, en los valles y las montañas. ¿Qué ocurriría?

El oxígeno se ligaría a los restos de sustancia orgánica y desaparecería de la atmósfera. La composición de ésta sería diferente.

No existirían los organismos marinos microscópicos con sus esqueletos calcáreos, dejarían de formarse, por consiguiente, los estratos de calizas y creta, cesarían de elevarse las montañas de creta. La faz de la Tierra cambiaría por completo y sería diferente.

La actividad geoquímica de los organismos es extraordinariamente variada.

Organismos diversos pueden participar en los procesos más diferentes.

Para poner en claro el papel geoquímico que desempeñan los organismos hay que conocer antes que nada su composición química. Los organismos construyen su cuerpo a base de las sustancias extraídas de una a otra forma, del medio que les circunda, del agua, del suelo y del aire.

Desde hace mucho quedó establecido que el componente principal de los organismos es el agua,  $H_2O$ , en término medio el 80%, algo más en las plantas y un poco menos en los animales.

Por eso el elemento oxígeno ocupa el primer lugar (en masa) en los organismos.

Un papel exclusivo juega el carbono en la construcción del cuerpo de los organismos.

El carbono origina muchos miles de compuestos diversos con el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo, de los cuales se componen a su vez las proteínas, grasas, hidratos de carbono y el cuerpo de los organismos.

En la sustancia viva, la fuente principal para la formación de estas combinaciones carbonadas es el anhídrido carbónico. Además, los organismos contienen una cantidad considerable de nitrógeno, fósforo y azufre en forma de complejas combinaciones orgánicas.

Finalmente, en los organismos siempre hay calcio, sobre todo en los esqueletos, potasio, hierro y otros elementos.

Al principio se suponía que para todos los organismos tienen una importancia exclusiva los diez o doce elementos que se encuentran en ellos en mayor proporción.

Pero más tarde resultó que existen organismos que, aparte de estos diez o doce elementos químicos más frecuentes, acumulan hierro, manganeso, bario, estroncio, vanadio o muchos otros elementos químicos raros.

Así, por ejemplo, se descubrió que el silicio desempeña un papel importante en la vida de las esponjas silíceas, de los microscópicos radiolarios y algas diatomeas, cuyos esqueletos se forman de óxidos de silicio,

Las bacterias de hierro concentran este elemento en sus cuerpos. Se han descubierto bacterias que acumulan de manera análoga el manganeso y el azufre.

En los esqueletos de ciertos organismos marinos se ha hallado, en vez de calcio, bario y estroncio.

Algunos organismos, por ejemplo, los capsulógenos marinos invertebrados, seleccionan y concentran átomos de vanadio del agua marina y del limo marino, en los que existen sólo indicios insignificantes de este elemento.

Al morir estos organismos, el vanadio, en forma concentrada, se acumula en los sedimentos marinos.

Otros, como por ejemplo, las algas, extraen del agua del mar el yodo, existentes aquí en millonésimas por ciento. Después el yodo, junto con los residuos de las algas marinas, pasa al fondo del mar. En las rocas que más tarde se forman a base de este fondo, se originan aguas

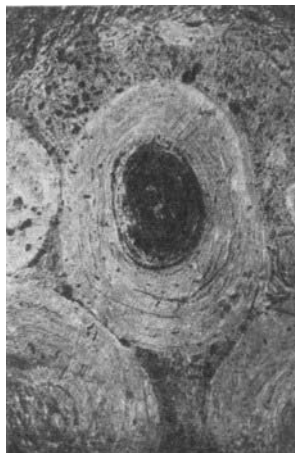


mineralizadas yodadas. Y nosotros obtenemos el yodo de las capas acuosas subterráneas, taladrando profundamente las rocas allí donde en sus tiempos hubo un mar.

La importancia geoquímica de tales *organismos concentradores* es enorme.

Cuanto más se perfecciona la técnica de investigación de la composición de los organismos, tanto mayor es el número de elementos químicos que encontramos en ellos, cierto es que en cantidades muy pequeñas.

Hubo un tiempo en que se consideraba que la plata, rubidio, cadmio y otros elementos químicos hallados en los organismos, eran simplemente impurezas casuales, pero hoy se ha establecido con toda firmeza que en la composición de los organismos prácticamente intervienen todos los elementos químicos. La cuestión consiste en determinar qué cantidad de cada uno de ellos contienen los distintos organismos. En la actualidad es precisamente este problema el que ocupa a los científicos.



*Figura 32.2 Cuadro microscópico de la estructura de oolitos en los minerales mangánicos, fotografiado con luz reflejada*

Podemos decir de antemano que la composición de los organismos no coincide con la del medio circundante: rocas, agua y gases tomados en conjunto.

Por ejemplo, los terrenos y rocas contienen en proporción considerable titanio, torio, bario y otros elementos químicos, en tanto que la cantidad de titanio existente en los organismos es decenas de miles de veces menor que en el suelo.



*Figura 32.3 Concha de amonita, convertida en el mineral marcasita (FeS<sub>2</sub>). Alrededores de la ciudad Ulianovsk en el Volga*

Por el contrario, en los terrenos y aguas hay poco carbono, fósforo, potasio y otros elementos químicos que se concentran en los organismos en cantidades considerablemente mayores. Desde el punto de vista geoquímico, en la actualidad queda claro que la masa fundamental del cuerpo de los organismos se compone de aquellos elementos químicos que en las condiciones de la superficie de la Tierra, o biosfera (región en que habitan los organismos de nuestro planeta), crean combinaciones móviles o gases. En efecto, el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , son gases o líquidos dotados de gran movilidad, asequibles para los organismos en el proceso de su vida. El yodo, potasio, calcio, fósforo, azufre, silicio y muchos otros forman con facilidad combinaciones solubles en el agua.



En cambio, el titanio, bario, circonio y torio, a pesar de encontrarse en cantidad suficiente en los suelos y rocas, no forman en la biosfera compuestos fácilmente solubles en el agua y, por tanto, privados de movilidad. Son menos accesibles o totalmente inaccesibles para los organismos que no los concentran. Se hallan en ellos en cantidades desproporcionadamente pequeñas.

En los organismos también hay poca cantidad de aquellos elementos insuficientes en la biosfera como, por ejemplo, radio y litio.

Los elementos químicos que se encuentran en los organismos en cantidades muy pequeñas (del orden de centésimas por ciento o menos) suelen denominarse microelementos.

En la actualidad se reconoce que el papel fisiológico de los microelementos es muy importante.



Figura 32.4 El hombre se compone de los mismos elementos químicos que constituyen la naturaleza muerta

Muchos microelementos entran en la composición de sustancias fisiológicamente importantes de los organismos, de modo análogo a cómo el hierro forma parte de la hemoglobina de la sangre, el

yodo entra en la composición de la hormona de la glándula tiroides de los animales, y el cobre y el zinc en la de los fermentos de los animales y plantas.

Podría componerse el mapa de la construcción anatómica de los organismos con indicación de dónde, en qué órganos y tejidos se concentran los elementos químicos. Pero a nosotros ahora nos interesa sólo el papel geoquímico de los organismos.

Debemos reconocer que los distintos organismos cumplen diversas funciones geoquímicas en dependencia de su capacidad de concentrar uno a otro elemento químico, o sea, dicho de otro modo, según sea su composición elemental química.

Los organismos "cálcicos", de cuyos esqueletos se originan las calizas, participan en la historia geoquímica del calcio y en la biosfera; los organismos que concentran silicio, vanadio y yodo juegan un papel importante en la historia de estos átomos.

Ante nosotros se plantea la tarea de estudiar la influencia de los organismos en la historia geoquímica de los distintos átomos en la biosfera, apreciar esta influencia y utilizarla.

Actualmente es ya posible hallar yacimientos de metales, observando el carácter de la vegetación del lugar dado y encontrando plantas conocidas concentradoras de estos metales. El mineral existente bajo el suelo contagia todo el terreno. En tales terrenos aumenta el contenido de níquel, cobalto, cobre y zinc y, en consecuencia, se eleva su contenido en las plantas.

Por esto ahora se analiza el contenido de estos elementos en las plantas. Si es elevado, se cavan zanjas y se perforan los pozos de sondeo. Así fueron descubiertos algunos yacimientos de cinc, níquel, molibdeno y otros.

Los organismos, vegetales y animales, están "habitados" a una determinada concentración de unos a otros elementos químicos en su medio (agua, suelo, rocas). Allí donde se hallan en cantidad mayor o, al contrario, menor, los organismos responden con cambios en su forma o tamaño. La escasez de yodo en las aguas, terrenos y productos alimenticios en ciertas regiones montañosas provoca en los hombres y animales el bocio endémico y la insuficiencia de calcio es causa de la fragilidad de los huesos, etc.

Todo esto muestra la estrecha relación de dependencia existente entre la naturaleza llamada muerta y la sustancia viva.

Las liga entre sí, la historia común de los átomos de los elementos químicos.

Y cuanto mejor y más detalladamente conozcamos la historia de las mutaciones y desplazamientos que experimentan los elementos químicos, los átomos, en la Tierra, con tanta mayor claridad y precisión podremos representar la actividad geoquímica de los organismos vivos, para lo cual antes que nada es necesario conocer su composición química elemental cuantitativa.



**Capítulo XXXIII****LOS ATOMOS EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD**

Siguiendo el curso de la historia de los descubrimientos de los elementos químicos nos encontramos con cosas extrañas y sorprendentes.

Los primeros elementos los conoció el hombre de paso, sin pensar en ellos, sin sospechar siquiera que poseía la clave con que una inteligencia aguda podía descubrir secretos importantísimos de la naturaleza. Con dificultad, con esfuerzos colosales fue penetrando en la conciencia, la idea deducida de la práctica sobre las sustancias simples que constituyen la base de la estructura de toda materia.

Los alquimistas no conocían la forma de diferenciar los cuerpos simples de los compuestos, sin embargo, conocían los metales y algunas otras sustancias, por ejemplo, el arsénico y el antimonio.

Los alquimistas y, algún tiempo después, los químicos denominaron a los metales con nombres de planetas. Al oro le llamaron Sol; a la plata, Luna; al mercurio, Mercurio; al cobre, Venus; al hierro, Marte; al estaño, Júpiter; al plomo, Saturno. Al arsénico y antimonio no se les consideraba como metales, a pesar de que se conocían muy bien sus propiedades de oxidarse y sublimarse al ser calentados.



Por desgracia, los alquimistas enmascaraban frecuentemente sus recetas con alegorías absurdas, y a veces indescifrables.

Tomemos, por ejemplo, la "mano filosófica de los alquimistas". En la palma se ve un pez, símbolo del mercurio, y fuego, símbolo del azufre. El pez en el fuego, es decir, el mercurio en el azufre, era, según la opinión de los alquimistas, la fuente originaria de todas las formas de sustancias.

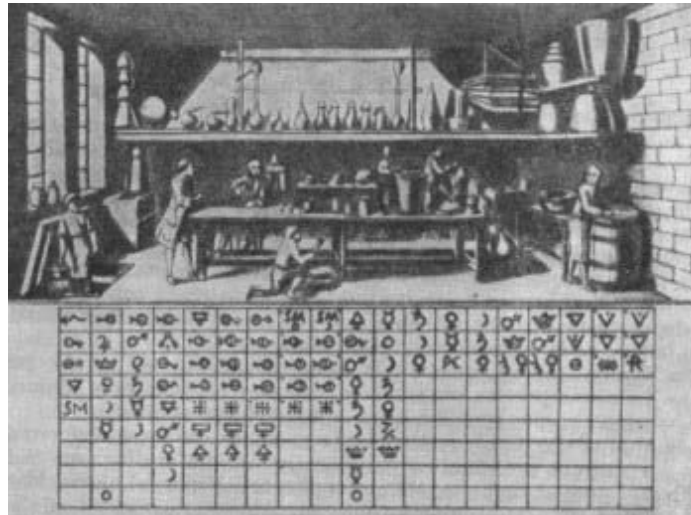
De las combinaciones de estos elementos, como los dedos de la mano, surgen cinco sales fundamentales, cuyos signos representativos están en las puntas de los dedos: una corona y la Luna, símbolo del salitre; una estrella de seis puntas, el sulfato ferroso; un Sol, el amoníaco; un farol, símbolo del alumbre; una llave, la sal común o de cocina.

Ahora se comprende que cuando un alquimista escribía: "al tomar el rey hay que hervirlo", tenía en cuenta el salitre, y al colocar en la retorta "una libra del dedo largo", pensaba en el amoníaco... Los alquimistas conocían también que a cada metal le corresponde su "tierra" o su "cal" y sabían obtener, empleando los ácidos, de todos los metales estas "cales" (o como ahora decimos, "óxidos"). Sin embargo, ellos creían que las "cales" eran cuerpos simples, mientras que los metales eran compuestos de "cales" con flogisto, principio especial volátil del fuego.

Fueron necesarios el genio e inmenso amor al trabajo que caracterizaban a Lomonósov y Lavoisier para demostrar que, por el contrario, la "cal de mercurio" era un cuerpo compuesto, formado por el mercurio y el gas oxígeno, recién descubierto por Priestley, y que el peso de este gas era exactamente igual al aumento en peso de la "tierra mercurial". Por ello, con razón se consideran los años de este descubrimiento (1763-1775) como los años del comienzo de la Química moderna y derrumbamiento de las fantasías alquimistas, que hacía ya tiempo obstaculizaban el estudio científico de la naturaleza.

En aquel entonces conocíanse varias decenas de elementos químicos; ya en 1669 Brandt descubrió el fósforo, a mediados del siglo XVIII fueron descubiertos el níquel y el cobalto, y se aprendió a obtener el metal zinc de la "tierra cínica". Finalmente, en América, el año 1748 Antonio de Ulloa describió un nuevo metal parecido a la plata, el platino.

Pero una verdadera revisión de todos los cuerpos "simples" comenzó solamente en el último cuarto del siglo XVIII y principios del XIX. En 1774 fueron descubiertos el oxígeno y el cloro. Diez años después, el sabio inglés Cavendish, al descomponer el agua por la corriente de baterías galvánicas, descubrió el hidrógeno y puso en claro la composición del agua. Los descubrimientos ulteriores de nuevos elementos prosiguieron regularmente: se tomaba un nuevo cuerpo natural y se descomponía en sus componentes. En varios casos se tropezó con elementos nuevos.



*Figura 33.1 Laboratorio químico del siglo XVIII. En la tabla inferior están representados los signos convencionales con que los científicos de aquel tiempo designaban diversas sustancias químicas. El primer signo de la primera columna de la izquierda representa el ácido; el más inferior de la columna segunda, el oro, etc.*

De esta forma fueron descubiertos el manganeso, molibdeno, wolframio, uranio y circonio, así como otros elementos.

En 1808, el sabio inglés Davy perfeccionó el método electrolítico, que mostró su fuerza y posibilidades en manos del sabio ruso Yakobi. Davy intensificó la potencia de la corriente y halló la forma de proteger contra la oxidación los productos resultantes de la electrólisis, utilizando petróleo y aceites minerales. De esta forma se obtuvieron los metales alcalinos en estado puro, descubriéndose el sodio, potasio, calcio, magnesio, bario y estroncio.



En el transcurso de 14 años, desde 1804 a 1818, se descubrieron 14 elementos (aparte de los ya mencionados, fueron descubiertos el yodo, cadmio, selenio y litio). A estos siguieron el bromo, aluminio, torio, vanadio y rutenio. Después viene una pausa; se requerían nuevos métodos de investigación, los antiguos habían ya agotado todas sus posibilidades.

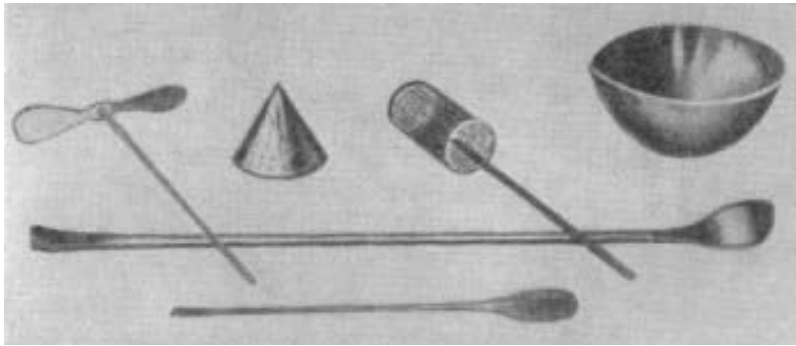
Sólo en 1859, al descubrirse el análisis espectral, se reanudaron los descubrimientos, pero ahora los de elementos semejantes por sus propiedades a los ya conocidos y estudiados, pues su diferenciación no era posible utilizando los antiguos métodos científicos de investigación. Fueron descubiertos el rubidio, cesio, talio, indio, erbio, terbio y algunos otros. Cuando Mendeléev descubrió en 1868 su famosa ley eran ya conocidos 60 elementos.

A partir de este momento, la ciencia adquirió la firme convicción de la existencia de unos a otros elementos.



Resultó que a cada elemento le corresponde un lugar determinado en la Tabla periódica, que el número total de elementos existentes es limitado y que las casillas vacías pertenecen a elementos todavía no descubiertos.

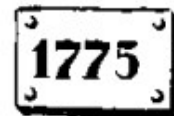
Mendeléev predijo las principales propiedades físicas y químicas de tres de ellos: el eka-aluminio (casilla N°31), el eka-silicio (N°32) y el eka-boro (N°21). Sus predicciones fueron plena y brillantemente confirmadas al ser descubiertos estos elementos. El eka-boro fue denominado escandio; el eka-aluminio, galio; y el eka-silicio, germanio.



*Figura 33.2 Recipientes químicos de tantalio. Son tan resistentes como los de platino, pero más baratos*

Sin embargo, no debe pensarse que el hombre conoció primero aquellos elementos que se encuentran con más frecuencia en la corteza terrestre, y después los más escasos o raros. Nada de eso. Por ejemplo, el oro, cobre y estaño existen en cantidades muy pequeñas en la corteza terrestre y, no obstante, fueron los primeros metales que conoció el hombre y que se emplearon en el progreso técnico. Mientras tanto, la proporción media de estaño en la superficie terrestre es de varias millonésimas partes, de cobre varias diezmilésimas, y de oro, tan sólo una o dos milmillonésimas.

Por el contrario, los elementos más difundidos en la corteza terrestre, como, por ejemplo, el aluminio que constituye el 7,5% de la corteza, fueron descubiertos mucho más tarde. Hasta principios del siglo XX, el aluminio se consideraba como un metal raro.



La causa es otra y reside precisamente en la facilidad que posee el metal para presentarse en estado nativo y en la frecuencia con que se encuentran acumulaciones naturales con predominio de este metal, lo que llamamos "yacimientos".

La capacidad de reunirse, concentrarse en un lugar dado es lo que facilitó el descubrimiento y utilización de los metales en la técnica para las necesidades de la humanidad.

El descubrimiento de cada elemento nuevo significa el comienzo del estudio de sus propiedades, en primer lugar, por parte de los químicos en sus laboratorios. Esto constituye, por decirlo así, los primeros conocimientos. Los químicos buscan lo específico del elemento, sus rasgos distintivos y originales.

Por ejemplo, ¿acaso no es curioso que el peso específico del litio sea 0,53, debido a lo cual este metal flota incluso en la bencina? El del osmio, por el contrario, es 22,5, o sea, es cuarenta veces más pesado que el litio. ¿No es interesante que el galio se funde sólo a 30°C, sin embargo, es casi imposible conseguir su ebullición, pues la temperatura que se requiere (2.300°) está más allá de los límites de temperaturas elevadas que suelen emplearse en la técnica? "¿Qué tiene esto de curioso?" preguntarán ustedes. Tratemos de describirlo.



Figura 33.3 Horno para fundir mineral de wolframio

Ocupémonos primero del galio. Los ingenieros y químicos utilizan en las fábricas y laboratorios intensos calentamientos y siempre desean saber hasta qué temperatura se calienta la prueba o pieza sometida a ensayo. Naturalmente, antes de nada es necesario medir la temperatura. Y qué desgracia: hasta  $360^{\circ}$  la medición se efectúa con facilidad, pero en el caso de temperaturas más elevadas la cuestión se complica. El mercurio hierve a  $360^{\circ}$ , por lo cual los termómetros de mercurio no pueden utilizarse. Y he aquí que el galio nos sirve. Si

tomamos vidrio refractario de cuarzo y llenamos con galio fundido un tubo graduado de este mineral, con semejante termómetro podremos medir tranquilamente temperaturas hasta casi de  $1.700^{\circ}$  y el galio no piensa aún en hervir. Si se emplea un vidrio todavía más refractario, podemos medir temperaturas hasta de  $2.000^{\circ}$ .

Hablemos ahora del peso. El peso, la gravedad, es algo oprimente que atrae hacia la Tierra. El peso se opone al movimiento, a la velocidad, a la ascensión a alturas desconocidas. Pero el hombre desea moverse de prisa por el suelo, anhela volar por el aire como los pájaros. Para esto hay que vencer a la gravedad y el hombre busca estructuras consistentes y ligeras construidas de material liviano y firme. Dos

metales resultaron especialmente adecuados para este fin: el aluminio, con peso específico 2,7, y el magnesio, cuyo peso específico es 1,74.

En los aviones modernos, la mayor parte de las piezas son de aluminio, mejor dicho, de sus aleaciones con cobre, zinc, magnesio y otros metales. Pero el aluminio adquirió su posición dominante no de repente, sino a base de una lucha tenaz por el mejoramiento de sus cualidades: solidez, dureza, elasticidad y resistencia ante el fuego y la corrosión. Cuando fueron superadas las dificultades para la obtención del aluminio metálico, este conquistó en primer lugar las cocinas.

En la fabricación de cacerolas, cucharas y jarros ligeros, limpios e inoxidables, fue en lo que se gastaron sus primeras reservas. Al principio no se le aplicaba en la técnica. ¿Para qué podía servir, dónde podría emplearse este metal blanco, no muy consistente, insoldable y muy fusible? El aluminio conquistó el mundo sólo después de descubrirse el duraluminio, dura aleación que se obtuvo por el "procedimiento de cocina", o sea, en un crisol con aluminio fueron adicionados alternativamente diferentes metales en distintas proporciones y cada nueva muestra de aleación se experimentaba, comprobando su tenacidad y otras propiedades.

En aquel tiempo nadie podía explicarse por qué el 4% de cobre, 0,5% de magnesio, mezclados con ínfimas cantidades de otros metales transforman el metal aluminio, blando y maleable, en dural, dotado de gran rigidez y capaz de templarse lo mismo que el acero. Las notables



propiedades del duraluminio no aparecen en el acto, lo que facilita y simplifica considerablemente su tratamiento ulterior. Una vez templado, el dural se mantiene blando todavía algunos días. Durante este tiempo "acumula fuerza", hasta que en el interior de la aleación se verifica la transposición de las partículas de cobre, que son las que constituyen el esqueleto del duraluminio.



*Figura 33.4 Moscú. Puente de Crimea, construido de duraluminio*

Pero existen otras aleaciones mejores incluso que el dural, por ejemplo, el "kolchugaluminio" ruso, que supera en rigidez al dural.

La aplicación industrial del dural y otras aleaciones ligeras tiene una importancia colosal para todos los tipos de transporte. El peso de un vagón de metropolitano o de tranvía construido de aluminio, es un tercio menor que el de otro semejante fabricado de acero. En un vagón de tranvía de acero, a cada plaza de pasajero corresponden cerca de 400 kilogramos de peso muerto. Si la estructura metálica del vagón se hace de aluminio, el peso por cada plaza de pasajero disminuye hasta 280 kilogramos.

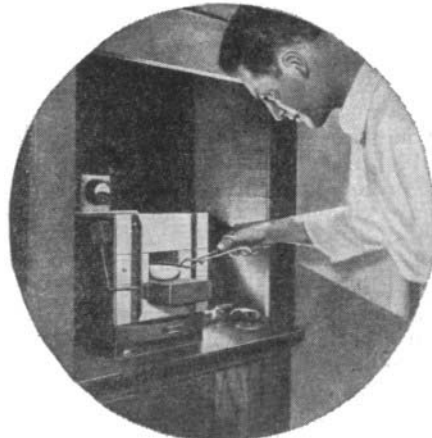
Muy interesante es la historia del magnesio: este metal puede decirse que fue descubierto dos veces. La primera vez lo descubrió Davy y, a partir de entonces, durante más de cien años se le consideró como uno de los metales más inútiles. Se le empleaba sólo para fines pirotécnicos, en forma de cintas y polvo. Pero en el siglo XX se descubrió que este metal de "juguetería" posee tan nobles propiedades que su aplicación podía provocar una verdadera revolución en distintas ramas de la técnica.

El aluminio dio al hombre verdaderas alas. Pero para el hombre simplemente volar es poco; hay que volar lo más lejos posible. Y he aquí que si el peso del metal de que se construye el avión se rebaja, por ejemplo, en un 20%, esto supone una tonelada más de bencina de reserva, o sea, miles de kilómetros más de vuelo. Pero ¿dónde encontrar un metal más ligero que el aluminio?

Y entonces se acordaron del magnesio, cuyo peso específico es 1.74, es decir, el 35% menor que el del aluminio. Sin embargo, el magnesio no posee las cualidades que debe tener un metal destinado a la construcción, esto es rigidez y, sobre todo, resistencia a la oxidación. El magnesio se descompone incluso por la acción del agua hirviendo, de la que toma el oxígeno, convirtiéndose en polvo blanco, el óxido magnésico. Y en el aire arde mejor que la madera. Pero los químicos e ingenieros constructores no se desanimaron; ellos sabían que las aleaciones les ayudarían a encontrar un metal con las cualidades requeridas. Y, en efecto, resultó que una pequeña adición de cobre, aluminio y zinc privan al magnesio de su combustibilidad y le

conceden una rigidez análoga a la del dural. Todas las aleaciones que contienen más del 40% de magnesio, se denominan "electros". En la composición de los "electros", aparte del magnesio, entran el aluminio, zinc, manganeso y cobre.

Así es como ahora, en el siglo XX, el magnesio fue descubierto por segunda vez y en seguida se conquistó un lugar firme como el metal de la construcción de aviones. Especialmente amplia es su aplicación en los motores de aviación. Las piezas de aleaciones de magnesio poseen una gran rigidez y resistencia a la fatiga.



*Figura 33.5 Horno para la obtención de molibdeno metálico*

¿Es que acaso los metales "se fatigan"? Sí, por desgracia. El muelle de acero que se estira y se encoge cientos de miles de veces pierde su elasticidad, se vuelve frágil y se rompe: "se cansa". El eje de un motor al "envejecer" se rompe. Y la técnica ha descubierto que algunas aleaciones son "incansables"; en ellas los átomos de distintos metales se adaptaron tan bien unos a otros, que su ligazón no se debilita a pesar de los golpes. Tales son las aleaciones de magnesio. Claro está, que con la construcción de aviones no se agotan las posibilidades de utilización del magnesio. Se emplea también ampliamente en la construcción de automóviles. Los instrumentos y piezas, hechos (de aleaciones de magnesio, se distinguen por su gran solidez y ligereza; son cinco o seis veces menos pesados que los de acero, poseyendo la misma tenacidad y, a veces, incluso mayor. El magnesio es un metal muy difundido en la corteza terrestre: se le encuentra en todas partes. Lo mismo que el hierro, forma con facilidad grandes concentraciones, de donde no es difícil su extracción. Le contienen en gran cantidad el agua de mar y los lagos salinos.

El principal mineral magnésico es la carnalita (cloruro doble de potasio y magnesio), extraordinariamente abundante en la Unión Soviética. Grandes reservas existen en los yacimientos de Solikamsk, donde se encuentra formando capas bajo el suelo a profundidades de 100-200 metros de la superficie. La carnalita se vuela con amonal, se tritura en el fondo de las minas con machacadoras mecánicas y se envía a la superficie.

El proceso de separación del magnesio del cloro es muy laborioso, pues ambos elementos están ligados íntimamente entre sí. Para esto se funde la carnalita y se somete a electrólisis haciendo pasar corriente continua. La electricidad rompe los lazos que unen entre sí al magnesio y al cloro, y el metal blanco, en estado líquido, fluye en forma de chorro vivo, siendo recogido en lingoteras. Ahora ha llegado el momento de obtener magnesio del agua marina cuyo contenido salino alcanza el 3,5%, del cual la décima parte corresponde al magnesio. Por consiguiente, 1 metro cúbico de agua de mar contiene 3,5 kilogramos de magnesio metálico.

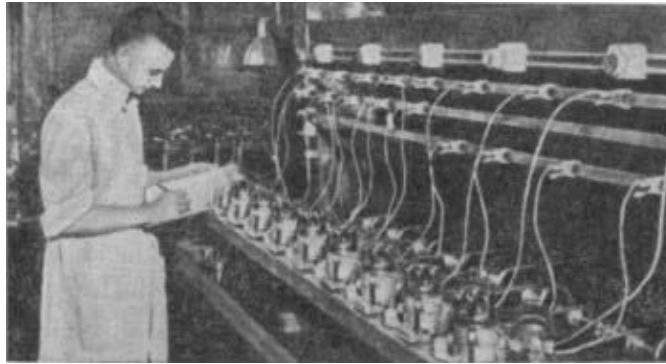


Figura 33.6 Comprobación de contactos de wolframio en un laboratorio especial

El proceso de obtención es muy simple. El agua de mar se filtra, se vierte en cubas especiales y se añade cal apagada en polvo, con lo cual se deposita, en forma de lodo, el hidrato magnésico. Se le deja reposar para que sedimente y se decanta el agua. Los sedimentos se secan en filtros, se neutralizan con ácido clorhídrico y se les deshidrata definitivamente. El cloruro de magnesio



obtenido pasa a la electrólisis en estado fundido, a  $700^{\circ}$  aproximadamente, como la carnalita. En esto consiste todo el proceso. Pero el magnesio no es sólo un metal para la construcción. La técnica no olvida que arde, alcanzando una temperatura hasta de  $3.500^{\circ}$ . El magnesio es uno de los componentes principales en los broncees especiales, en el polvo aluminomagnésico, la mezcla más enérgica para bombas incendiarias. El magnesio es muy necesario para la industria y tiene por delante un brillante porvenir.

Ocupémonos nuevamente de los aviones. Hay otro metal "volador" del cual comienzan a ocuparse los constructores de aviones. Se trata del berilio. Su peso específico es 1,84, pero es más estable y "fuerte" que el magnesio.

Las aleaciones de berilio superan en calidad a todas las aleaciones empleadas hasta ahora en la construcción de aviones. Las herramientas hechas de estas aleaciones funcionan sin ruido y no producen chispas.

El berilio eleva la calidad de las aleaciones de magnesio, comunicándoles extraordinaria rigidez y resistencia a la oxidación. Una adición insignificante de berilio al magnesio evita la necesidad de proteger a este metal de la oxidación durante el vaciado en moldes.

Y surge la pregunta: ¿no hay aleaciones aún más ligeras?

Recordemos el metal litio, cuyo peso específico es 0,53, aproximadamente igual al del corcho. La adición de pequeñas cantidades de litio a las aleaciones de aluminio y magnesio les trasmite especial dureza.

Por desgracia, todavía no se han conseguido aleaciones resistentes con gran cantidad de litio. Pero vale la pena buscarlas porque el litio es un metal abundante que existe en la corteza terrestre en la misma proporción que el cinc, y se encuentra en cantidades considerables en algunos yacimientos en forma de espodúmenos y micas de litio.

En consecuencia, si, por ejemplo, las aleaciones de litio y berilio resultan convenientes, puede obtenerse el litio en cantidad suficiente. Pero los trabajos dedicados al estudio de las aleaciones de litio aún no han sido coronados por el éxito y constituyen una tarea del día de hoy.



El litio se encuentra en las aguas minerales, y los médicos adjudican a las aguas ricas en litio (como, por ejemplo, las aguas de Vichy, en Francia) especiales cualidades curativas. Pero la perspectiva más verosímil es la de obtener un metal ligero, consistente e inoxidable para los aviones.

Pero los metales y aleaciones ligeros no han sustituido aún ni con mucho a los metales ferrosos (hierro, acero y sus aleaciones), ni en el transporte ni en otros muchos aspectos de la industria. Hablaremos de estos "viejecitos" que a pesar de todo se sienten aún muy jóvenes y fuertes y dan constantemente nuevas aleaciones de excelente calidad.



Si tenemos en cuenta todos los aceros complejos (llamados de aleación), vemos que se componen de una serie de metales semejantes entre sí: hierro, titanio, níquel, cobalto, cromo, vanadio, manganeso, molibdeno y wolframio. Todas estas aleaciones son aceros, esto es, hierro carbonado cuya calidad se mejora esencialmente con la adición de los metales raros.

Siguiendo el camino de sustituir partes de hierro por metales raros, llegaron los tecnólogos a aleaciones que ya no contienen hierro. Así, por ejemplo, la estelita constituida de wolframio, cromo y cobalto. Esta aleación fue la iniciadora de una serie de aleaciones extrarrápidas muy conocidas en la actualidad, que aportaron a la técnica velocidades sin precedentes en el corte de metales: al principio de 70-80 y ahora de centenares y millares de metros por minuto.

El wolframio dio nacimiento a las aleaciones extrarrápidas y con ello a la potente técnica de corte de metales.



*Figura 33.7 En el aeropuerto de Moscú Vnukovo. Avión de reacción*

El wolframio y el molibdeno proporcionaron cientos de tipos nuevos de aceros, extraordinarios por su resistencia mecánica, estabilidad térmica y capacidad perforante, que se utilizan para la fabricación de blindajes, ballestas, proyectiles, etc.

Seguramente no existe ninguna rama de la técnica en que no se hayan verificado modificaciones cardinales relacionadas con el descubrimiento de las propiedades de tales metales raros como el wolframio, molibdeno y otros.

Y, a propósito, la denominación "raros" para ellos es ya un anacronismo. Si tomamos en consideración su abundancia en la corteza terrestre, de molibdeno hay dos veces más que de plomo, y de wolframio incluso siete veces más. ¿De dónde son "raros"? En la industria también

se van haciendo habituales y su producción anual aumenta rápidamente, alcanzando a la de otros metales corrientes, no "raros".

Las aleaciones de acero al molibdeno se emplean en la fabricación de tubos de cañones y cureñas. El acero al molibdeno-manganeso se utiliza como material para blindajes y proyectiles perforadores.

Los constructores de automóviles y aviones presentan tres exigencias fundamentales al metal: elasticidad máxima, gran maleabilidad y alta resistencia a conmociones prolongadas y golpes frecuentes.



*Figura 33.8 Yacimiento de molibdeno en Climax (montañas del Colorado). Aquí el molibdeno se halla formando capas en la masa de granito. A la derecha se ve una fábrica de enriquecimiento.*

El aumento del consumo de molibdeno en estos últimos años se explica precisamente por su amplia aplicación en los ejes, bielas, mecanismos de apoyo, motores de aviación y tuberías, sobre todo aleado al cromo y al níquel.

Otro aspecto de la utilización del molibdeno es en la fundición gris de alta calidad. Una adición insignificante de 0,25% de molibdeno aumenta las propiedades físicas del hierro colado, entre ellas la resistencia a la flexión y a la tracción, así como su dureza.

El wolframio y el molibdeno, en forma de filamentos finos, se usan en gran escala en electrotecnia para las lámparas de vacío. Los filamentos de las lámparas de incandescencia se hacen de wolframio. La temperatura de fusión del wolframio ( $3.350^{\circ}$ ) es la más alta de todos los metales. El carbono es el único elemento que funde a temperatura todavía más elevada,  $3.500^{\circ}$ .

Próximos al wolframio, por lo que respecta a la temperatura de fusión, se encuentran dos elementos: el tantalio ( $3.030^{\circ}$ ) y el renio ( $3.160^{\circ}$ ). Con el molibdeno, cuya temperatura de fusión es  $2.600^{\circ}$ , se hacen los ganchitos que sujetan la espiral incandescente de wolframio en las bombillas eléctricas.

La demanda de compuestos y aleaciones termorresistentes ha aumentado bruscamente al desarrollarse la aviación ultrasónica. Para salvar la "barrera térmica", es decir, el calentamiento y reblandecimiento de la estructura de los aviones que produce el roce con la atmósfera, los constructores necesitan materiales nuevos de propiedades desconocidas hasta ahora.

Como vemos, descubrir un elemento no es suficiente, hay que estudiarlo y hallar en él la cualidad que le haga valioso para la elaboración de artículos determinados, y entonces el elemento, como si dijéramos, se descubre por segunda vez y se vuelve útil y necesario. Así son, por ejemplo, los



contactos de wolframio en los motores de automóvil, donde una lámina fina de una décima de milímetro de este metal asegura un buen contacto en el interruptor que funciona sin fallos cientos de horas.

¿Acaso no es interesante otro ejemplo, el niobio? El niobio se consideraba un elemento inútil que "impurificaba" al tantalio. Ambos, por lo general, se encuentran juntos en la naturaleza. Pero cuando se descubrió que el acero con "impurezas" de niobio constituye un maravilloso material para la soldadura eléctrica de objetos de acero, con una gran solidez de la junta de soldadura, el niobio se hizo tan necesario como el tantalio.

El empleo de los elementos nuevos en la industria se halla, naturalmente, muy lejos de ser definitivo, ya que el avance del progreso técnico es ilimitado. Aquí les corresponde un lugar de honor a los químicos y a los geoquímicos.

Pero ¿cuál es la influencia del progreso técnico sobre la Tierra, que constituye el manantial de todas las sustancias imprescindibles para la industria? El hombre se afana a su modo por revolver la corteza terrestre, sacando de ella todo lo que le es necesario, sin pensar en que lo que toma ya no vuelve más. ¿No agota el hombre la Tierra?



*Figura 33.9 Extracción de mineral por medio de excavadoras*

He aquí cuestiones que acuden a la mente cuando observamos el desarrollo general de la humanidad en la Tierra. Y existe aún una circunstancia que incita a plantear esta pregunta: el aumento constante de la cantidad de productos útiles que se extraen anualmente de las entrañas de la Tierra.

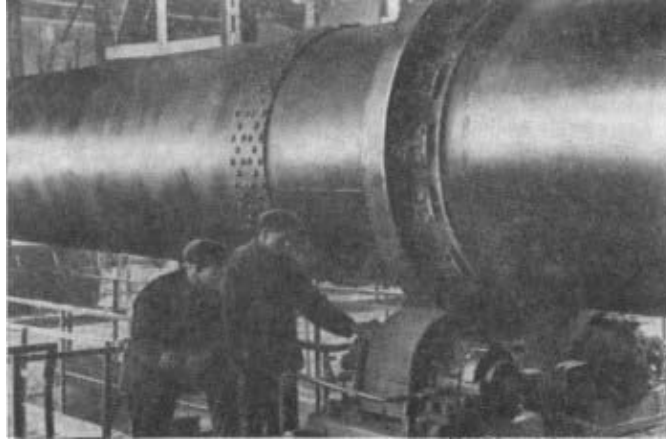
Recuerdo el relato de un ingeniero que frecuentó las explotaciones mineras. Se alojó en una casita cerca de una montaña de magnesita y al cabo de dos o tres semanas la montaña ya no existía: había sido transportada a la fábrica metalúrgica.

Basta con observar las montañas de escoria arrojadas por nuestras fábricas metalúrgicas para comprender que la actividad humana es un factor geológico modificador de la corteza terrestre. Uno de los problemas más importantes de la economía química mundial es el destino del carbono, en el que el hombre interviene con especial energía. El carbono se halla en la naturaleza en tres formas: como sustancia viva, como depósitos de carbón y petróleo en la zona superficial de la corteza terrestre, y en forma de óxido, anhídrido carbónico, existente en la atmósfera y en



las aguas de los ríos y océanos. Pero el anhídrido carbónico unido al calcio se encuentra más que nada en las duras calizas.

En la atmósfera hay más de dos billones de toneladas de gas carbónico y, en consecuencia, 600.000 millones de toneladas de carbono.



*Figura 33.10 Horno giratorio para la calcinación de materiales carboníferos, instalado en el taller electrodico de una fábrica de aluminio*

El hombre extrae anualmente más de mil millones de toneladas de carbón y cientos de millones de toneladas de petróleo y turba. Uno y otro son quemados por él, transformando el carbono en anhídrido carbónico. De tal modo, en la atmósfera ingresan al año varios mil millones de toneladas de anhídrido carbónico, y después de doscientos o trescientos años debiera duplicarse su cantidad si no existiesen otros procesos contradictorios, como son su disolución en el agua de los océanos y su absorción por las plantas.

Empleando el carbono de las capas carboníferas, el hombre facilita la dispersión y difusión de este elemento, lo que se verifica en escala tan considerable, que su actividad adquiere proporciones de verdaderas transformaciones geológicas.

Con energía análoga interviene el hombre en la suerte de los metales. Tiene en circulación cerca de mil millones de toneladas de hierro y objetos de hierro, en forma inestable de metal nativo que se oxida.

La oxidación o corrosión desvaloriza, en un determinado período de tiempo, casi tanto hierro como el que se obtiene en este mismo plazo, así que la acumulación de reservas de hierro no consigue superar a su dispersión.

Algo mejor es la situación en el caso del oro. Al año se consume en reactivos, dorados y pérdidas por el uso cerca de una tonelada, es decir, mucho menos de lo que se extrae (cerca de 600 toneladas).

Y metales tales como el plomo, estaño y zinc, son extraídos por el hombre de los depósitos naturales casuales, los llamados yacimientos, solamente para que en el proceso de su aplicación resulten dispersados para siempre.

Las actividades ingenieriles y agrícolas del hombre son también comparables por su magnitud con la influencia de los procesos naturales.

Una enorme importancia geoquímica tiene el laboreo de la superficie superior de la tierra, o sea, el terreno de cultivo, para las necesidades de la agricultura, ya que como resultado de esta labranza más de tres mil kilómetros cúbicos de tierra se hacen asequibles anualmente a la acción enérgica del agua y aire atmosféricos.



*Figura 33.11 Laboratorio para el ensayo de las propiedades físicas de los minerales*

Las plantas de cultivo extraen del terreno enorme cantidad de sustancias minerales: 10 millones de toneladas de anhídrido fosfórico y 30 millones de toneladas de nitrógeno y potasio. Esta cantidad es muchas veces mayor que la que se introduce en el terreno por medio de fertilizantes. Los elementos extraídos se incorporan al ciclo del mundo animal y, al fin y al cabo, son diseminados.

En consecuencia, el hombre, con su actividad agrícola y técnica, verifica la dispersión de las sustancias. Anualmente se extrae de las minas más de un kilómetro cúbico de minerales. Si añadimos a esto la construcción de diques, canales de irrigación, etc., esta cifra puede duplicarse y hasta triplicarse.

La cantidad de escorias de todos los hornos metalúrgicos del mundo también alcanza seguramente el kilómetro cúbico. Y ¡cuántos residuos de la industria química arroja el hombre a la superficie terrestre!

Si comparamos estas cifras con los 15 kilómetros cúbicos de sedimentos arrastrados anualmente de la corteza terrestre por las corrientes fluviales, habrá que reconocer que la actividad humana puede ser considerada como un factor tan serio como la actividad de los ríos.

En el presente nuestra actividad influye en la naturaleza que nos rodea en tal escala que la humanidad ya no puede contemplar con indiferencia los cambios que se producen en la biosfera, cuyas consecuencias resultan perjudiciales para nuestro futuro.

Y en la edificación, ¡cuántas piedras y cemento se gastan anualmente! En la URSS, la intensa construcción urbana emplea al año más de mil millones de toneladas de distintos materiales.

La transformación de la naturaleza por el hombre adquiere un ritmo cada vez más acelerado. Si consideramos las reservas totales de metales en la Tierra, son tan grandes que por ahora no merece la pena hablar de su agotamiento. Pero de estas reservas, no todas pueden ser utilizadas, ya que en la práctica la industria sólo puede explotar las concentraciones ricas de uno a otro metal. Y estas no son tantas.

Las reservas reales de muchos metales apenas satisfacen las exigencias de la industria. Por esto, todo un ejército de geólogos exploradores y geoquímicos deben buscar intensamente metales para abastecer la creciente demanda de la industria.



## **Capítulo XXXIV**

### **DE LA HISTORIA DE LAS IDEAS GEOQUIMICAS**

No quisiera que el lector pensase que ahora ya está todo claro para nosotros, que todo es conocido, que se han descubierto todos los elementos. Que no se crea que nuestros conocimientos se obtuvieron fácilmente, que la ciencia de la Química de la materia se desarrolló por sí sola, sin lucha y búsquedas, sin largos y tenaces trabajos.

No, amigos. El pasado de la ciencia nos enseña que millares de gentes lucharon durante muchos centenares de años por las verdades científicas, cometieron errores, buscaron nuevos caminos, trabajaron día y noche en viejos laboratorios subterráneos, combatieron la ignorancia, contra el yugo de la iglesia y los monasterios, lucharon por la comprensión de la naturaleza.

¡Y esta comprensión no se consiguió de golpe! Recuerdo una ocasión en que nos encontrábamos en la costa del lago Vudiyavr, en la península de Kola. Ante nosotros una ciudad, a la que llevaba una carretera circulada por automóviles. Y sólo con un gran esfuerzo pude evocar en mi imaginación el cuadro de la tundra salvaje y hosca, casi sin vida, fría, como yo la vi por primera vez sólo diez años antes.

Un recién llegado, viendo ahora la populosa ciudad, las amplias y rectas carreteras, los camiones que transitan velozmente por ellas, la comarca ya poblada, no podría figurarse que hace poco aún esto era una apartada tundra. ¿Acaso pensaría él en los investigadores que hace unos años deambulaban aquí por veredas intransitables a la busca de yacimientos y minerales? ¿Y cuántas privaciones y trabajo costó indagar las riquezas ocultas en la severa tundra para despertar a la vida esta región?

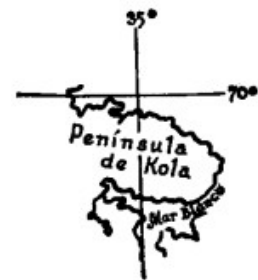
Así ocurre también con la ciencia. Al estudiar los progresos del pensamiento científico moderno, mirando desde las cúspides conquistadas las halagadoras perspectivas del futuro próximo, nos olvidamos de cuán dificultosa y lentamente, a fuerza de cuántos sacrificios y privaciones, fue desbrozado el bosque espeso de la ignorancia.

La ciencia que denominamos Geoquímica nos habla de la historia de los elementos químicos de nuestro planeta. Unicamente pudo formarse de modo definitivo en los últimos tiempos, no sólo cuando se hizo real la noción de la construcción atómica de la materia, sino cuando la ciencia penetró profundamente en la configuración del átomo y aclaró los rasgos generales de su estructura.

La Geoquímica contemporánea surgió a principios del siglo XX. Pero en un sentido más amplio, las ideas geoquímicas que examinan la noción del elemento químico, la composición química de los minerales y síntomas de reconocimiento de las menas y minerales útiles, existían ya y se desarrollaron durante los últimos tres o cuatro siglos. Base de la Geoquímica fueron la Mineralogía y la Química, que en su desarrollo atravesaron numerosas etapas antes de alcanzar su estado actual.

En su lucha por la existencia, el hombre aprendió ya en tiempos prehistóricos a buscar piedras que le sirvieran para la preparación de armas e instrumentos de producción. Y ya entonces hirió su imaginación la belleza de las gemas preciosas.

En períodos más avanzados de su progreso, empezó a interesar al Hombre qué es la Tierra y cómo surgió. Comenzaron a germinar leyendas sobre el origen del mundo, llamadas cosmogonias, que poco a poco se trocaron en concepciones más positivas. En los pueblos más cultos de la antigüedad, a las márgenes del Mediterráneo, existían ya hipótesis bastante avanzadas, expresadas, por tales pensadores como Demócrito, Aristóteles y Lucrecio.



De singular interés son los puntos de vista del más grande naturalista de la antigüedad.

Aristóteles (384-322 a. n. e.) que ya consideraba la tierra como de forma esférica: el mundo tiene forma de esfera y la tierra, como más pesada ocupa el centro; alrededor de ella está el agua, después la envoltura de aire que forma la geosfera. El elemento más ligero es el fuego y después el éter. Tierra, aire, agua, fuego y éter constituye, los cinco elementos cualitativos. Pese a lo erróneo de muchas concepciones de Aristóteles, su influencia en el desarrollo de las ciencias naturales fue exclusivamente grande. Marx le consideraba el mayor de los pensadores de la antigüedad, que supo sintetizar en sus obras todas las ciencias naturales de su época.



**Aristóteles**

Teofrasto (371-286 a. n. e.), discípulo de Aristóteles, hizo las primeras listas de los minerales conocidos en aquel tiempo y llevó a cabo un intento de su clasificación. Con pleno derecho se le puede considerar como el fundador, no sólo de la Mineralogía, sino también de la ciencia que estudia el suelo y las plantas.

En el siglo I de nuestra era se destaca un trabajo, notable para su época, del investigador romano Plinio el Viejo que pereció durante la erupción del volcán Vesubio en el año 79. En este trabajo, junto a tradiciones fantásticas, se comunican muchos datos exactos sobre diferentes minerales, algunas de cuyas denominaciones se conservan hasta nuestros días.

Con el comienzo de la Edad Media se detuvo el desarrollo de las ciencias exactas en Europa. En este periodo las ciencias naturales y la Química progresaron principalmente en Oriente.

En los originales tratados de los sabios árabes de los siglos IX y X encontramos indicaciones sobre la existencia de determinados metales en la naturaleza. Así Luca Ben Serapión, en la introducción a su obra *Libro de las piedras* hablaba de que "se encuentran piedras que se juntan con otras o que huyen unas de otras; piedras a las cuales otras alteran, igualmente que piedras a las que otras colorean".

Sin duda, la búsqueda de minerales y su tratamiento para obtener metales y aleaciones, fueron el aliciente constante para las ideas sobre las condiciones de acumulación conjunta de los elementos químicos. Las generalizaciones originadas por ello sobre el "afecto" y "odio" entre las distintas sustancias constituyeron las primeras leyes geoquímicas que no han perdido su significación hasta el presente.

Es interesante el trabajo del filósofo Avicena, natural de Bujará (985-1037), que escribió un tratado sobre minerales, en que los clasificaba:

- 1) piedras y tierras.
- 2) compuestos combustibles y sulfurosos,
- 3) sales y
- 4) metales.

Otro sabio destacado Al-Biruni (973-1048), nacido en Jorezm, escribió un libro notable en lengua árabe *Compilación de datos sobre el estudio de los minerales preciosos*, en el que recogió todos los datos de la Mineralogía de aquel tiempo.

Las obras de alquimia en árabe, aparecidas en el siglo IX, tienen gran importancia en la historia del progreso de la Química, por cuanto en ellas se plantean por primera vez tareas de investigación con métodos netamente químicos.

Los alquimistas se dedicaron especialmente a la síntesis, es decir, trataban de obtener nuevas sustancias a base de las ya conocidas.

La cuna de la alquimia fue Alejandría, de donde se extendieron a Siria los conocimientos y práctica de la Química. De los sirios la alquimia pasó a los árabes que la introdujeron en Europa a través de España.

Es costumbre considerar la alquimia como un falso artificio para obtener oro de otros metales. En efecto, los alquimistas medievales se dedicaron principalmente al enriquecimiento de los metales comunes, esforzándose por transformarlos en oro o plata. Sin embargo, no sólo les preocupaba la solución de este problema, sino que también buscaban medios curativos y la "piedra filosofal".

Paulatinamente, el fracaso de sus experiencias en transformación de metales impuso a los alquimistas la necesidad de buscar otras aplicaciones a su arte. Su atención se concentró en la salud humana y la alquimia se convirtió en auxiliar de la medicina.



Pese a que se les acusa de charlatanería, la aportación de los alquimistas al progreso de la Química fue enorme, ya que llevaron a cabo un sinnúmero de los más variados experimentos químicos y, aunque sus ideas motrices fueren erróneas, obtuvieron resultados considerables.

El célebre filósofo Leibniz escribió con gran acierto sobre los alquimistas: "...eran gentes habituales, de gran imaginación y práctica, pero su fantasía y su experiencia se hallaban en desacuerdo. Se alimentaban de puras ilusiones, lo que les conducía al fracaso o los dejaba en ridículo ante todos. Y frecuentemente, estos hombres sabían de la práctica y observación de la naturaleza más hechos y fenómenos que algunos sabios respetables".

Empieza la época del Renacimiento. Su advenimiento se señala por el paso a una nueva, más elevada etapa de cultura.

El primer impulso para el progreso de la Mineralogía fue el florecimiento de la industria minera en Hungría, Sajonia y Bohemia.

Los magníficos trabajos de Jorge Agrícola (1490-1555), médico y mineralogista del centro minero de Sajonia, crearon la base para una comprensión exacta y profunda del objeto de la Mineralogía y la Geoquímica. Su Verdadero nombre era Georg Bauer.

Dejó escritas numerosas obras que representan una recopilación de los conocimientos existentes en aquel tiempo sobre yacimientos minerales.

Sus libros más notables fueron *De natura fossilium* (1546) y *De re metallica* (1556?). Su clasificación de los minerales tiene ya un carácter científico. Por vez primera introduce en ella la noción de la complejidad de los compuestos, es decir, los principios químicos. Este sistema sirvió de fundamento para todos los trabajos mineralógicos posteriores, hasta el siglo XVIII inclusive.



El químico y mineralogista sueco Juan Jacobo Berzelius (1779- 1848) efectuó análisis químicos de minerales y fue el primero que les dio verdadera clasificación química y que empleó el término "silicatos".

Un gran papel en la historia de la Geología y la Mineralogía corresponde a las sociedades científicas y academias, sobre todo, la más antigua de ellas, la *Academia del Cimento* creada en 1657. En el año 1662 se organizó en Londres la *Sociedad Real*, que hasta el presente es la Academia de la Gran Bretaña.

Desde fines del siglo XVII y, principalmente, a principios del XVIII, las sociedades científicas y grandes museos de curiosidades alcanzan gran difusión. Un papel enorme en el progreso de las ciencias jugó la Academia de Ciencias sueca y después la rusa, fundada el año 1725 en Petersburgo.

Las ideas geoquímicas recibieron su primera expresión clara en Rusia en los trabajos de M. Lomonósov (1711-1765): *Sobre la constitución de las capas terrestres y Origen de los metales*. Lomonósov fue quien primero estableció las "peregrinaciones" que experimentan los metales y minerales. "Los metales se desplazan de un lugar a otro", fue su observación genial. Creó los fundamentos de una nueva concepción del mineral como producto resultante de la vida dala corteza terrestre, concepción que en el siglo XX sirvió de base a una nueva ciencia: la Geoquímica.

Sobre Lomonósov se han escrito decenas de libros, centenares de artículos. Los más destacados investigadores, sabios, escritores y poetas, dedicaron sus mejores páginas al análisis de este coloso de la mente rusa, sin que por ello se llegara a agotar el tema.

Lomonósov concebía la ciencia, no sólo como una simple descripción de fenómenos, sino también como el estudio y explicación de ellos. Consideraba que hay que estudiar no los cuerpos en si mismos, sino su estructura interna y las causas que la originan, así como las fuerzas que actúan en el interior de la materia. Entendía que la ciencia, en todos sus aspectos, depende de la resolución de una cuestión primordial: ¿Qué es la materia? ¿Cómo está construida y do qué se compone?

Y Lomonósov llega a la conclusión de que la materia se compone de partículas independientes que poseen atracción peculiar, inercia y movimiento. Unas de ellas, más pequeñas, son los átomos simples; otras, mayores, las moléculas. Todas ellas son imperceptibles para nuestro vista y se encuentran en un estado constante de rotación y movimiento. Esta hipótesis admirable, en esencia, concuerda son las actuales concepciones atomísticas.



*Figura 34.1 Exploración de yacimientos minerales. Dibujo de un libro de Agricola (1556)*

Lomonósov demostró, con cerca de medio siglo de anterioridad al gran químico francés Lavoisier, que en la naturaleza nada puede perderse, con lo que estableció en esencia la gran ley de la naturaleza, la ley de la conservación de la materia y la energía.

Ahondando paulatinamente en el estudio de la naturaleza de las partículas primordiales, Lomonósov pasa de la Física a la Química... La Química, que es la ciencia que estudia los cambios en la composición de los cuerpos, es, por tanto, una ciencia dependiente de fenómenos físicos y mecánicos.

En su brillante Discurso en favor de la Química, pronunciado en uno reunión general de la Academia de Ciencias en 1751, descubre las grandiosas perspectivas de la nueva Química.

Rechaza las viejas ideas de los alquimistas, surgidas de sus misteriosos laboratorios, y construye los cimientos del nuevo edificio de la Química, en el que dominan el número, el peso y las leyes matemáticas. Estas ideas las lleva también a la práctica.

En 1748, tras largos años de lucha, organiza al fin en Petersburgo, en la península Aptiéarski, el primer laboratorio científico de Química en Rusia, donde lleva a cabo el cálculo exacto de mediciones, peso y proporciones de la materia.

En los altos 1752-1753, Lomonósov da un curso, el primero en el mundo de Química física. "La Química extiende ampliamente sus brazos en los asuntos humanos", dice, y trabaja tenazmente en la satisfacción práctica de las necesidades de su país. Obtiene una nueva composición de cristal óptico; después de tres mil experimentos, comienza la preparación de esmaltes de color para mosaicos y construye una fábrica especial de mosaicos: estudia la composición de los minerales de los Urales y se dedica a los problemas del salitre y el fósforo. Entre las primeras tareas del nuevo laboratorio experimental, Lomonósov plantea la preparación de sustancias puras. Esto le induce al estudio de los metales puros, sales y salitre, y las antiguas lecciones de Tecnología y Mineralogía renacen con forma nueva. Para él, el mineral es una mezcla de partículas primarias y sus cualidades dependen de la "unión mutua ea las partículas".



Las piedras, como cualquier otra cosa, tienen su historia, su vida y su muerte, y Lomonósov invita al estudio de los minerales de la naturaleza aplicando métodos nuevos.

Relaciona las condiciones en que se verifica la formación de los minerales con los procesos geológicos, busca la clave de su explicación en las profundidades, en las hendiduras de los volcanes saturadas de vapores incandescentes de azufre. En la superficie considera las piedras como productos, procedentes de restos animales y vegetales. Así, en la mente de Lomonósov, en quien conviven el naturalista y el filósofo-químico, las piedras se animan a la luz de ideas nuevas. He aquí lo que escribe Lomonósov en su magnífico libro *Sobre las capas terrestres* el año 1763:

*"Ved cómo son las entrañas de la Tierra; he aquí las capas y las vetas de distintas materias originadas en las profundidades por la naturaleza. Que adviertan su variada disposición, color y peso y empleen en el razonamiento el consejo de las Matemáticas, de la Química y, en general, de la Física."*

Esto no es ya la vieja y monótona Mineralogía descriptiva, sino una ciencia nueva, la Geoquímica, la Química de la Tierra. Y, de manera similar a cómo por primera vez en la historia del pensamiento científico él construyó en el lindero de la Física y la Química el poderoso edificio de la Química física, así, en la frontera entre la Química y la Geología, crea una ciencia nueva, que en aquel tiempo no tenía aún nombre. Hubieron de transcurrir aún 70 años hasta que la palabra *Geoquímica* sonase por vez primera el año 1838 en labios del gran naturalista de principios del siglo XIX, el químico suizo Cristián Federico Schoenbein (1799-1868), que escribía 4 años más tarde:

*"Hace ya varios años que expresé públicamente mi convicción de que debemos poseer la Geoquímica antes de hablar de verdadera ciencia geológica, que debe dedicar su atención a la naturaleza química de las masas constituyentes de la esfera terrestre y a su procedencia, por lo menos, en cuanto respecta ala antigüedad relativa de estas formaciones y los restos de vegetales y animales antediluvianos en ellas sepultados. Puede afirmarse con toda seguridad que los geólogos no seguirán eternamente la*

*dirección de que ahora son partidarios. Para poder ampliar su ciencia, en cuanto los restos petrificados no les sirvan en grado suficiente, ellos habrán de buscar nuevos predios auxiliares e introducirán indudablemente en la Geología las investigaciones químico-mineralógicas. Creo que esto ocurrirá en un tiempo ya no lejano."*

La historia de la ciencia nos muestra que como resultado del anterior progreso del pensamiento se crean nuevas nociones y se alcanzan nuevos éxitos.

**1752-1753**

Para que las amplias leyes químicas pudieran generalizarse en las reglas geoquímicas, para que geniales conjeturas se convirtiesen en principios científicos firmemente establecidos y comprobados, fue necesario un minucioso y prolongado trabajo práctico.

En este sentido es inmenso el mérito del sabio ruso Dmitri Mendeléev (1834-1907), que con el descubrimiento de la ley de la periodicidad de las propiedades de los elementos químicos, aportó una base real a la idea, infructuosa hasta entonces, sobre la unidad estructural de todo el universo.



*Figura 34.2 El sabio ruso Mijaíl Lomonósov (1711-1765). Primer investigador en el campo de la Geología que ligó los problemas sobre el estudio de minerales y rocas con las tareas de la Química y la Física. Fundador de las ideas geoquímicas y fisicoquímicas en Rusia*

Mendeléev comienza sus actividades como químico en la década del cincuenta del siglo XIX, cuando la industria rusa comenzó a desarrollarse enérgicamente. Mendeléev que amaba ardientemente a su patria, no se aparta de la labor práctica y se entrega a ella con toda la energía que siempre le caracterizó.

Escribe sobre el empleo del petróleo, de la hulla, sobre sus reservas y origen, halla la composición de la pólvora sin humo, estudia las posibilidades de desarrollar la industria del hierro.

Consideraba como objeto final del estudio científico "la previsión y el provecho".

La obra principal de Mendeléev es sus *Principios de Química*, publicada por vez primera en 1869, que ya durante su vida llegó a 8 ediciones, y numerosas veces reeditada después de su muerte.

Este libro fue la creación preferida de Mendeléev. "En él están mi imagen, mi experiencia de pedagogo y mis más íntimos pensamientos científicos.

En los *Principios de Química* he colocado mis fuerzas espirituales y mi herencia para la juventud", escribía en 1905.

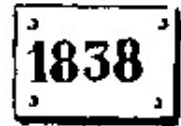


El descubrimiento del sistema periódico de los elementos químicos, indiscutiblemente abrió nuevos caminos al progreso de la Química y concedió a Mendeléev fama mundial. Una apreciación remarcable de esta ley fue dada por F. Engels <sup>1</sup>:

*"Mendeléev mostró que en las filas de elementos semejantes distribuidos por arder, de sus pesos atómicos, existen distintos lugares vacíos que nos dicen que aquí deben ser aún descubiertos nuevos elementos. Predijo las propiedades químicas generales de uno de estos elementos desconocidos... Varios años después Lecoq de Boisbaudran descubrió en efecto este elemento... Mendeléev, aplicando de un modo inconsciente la ley hegeliana del tránsito de la cantidad a la calidad, realizó una proeza científica..."*

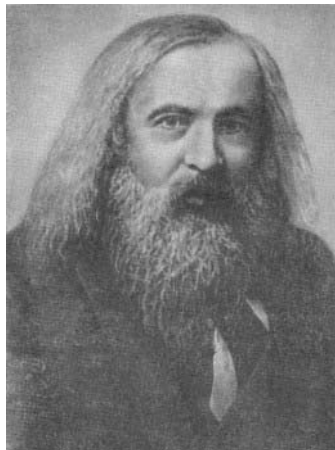
Mendeléev predijo nuevos elementos químicos, corrigió los pesos atómicos y dio fórmulas correctas a muchas combinaciones químicas.

Mendeléev fue quien primero comparó los átomos con los cuerpos celestes, estrellas, sol y planetas, planteando la hipótesis de que la estructura del átomo es análoga a la de los sistemas celestes, como el sistema solar o los sistemas de estrellas dobles.



Para la Geoquímica, la ley periódica fue la base que hizo posible el estudio sistemático de las leyes de la combinación de los elementos químicos en condiciones naturales.

La ley fue descubierta. Pero para aclararla, señalar su sentido y su significado para la concepción que poseemos del mundo fue necesario que pasaran aún 75 años que transcurriese todo un período de grandiosa labor investigadora, período de lucha entre distintas tendencias; fue necesario que se realizasen aún muchos experimentos nuevos.



*Figura 34.3 El químico ruso Dmitri Mendeléev (1836-1907), creador del sistema periódico de los elementos*

Estableciendo un profundo enlace entre los fenómenos físicos y químicos, Mendeléev verificó las célebres palabras de Lomonósov:

*"El químico sin conocimiento de la Física, es como un hombre que debe buscarlo todo a tientas. Y estas dos ciencias están tan unidas que la una sin la otra no puede ser perfecta".*

¿Por qué la ley periódica de los elementos químicos jugó, juega y ha de jugar un papel tan excepcional en la historia de la ciencia? Porque la Tabla de Mendeléev es muy simple y representa una sencilla alineación de hechos naturales, justamente correlacionados unos con otros, según determinados lazos espaciales, cronológicos, energéticos y genéticos. En ella no hay nada artificioso. Es la naturaleza misma. El mundo real que nos rodea, accesible a nuestra percepción, es en esencia una tabla grandiosa desarrollada en largos períodos, dividida en varias partes.

Es cierto que aparecerán y morirán nuevas teorías; reglas brillantes y nuevas ideas remplazarán las concepciones anticuadas y abrirán horizontes inverosímiles por su amplitud y novedad. Todo eso vendrá y se irá, pero la ley periódica de Mendeléev siempre vivirá, desarrollándose, concretándose y orientando las búsquedas científicas.

Mendeléev en sus obras llamaba a todos al desarrollo ulterior de su ley.

En una de las introducciones a los *Principios de Química* escribía:

*"Conociendo cuán libre y feliz se vive en los dominios de la ciencia, instintivamente surge el deseo de que acudan muchos a ella, y a este fin supedito mi exposición. Por ello muchos lugares de mi libro están llenos del deseo de que la mentalidad química que yo me esforcé en desarrollar en el lector, le incitase al estudio posterior de la ciencia. Y que este reclutamiento para el servicio de la ciencia entre la joven generación no asuste a aquéllos que comprenden la imperiosa necesidad que siente la patria de actividades prácticas en el terreno de la agricultura, en la industria y las fábricas. Sólo entonces, cuando se conocen las verdades mismas en sí, en su pureza absoluta, es cuando se pueden aplicar a la vida".*

Este llamamiento a la generación joven siempre suena en Mendeléev. A sus lecciones aflúan estudiantes de todas las facultades. Su palabra subyugaba a los oyentes y su auditorio siempre estaba repleto. Los estudiantes acudían no a escuchar preparados esquemas sino para escuchar cómo piensa, razona y crea su maestro.

En el siglo XIX, el estudio del proceso químico puso la Mineralogía en contacto con la Química física y dio un contenido nuevo, más exacto, a la interpretación de las reagrupaciones de átomos que se verifican en la corteza terrestre.

Esta tendencia, que se acentúa en los últimos años del siglo XIX, preparó el terreno a las ideas geoquímicas, planteando la necesidad de dedicar atención en el análisis del proceso de formación de los minerales a los elementos que los integran.

Y aún así, la geoquímica no podía nacer en tanto que se mantuviese confusa la propia noción del átomo, elemento o cristal.

Sólo la ley periódica de Mendeléev, los progresos de la Física y, sobre todo, de la Cristalografía hicieron real al átomo, la red cristalina un hecho, fenómeno de la naturaleza, y relacionaron los elementos químicos y sus propiedades con la estructura del átomo.

El terreno para la creación de la Geoquímica estaba preparado, pero aún fue necesaria una inmensa cantidad de hechos y observaciones, fue preciso poner en orden un enorme trabajo experimental en una serie de institutos en los que, ya no centenares, sino millares de determinaciones complejas y difíciles, indicaban el camino acertado para el trabajo.

Sólo estas nuevas conquistas de la práctica unidas a los progresos teóricos de los físicos y cristalógrafos, abrieron camino ante la Geoquímica actual.

Y entonces, con los trabajos de investigadores rusos principalmente y también noruegos y norteamericanos, se creó esta rama científica independiente que tiene por objeto el estudio del átomo y su destino en la situación real de la naturaleza que nos circunda. La Geoquímica, en contraposición a otras ramas de la Geología, no estudia el destino y propiedades de las moléculas, combinaciones químicas, minerales, rocas y sus complejos geológicos; ella estudia el destino del átomo mismo ante todo en las condiciones de la corteza terrestre, accesibles a experimentos exactos, estudia su comportamiento, procesos de desplazamiento, migración, conjunción, dispersión y concentración.



*Figura 34.4 Los académicos Vladimir Vernadski (1863-1945) y Alexandr Fersman (1883-1945), fundadores de la escuela rusa de geoquímicos.*

La Geoquímica debe, no sólo dibujar y revelar toda la larga y compleja historia de cada elemento del sistema periódico de Mendeléev, sino que también debe relacionarla con las propiedades de sus átomos de las cuales depende el destino vital del elemento.

La Geoquímica recibió su determinación exacta y desarrollo en nuestro país y los sabios rusos jugaron aquí un papel exclusivo. Se lograron tales éxitos, que en la ciencia geoquímica mundial, la Geoquímica soviética ocupa decididamente el primer puesto de honor.

La escuela geoquímica rusa fue iniciada en la Universidad de Moscú por los académicos V. Vernadski y, el autor de este libro, A. Fersman.

Entre los químicos y geólogos de EE.UU. Alemania y Noruega también se formaron escuelas, pero su trabajo tuvo un carácter más estrecho.

Hay que señalar especialmente al geólogo de Washington Frank Clarke (1847-1931), que en 1908 publicó su obra *Datos sobre Geoquímica (Data of geochemistry)*. Clarke se ocupó 36 años en reunir análisis químicos de rocas y minerales y en su libro, revisando un considerable material práctico, hizo conclusiones generales sobre la composición química media de distintas formaciones rocosas y de la corteza terrestre en su totalidad.

Pero Clarke no consideraba sus datos como base para el estudio de los procesos terrestres.

Una gran influencia en el desarrollo de la Geoquímica tuvieron los sabios noruegos Iogan Fogt (1858-1932) y Víctor Mauricio Goldschmidt (1888-1947).

I. Fogt estableció el fundamento de la Petrografía fisicoquímica que constituye la base de los procesos magmáticos y da amplias posibilidades para el cálculo de la composición química de la corteza terrestre. Enlazando estrechamente la Cristalografía con la Física de los cuerpos sólidos,

Goldschmidt creó las bases de la actual Química cristalográfica e hizo mucho en el terreno del estudio geoquímico de las capas profundas de la corteza terrestre. Es muy conocida su serie de trabajos *Leyes de la distribución de los elementos químicos en la corteza terrestre*.



A diferencia de Clarke y Goldschmidt, la escuela geoquímica rusa utiliza ampliamente las ideas geoquímicas para resolver cuestiones prácticas. Nuestros geoquímicos procuran cumplir en todo el legado de Lomonósov, llevar al análisis de la naturaleza circundante "el consejo de las

Matemáticas, la Física y la Química", realizando también un profundo análisis geoquímico del sistema periódico de Mendeléev.

Investigador notable de la naturaleza viva y muerta, iniciador de nuevas corrientes científicas, creador de la Mineralogía rusa y la Geoquímica mundial, es el académico Vladimir Vernadski. Estudió en la Facultad Fisicomatemática de la Universidad de San Petersburgo y la terminó el año 1885.

Un papel destacado en la vida de la Universidad jugaba en aquel tiempo Mendeléev. Estos fueron los años de apogeo de su talento.

Las conferencias de Química de Mendeléev eran escuchadas apasionadamente por el joven Vernadski, embargado por los pensamientos nuevos de su maestro. El ya apreciaba entonces la importancia de los experimentos para las ciencias exactas.

En estos años magníficos de lucha por la ciencia, la segunda persona que ejerció enorme influencia sobre Vernadski fue V. Dokucháev, persona de iniciativa y actividad inusitadas. De sus conferencias aprendió Vernadski a comprender el valor de los conocimientos exactos y de los métodos precisos de investigación.



Figura 34.5 El académico V. Vernadski, entre sus jóvenes discípulos en la Universidad de Moscú. En el centro, sentado, V. Vernadski; a la derecha de pie, A. Fersman

El trabajo clásico de Dokucháev, *Tierras negras rusas*, sugirió a Vladimir Vernadski la idea profunda del suelo como cuerpo histórico y natural, y muchas de sus concepciones biogeoquímicas nacieron bajo la influencia de los pensamientos científicos de Dokucháev.

Toda la larga vida de Vernadski (1863-1945), fue un camino de labor tenaz y luminosos pensamientos creadores, camino que descubrió nuevos terrenos en la Ciencia y jalonó direcciones nuevas a las Ciencias naturales en nuestro país.

Vernadski jugó también un papel enorme como historiador de la ciencia, poniendo siempre el principio y método histórico como la base de las Ciencias naturales.

Siempre exigía de sus alumnos un profundo conocimiento de la historia de la cuestión tratarla. Decía:

*"Nosotros los naturalistas, debemos aprender de los historiadores los profundos métodos históricos de comprensión de los destinos pasados de la humanidad. Sólo empleando estos métodos podremos hacernos historiadores de la naturaleza".*

Desde el año 1890 hasta 1911, es decir, casi 20 años de su vida, V. Vernadski estuvo ligado a la Universidad de Moscú, donde trabajó como catedrático de Mineralogía y Cristalografía.



Figura 34.6 La Geoquímica entre las ciencias próximas

Hay que decir que la enseñanza de Mineralogía en la Universidad de Moscú, antes de Vernadski, se limitaba a descripciones áridas de los minerales. Las colecciones se hallaban en desorden y no sólo las puso en orden, sino que las enriqueció con ejemplares propios, seleccionados durante sus numerosos viajes y excursiones. Viajaba con mucha frecuencia por Rusia y el extranjero en unión de sus discípulos, concediendo una gran importancia a estas excursiones para la tarea de preparación de los futuros hombres de ciencia. Vernadski transformó de manera radical la enseñanza de la Mineralogía; en lugar de una árida disciplina descriptiva, creó la Mineralogía química sobre una base histórica con un curso aparte de Cristalografía. Fundó el primer círculo científico mineralógico, que abarcó a todos los mineralogistas Moscú. Al mismo tiempo introduce en la práctica de sus colaboradores y discípulos la ejecución obligatoria de trabajos experimentales de descripción fisicoquímica de combinaciones químicas y minerales, práctica que jugó un papel tan grande en la creación de la escuela de mineralogistas-naturalistas.

Así surgieron las fuentes de la Mineralogía química rusa y, después, de la Geoquímica y se formó la escuela de discípulos de Vernadski, mineralogistas geoquímicos, en la Universidad de Moscú.

Como resultado de investigaciones sistemáticas y profundamente meditadas y del reconocimiento de numerosos yacimientos minerales, aparece en 1906 el primer libro de su publicación de muchos tomos *Ensayo de Mineralogía descriptiva* (concluida en 1918), obra fundamental y clásica de Mineralogía.

El año 1909 Vernadski fue elegido miembro de número de la Academia de Ciencias. En 1911 se trasladó a San Petersburgo.

Comienza una nueva etapa de su vida. Si los primeros 20 años fueron años de creación de una nueva escuela científica, los siguientes, el período de San Petersburgo, fueron años de gran trabajo de organización científica.

Este cambio no fue nada fácil. Vernadski echaba de menos Moscú. Se retiró de las actividades pedagógicas y se entregó de lleno a la labor de investigación científica, concentrándola entre los muros de la Academia de Ciencias. Ingresó en la Academia cuando a la cabeza de la Geología se hallaba A. Karpinski, sabio ruso, iniciador del estudio geológico de la estructura de las llanuras rusas.

Vernadski llevó a cabo en gran escala investigaciones espectroscópicas de la difusión de elementos químicos raros y dispersos en las rocas y minerales de Rusia y planteó por primera vez la cuestión de la necesidad de un amplio y metódico estudio de los fenómenos de radiactividad en el territorio de Rusia.

En 1922, junto con el académico V. Jlopin creó el Instituto del Radio, donde se elaboró el método exacto para calcular la edad de las rocas por el plomo y el helio en ellas contenidos.

Parecen sonar hoy las palabras pronunciadas por Vernadski:

*"Nos acercamos a un gran cambio en la vida de la humanidad, incomparable con todo lo vivido hasta el presente. No está lejos el día en que el hombre tome en sus manos la energía atómica, manantial de fuerza que le permitirá construir su vida con arreglo a sus deseos. Esta puede ocurrir en los años próximos, puede ocurrir dentro de un siglo. Pero es evidente que esto se realizará ¿Será capaz el hombre de aprovechar esta fuerza, de dirigirla hacia fines buenos y no de autodestrucción? ¿Ha progresado lo suficiente para saber emplear esta fuerza que inevitablemente le donará la ciencia? Los hombres de ciencia no deben cerrar los ojos ante las posibles consecuencias de su labor científica, del progreso de la ciencia. Ellos deben sentirse responsables de las consecuencias de sus descubrimientos. Ellos deben subordinar su trabajo al objeto de conseguir una organización mejor de la humanidad entera" (Ensayos y discursos. 1922).*

Como resultado, él crea en la ciencia una nueva corriente radiogeológica y los trabajos sobre el radio adquieren una gran amplitud científica. Algo más tarde comienza la impresión de su obra de numerosos volúmenes *Historia de los minerales de la corteza terrestre* (1923-1936) que tiene un interés científico exclusivo. Por desgracia este trabajo quedó sin concluir. Al mismo tiempo recopila sus excelentes ideas geoquímicas y publica un libro bajo la denominación *Ensayos de Geoquímica* (1927-1934).

En su trabajo, Vernadski mostró en una serie de elementos aislados, cuán importante es abandonar el antiguo punto de vista del estudio de los minerales como moléculas complejas y pasar al estudio del átomo y sus vías de migración en la Tierra y en el Cosmos.

En 1928 creó en la Academia de Ciencias el Instituto Biogeoquímico y se convierte en fundador de una nueva rama de la Geoquímica: la Bioquímica. Esta ciencia se ocupa del estudio de la composición química de los organismos vivos y participación de la sustancia viva y sus

productos de descomposición en los procesos de migración, distribución, dispersión y concentración de los elementos químicos en la corteza terrestre

En el año 1935 la Academia de Ciencias fue trasladada a Moscú. En el segundo período moscovita de su actividad, Vernadski dedica la mayor atención al trabajo del laboratorio biogeoquímico. El mismo realiza investigaciones sobre el papel biogeoquímico del carbono, aluminio y titanio, y plantea la cuestión sobre la necesidad de crear un mapa geoquímico de la biosfera.

Más de cien años atrás fue pronunciada la palabra "geoquímica", pero la verdadera ciencia geoquímica nació sólo en los últimos 30 años, años de tempestuosas búsquedas; y en este camino jugó y juega ahora un importante papel la ciencia soviética, que valientemente marcha hacia adelante, desarrollando nuevos sectores del saber y que en sus éxitos y afanes combina la teoría con la práctica.



---

<sup>1</sup> F. Engels, *Dialéctica de la Naturaleza*.

**Capítulo XXXV****¿COMO FUE DADA SU DENOMINACION A LOS ELEMENTOS QUIMICOS y A LOS MINERALES?**

He aquí una cuestión que a todos nos debe interesar. Porque no es fácil recordar centenares y miles de nombres distintos de elementos, minerales y rocas. Pero conociendo el significado de cada nombre es ya más fácil recordarlos.



Puede ser que a alguno de los lectores les haya caído a mano mi libro Memorias sobre las piedras, donde se describe un relato humorístico de cómo se dieron las denominaciones de nuevos minerales y de las nuevas estaciones del ferrocarril de Kírov. Sobre todo, se ridiculiza allí a los viejos ferroviarios que, por ejemplo, denominaron una estación Africanda, sólo porque llegaron allí en un día muy caluroso, como si fuese en Africa.

Otra estación fue nombrada Titanio, aunque en sus proximidades no' se hallaron ni vestigios del mineral de este metal.

Sin embargo, hay que reconocer que así se comportaban no sólo nuestros viejos ferroviarios; también hicieron y hacen así los químicos y mineralogistas cuando descubren algo nuevo; cada uno le da el nombre que quiere. Y nosotros ahora tenemos que recordar con exactitud estas denominaciones. En la Química, esto es cierto, la cuestión es más sencilla: allí sólo se conoce un poco más de un centenar de elementos químicos a los que hubo que buscar un nombre. Mucho más complicado es el caso de la Mineralogía, donde ya ahora conocemos cerca de dos mil minerales y cada año se descubren veinte o treinta nuevos.

Examinemos en primer lugar la denominación de los elementos químicos, a base de los cuales está construida toda la ciencia química. De las iniciales de estos nombres en latín se componen sus símbolos químicos: Fe (ferrum, hierro), As (arsenicum, arsénico), etc.

Con la mayor frecuencia los químicos y geoquímicos denominaron los elementos descubiertos según el nombre del país o la ciudad donde se realizó el descubrimiento o donde por primera vez se halló una combinación de la substancia dada. Por ello son perfectamente comprensibles tales nombres como europio, germanio, galio (del antiguo nombre de Francia, Galia), escandio (Escandinavia). Estos nombres pueden recordarse bien, pero es mucho más complicado en otros casos, cuando se emplean antiguas denominaciones de países o ciudades. A veces es muy difícil adivinar de dónde provienen estos nombres.

Así ocurrió cuando el año 1924 en Copenhague descubrieron un nuevo elemento y lo nombraron hafnio, según la antigua denominación de la capital de Dinamarca, que nadie conoce. De manera análoga fue bautizado el lutecio, que recibió este nombre de la antigua denominación de París. El metal tulio recibió su nombre de la antigua denominación escandinava de Suecia y Noruega. Al metal rutenio, hallado en Kazán por el químico R. Claus, se le dio tal nombre en honor de Rusia, aunque, por desgracia, incluso muchos químicos expertos no adivinan que el término "rutenio" significa "ruso".

Es muy interesante lo que ocurrió con unas minas (le feldespato cerca de Estocolmo, en Suecia; la veta de pegmatita de Itterby dio una gran cantidad de nuevos elementos, que fueron denominados con variaciones de este nombre: iterbio, itrio, erbio y terbio.

Muchos nombres de elementos químicos se les dieron a base de sus propiedades físicas y químicas. Esto parece lo más racional, pero estos nombres se hacen comprensibles y se recuerdan sólo cuando se conoce bien el griego antiguo o el latín. Como toda una serie de elementos fueron descubiertos por las líneas coloreadas que mostraban en el espectroscopio, recibieron su



denominación del color de estas líneas: el indio, por su línea azul; el cesio, azul lazur; el rubidio, roja; el talio, verde.



*Figura 35.1 Estibnita o antimonio brillante*

Otros elementos obtuvieron su denominación del color de sus sales; por ejemplo, el cromo (de la palabra griega "color"), debido al vivo colorido de sus sales, o el iridio, por el aspecto abigarrado del color tornasolado de las sales de este metal.

Muchos químicos aficionados a la Astronomía denominaron los elementos por los planetas o las estrellas. De aquí los nombres del uranio, paladio, cerio, telurio, selenio y helio. Sólo este último tiene un significado aún más profundo porque el helio ("helios" = sol) fue descubierto por primera vez en el Sol.

Aún es mayor la cantidad de nombres dados en honor de dioses y diosas de la antigüedad. Así, el vanadio, en honor de la diosa escandinava Vanadis; el cobalto y el níquel (los perniciosos acompañantes de los minerales argentíferos) recibieron su nombre de los gnomos perversos que se dice habitaban en las minas de Sajonia.



Las denominaciones del tantalio, niobio, titanio y torio fueron tomadas sin gran fundamento de los nombres de la mitología antigua. El antimonio en la Edad Media se llamaba "antimano", lo que seguramente procede de la palabra griega "flores", ya que los cristales de "antimonio brillante" o estibnita se agrupan en haces que recuerdan las flores de las plantas compuestas. Según otra versión, antimonio procede de la palabra "antimonacal", como si el antimonio ejerciese una influencia perjudicial sobre el espíritu retirado de los monjes.

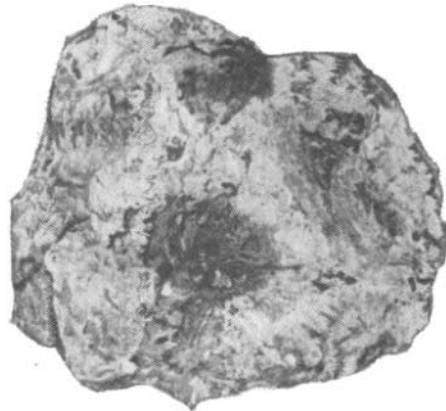
Mucho menos atención se dedicó a los nombres de grandes sabios e investigadores de fama mundial. En honor del profesor ruso A. Gadolin se llama el mineral gadolinita, y del mineral, el elemento gadolinio. La denominación "samario" vino del mineral en que fue descubierto, la samarsquita, hallado por primera vez en los montes de Ilmen, en los Urales, y llamado así en honor del ingeniero de minas Samarski.

El rutenio, el gadolinio y el samario son elementos de procedencia rusa.

Aparte de todas estas complicadas y poco justificadas denominaciones, cerca de treinta elementos químicos poseen en la raíz de sus nombres diversas palabras antiguas árabes, indias o latinas.

Muchas controversias suscita el origen de las palabras "oro" (aurum), "plomo" (plumbum), "arsénico" (arsenicum) y otras. Finalmente, los nuevos elementos transuránicos: el N° 93

neptunio (Np) y el N° 94 plutonio (Pn) recibieron su denominación de los planetas, el N°95 americio (Am) de la palabra "América" y el N°96 curio (Cm) en honor de Marie Curie.



*Figura 35.2 Mineral samarsquita (negro)*

El berkelio (N°97) y el californio (N°98) se llaman así por el lugar en que fueron obtenidos por primera vez artificialmente, mientras que los transuránicos siguientes, el einstenio, el fermio, el mendelevio, el laurencio, y el kurchatovio por los nombres de los sabios. El elemento N° 102 fue llamado nobelio por los suecos en honor del inventor Nobel, fundador del premio que lleva su nombre, pero muchos científicos que consideran dudosos los resultados obtenidos por sus colegas suecos no están de acuerdo con esta denominación.



¡Véase qué caos y qué desorden! Raíces griegas, árabes, indias, persas, latinas, eslavas; dioses, diosas, estrellas, planetas, ciudades, países y apellidos, frecuentemente sin un profundo sentido ni orden alguno.



*Figura 35.3 Topacio de los yacimientos de Murzinka (Urales orientales)*

Es cierto que hubo intentos de poner un cierto orden en el sistema de denominación de los elementos, pero estos son tan pocos que no vale la pena hacerlo. Una cuestión completamente distinta es la de los nombres de los minerales.

Aquí los geoquímicos y mineralogistas deben cambiar radicalmente sus hábitos. En efecto, cada año hay que denominar más de 25 minerales nuevos. Y ¿acaso es admisible que combinaciones como la laurita fuesen denominadas con el nombre de la novia del químico que la descubrió, Laura; que toda una serie de minerales recibiesen su nombre de sentimientos de fidelidad, en honor de diversos príncipes y condes que no tuvieron ninguna relación con los minerales, como la uvarovita? Por último, algunas denominaciones son tan disparatadas que nuestra lengua las pronuncia con dificultad; por ejemplo, "ampangabeita", llamado así por el lugar en que fue hallado, en Madagascar. La nominación de los minerales es una página interesantísima de la historia de la Mineralogía y la Química. Hasta ahora se desconoce por completo la procedencia de una serie de nombres de minerales y muchos de ellos tienen sus raíces en la antigua India, Egipto o Persia. Persia nos obsequió con la turquesa y la esmeralda (smaragd); la Grecia antigua, con el topacio y el granate. La India dio el rubí, el zafiro y la turmalina.



Una gran cantidad de minerales fueron denominados por el lugar de su hallazgo. Así, para nosotros, los soviéticos, son bien conocidos y comprensibles los nombres "ilmenita" (montes Ilmen, en los Urales meridionales), "baikalita" (lago Baikal), "murmanita" (región de Murmansk). Pero el nombre más interesante para nosotros está ligado con Moscú, es la moscovita o muscovita, la famosa mica potásica que tan importante papel desempeña en la industria eléctrica. Muchísimos nombres se dieron en honor de conocidos investigadores, notables químicos y mineralogistas. Recordemos la scheelita, así llamada en memoria del célebre químico sueco Scheele: la goethita, en honor del poeta y mineralogista Goethe y las mendeleevita y vernadskita bien conocidas para nosotros.

Hay que reconocer como acertados también los nombres dados a minerales con arreglo a sus colores, aunque en estos casos con frecuencia haya que conocer el latín o el griego para comprenderlos. Así son, por ejemplo, el aguamarina (color de agua de mar), auripigmento (coloración de oro), leucita (de la palabra griega "leikos", blanco), criolita (hielo, en griego), celestina (del latín, "cielo").



*Figura 35.4 Cristales de espato calizo*

Muchas denominaciones provienen de las propiedades físicas y químicas de los minerales. Por ejemplo, los minerales denominados "brillantes", se llaman así por su brillo parecido al de la plata; las piritas, por su analogía con el cobre y el bronce; los espatos, por la propiedad que poseen de hendirse a lo largo de planos orientados en direcciones determinadas (crucero); las blendas, minerales que contienen metal, cosa difícil de adivinar por su aspecto exterior engañoso.



El diamante recibió su denominación de la palabra griega "ádamas", esto es "insuperable", "invencible", "inexpugnable". Finalmente, hay que reconocer que muchos minerales recibieron nombres apropiados, según los elementos químicos que predominan en su composición. Así, por ejemplo, la fosforita, calcita, wolframita, molibdenita, etc.

Pero existe una serie de nombres que suscitan gran interés. Con algunos de ellos están relacionadas leyendas enteras; el sentido de otros se oculta en lo profundo de los laboratorios de los alquimistas. De tal modo, el asbesto recibió su nombre de la palabra griega "incombustible". La nefrita debe su denominación al error medieval que consideraba que sirve para curar los riñones. La fenacita, "falsa", se llama así por que su bello color rojo-vinoso desaparece, en el sol, después de varias horas.



*Figura 35.5 Mercader oriental de piedras preciosas. Grabado del siglo XVII*

La apatita o "engañososa" se llama así por ser difícil de distinguir de otros minerales; y, por último, la amatista lleva su denominación aún desde la Edad Media, cuando se le adjudicaba la misteriosa cualidad de servir de defensa contra la embriaguez. Se ve por nuestra breve descripción de qué manera tan complicada se fueron estableciendo las denominaciones de los minerales.

¿Acaso no es posible poner orden en este asunto? Acaso no puede constituirse una comisión internacional que confirme la denominación de los nuevos minerales, atendiendo a que su significado corresponda a las propiedades del mineral, que sean fáciles de recordar, que los nombres mismos formen un cierto sistema y verifiquen la clasificación (te cientos y miles de especies minerales? Confiamos que en el florecimiento futuro de las ciencias químicas y geoquímicas se encontrará sitio para nuestra modesta proposición: reflexionar cómo hacer para no martirizar a los estudiantes con prolongadas, difíciles de recordar e incomprensibles denominaciones y dar nombres estrechamente ligados a las propiedades típicas de cada piedra, planta o animal, que penetren bien en la mente de cualquiera.

**Capítulo XXXVI****LA QUIMICA Y LA GEOQUIMICA EN NUESTROS DIAS**

Vivimos años de extraordinarios progresos de la Física y la Química.

El antiguo metal, el hierro, comienza a substituirse por otros o se combina con una serie de rarísimas substancias metálicas.

Los complejos compuestos de silicio en forma de vidrio, porcelana, ladrillos, hormigón y escorias vienen a remplazar al hierro de las construcciones metálicas del pasado.

La Química orgánica, Química del carbono, alcanzó en los últimos años éxitos grandiosos, y grandes fábricas reemplazan ya a los extensos campos de índigo y plantaciones de caucho.

En estas fábricas se produce caucho sintético y colorantes de los productos de la destilación del carbón, que ya en la actualidad, no sólo substituyen a los colorantes vegetales naturales, sino que dan una gama de colores considerablemente más amplia.

Efectivamente, el mundo entero marcha por el camino de la aplicación en gran escala de la Química en la ciencia, la economía y la vida. La Química penetra en todas las menudencias de nuestra vida cotidiana, en todos los detalles del complicado aparato de la producción industrial. Se comprende que, simultáneamente con la aplicación de la Química en todos los órdenes de la vida, se verifica, cada vez con mayor amplitud, el estudio a investigación de las riquezas naturales y materias primas minerales que se necesitan en cantidades enormes para la economía y la industria.

La Geoquímica está estrechamente ligada con la Química y con frecuencia es difícil marcar el límite entre estas dos ramas de la ciencia.

La creación de institutos especiales de investigación científica y laboratorios es hoy la base del progreso de la industria química. Recordamos reconocidos las palabras del célebre biólogo francés Pasteur, que decía en 1860:

"Les ruego que dediquen más atención a los refugios sagrados que llamamos laboratorios. Insistid para que haya más y para que estén mejor equipados. Estos son los templos de nuestro porvenir, de nuestra riqueza y de nuestro bienestar".

Después de la Gran Revolución Socialista de Octubre, en el País Soviético se desarrolló una amplia red de institutos de investigación científica que trabajan en el dominio de la Química. Se crearon potentes institutos especiales químicos. Muchos de ellos trabajaron también sobre problemas geoquímicos. Unos desarrollaron con éxito esquemas tecnológicos del empleo de los minerales de aluminio, otros resolvieron de manera brillante el problema de la utilización del boro y sus carburos, otros se dedicaron al estudio en gran escala de las sales en los yacimientos patrios y de numerosos elementos: tierras raras, platino, oro, niobio, tantalio, níquel, etc.

Fundado para tratar de problemas geológicos más específicos, el Instituto Geoquímico de la Academia de Ciencias de la URSS realizó una serie de investigaciones y como resultado de su labor se cimentó el pensamiento colectivo geoquímico en el país.

En la Sociedad Mendeleeviana, continuadora de las gloriosas tradiciones de la Sociedad Físicoquímica Rusa, se realiza una amplia divulgación de las ideas químicas. Esta sociedad reúne en sus instituciones y filiales varios miles de personas.

No podemos pasar aquí por alto la Sociedad Mineralógica de la URSS, fundada en Petersburgo en 1817, que hasta el presente trabaja intensamente sobre problemas de Mineralogía, Petrografía y el estudio de yacimientos útiles.



La Geoquímica obtuvo un reconocimiento general y el pensamiento geoquímico se fue introduciendo en todos los trabajos científicos dedicados al estudio de los yacimientos de minerales útiles.

En la actualidad son varios los institutos de la Academia de Ciencias de la URSS que se dedican a hacer investigaciones en el campo de la Geoquímica, entre ellos figuran: el Instituto de Geoquímica y Química Analítica V. I. Vernadski, el Instituto de Geología de las Minas, Petrografía, Mineralogía y Geoquímica, el Instituto de Mineralogía, Geoquímica y Cristalografía de los elementos raros, las universidades, etc.

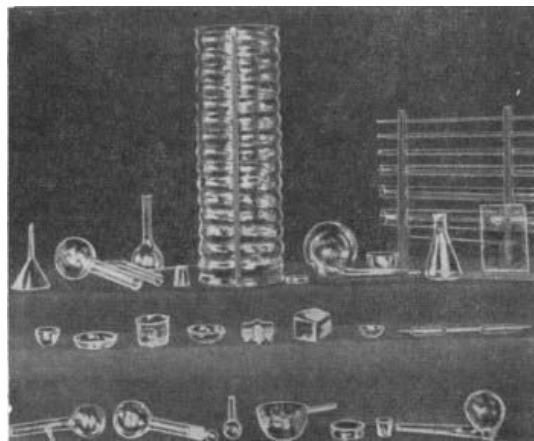
Un químico soviético ha calculado que en los últimos treinta años se han publicado en diversas revistas más de un millón de trabajos científicos sobre problemas químicos; sólo en los últimos años la cantidad de trabajos científicos sobre Química se eleva a 60.000-80.000. Para ordenar tan enorme material escrito existen revistas especiales donde se resumen los artículos que se publican en todo el mundo en más de treinta idiomas y en tres mil revistas de Química.

Sin embargo, cuando hablamos de las numerosas investigaciones efectuadas en los últimos años, no debemos olvidar que su aplastante mayoría se refieren a compuestos del carbono, que muchas de ellas tratan problemas puramente técnicos y solamente cerca del dos por ciento de ellas se hallan próximas a las cuestiones geoquímicas, a los problemas del estudio de la materia en la corteza terrestre, de su difusión, migración, estructura, combinación y creación en los minerales de concentraciones con las que trabaja la industria.



En relación con el incremento del trabajo científico en los institutos de investigación y asociaciones sociales y con el desarrollo de las publicaciones, se definen con más precisión y amplitud las tareas fundamentales planteadas a las ciencias químicas. Aunque han pasado ya doscientos años desde que murió Lomonósov, aún puede mantenerse hoy como divisa fundamental de la labor

química el primer párrafo de su introducción a las conferencias de Química física pronunciadas por él en 1751; "El estudio de la Química puede tener un doble objetivo; uno, el perfeccionamiento de las ciencias naturales; otro, el aumento de los bienes de la vida".



*Figura 36.1 Recipientes químicos de cuarzo*

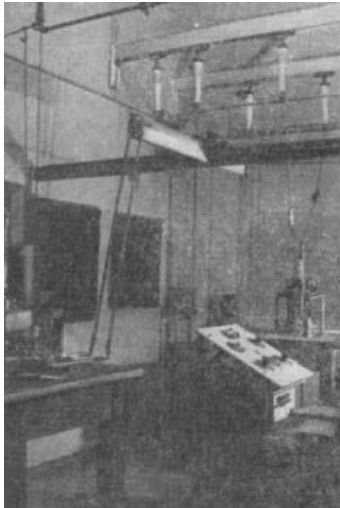
En efecto, la Química, junto con la Física, no sólo perfeccionó las Ciencias Naturales, sino que, además, nos descubrió los secretos de la naturaleza escondidos a nuestra vista; la ciencia y la técnica supieron descubrirnos la diversidad de átomos de que se compone el mundo.

Gracias al progreso de las ciencias químicas, la industria moderna obtiene cerca de cincuenta mil combinaciones de diversos elementos y el número de compuestos orgánicos sintetizados y

estudiados en los laboratorios llega a un millón. Y no tiene límite la cantidad de compuestos nuevos que se preparan en los laboratorios.

¡Qué grandiosas son estas cifras en comparación con las 2.500 combinaciones diferentes que conocemos en la naturaleza! Y fue precisamente la naturaleza nuestro primer maestro de ciencia química. La base de nuestra industria son las materias primas minerales. Ellas determinan la dirección del trabajo en los laboratorios químicos; y la estructura de la sustancia y la marcha de las reacciones químicas fueron estudiadas sobre materiales naturales.

Precisamente por esta causa, la Geoquímica tendió un puente entre las ciencias químicas y las geológicas. Estudiando las propiedades y reservas de minerales en el mundo, la Geoquímica no sólo descubrió en colaboración con la Cristalografía la estructura de los cristales, sino que también determinó las vías de progreso industrial.



*Figura 36.2 Laboratorio roentgenométrico*

De tal modo se eslabonaron una serie de disciplinas científicas, desde la Geología hasta la Geoquímica, desde la Geoquímica a las ciencias químicas y a la Física. El objetivo final de todas estas disciplinas era, además de perfeccionar las ciencias naturales, multiplicar, como dijo Lomonósov, los bienes de la vida, en cuya creación trabaja el hombre.

Precisamente esto, la creación de nuevas sustancias útiles, la conquista de nuevas fuentes de materias primas para la economía nacional, constituye en nuestros días el gran estímulo fundamental de la ciencia. La tecnología se conectó estrechamente con la Geoquímica, estudiando las propiedades de minerales y sales, aclarando la difusión en ellos de elementos raros, buscando el camino de una mejor y más completa utilización de nuestro subsuelo. La unión de la Química, Geoquímica y Tecnología posibilitó el progreso actual de la industria química.

No vamos a fijar más la atención a cuántos bienes dio y sigue dando a la humanidad el desarrollo de las disciplinas químicas; sobre esto hemos hablado antes, cuando escribíamos sobre la historia del átomo en la historia del hombre; a este tema volveremos en el capítulo siguiente, donde intentamos esbozar el cuadro del porvenir de nuestra ciencia y sus progresos.

Ahora nos interesa otra cosa completamente distinta: cómo es y debe ser el investigador químico moderno, el hombre que impulsa hacia adelante la ciencia, crea laboratorios científicos y, con ello, conquista el mundo circundante.

Los químicos de los siglos pasados tomaban de las rocas sustancias aisladas, elementos, y los estudiaban en sus laboratorios y gabinetes con abstracción del tiempo y el espacio, fuera de la relación que estos elementos tienen con toda la naturaleza.

En la actualidad el hombre concibe el mundo como un sistema complejo en el que sus diferentes partes se hallan estrechamente ligadas entre sí, donde, como en un enorme laboratorio, chocan, se unen y luchan fuerzas diversas, y donde, sólo como resultado de esta lucha de átomos aislados y campos eléctricos y magnéticos, se crean sustancias en un sitio y se destruyen en otro.

El mundo es un laboratorio inmenso, donde todo se encuentra en mutua relación, como los engranajes de una máquina. Y el químico moderno, que vino en lugar del antiguo enclaustrado de laboratorio, considera de una manera nueva cada átomo, relacionando estrechamente su destino con el de todo el universo. Por esto hoy está tan cerca la Química de la Geoquímica.

Las tareas del científico han cambiado; a él no le basta describir fenómenos aislados, hechos sueltos de la naturaleza circundante; para él es poco observar los resultados de ciertos experimentos en el laboratorio. Él estudia la materia, es decir, debe comprender cómo y por qué se creó y qué será de ella en adelante.

Para él son insuficientes las reflexiones de los filósofos sobre las leyes de la naturaleza; él debe estudiar la marcha secular de estas leyes en los fenómenos que nos rodean, debe descifrar el complejo enlace entre distintos fenómenos.

El investigador no debe dibujar o fotografiar insensiblemente fenómenos aislados de la naturaleza; debe esforzarse por dominarlos y supeditarlos a su voluntad. El investigador de nuevo tipo no debe ser un artesano en su laboratorio, sino forjador de nuevas ideas nacidas en la lucha con la naturaleza por la conquista del mundo.

En la actualidad, el químico, como el astrónomo, debe saber prever; su experiencia no reside en las reacciones aisladas casuales que realiza en las retortas del laboratorio; su experiencia nace como fruto de pensamientos creadores, fantasía científica y profundas investigaciones. El químico moderno debe comprender que los éxitos científicos no se logran de golpe, sino que germinan gradualmente a lo largo de un camino en el cual se conciben y comprueban prolongadamente ideas determinadas; que se consiguen como resultado de búsquedas porfiadas en el transcurso de tiempo que a veces abarca varias generaciones de hombres de ciencia, y que con frecuencia son la gota que colma el vaso ya lleno.



Por esto es frecuente en la ciencia actual que los descubrimientos se produzcan simultáneamente en distintos países, y las más grandes ideas sobre la conquista de la naturaleza que nos circunda nacen casi en los mismos años en la mente de distintos hombres de ciencia.

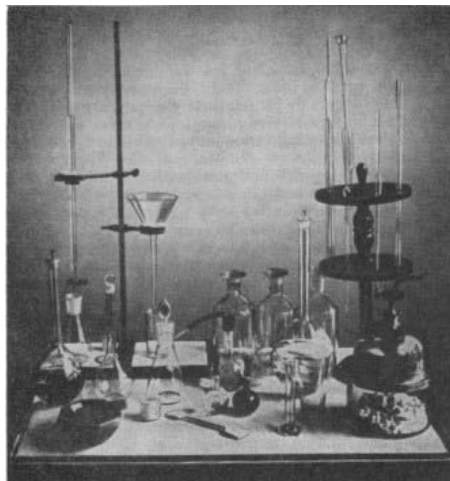
El éxito del trabajo consiste en saber observar y recopilar hechos y datos. En la esfera de la Geoquímica, esta es una de las tareas fundamentales. Hay que reconocer que a veces los investigadores, arrastrados por la teoría, las reglas y generalizaciones lógicas al parecer, cesan de observar y no perciben lo que hay confuso, disconforme con sus concepciones anteriores, que es precisamente la clave para descubrir lo nuevo. Saber advertir lo nuevo y renunciar a tiempo a las hipótesis antiguas y habituales es una calidad imprescindible para el verdadero hombre de ciencia.

Son muchos quienes consideran que los descubrimientos se hacen por casualidad, que Roentgen advirtió casualmente la acción de los rayos X sobre la pantalla iluminada, que por casualidad se encontraron en la lejana Siberia las grandiosas concentraciones de carbonato de manganeso. Pero estos casos no son otra cosa que una muestra de la fina capacidad de percibir lo nuevo.

¡Cuántos investigadores pasaron durante muchos años junto a los minerales blancos considerándolos simples calizas, los trataron con ácido clorhídrico, vieron que se producía



efervescencia y siguieron de largo! Había que fijarse en que en algunas partes de estos minerales, en las grietas y en la superficie, el blanco se recubre de una corteza negra que no es externa sino que parece provenir de la piedra misma. Así fueron descubiertos los grandísimos yacimientos de manganeso en Siberia. Y no los descubrió la casualidad, sino que atentas y consecuentes observaciones y un profundo conocimiento de los hechos condujeron a este hallazgo. En esta capacidad de observación hay un aspecto que señaló muy bien Lomonósov. Él decía que de la observación hay que establecer la teoría y a través de la teoría corregir la observación; y tenía toda la razón ya que las observaciones más sagaces y precisas nacen de la teoría y cada teoría adquiere sentido sólo después de apoyarse en un cúmulo de hechos exactamente observados y exactamente descritos.



*Figura 36.3 Recipientes químicos de vidrio*

¿Cómo debe de ser el verdadero geoquímico?

Debe de ser decidido, marchar sin vacilación hacia el objetivo determinado, debe ser observador atento, debe poseer una imaginación viva, joven, con la frescura de pensamiento y alma que no depende de la edad, sino de la propia sensibilidad natural. Debe tener enorme paciencia, dominio de sí mismo y laboriosidad, y, ante todo, debe saber llevar las cosas hasta el fin.

No en balde, Franklin, uno de los sabios más eminentes, decía que el genio es la capacidad de trabajar ilimitadamente.

El hombre de ciencia debe poseer a un tiempo sentido común y fantasía científica. Debe tener fe en su causa, en su idea, estar convencido de su justeza, defenderla con valentía, entregarse por completo a su trabajo y amarlo. El entusiasmo en el trabajo es una de las condiciones básicas del éxito. Los artesanos de la ciencia no hicieron ningún descubrimiento importante.

Sin entusiasmo no puede conquistarse el mundo, y este entusiasmo nace, no tanto de la propia pasión creadora, como de la conciencia de la tarea responsable, del papel que juega el hombre con su trabajo creador.

Apasionamiento por la idea de perfeccionar la vida humana, ansia ardiente de victoria sobre las fuerzas oscuras, tendencia a construir un mundo nuevo, mejor, hacerle donde recursos nuevos y posibilidades de dominar los antiguos, estos son los objetivos del hombre nuevo en el país nuevo y libre.

Y solamente así es posible conquistar el mundo circundante.

Carlos Darwin escribió en su autobiografía:

"Mis éxitos como hombre de ciencia, cualesquiera que hayan sido, dependieron, por cuanto yo puedo juzgar, de complejas y variadas condiciones de vida y cualidades intelectuales. De estas cualidades, las más fundamentales fueron sin duda: amor a la ciencia, paciencia ilimitada en la reflexión de cualquier problema, perseverancia en la observación y selección de datos y una porción suficiente de inventiva y lucidez".

¡Estos son los rasgos que quisiéramos ver ahora en el geoquímico! Ellos no se crean en el hombre de repente, sino a base de un trabajo tenaz; no nacen con el hombre, hay que educarlos y se forman con la vida creadora.

Ante nuestros ojos se efectúan grandes conquistas del pensamiento químico, y miles de ejemplos nos muestran cómo vencen la naturaleza los entusiastas de la ciencia.

**Capítulo XXXVII****VIAJE FANTASTICO POR LA TABLA DE MENDELEÉV**

"¿Qué le parece a usted qué podría mostrarse, como el mayor éxito de la ciencia rusa?", me preguntó una vez uno de los organizadores de la Exposición de Ciencia y Técnica de la URSS, que se preparaba en Moscú.

"¡Hay que exponer algo que no exista en el mundo y que muestre la gloria y la potencia de la ciencia soviética en su gradual desarrollo, desde los tiempos de Lomonósov hasta nuestros días!" Nos interesó esta idea y después de cambiar impresiones con varios químicos y geólogos presentamos nuestra proposición. De principio ésta pareció demasiado grandiosa y fantástica, pero más tarde los críticos quedaron conformes, les gustó la idea y se pusieron a desarrollarla junto con nosotros.

\* \*

Imaginemos un edificio con el aspecto de enorme cono o pirámide de acero cromado, de una altura de 20-25 metros aproximadamente, como una casa de cinco o seis pisos. Alrededor de este cono va enrollada una espiral grandiosa dividida en casillas cuadradas que se disponen tal como en el sistema de Mendeléev, formando largas filas y grupos verticales. Cada casilla, como una pequeña habitación, se destina a un elemento distinto. Miles de espectadores descienden por la espiral, contemplando en cada casilla el destino de cada elemento, igual que se observan distintas fieras en las jaulas de un parque zoológico.

Para subir hasta el vértice del enorme cono de la tabla mendeleeviana hay que entrar en la planta baja del "elementarium". Al principio nos rodea una oscuridad tenebrosa y sólo unas lengüecillas rojas comienzan como a lamernos los pies y, poco a poco, alrededor empieza a derretirse una masa hirviente de fundición ígnea.

Nos encontramos en la cabina de cristal de un gran ascensor. Por debajo y alrededor nuestro, el océano fundido de las profundidades de la Tierra. La cabina se eleva lentamente entre lenguas de fuego y torrentes de masas fundidas.

Se presentan los primeros puntos de sustancias magmáticas solidificadas y cristalizadas. Flotan aún sobre la fundición, en masas enteras, y, gradualmente, van acumulándose en determinados lugares en forma de minerales refulgentes y rocas duras.

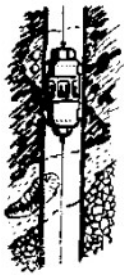
Por la derecha la cabina alcanza ya un magma enfriado y consolidado. Vemos una roca fundamental, oscura, con puntos aún incandescentes, rica en magnesio y hierro. Puntos negros de hematites de cromo y entre ellos refulgen como estrellas cristalitos de platino o iridio con osmio, los primeros metales del fondo.

Poco a poco, la cabina avanza a lo largo de esta masa pétreo de color verde-oscuro que tantas veces se disgregó en su larga historia y de nuevo fue soldada por la masa ígnea líquida. Entre los oscuros cristales verdes brillan otros cristalitos de piedra transparente. Son los cristales de diamante arrastrados al exterior por las masas derretidas, que formaron las chimeneas diamantíferas del Africa del Sur.

La cabina va ascendiendo cada vez más de prisa. En el fondo quedan los minerales verde-oscuros de hierro y magnesio. Aparecen masas compactas de rocas grises y pardas: dioritas, sienitas y gabro; entre ellas brillan a veces vetas blancas. De repente la cabina vira bruscamente a la derecha y penetra en la fundición de granito, saturada de gases, vapores y metales raros, impregnada toda la masa de niebla caliente. Cuesta mucho trabajo distinguir los cristales aislados en el caos del granito derretido. ¡Aquí la temperatura alcanza 800°!



Torrentes tempestuosos de vapores volátiles calientes se abren camino con explosiones hacia arriba. La masa granítica solidificada es estriada por los restos derretidos del propio granito. Estas son las famosas pegmatitas de las que nacen magníficos cristales de gemas preciosas, crecen los



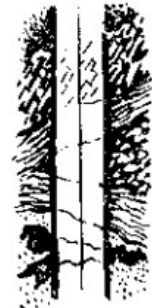
moriones ahumados, los verdes berilios, celestes topacios, cristal de roca y amatista. A través de una niebla de vapores condensados, la cabina pasa junto al magnífico cuadro de las cavidades pegmatíticas. He aquí grandes cuarzos ahumados de más de un metro de diámetro y, junto a ellos, cristales de feldespatos. Lentamente crecen en su superficie láminas de mica y más arriba alumbran los cuarzos ahumados. Maravillosos cristales de roca atraviesan dichas cavidades como un bosque de lanzas transparentes.

La cabina se eleva a mayor altura. Escobillas de color lila de amatista la rodean por todos lados. Dando un fuerte tirón se abre paso a través de la veta de pegmatita y al salir de ella observamos nuevos cuadros que atraen nuestra atención; a derecha e izquierda se ramifican vetas de distinto espesor, bien columnas enteras y compactas de minerales blancos y brillantes compuestos sulfurados, bien vetas finas, apenas perceptibles, parecidas a las ramitas de un árbol. Sectores enteros de rocas graníticas se ven llenos de cristalitos pardos de piedra estannífera y masas rosa-amarillentas de scheelita.

Se apaga en la cabina la luz eléctrica. Nos hallamos en la oscuridad. Accionando unas palancas comienza a funcionar una potente máquina que desprende invisibles rayos ultravioletas y en las oscuras paredes del túnel empiezan a encenderse nuevas luces; arden con suave luz verde los cristales de scheelita y fulguran con fuego amarillo los granos de calcita. Los minerales tornasolan, se alumbran y refulgen con luz fosforescente y entre ellos quedan las manchas negras, tenebrosas, de las combinaciones de metales pesados.

De nuevo se enciende la luz. La cabina abandona las zonas de contacto de los granitos y marcha por uno de los grandes túneles que se elevan desde el macizo de granito. Aminoramos la marcha y subimos por un verdadero filón mineral. Después, la cabina penetra en un compacto cuerpo de cuarzo. Los agudos cristales negros de minerales wolfrámicos atraviesan el cuarzo y después de varios cientos de metros aparecen los primeros brillos de las piritas, cristales amarillo-plateados compuestos de sulfuros de hierro. Les siguen piritas ele vivo y deslumbrante color amarillo.

"¡Mirad, oro!" -grita uno de nosotros. Finos nervios atraviesan el cuarzo de nívea blancura. La cabina se eleva aún varios centenares de metros. En lugar del oro aparecen cristales de galenas plumbíferas de brillo acerado, después la blenda de zinc, brillante como el diamante, distintas rocas sulfuradas difumando los colores de todos los metales, minerales de plomo, plata, cobalto y níquel. Más arriba las vetas se hacen más claras. La cabina atraviesa blando espato calizo, cruzado por agujas cristalinas de estibnita y argentita y, a veces, por cristalitos rojo-sangre de cinabrio. Más adelante hay masas compactas amarillas y rojas de compuestos arsenicales.



La cabina se abre camino cada vez con más facilidad. Las masas fundidas calientes fueron hace mucho remplazadas por vapores calientes, después por soluciones, también calientes. Hasta la cabina salpican los surtidores de las fuentes minerales calientes. Hierven y bullen en ellos las burbujas de anhídrido carbónico, irrumpiendo entre las rocas sedimentarias que sirven de fundamento a la corteza terrestre. Vemos cómo corroen las paredes calizas dejando en ellas incrustaciones de minerales de zinc y plomo. Estos surtidores minerales calientes empujan la cabina más arriba, alrededor cuelgan de las paredes bellas concreciones calcáreas formadas por infiltración: estalactitas de aragonita parda (piedra de Karlsbad) o depositaciones de ónice marmóreo de abigarrado colorido.

Los surtidores minerales se ramifican y en chorros delgados se abren camino hasta la superficie terrestre, originando los géiseres y fuentes de aguas minerales. Nuestra cabina pasa por capas de rocas sedimentarias, atraviesa estratos de carbón, penetra en las capas de sales pertenecientes al Pérmico y ante nosotros se abre el panorama del remoto pasado de la superficie terrestre. Sobre los cristales de la cabina caen, manchándolos, pesadas gotas líquidas de la nafta y diversos betúmenes contenidos en las arenas de las rocas de sedimentación. La cabina atraviesa distintos niveles.

De nuevo moja sus paredes la lluvia de las aguas subterráneas; su camino pasa por una espesa pared de arenales duros; blandas calizas y pizarras arcillosas nos rodean, con la abigarrada sucesión de los períodos de la historia de la Tierra. Nuestra cabina avanza acercándose a la superficie. Un tirón más en su rápido movimiento y la cabina se detiene.

Llamas luminosas se levantan a nuestro encuentro y nubes blancas de vapor de agua de formas fantásticas cubren todo el cielo.

Hemos subido hasta la cúspide de la Tabla de Mendeléev. En el aire arde el elemento químico hidrógeno, convirtiéndose en nubes de vapor de agua.

\* \*

Estamos en la plataforma superior de la Tabla de Mendeléev. La empinada espiral nos conduce hacia abajo. Nos apoyamos en el pasamanos de acero cromado y comenzamos el camino.



He aquí el primer compartimento. Sobre él está escrito con grandes letras "Helio". Este gas noble, elemento raro descubierto por primera vez en el Sol, impregna toda la tierra, las piedras, el agua y el aire. El helio, gas existente por doquier, es buscado por nosotros para llenar los dirigibles. Aquí, en esta pequeña habitación dedicada al helio puede verse toda su historia, desde las líneas de color verde vivo de la corona solar hasta la negra y deslucida cleveíta,

piedra de las vetas escandinavas, de la que puede extraerse con una bomba aspirante el gas del Sol, el helio.

Asomándose con cuidado por la balastrada pueden verse bajo el cuadrado del helio otros cinco compartimentos. En ellos lucen con letras de fuego los nombres de otros gases nobles: neón, argón, criptón, xenón y la emanación del radio, radón.

De repente se encienden las líneas espectrales de los gases nobles y todo comienza a arder con vivos colores. Los tonos anaranjados y rojos del neón se cambian por los azul-celeste del argón. Largos y temblorosos trazos de los azulados gases pesados completan este cuadro. En las ciudades lo conocemos muy bien por los anuncios luminosos de los comercios.

De nuevo se enciende la luz. Estamos ante la casilla del litio, el más ligero de los metales alcalinos. Vemos toda su historia, incluso hasta los aviones del futuro. Inclinandonos de nuevo hacia abajo vemos lucir los nombres de sus análogos: de color amarillo, el sodio; de color violeta, el potasio; el título del rubidio arde con coloración reja y el del cesio, con luz azul-celeste.



Así, gradualmente, paso a paso, elemento tras elemento, recorreremos la espiral de la gran Tabla de Mendeléev y todo lo que narramos en las páginas de este libro, toda la historia de los diferentes elementos químicos se dibuja aquí, no como aisladas palabras e ilustraciones, sino como imágenes vivas, verdaderas, en la propia historia de cada elemento.

¡Qué puede haber más fabuloso que la casilla del carbono, base de la vida y del mundo entero! Toda la historia de la sustancia viva desfila aquí ante nuestros ojos y toda la historia de la muerte de esta sustancia, cuando la vida enterrada en las profundidades se transforma en carbón y el protoplasma vivo, en nafta líquida. En el cuadro magnífico del mundo complejo de cientos de miles de las combinaciones químicas del carbono, llama nuestra atención su principio y su fin.



Aquí hay un enorme cristal de diamante. No, este no es el famoso Cullinan, cortado en pedacitos para el rey inglés; éste es Orlov, que engarzado en un bastón de oro fue el cetro de los zares rusos.

Y allá, en un extremo de esta misma habitación hay una capa de carbón. El perforador neumático horada el carbón y trozos de esta piedra opaca son elevados a la superficie terrestre por medio de una cadena transportadora.

Este es el "pan de la industria", como dijo V. I. Lenin.

Seguimos descendiendo y después de dar dos vueltas a la espiral nos hallamos ante una habitación de vivos colores; piedras amarillas, verdes y rojas refulgen con todos los colores del iris. Aquí vemos las minas del Africa Central y las grutas oscuras de Asia. Lentamente gira una película cinematográfica, mostrando cuadros de distintas minas, descubriendo el origen de los metales. Aquí está el vanadio, así llamado en honor de la antigua diosa legendaria, ya que es fabulosa la fuerza que él transmite al hierro y al acero, dándoles dureza y rigidez, viscosidad y elasticidad, indestructibilidad, imprescindible para los ejes de los automóviles. Ante nosotros, en esta misma habitación, hay ejes de acero al vanadio con millones de kilómetros recorridos y junto a ellos otros de acero común deteriorados y rotos que no resistieron incluso ni siquiera diez mil kilómetros de marcha.

De nuevo recorremos varias vueltas de la espiral. Los cuadros van cambiándose uno tras otro. Bien el hierro, fundamento del mundo y de la industria; bien el yodo, que se halla en todas partes llenando el espacio con sus átomos; bien el estroncio, refulgiendo en las rojas bengalas; o el brillante metal galio que se funde en la mano del hombre.

¡Qué hermosa es la habitación del oro! Reluce con miles de luces. Oro en las vetas de cuarzo blanco; oro plateado, casi verde, de las minas de la Transbaikalia. Corre ante nuestros ojos un chorro de oro en el pequeño modelo de la fábrica de enriquecimiento de Leninogorsk, en Altái; soluciones de oro de todos los colores del iris; el oro en la historia de la humanidad y de la civilización. ¡Metal de la fortuna y del crimen, metal de la guerra, del saqueo y de la violación! Con vivos colores desfilan ante nosotros los sótanos de los Bancos estatales con sus lingotes de oro, los cuadros impresionantes de los obreros trabajando como esclavos en las célebres explotaciones de Witwatersrand, los jefes bancarios que deciden la suerte de las compañías anónimas y el precio de la valuta oro.

Damos un paso más y nos encontramos en la habitación de otro metal, el mercurio líquido. Igual que en la famosa Exposición de París de 1937, en el centro del departamento hay una fuente donde corre, en lugar de agua, el líquido y plateado mercurio. En el rincón de la derecha una pequeña máquina de vapor marca los tiempos con sus émbolos, accionados con gas de mercurio, y a la derecha se muestra toda la historia de este metal volátil, su difusión por la corteza terrestre, gotas rojo-sangre de cinabrio de los arenales del Donbass y gotas de mercurio líquido de las minas de España.

Seguimos adelante. Tras los departamentos del plomo y el bismuto empieza un cuadro que nos resulta inexplicable. Los elementos y sus casillas se confunden entre sí. Aquí se pierde la claridad y precisión de cada compartimento. Entramos en la zona de átomos especiales del sistema de

Mendeléev. Aquí ya no hay ni rigidez ni estabilidad. Algo confuso y nuevo se presenta a nuestra vista y de pronto, entre la niebla, comienza a esbozarse un cuadro fabuloso.

Los átomos de uranio y torio no permanecen en sus sitios. De ellos se desprenden ciertos rayos y aparecen átomos de helio. Nuestros átomos abandonan sus lugares habituales y saltan a la casilla del radio, emitiendo una luz viva y enigmática, se transforman, como en los cuentos, en el gas invisible radón, comienzan después a correr en sentido contrario por la Tabla de Mendeléev y ante nuestros ojos vienen a morir al departamento del plomo.

Pero, he aquí que otro cuadro, aún más horrible, viene a substituir el anterior: ciertos átomos en rápido vuelo se lanzan sobre el uranio, lo parten en trozos golpeándole ruidosamente, el átomo de uranio se deshace en rayos brillantes, arde en lo alto de nuestra espiral en el departamento de las tierras raras, y después corre de nuevo hacia abajo por la espiral, deteniéndose en algunas casillas de metales ajenos a él, yendo a morir paulatinamente en las cercanías del platino.

¿Qué es lo que ha ocurrido con nuestros átomos? ¿Acaso no es esto una infracción de nuestras leyes y nuestras convicciones de que cada átomo es el ladrillo permanente e inalterable del edificio de la naturaleza, que nada puede cambiarlo ni transformarlo, que el estroncio es siempre estroncio, y el átomo de zinc, siempre átomo de zinc?

Nos sentimos cerca de una cruel desilusión. A pesar de todo lo que decíamos antes resulta que el átomo es inestable. Hemos entrado en un mundo nuevo donde el átomo no es inalterable, donde se le puede disgregar, no destruirlo, pero sí convertirlo en otro.

A través de la niebla del final de la Tabla de Mendeléev, entre las chispas refulgentes de los átomos voladores de helio y rayos X, bajamos por los últimos peldaños de la espiral hacia una profundidad desconocida.

Pero ahora, no es al fondo de la tierra donde bajamos, sino al fondo de las ardientes estrellas que fulguran en el cielo. Allí donde las temperaturas se miden en cientos de millones de grados, las presiones no pueden expresarse por ningún número de nuestras atmósferas y los átomos, en un caos vertiginoso, se inflaman y descomponen.

¿Entonces qué, quiere decir que todo lo que asegurábamos no es cierto?

¿Quiere decir que tenían razón los alquimistas, queriendo hacer del mercurio oro, y del arsénico y la "piedra filosofal" elaborar plata? ¿Tenían razón los fantaseadores de la ciencia que aún cien años atrás decían que los átomos se transforman uno en otro y que, en mundos complejos, inalcanzables para nosotros, nacen unos de otros?

La Tabla de Mendeléev está muy lejos de ser una tabla muerta compuesta simplemente de casillas. Representa no sólo el cuadro del presente, sino también del pasado y del futuro. Es el cuadro de los enigmáticos procesos del mundo en que se verifica la transformación de unos átomos en otros. Es el cuadro de la lucha por la existencia que domina en el mundo de los átomos.

¡La Tabla de Mendeléev es la tabla de la historia y la vida del universo! Y el átomo mismo es una partícula del universo que cambia eternamente de lugar en las complicadas filas, grupos y casillas de la Tabla de Mendeléev.

Aquí alcanzamos el panorama más maravilloso del mundo que nos rodea.



## Capítulo XXXVIII LAS CONQUISTAS DEL FUTURO

El impetuoso desarrollo actual de la Física y la Química es sólo el comienzo, la etapa inicial del grandioso progreso que se vislumbra, cada vez con mayor claridad, para la ciencia, la industria y la economía, que consistirá, como acostumbramos a decir, en la quimización, o sea, en la introducción y aplicación intensísima de la Química en todas las ramas de la ciencia y la Técnica. Pienso que se inicia el siglo de la Química, en el que, no sólo todos los elementos químicos serán subordinados al genio humano, sino que también, se despertarán todas las fuerzas del átomo y se utilizarán las grandiosas reservas de energía que se ocultan en cada molécula, átomo y corpúsculo eléctrico. Parecerán un poco fantásticas las páginas que siguen, pero la fantasía del presente se convierte con frecuencia en la técnica del futuro.

¡Las fantasías de Julio Verne que aún ahora nos apasionan, se han hecho realidad el día de hoy! El notable sabio ruso K. Tsiolkovski nos muestra una fantasía todavía más alada y, a pesar de que ha transcurrido no mucho más de medio siglo desde el momento que anunció sus atrevidas profecías, mucho de lo que él escribió entonces se ha convertido en realidad. Por ello no deben asustarnos las fantasías científicas, aunque tampoco debemos considerarlas como algo ya existente debemos luchar por ellas, ya que la fantasía es uno de los métodos del trabajo científico. No en balde Lenin dijo que la fantasía es una cualidad de grandísimo valor. En vano se piensa que sólo es necesaria para el poeta. Hasta en las matemáticas es precisa, e, incluso, el descubrimiento del cálculo diferencial e integral hubiera sido imposible sin ella. Así, pues, vamos a fantasear junto con ustedes sobre lo que será de nuestra técnica en la era del florecimiento de las ciencias químicas.



Antes que nada será vencido el elemento aéreo, no sólo porque los aviones y cohetes, elevándose por encima de las nubes a alturas de cincuenta y cien kilómetros, volarán con velocidades muy superiores a la del sonido, sino también porque la Química dominará a la substancia aérea y la supeditará al poder del hombre.

En las grandes fábricas diseminadas por toda la tierra, se extraerá el helio del aire, se separará el oxígeno y el nitrógeno, y ríos enteros de oxígeno líquido correrán por tuberías refrigeradas artificialmente hasta las potentes fábricas metalúrgicas donde la fundición de metales en los altos hornos se verificará con

tanta sencillez como la vaporización del agua en una probeta de laboratorio.

En tales fábricas se obtendrá nitrógeno puro, transformándolo mediante fuertes descargas eléctricas en ácido nítrico. El nitrógeno vitalizador, en forma de abonos, se llevará en enormes cantidades a nuestros campos, duplicando y triplicando sus cosechas. Y por otros tubos de estas instalaciones de la industria del aire fluirán torrentes de gases nobles, el neón, el criptón y el xenón en estado líquido que a través de tubos delgados pasarán a las fábricas de bombillas eléctricas.

Pero aún más maravillosa será la victoria sobre las capas ozónicas que se forman por influencia de los rayos ultravioletas del sol a altura de decenas de kilómetros.

Sabemos que estas capas de ozono envuelven la Tierra como un espeso manto, rechazando las radioondas y reteniendo la acción vivificadora de las vibraciones ultravioletas.

Y figurémonos el cuadro fantástico siguiente: enormes columnas electrificadas de compuestos amoniacales se elevan a una altura de varios centenares de kilómetros, hasta alcanzar las famosas capas de ozono; éste se descompone y se forman





"ventanas" a través de las cuales se infiltrarán libremente desde el Sol las ondas electromagnéticas de los rayos ultravioletas. En unos lugares destruirán la vida, en otros le transmitirán fuerza vigorosa, sirviendo de manantial de nueva energía viva.

Pero aún más fantástica nos parece la conquista de las profundidades. Océanos de magmas hirvientes bajo nuestros pies, cantidades colosales de calor ocultas en las entrañas terrestres, todo esto se hará accesible para el hombre.

Por tuberías especiales, a profundidades de 20-30 kilómetros, el hombre alcanzará capas calentadas hasta 500-1000° y utilizará el calor del seno terrestre en las termocentrales. Cesará la destrucción de los bosques y no se quemará inútilmente el carbón, tan necesario para los procesos químicos. Se acabará con el uso del petróleo en las instalaciones caloríficas.

Millones de calorías traerán los tubos desde las profundidades hasta la superficie terrestre.

Además de dar calor a las viviendas y fábricas, calentarán regiones enteras con su cálido aliento, fundirán los hielos de los países polares, cambiarán el clima. Potentes instalaciones frigoríficas colocadas en distintos lugares de los desiertos los convertirán en florecientes oasis.

Pero para el hombre esto será insuficiente. ... Para el hombre será poco el calor que por orden suya se derrame por toda la superficie terrestre corrigiendo los errores del Sol. El extraerá del subsuelo las riquezas que allí se esconden.

Ahora ya, según la profecía genial de Mendeléev, empieza en nuestro país una etapa nueva en la lucha por el dominio del subsuelo.

En profundidades inalcanzables para los túneles de las minas se quema el carbón y los productos de su ignición se elevan a la superficie por tubos y se emplean en la industria. No hacen falta minas, ni el duro trabajo de los obreros perforadores y demás mineros del carbón; el camino largo y complicado de la automecanización y telemecánica nos da la posibilidad de poseer las reservas carboníferas sin necesidad de bajar a las minas.

El hombre saca ya el azufre de la profundidad de los yacimientos terrestres. El vapor de agua derrite el azufre en el fondo y sus chorros líquidos emergen a la superficie; si el vapor de agua, sobrecalentado hasta 500-600°, se dirige a las velas minerales en que se concentran los pesados sulfuros metálicos, entonces, en lugar de azufre, se elevarán por los tubos, construidos de un nuevo material resistente, los compuestos sulfurados de plata, plomo y zinc.



Potentes capas de pizarras serán quemadas en la profundidad, llevando a la superficie gases combustibles. Las sales serán disueltas y extraídas a la superficie en forma de soluciones líquidas. Soluciones ácidas concentradas disolverán las sustancias naturales, dando sales ya preparadas para las

fábricas electrolíticas. Toda la corteza terrestre será atravesada por millones de tubos de acero que extraerán de las distintas profundidades las sustancias necesarias para el hombre.

Todavía más decisiva será la victoria sobre la materia cuando la Química aprenda a reunir los átomos dispersos de uranio y utilizar su energía.

Actualmente los físicos dicen que las reservas mundiales de energía del uranio son colosales. Aprendiendo a fisiónar estos átomos desintegrables de uranio, el hombre construirá nuevos motores, que trabajarán sin fallos y sin descanso miles de años, sirviendo de fuente de energía fabulosa y que pondrán en movimiento aviones y navíos.

En las nuevas instalaciones químicas toda la energía del mundo se pondrá al servicio del hombre. Los rayos solares que tan estérilmente caen sobre la superficie terrestre serán recogidos y concentrados por enormes espejos y transformados en calor. Las cocinas solares de California y la URSS, primeros ensayos de aplicación de la energía del Sol, se harán habituales para cada persona.

Se utilizarán totalmente las fuentes de carbón blanco y azul, cuya energía será capturada por centrales enormes dispuestas en las orillas de los océanos, mares y ríos. ¡El hombre será dueño de tan inmensas cantidades de energía que podrá hacer verdaderos milagros! ¡Y entonces el hombre dominará el espacio, la distancia y el tiempo!... Velocidades de varios miles de kilómetros por hora se harán usuales; las distancias entre las ciudades se reducirán al mínimo y dejarán de aislar a las personas. Nuevas formas de vida, nueva reorganización social del mundo, podrán borrar con el tiempo todas las fronteras del mundo. La vida del hombre constituirá el objetivo fundamental de la creación científica. El hombre aprenderá a fisiónar los átomos utilizando métodos precisos, podrá, con la ayuda de los rayos radiactivos y las partículas emitidas por enormes ciclotrones, hacer con los átomos todo lo que crea necesario: romperlos en pedazos, transformar los átomos pesados en ligeros y, al revés, de los ligeros hacer pesados. Obteniendo por vía artificial distintos tipos de átomos, el hombre aprenderá a emplearlos. Los átomos que viven solamente un segundo o un minuto serán introducidos en el organismo como nuevos recursos curativos para la lucha contra los virus y bacterias perniciosas. El hombre dominará la célula viva gobernándola con ayuda de la nueva Química. Pero para los grandes procesos químicos sabrá emplear también los microorganismos. Ya hoy se cultivan en los institutos microbiológicos, en pequeños matraces con gelatina, muchas bacterias útiles y necesarias.

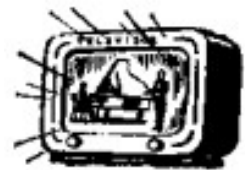


*Figura 38.1 Universidad de Moscú, erigida sobre los montes de Lenin*

El hombre aprenderá a obtenerlas en cantidades enormes y a diseminarlas por los campos de cultivo. Las bacterias darán al campo fertilizantes, ácido nítrico, y descomponiendo el yeso extraerán el azufre. El hombre convertirá las bacterias en fuerza vital, en un agente poderoso de la Química y las utilizará para la obtención de los metales dispersados en los mares, como hacen algunos diminutos acantáridos, que absorben y concentran en sus cuerpos el estroncio de las soluciones marinas.

En la lucha por el subsuelo será utilizada toda la masa mineral. ¡Nada de residuos, nada de desperdicios! Todo estará al servicio de la industria, toda la Tabla de Mendeléev será utilizada y los elementos más difundidos, el silicio y el aluminio, se harán base de la vida.

Las sustancias "ultrararas" perderán el sentido de su denominación, penetrando firmemente en nuestra vida. Con su ayuda fabricaremos pantallas de televisores y podremos, sentados en nuestra



habitación, mantener conversaciones con un lejano auditorio que veremos ante nuestros ojos en la pantalla del televisor. Los elementos más raros servirán para las reacciones químicas que en las grandes fábricas podrán transformar las sustancias en productos necesarios para la vida.

Una importancia especial adquiere la Química orgánica. En lugar de los centenares de miles de compuestos carbonados conocidos hoy, el hombre obtendrá millones de nuevas estructuras, cuando sepa utilizar en sus nuevas instalaciones temperaturas próximas al cero absoluto, temperaturas de millones de grados y presiones de cientos de miles de atmósferas.

Esta será la nueva Química del carbono. No serán sólo los materiales plásticos con los que pueda elaborarse cualquier cosa (desde botones hasta aviones ligeros), no sólo el caucho artificial que comienza a substituir al natural con éxito, no sólo los magníficos colores que hacen innecesarias las plantaciones de índigo; no, éstas serán sustancias absolutamente nuevas, próximas a la verdadera molécula orgánica, al protoplasma, a la albúmina... Serán sustancias alimenticias artificiales que harán innecesario el complejo laboratorio químico en el organismo de los animales.

La nueva Química sintética sabrá emplear también otros elementos para edificar compuestos complejos como los que supo construir del carbono, oxígeno e hidrógeno la Química orgánica. Nuevas moléculas de silicio, germanio, boro y nitrógeno ya se me dibujan ahora en los magníficos compuestos que lograron obtener los químicos durante los últimos años, construyendo el ciclo bencénico, no de carbono e hidrógeno, sino de otros dos elementos terrestres: el nitrógeno y el boro.

Pero para que la Química conquiste el mundo se necesita un gran trabajo científico; hacen falta muchos y potentes institutos científicos con instalaciones perfeccionadas que permitan trabajar a altas temperaturas y presiones, institutos que deberán fusionarse con los laboratorios industriales. Aquí, la victoria será lograda por gentes nuevas audaces, pertrechadas de valiente imaginación científica, ardiendo en el fuego de nuevas búsquedas. Con tales colores se me representa el porvenir a la luz del día de hoy. Pero estos colores son tomados de la naturaleza que nos rodea y de nuestros conocimientos. Aún más majestuosos serán los cuadros de un futuro más lejano; pero para esto, para describirlos, nos faltan por ahora palabras, colores e imágenes...



El objeto fundamental de las búsquedas apasionadas e investigaciones audaces es la felicidad humana. La vida nueva nace como resultado de las victorias sobre la naturaleza y sobre las rutinas del propio hombre.

Una lucha difícil y obstinada espera al hombre en este camino. Pero los jalones del futuro ya están puestos y las tareas marcadas. La lucha por la naturaleza, por el dominio de sus fuerzas, por la conversión de todo lo inútil en útil, es una de las palancas más poderosas para la creación de una vida nueva.

## Capítulo XXXIX FINAL DEL LIBRO

He aquí el fin del libro. Hubimos de convertirnos, junto con ustedes, en un pequeño átomo "viajero" para poder recorrer los complejos caminos de "peregrinación" de los elementos, mirar al fondo de la Tierra e, incluso, al cielo, a los astros



incandescentes, para observar cómo se comportan los diversos átomos en el universo, en las manos del hombre, y qué es lo que con ellos se hace en la industria y economía nacional.

Largo es el camino que recorre el átomo en su historia y no conocemos ni el principio ni el fin. Aún es para nosotros un enigma el nacimiento de los átomos y el comienzo de su "peregrinación" en la Tierra. Tampoco es claro para nosotros su destino en el futuro, en el complicado porvenir de nuestro planeta.

Sabemos solamente que unos átomos vuelan fuera de los límites de la Tierra y se difunden en los espacios interestelares, donde por cada metro cúbico no hay más de un insignificante átomo y donde éstos ocupan tan poca parte del espacio universal, que su magnitud tendría que expresarse por la unidad colocada detrás de treinta Ceros después de la coma.

Sabemos que otros átomos se difunden en la propia corteza terrestre, en sus terrenos, aguas y océanos; hay otros que lenta y gradualmente vuelven a la profundidad obedeciendo a las leyes de la gravitación universal.

Unos átomos son constantes, invariables, tan consistentes como las bolas de hueso del billar, limpias y blancas; otros, por el contrario, elásticos como pelotas de goma, se aplastan, chocan unos contra otros, se entrelazan en complejas estructuraciones, circundados por campos eléctricos; unos terceros se desintegran hasta el fundamento, hasta el fondo mismo de sus núcleos, emitiendo energía y transformándose en insólitos gases, cuyo plazo de vida se determina exactamente por las leyes de la desintegración y se miden en millones de años para unos, años para otros, segundos e insignificantes fracciones de segundo para los terceros.

El mundo que nos rodea se compone de más de cien elementos químicos y ¡qué gran variedad, cuán distintos son los rasgos de estos átomos y qué diversas son las combinaciones que forman entre sí!



*Figura 39.1 Museo Mineralógico de la Academia de Ciencias de la URSS*

Sólo ahora comenzamos a leer de manera nueva estas páginas magníficas de la historia de los elementos químicos de la Tierra.

La Geoquímica sólo ha entreabierto un mundo nuevo de la naturaleza; sólo ha comenzado un trabajo pertinaz, la observación de la conducta de cada elemento en la corteza terrestre, y ha surgido ya la necesidad de abrir un registro sobre el comportamiento de cada átomo, profundizar en sus rasgos característicos, conocer sus defectos y virtudes, en una palabra, estudiar con el mayor detalle y profundidad cada átomo y constituir, a partir de hechos sueltos, la historia de su destino, la historia del universo.

Cada eslabón de esta historia depende de propiedades aún no descubiertas del átomo, y leyes complejas y profundas regulan su destino tanto en todo el Cosmos, como en la Tierra y en manos del hombre.

Necesitamos conocer los caminos seguidos por los átomos, no por simple curiosidad de saber cómo se conducen en la Tierra, no nos hace falta aprender a manejarlos de la manera que más convenga a la humanidad para su progreso técnico, económico y cultural. Engels decía que debemos estudiar la naturaleza para transformarla. En esto reside la tarea, grande y honrosa, de los geoquímicos.

Sí, debemos dominar los átomos hasta el fin y saber hacer con ellos todo lo que se quiera; por ejemplo, obtener aleaciones especiales que sean más duras que el diamante, para lo cual hay que conocer cómo se disponen los átomos en sus complejas edificaciones.

Debemos aprender a descifrar las propiedades de las combinaciones metálicas.

No queremos ni debemos andar probando, sino saber con exactitud.

Debemos obtener y extraer la mayor cantidad posible de átomos, tales como

los átomos de cesio o talio que ceden con facilidad sus electrones exteriores.

Con ellos deseamos construir los más perfectos receptores de televisión, que se guarden en el bolsillo, aparatos de cine sonoro del tamaño de un libro corriente.

En una palabra, queremos supeditar el átomo por completo, someterlo a

nuestra voluntad, la voluntad triunfante del hombre, transformador de todas las fuerzas feroces y nocivas de la naturaleza en fuerzas útiles. Queremos colocar a los pies de la humanidad trabajadora toda la naturaleza, la tabla entera de los elementos de Mendeléev.

Este es el sentido y la misión de nuestro trabajo geoquímico, he aquí el objetivo que perseguimos cuando queremos comprender y dominar el átomo.

Con estas palabras finalizamos nuestro prolongado relato.

Pero, amigos, ¿acaso puede haber fin para la ciencia o el estudio?

Seamos completamente sinceros.

Aquí, en el mismo final de nuestro libro, nos encontramos, en esencia, en el comienzo de nuestros conocimientos, e, incluso si releemos varias veces este libro, observamos atentamente diferentes ilustraciones e intentamos recordar el comportamiento de determinados elementos, debemos reconocer que estamos sólo en el principio.

Aún tenemos que leer, pensar y trabajar mucho hasta llegar a comprender algo de los secretos de la naturaleza que nos circunda.

¿Qué hacer en adelante? Antes que nada hay que estudiar las ciencias básicas: Química, Física, Mineralogía y Geología. Estas ciencias no pueden pasarse de largo y para convertirse en un buen investigador de las riquezas naturales de nuestro país hay que releer, meditadamente, muchas veces las páginas de estos libros y dominar los principios de las ciencias químicas y mineralógicas.



Hay que leer los libros con toda atención, introducirse reflexivamente en el destino de cada elemento, estudiar su comportamiento en la tierra, en el agua, en el aire, en la técnica, en la agricultura y en este camino siempre nos servirá de estrella polar la Tabla de Mendeléev. Observen la Tabla de Mendeléev que se adjunta en este libro, o, mejor aún, dibújenla en una hoja grande de papel, poniendo en cada casilla el símbolo químico y peso atómico del elemento químico correspondiente; escriban debajo la cantidad que de él existe en la corteza terrestre y cuelguen esta tabla en su habitación de manera que siempre esté a la vista.



La ley periódica de Mendeléev enseña mucho.

Ella muestra cómo están vinculados los átomos entre sí, no sólo en la Tabla, sino en la propia naturaleza.

Pero la Química y Geoquímica las aprenderán ustedes no sólo en los libros, cuadros y tablas. Podrán conocer las nuevas ideas químicas en los museos, cuyas exposiciones de Mineralogía y Geoquímica les enseñarán mucho, donde los ejemplares se seleccionan frecuentemente por elementos químicos aislados.

Las grandes fábricas químicas y metalúrgicas también les enseñarán Química, Mineralogía y Geología.

Cualquiera que haya visitado el combinado de Magnitogorsk, toda la vida recordará lo que se hace con el mineral de hierro y cómo de complejas combinaciones de elementos químicos, después de ser tratados convenientemente en los altos hornos y talleres especiales, nacen, primero hierro rico en carbono y, después, verdadero acero.



*Figura 39.2 Instituto de Minas de Leningrado*

En Solikamsk podemos conocer los destinos químicos y geoquímicos del potasio y el magnesio. En las fábricas de superfosfatos de Leningrado, Voskresensk (cerca de Moscú), Ucrania, los Urales y otros lugares, puede verse cómo los apatitos y las fosforitas se convierten, por medio del ácido sulfúrico, en abonos fosfatados.

Observando los procesos que se verifican en los hornos fogueantes de las fábricas de aleaciones férricas de Cheliábinsk, se comprende cómo se forman en las profundas entrañas de la Tierra los magmas fundidos y cómo de ellos se separa por cristalización la substancia.

En una palabra, por doquier en las grandes fábricas transcurren episodios sueltos de la historia de los átomos: los átomos de diversos metales se combinan entre sí a base de complicados procesos,

se obtienen diferentes sustancias, las cuales vuelven a unirse con otros elementos, formando nuevas combinaciones destinadas a la producción de aceros de aleación, complejos superfosfatos y sales de potasio, manganeso, vanadio y circonio.

La Química se aplica cada vez más en los procesos industriales. Para nosotros es ya poco labrar simplemente la piedra y tallar adoquines para el empedrado y puntas de flechas; ahora procuramos obtener de ella, aplicando diversos tratamientos químicos, la más alta calidad y mejor combinación de diferentes sustancias.

Los procesos químicos nos rodean a cada paso y debemos observarlos atentamente y aprender a descifrarlos.



*Figura 39.3 Un geoquímico estudia los afloramientos rocosos consistentes en torrentes de lava solidificados*

La Geoquímica y las nuevas ideas mineralógicas se las enseñará la propia naturaleza, sus yacimientos metálicos, salinos y minerales. En ningún lugar aprende el joven investigador las leyes de las transformaciones químicas tal como en la misma naturaleza; y por esto invitamos a todos a estudiar afanosamente, en primavera y verano, en invierno y otoño, los procesos químicos de la Tierra.



Contemplándolos, verán durante la temprana primavera cómo los dorados brillos de la pirita son difuminados por la eflorescencia verde-clara de las caparrosas en las arcillas negras de los sedimentos del período Jurásico, cerca de Moscú. Verán el cuadro grandioso de las mutaciones y formación de los minerales ferruginosos en las minas del monte de Magnítnaia, donde las antaño potentes formaciones de hierro magnético sobre la superficie terrestre fueron transformándose, primero, en una masa parda de mineral nontronita y, más tarde, se cubrieron de una capa de óxidos de hierro rojo-pardos y herrumbre.

En todas partes, en las minas y canteras, en las cúspides de las cordilleras y en los profundos valles a lo largo de las denudaciones de los ríos, por doquier se ve como cambia la substancia, cómo un mineral se transforma en otro, cómo la substancia nueva se cambia en una tercera. Hay que ser sólo atento en sus observaciones y pronto cada uno de ustedes podrá ver que todo cambia, a veces lenta, tranquilamente, a veces de repente, sometiéndose a las grandes leyes

de la naturaleza. "Todo fluye" -decían los antiguos filósofos griegos. "Todo se transforma y cambia"- dicen los geoquímicos de nuestros días.



## **Capítulo XL** **EL GEOQUÍMICO EN EL CAMPO**

### **INTRODUCCION**

El capítulo presente consta de dos partes. En la primera se expone una serie de consejos prácticos para el geoquímico que se dedica a la exploración de yacimientos útiles y al estudio geoquímico de una región determinada. En la segunda, se enumeran de forma breve los métodos fundamentales de trabajo en el orden en que deben ser realizados por el geoquímico durante su labor de investigación en el terreno.

Ambas están basadas en una regla bien estudiada y asimilada por los investigadores en estos últimos tiempos: el trabajo científico en el terreno se compone en general de tres etapas, a saber, 1°, etapa preparatoria, 2°, realización práctica de la investigación, 3°, traslado y elaboración ulterior de los materiales recogidos.

No cabe ninguna duda de que estas tres etapas son igualmente importantes y cada una debe ser estudiada y meditada con atención especial.



*Figura 40.1 Tiendas de campaña de geólogos en los límites del desierto de Kara-Kumi*

"Viaja bien quien mucho sabe y reflexiona" -dijo cierto explorador científico; otro añadió con mucha justeza, que el arma más aguda e importante de que dispone el explorador científico es su vista, de cuya atención y penetración no deben escapar los fenómenos y detalles más insignificantes, ya que de ellos se deducen con frecuencia grandes y fundamentales conclusiones.

### **PARTE PRIMERA**

#### **1. EL EQUIPO**

La elección correcta y bien calculada del equipo es una cuestión importantísima para el geoquímico, pues, además del instrumental geológico corriente, debe tomar consigo varios aparatos e instrumentos complementarios para las investigaciones de carácter químico y físico. Antes de nada, hay que tener en cuenta los medios de transporte de que dispone la región dada, y, con arreglo a ello, analizar escrupulosamente el peso y las dimensiones convenientes del equipo al elaborar el plan de la expedición. No debemos olvidar, que un equipo incompleto es peligroso para la expedición, sin embargo, en muchos casos tampoco es deseable un exceso del mismo que puede en el futuro dificultar el desplazamiento y movilidad de la expedición y crear

impedimentos que la obliguen a retrasarse e, incluso, la priven de la posibilidad de alcanzar ciertos sectores de difícil acceso.



El equipo general de cualquier explorador geológico debe contar antes de nada con martillos de diversos tipos y dimensiones. Para las rocas de sedimentación y blandas es preciso que el martillo reúna al mismo tiempo condiciones de martillo y de pico ligero; su mango debe tener unos 40 centímetros de longitud y estar encajado de modo que en las manos quede la parte delgada y que el extremo ancho no permita al martillo salirse al golpear. Para las rocas duras se necesitan martillos más pesados (de 1 a 2 kg) con mangos de unos 70 centímetros de longitud. El mango debe ir graduado en centímetros para tener siempre a mano una escala exacta de medición.

Para grandes trabajos hay que disponer, además, de un mazo pesado, hasta de 5 kg de peso, así como de un pequeño martillito de peso ligero y mango corto, de 20 ó 30 cm, para arrancar trozos pequeños o para dar a los ejemplares la forma determinada que se desee.

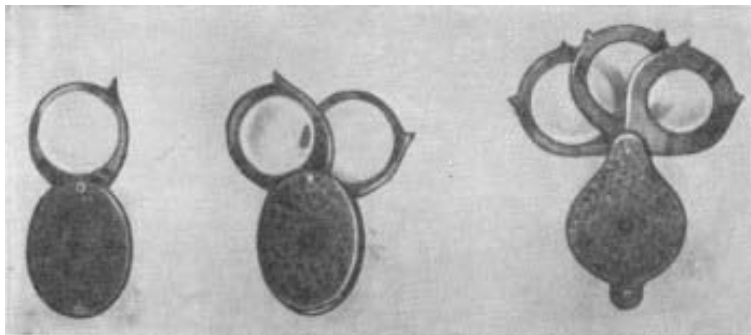


Figura 40.2 Lupas mineralógicas de distintos grados de amplificación

Además del martillo, hay que proveerse de un juego de cinceles de formas y dimensiones variadas. En el equipo debe haber también: cristal de aumento (lupa de amplificación no superior a 8), brújula, cinta métrica, cuchillo (cortaplumas), libreta de notas, lápiz, etiquetas preparadas y numeradas especialmente de dimensiones 6×4 cm., gran cantidad de papel de envolver y embalar, varios tarros de vidrio para guardar los cristales y los ejemplares delicados y valiosos, cajas sólidas y fuertes de distintos tamaños; para los cuerpos terrosos y de estructura poco consistente es importante llevar varias bolsas de lona numeradas de diferentes tamaños.

Aparte del equipo indicado es imprescindible un aparato fotográfico ligero, un barómetro aneroide y un completo de lápices de colores para el diseño de esquemas geológicos y geoquímicos.

Siempre es conveniente llevar consigo pequeños frascos con ácidos de distinta concentración, carbón vegetal de buena calidad, un alambre de platino, sosa y bórax. Para trabajos de carácter más permanente, este equipo debe completarse con una serie de instrumentos especiales.

Una operación a la que hay que prestar mucho cuidado es el empaquetamiento y distribución del equipo. Parte debe embalarse en sacos fuertes impermeables a la humedad, adaptados para llevarlos en la espalda (mochilas); otra parte debe embalarse en cajones apropiados a los medios de transporte existentes en la región dada. Esta cuestión requiere gran experiencia y máximo de atención para no incurrir en graves errores.



## 2. EMPAQUETAMIENTO DE LOS MATERIALES ESCOGIDOS

El empaquetamiento y transporte de los materiales mineralógicos hallados constituye una tarea seria y complicada a la que hay que dedicar la mayor atención.



*Figura 40.3 Pamir Oriental. Curso alto del río Langar*

El empaquetamiento hay que hacerlo con todo cuidado y envolver cada ejemplar en papel aparte con su etiqueta correspondiente. Debe tomarse como regla general el no envolver en un mismo papel varios ejemplares juntos por pequeños que estos sean, sino siempre empaquetar cada ejemplar por separado. ¡Cuántas colecciones magníficas se perdieron por culpa de un embalaje imperfecto, sobre todo, los ejemplares de minerales blandos! Por esto, es necesario previamente seleccionar los minerales, separando los duros de los blandos, y empaquetarlos aparte. Cada ejemplar debe ir envuelto en 2 ó 3 hojas de papel, pero en ningún caso deberán colocarse estas hojas juntas de antemano. La etiqueta de cada muestra, doblada en dos, se coloca, no directamente en contacto con el mineral, sino entre la primera y segunda hoja. Para escribir en las etiquetas se emplea lápiz corriente, en ningún caso hacerlo con lápiz tinta.

Los cristalitos aciculares frágiles y delicados deben envolverse primero en papel de seda y algodón y sólo después en una hoja grande de papel.

El empaquetamiento de los materiales reunidos por la expedición transcurre por una serie de fases a las que hay que prestar especial atención. La primera consiste en recoger y trasladar los ejemplares al campamento. Durante mis cincuenta años de actividad en este sentido, elaboré el siguiente método práctico. Durante la recolección de materiales mineralógicos y geoquímicos, todos los ejemplares hallados por cada grupo de la expedición se trasladan a un lugar cualquiera (por lo general, cerca del punto de estacionamiento provisional) en cantidad bastante mayor de la requerida.



*Figura 40.4 Orilla abrupta derecha del río Angrén en Tashkent, formada por sedimentaciones de loess*

Al terminar la jornada de trabajo, por la tarde, se selecciona todo el material reunido, se eligen los ejemplares mejores y más típicos, se les da forma, y se colocan con mucho cuidado en la mochila. Una vez en el campamento, se colocan los ejemplares en lugar seguro y seco.



*Figura 40.5 Cristales de turmalina negra*

Al cabo de determinado período de tiempo se examinan de nuevo, se seleccionan definitivamente, y se les prepara, envolviéndolos en papeles, para su embalaje posterior en

sólidos cajones, de forma que el peso total de cada cajón no exceda de 50 kilogramos. No es recomendable utilizar grandes cajas de embalaje porque se rozan y desgastan las piedras, además, durante la carga, descarga y transporte los cajones muy pesados pueden deteriorarse. Los materiales deben ser enviados directamente por la propia expedición. Dejar ejemplares al cuidado de la población local suele traer funestas consecuencias y las colecciones o llegan siempre con gran retraso a su destino o en muchos casos, se pierden.

Una vez recibidos los cajones con materiales, hay que seleccionar escrupulosamente todos los ejemplares y colocarlos, con sus etiquetas, en cajas convenientes. La confusión de las etiquetas causa daños irreparables y, frecuentemente, conduce a conclusiones erróneas y peligrosas.

La primera cuestión que se plantea ante el geoquímico durante su trabajo de recolección es: ¿de qué forma y en qué cantidad tomar los minerales? A esta pregunta es difícil contestar, pues una selección correcta del material mineralógico se asegura sólo a base de larga experiencia y gran conocimiento de la naturaleza. Indudablemente hay que poseer cierto instinto artístico para que el ejemplar elegido responda por su forma y color a las características del mineral en cuestión. Por esto, a ciertos ejemplares no se les puede dar una forma determinada, para otros, por el contrario, son deseables dimensiones y configuración definidas, por ejemplo, 9×12 ó 6×9 cm.

### 3. SELECCION DE MATERIALES EN LAS EXPLORACIONES GEOQUÍMICAS

La exploración y el propio método geoquímico de investigación requieren una selección especial de los materiales hallados. Por cuanto que el trabajo ulterior del geoquímico está ligado con investigaciones de carácter mineralógico, químico, espectroscópico y roentgenológico, la selección de materiales supone una tarea de gran responsabilidad, pues, de la calidad y justeza con que se efectúe depende en alto grado el éxito del análisis geoquímico. ¿Cómo debe realizarse esta recolección?



- Antes que nada hay que reunir una cantidad suficientemente grande de material, no sólo para las investigaciones ópticas, sino también para las determinaciones químicas, teniendo en cuenta que para realizar un análisis químico detallado, con frecuencia es preciso enriquecer la muestra objeto de estudio, liberándola de otros minerales ajenos y complementarios. Por ello se necesitan decenas de kilogramos de ejemplares de las rucas y compuestos minerales más característicos.

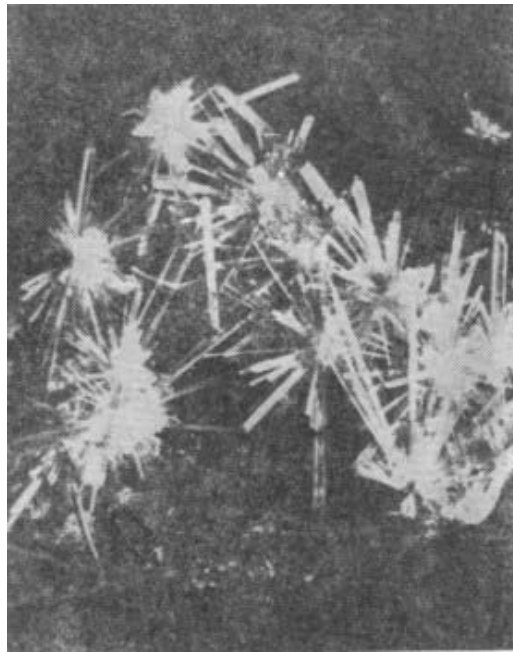
- Para las investigaciones mineralógicas también se requiere reunir minerales aislados. Esto es necesario para poder establecer el orden de sucesión en que se verificó la formación de los minerales, así como para seleccionar ejemplares buenos y puros de los minerales principales destinados al análisis.



- Es preciso reunir material no sólo para las investigaciones de laboratorio, sino también para la conservación de ejemplares típicos de museo. Esta tarea es importante no sólo para fines de carácter puramente expositivo: los ejemplares grandes y típicos permiten comparar estos minerales con otros ejemplares de estos mismos minerales, pero procedentes de otros yacimientos.



El análisis comparativo es uno de los métodos de investigación del naturalista. El investigador geoquímico no debe cometer los errores de la antigua escuela mineralógica, debe dedicar muy seria atención a todo indicio, por pequeño que sea, de cualquier elemento químico; incluso, las partículas más insignificantes, productos de la erosión por el aire y las aguas, deben ser recogidas y estudiadas escrupulosamente. En general, como regla directriz, hay que recomendar a todos los exploradores geoquímicos que recojan y lleven consigo todo el material posible, cuanto más mejor. Es preferible tirar después lo que sobre que no llegar a reunir todo el material correspondiente al complejo de minerales y elementos químicos de la región objeto de estudio.



*Figura 40.6 Cristales de yeso*

Al efectuar los trabajos de recolección de minerales no hay que tranquilizarse con la idea de que regresando otra vez a este lugar se recogerá nuevo material complementario. Estas esperanzas no siempre se realizan y, con frecuencia, se obtiene una colección incompleta, casual y en muchos casos, de poco valor.

#### **4. ANOTACION DE LAS OBSERVACIONES**

La anotación de las observaciones, durante el trabajo directo sobre el terreno, es una cuestión muy importante y seria. Cierta hombre de ciencia dijo, con perfecta justeza, que el viajero e investigador debe llevar siempre el lápiz colgado del cuello con una cuerda; cuanto más a mano se halle el lápiz, tanto más frecuentes serán las anotaciones. Estas pueden realizarse de dos maneras. Ante todo, en la etiqueta adjunta a cada ejemplar hay que apuntar no sólo las indicaciones exactas del lugar y fecha en que fue recogido el ejemplar, sino también las condiciones en que fue efectuado el hallazgo. Cuanto más precisas sean las anotaciones, tanto más fácil será utilizar el material recogido.

Sin embargo, el registro principal se hace en el diario de observaciones, que debe ser objeto de atención constante por parte del investigador. El éxito de muchas investigaciones depende en gran parte de la escrupulosidad, meditación y plenitud con que se hagan las observaciones diarias. Las anotaciones deber hacerse primeramente en el lugar de trabajo, abarcando todas las

observaciones hechas en dicho lugar y apuntando también las ideas que acuden a la mente. Al finalizar el día debe hacerse un resumen de todo el material, llevando al diario todo lo que se ha hecho durante este tiempo. Es de gran importancia incluir dibujos esquemáticos, hechos a mano, de los lugares donde se realizó el trabajo y donde fueron hallados los diferentes ejemplares. La plenitud y exactitud de las anotaciones en el diario son, en general, la mejor muestra del trabajo, y una de las más grandes faltas que pueden cometer los investigadores en su trabajo práctico consiste en confiar en su memoria. Añadir de memoria datos suplementarios en el diario o en las etiquetas conduce a conclusiones erróneas. Es necesario subrayar, que llevar bien el diario de observaciones es tarea francamente difícil. De ordinario el registro de las anotaciones se hace sólo por las tardes, al terminar el fatigoso trabajo del día, cuando el explorador está ya cansado y ansía descansar.



*Figura 40.7 Esquisto micáceo con inclusiones cristalinas de granate rojo*

A veces es precisa gran fuerza de voluntad para dedicar aunque sólo sea 15 minutos a apuntar las observaciones hechas durante el día. Con frecuencia se comienza a abandonar el diario a causa de la fatiga (a mí mismo me ocurrió esto en varias ocasiones). Entonces es preferible hacer un día de descanso y dedicar unas horas a poner con tranquilidad todo el material en orden.

Los libros con las anotaciones deben conservarse cuidadosamente; no entregarlos a nadie ni durante el trabajo ni después de éste, ya que constituyen el documento fundamental que debe llevarse siempre consigo junto con otros documentos importantes de la expedición.

Después de regresar de la expedición y de comprobar y poner en orden la colección, comienza la segunda fase, o sea, hacer el resumen de los trabajos realizados. A este momento le concedo una gran importancia y lo coloco, en muchos aspectos, por encima del resumen definitivo, ya que aquél contiene habitualmente las observaciones directas hechas sobre el terreno y por esto mismo adquiere un valor no siempre inherente al resumen definitivo elaborado con gran detalle, en el

que influyen la literatura leída, la opinión de otros investigadores y muchas otras circunstancias accesorias.

El resumen escrito bajo la primera impresión del propio viaje, es con frecuencia mucho más correcto y profundo, desde el punto de vista del planteamiento de los propios problemas, que el informe posterior premeditado y rehecho.

## PARTE SEGUNDA

### 1. METODOS Y ORDEN EN QUE DEBEN REALIZARSE LOS TRABAJOS



Antes de partir la expedición, el geoquímico debe realizar varios trabajos preliminares además de la preparación del equipo, del que ya hemos hablado antes. Estos trabajos preliminares consisten en lo siguiente:

Antes de nada es necesario ponerse al corriente de la literatura existente sobre la región y la cuestión cuyo estudio se proyecta. Si la tarea consiste en la búsqueda de un elemento químico determinado, entonces hay que estudiar con todo detalle sus propiedades químicas y sus combinaciones.



*Figura 40.8 Relieve característico de la región de Dzhatalal-Abad en la RSS de Kirguizia*

En todos los casos, el investigador debe además hacer conocimiento en los museos con los minerales característicos del elemento objeto de la investigación. Es especialmente importante conseguir, con la debida antelación, mapas topográficos y geológicos detallados o sus copias, con objeto de marcar en ellos con lápiz de color la ruta seguida durante la excursión y los lugares donde sean hallados los minerales más interesantes.

Antes de partir es también preciso hacer conocimiento detallado con todos los métodos prácticos de investigación del terreno y saber con precisión no sólo utilizar correctamente los instrumentos que se lleven consigo, sino también poder repararlos en caso de necesidad.



La segunda etapa de trabajo comienza al llegar el investigador al lugar de destino. Una vez allí, debe averiguar en las instituciones científicas, museos, bibliotecas y escuelas de la localidad todos los datos que se conozcan sobre la región dada. Es necesario reunir la mayor cantidad



posible de datos, preguntando a la población local, sobre los lugares donde se extraen minerales y donde existan afloramientos naturales. En ciertos casos es muy conveniente analizar las denominaciones geográficas que, con frecuencia, nos orientan sobre la existencia en dicho lugar de minas y puntos de extracción de minerales. Por ejemplo, en Asia Central la palabra kan nos habla de minas; kumish, de plata; kalba, de estaño o bronce, etc. Si en algún sitio se edifican casas o se pavimentan calles hay que preguntar de dónde son traídos los materiales; averiguar dónde se construyen nuevas carreteras, puentes o líneas férreas. Hay que interesarse por saber dónde se instalan los pozos, de dónde traen la arcilla para los hornos, la cal y las pinturas para las casas.



Con frecuencia, la población local recuerda los trabajos efectuados por otras expediciones en dicha región; muchos antiguos habitantes conocen muy bien la comarca y saben las clases de minerales que si, encuentran en una a otra región. Es muy importante indagar la existencia de antiguas excavaciones, escombreras de minerales y escorias. restos de hornos de

fundición, etc.

Naturalmente, el material más abundante para obtener un conocimiento preliminar del carácter mineralógico y geoquímico de la región, nos lo ofrecen, más que los afloramientos naturales, las escombreras que se hallan junto a los yacimientos y explotaciones mineras, las cuales proporcionan al mineralogista y geoquímico un material de investigación utilísimo y, además, completamente reciente. En los yacimientos mineros se acumulan enormes cantidades de las sustancias que acompañan a los minerales y, por ello, en las escombreras puede reunirse material muy interesante si en el transcurso de muchos días se investiga minuciosamente los ejemplares extraídos y se identifican a la luz del día los minerales que constituyen los ejemplares recién extraídos. Las escombreras y los montones de minerales y piedras extraídas dan, en general, al mineralogista y el geoquímico datos mucho más valiosos que las propias excavaciones subterráneas, pues en el fondo de las minas, en los tajos, es difícil realizar observaciones precisas. En las excavaciones a cielo abierto y en las minas es muy útil conversar con los mineros, preguntarles sobre los ejemplares interesantes que encuentran durante su trabajo y pedirles que separen y coloquen aparte todo lo que les llame la atención. Se puede y debe interesar a la población local, ponerla al corriente de nuestro trabajo, hablarles de los minerales útiles que pueden hallarse. La creación de un determinado estado de ánimo por parte de la población local, conquistar su simpatía y conseguir su cooperación, es uno de los factores primordiales para el éxito de los trabajos de exploración. La población comienza a interesarse, incluso los niños traen del río ejemplares de piedras y cantos rodados. Hay que decir que con frecuencia los descubrimientos más grandes de nuevos yacimientos los realiza la propia población, los aficionados de la localidad.

En cada afloramiento, cantera, excavación y mina hay que procurar recoger ejemplares de todos los cuerpos minerales distintos que allí existan, prestando atención, lo mismo a las acumulaciones grandes que a las huellas insignificantes que muestren la existencia de unos u otros procesos geoquímicos.

Naturalmente, la recolección de materiales debe ir acompañada de la observación de la estratificación de los minerales en las formaciones rocosas, determinación de sus proporciones mutuas, su antigüedad, etc. El conocimiento primario y general de la región dada permite al investigador orientarse correctamente y elegir con acierto el proceso geoquímico más adecuado a seguir en sus trabajos de exploración. A estas tareas de carácter puramente científico e investigativo está dedicada la exposición que sigue a continuación.

El geólogo y el petrógrafo comienzan su trabajo en el campo estudiando la situación geológica general, la tectónica y las relaciones mutuas existentes entre las rocas. Para este fin, de ordinario, es preciso primero abarcar un amplio territorio y después iniciar el estudio detallado del sector concreto dado.

La labor del geoquímico transcurre, por lo general, de otra forma. Su trabajo debe comenzar por el material concreto, es decir, el propio yacimiento. Una vez conocido el esquema geológico general de la región, debe comenzar su investigación en los montones de minerales extraídos y en las escombreras de rocas laterales. Este modo de proceder muestra de forma muy notoria la diferencia entre los métodos de trabajo que emplean los geólogos y los geoquímicos durante sus expediciones o excursiones. Al llegar a un yacimiento cualquiera, el geólogo se dirige inmediatamente a las galerías o a los pozos de las minas con objeto de examinar los tajos y observar los afloramientos de rocas aisladas, las denudaciones naturales, etc.

El geoquímico y el mineralogista, por el contrario, se dirigen en primer orden a los montones y escombreras.



*Figura 40.9 Extracción de minerales fosfóricos en el combinado químico-minero de Kara-Tau (RSS de Kazajia)*

Al tajo deben ir sólo cuando su vista se acostumbra a distinguir a la luz natural unos minerales de otros, puesto que la identificación de las diferentes especies minerales con la luz artificial que ilumina los tajos, es una tarea muy difícil y posible de realizar después de mucha práctica y larga experiencia.

Sólo después de estudiar con todo detalle los minerales en los montones y escombreras, el geoquímico está en condiciones de afrontar problemas genéticos y geoquímicos más amplios, dedicando su trabajo al estudio de los afloramientos naturales y a la investigación minuciosa de los propios tajos y de los diseños que se posean.

De lo dicho se comprende con completa claridad el por qué el mineralogista y el geoquímico, al llegar a una mina, se dirigen ordinariamente, incluso no a los montones de minerales, sino a las escombreras de rocas laterales.

Yo mismo advertí en diversas ocasiones la expresión de extrañeza e, incluso, de desagrado, por parte del personal técnico a ingeniero de la localidad, cuando, al llegar al yacimiento, no me dirigía a los pozos de las minas, sino que marchaba inmediatamente a las escombreras. No debemos olvidar que descifrar los problemas más



complicados referentes a los yacimientos y la comprensión correcta de su génesis, se consigue sólo a base de estudiar minuciosamente todos los complejos minerales que son objeto de observación, sus relaciones mutuas, su enlace con las rocas laterales, etc.



*Figura 40.10 Lago Serézkoie, en el Pamir, formado a causa de un gran desprendimiento en las montañas (RSS de Tadzhiquia)*

De esta forma se marca el siguiente orden de sucesión en la labor a realizar por el geoquímico durante la primera recolección de materiales científicos. Primero, examen detallado de las escombreras; después, de los montones de minerales; luego, de los tajos en las excavaciones a cielo abierto y de los afloramientos; y, solamente después de todo esto, pasar al examen de las excavaciones subterráneas y al estudio de las relaciones existentes entre los minerales en los tajos subterráneos recientes.

Como ya dijimos antes, la recolección de materiales debe ir acompañada, por lo que respecta al geoquímico, de un constante análisis de todas las relaciones mineralógicas y geoquímicas y por eso es necesario que agudice su atención para la confrontación de todas las observaciones realizadas. Recuerdo que mi teoría sobre el enlace existente entre los procesos pegmatíticos y la formación de piedras preciosas en las "Minas de esmeraldas", no encontré durante mucho tiempo apoyo, hasta que por fin varios cristales diminutos de columbita nos confirmaron que efectivamente se trataba de pegmatitas graníticas típicas.

Meditando todas sus observaciones, el geoquímico debe concebir las relaciones que ligan entre sí a minerales aislados, reconstruir con su mente las condiciones que les dieron origen, basándose en su propia experiencia, hacer un análisis comparativo de todos los resultados obtenidos y, de esta manera, llegar a la hipótesis de trabajo sobre la génesis del yacimiento dado. La concepción de semejante hipótesis es muy necesaria para el trabajo ulterior de busca y exploración, pero no hay que olvidar que la hipótesis de trabajo no debe ofuscar la imagen de los propios hechos; si los hechos se contraponen a la hipótesis, hay que desecharla. Durante el trabajo se requiere una

autocrítica y autoanálisis muy profundos, y el éxito de la investigación reside precisamente en saber construir y deducir, a base de hechos poco notorios, casi imperceptibles, las conclusiones que puedan enlazar todos los fenómenos entre sí e indicarlos que todavía no son conocidos.



*Figura 40.11 En el Pamir, junto a los orígenes del río Murgah*

Cualquier hipótesis de trabajo es correcta sólo cuando ella nos muestra nuevos caminos. Trato conscientemente de agudizar la atención del lector en esta cuestión, ya que con gran frecuencia los que se dedican a investigaciones en el terreno, se resisten a renunciar a su primera hipótesis de trabajo, incluso, cuando la aparición de nuevos hechos comienza a contradecirla de modo decisivo.

Al mismo tiempo, hay que hacer remarcar una circunstancia más que, por desgracia, en los últimos tiempos no se lleva a la práctica de forma suficientemente rigurosa. El investigador debe distinguir con claridad, por un lado, los propios hechos y sus observaciones, por otro, las conclusiones teóricas y generales. Tanto en el resumen de la labor práctica desarrollada en el terreno, como en el informe definitivo, el investigador debe diferenciar netamente estos dos aspectos, para que cada cual pueda ver y comprender dónde termina el material basado en la observación de hechos reales y dónde comienzan las concepciones lógicas y teóricas elaboradas por el autor. Es preciso poner en guardia a los jóvenes investigadores para que no caigan en este error y no coloquen en segundo plano el material real y concreto y se entusiasmen con conclusiones teóricas, pues en este caso dichas conclusiones quedan como en el aire.



He aquí por qué hay que remarcar con especial insistencia la necesidad de la observación escrupulosa y precisa de los propios fenómenos de la naturaleza.

Durante su trabajo en el campo, el investigador debe anotar todas las menudencias que le salten a la vista. Debe convertir su libro de notas en un diario que registre de forma constante sus propias

ideas y observaciones, y, sólo de este modo, conseguirá llegar a conclusiones y decisiones correctas y acertadas. Hay que hacer una distinción clara y terminante en lo que se refiere al carácter de los trabajos y de las anotaciones en el primer año que se visita un yacimiento o una región y en los años siguientes. Durante la primera visita es preciso dedicarse con especial atención a reunir materiales basados exclusivamente en hechos reales; durante la segunda, por lo general, surge la necesidad de comprobar la hipótesis de trabajo sugerida; por fin, durante la tercera visita se perfilan y se ponen en claro los problemas de carácter general y, como regla, este tercer año es el que aporta nuevos descubrimientos y marca el camino exacto a seguir en las búsquedas. Es posible que el acortamiento de estos plazos dependa de la experiencia personal de cada investigador y de la forma como fue estudiada, al iniciar él sus trabajos, la región o el yacimiento en cuestión desde el punto de vista mineralógico y geológico.

La deducción de conclusiones definitivas puede acelerarse considerablemente si se realizan (al mismo tiempo que se llevan a cabo las investigaciones sobre el terreno) determinaciones preliminares de los minerales y rocas halladas. Los laboratorios geoquímicos portátiles y la posibilidad de enviar los ejemplares, durante los trabajos en el campo, a laboratorios cercanos para determinar su composición cualitativa, facilitan en alto grado la marcha de las investigaciones y permite llegar con más rapidez a las conclusiones definitivas.

Como pueden ustedes ver, el registro de las observaciones y la documentación geoquímica y mineralógica constituyen una tarea muy seria e importante.

**Capítulo XLI****NOTAS BREVES SOBRE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS**

**Actínidos.** Son los elementos químicos, siguiente al actinio, que constituyen un grupo muy semejante por su composición química. En este grupo, como el grupo de las tierras raras o lantánidos, deben hallarse 16 elementos químicos (desde el N°89 al N°104), de los cuales doce han sido descubiertos u obtenidos artificialmente: actinio, protactinio, torio, uranio, neptunio, plutonio, americio, curio, berkelio, californio, einstenio, fermio, mendelevio, laurencio, kurchatovio.

Los elementos de este grupo se "unifican bajo la denominación común "actínidos". Sus propiedades químicas son muy parecidas a las de los lantánidos y ocupan una sola casilla en el III grupo de la Tabla periódica de Mendeléev, situada debajo del grupo de las tierras raras.

**Actinio** - Actinium (Ac). Número atómico, 89; peso atómico, 227. Descubierta en 1899 por Debierne en los minerales de uranio. Es un elemento radiactivo, producto de la desintegración del uranio. Período de vida media 20 años. Como resultado de la desintegración ulterior del actinio se forma consecutivamente una serie de elementos radiactivos, llamada serie del actinio. El producto final de la serie del actinio es el plomo no radiactivo con peso atómico 207. Tanto el actinio, como sus combinaciones están poco estudiados.

**Aluminio** - Aluminium (Al). Número atómico, 13; peso atómico, 26, 98. Es el elemento más difundido en la corteza terrestre, después del oxígeno y el silicio. Constituye el 7,5% en peso de la corteza terrestre. Metal muy ligero de color blanco argéntico. Interviene en la composición de las arcillas, feldspatos, micas y otros muchos minerales. La masa fundamental de aluminio está concentrada en los aluminosilicatos, minerales compuestos de aluminio, silicio, oxígeno y ciertos metales. Especialmente ricas en aluminio son las bauxitas, óxidos hidratados de aluminio. El aluminio se obtiene, principalmente, a partir de la bauxita y, también, de la nefelina. Las aleaciones de aluminio se aplican en gran escala en la construcción de aeronaves. En estado libre, fue obtenido por Wöhler en 1827. Su denominación proviene de la palabra "alumen" -"alumbre".

**Americio.** - Americium (Am). Número atómico, 95; peso atómico del isótopo más estable con período de semi-desintegración aproximado de 10.000 años, 243. Fue obtenido por vía artificial en 1944 bombardeando el uranio con partículas alfa. En la actualidad se conocen 5 isótopos. Por lo que respecta a sus propiedades químicas es muy parecido a las tierras raras.

**Antimonio** - Stibium (Sb). Número atómico, 51; peso atómico, 121,76. Se conoce desde la antigüedad. En estado libre fue obtenido por Vasilio Valentino en el siglo XV. Es un metal muy frágil. En la naturaleza se encuentra combinado con el azufre. Se usa como componente de la aleación tipográfica y en medicina. La adición de antimonio al plomo eleva considerablemente su dureza, lo que se utiliza para preparar el metal de imprenta y en la fabricación de municiones. Las combinaciones de antimonio se emplean en las industrias de cerillas, del caucho y del vidrio.

**Argón** - Argon (Ar). Número atómico, 18; peso atómico, 39, 944. Pertenece al grupo de los gases inertes, que no se combinan entre sí, ni con ninguna otra sustancia, propiedad que los distingue de todos los demás elementos. Por la pasividad química que le caracteriza recibió su nombre, del griego "argos", que significa "inactivo". Fue descubierta por Ramsay y Rayleigh en 1894. En la naturaleza se encuentra en el aire atmosférico, del que constituye aproximadamente el 1 % en volumen. El argón se emplea para llenar lámparas eléctricas de descarga gaseosa, dando iluminación azulada.

**Arsénico** - Arsenicum (As). Número atómico, 33; peso atómico, 74, 921. Su denominación proviene de la palabra latina "arsenicum", "colorante mineral". Se conoce desde tiempos remotos. Es un metal frágil, volátil, de color negro pardusco con olor de ajos. Se sublima, sin fundirse, a 633°. Funde a 818°

bajo una presión de 36 atmósferas. Tanto él, como sus sales solubles, son tóxicos. Se utiliza para la fabricación de aleaciones con el plomo y el cobre, en agricultura como insecticida (fungicida). También se emplea para decolorar el vidrio.

**Astatino** - Astatine (At). Número atómico, 85; el peso atómico del isótopo con período de semi-desintegración de mayor duración (8,3 horas) es igual a 210. Por primera vez fue obtenido en 1940 bombardeando el bismuto con partículas alfa. Su denominación proviene de la palabra griega "astatos", "inestable". Se conocen 20 isótopos. Sus propiedades coinciden exactamente con las predicciones de Mendeléev, el cual le dio el nombre de eka-yodo.

**Azufre** - Sulfur (S). Número atómico, 16; peso atómico, 32,066. Se conoce desde tiempos remotos. Existe en varias formas: rómbica, monoclinica y amorfa. Los cristales de azufre son de color amarillo débil. Está extendido amplia y abundantemente en la naturaleza, tanto en estado nativo, como combinado, formando sulfuros y sulfatos (yeso anhidrita, etc.). Se utiliza para la fabricación de ácido sulfúrico, como insecticida en agricultura (contra la filoxera), en la industria del caucho. Interviene en la composición de la pólvora de caza, cerillas, bengalas luminosas, ultramarino (pintura azul). Se usa también en medicina.

**Bario** - Barium (Ba). Número atómico, 55; peso atómico, 137,36. Descubierta por Scheele en 1774, en 1808, Davy lo aisló en estado puro. Su denominación procede del mineral barita, del que fue obtenido ("barys" = "pesado"). Metal de color blanco argéntico, de dureza igual a la del plomo, tiñe la llama con color amarillo verdoso característico. Las sales de bario se utilizan como pintura blanca de buena calidad.

**Berilio** - Beryllium (Be). Uno de los metales más ligeros. Número atómico, 4; peso atómico, 9,013. Fue descubierta en el año 1797 por Vauquelin, que lo denominó glucinio debido al sabor dulzaino que tienen sus sales. Esta denominación se conserva sólo en Francia. La palabra "berilio" proviene del mineral berilo. EL berilio es un metal blanco muy duro y ligero (peso específico, 1,85), no se altera en el aire. Se utiliza para la obtención de aleaciones con el cobre (bronces berílicos) y con otros metales. Estas aleaciones son duras como el acero e "infatigables" ante los cambios bruscos de carga (resortes de reloj). En la naturaleza es raro encontrar grandes acumulaciones de minerales berílicos.

**Berkelio** - Berkelium (Bk). Número atómico, 97. Este elemento fue obtenido artificialmente bombardeando el isótopo del americio con peso atómico 241. Los períodos de semi-desintegración de los isótopos del berkelio descubiertos hasta la actualidad, no exceden de varias horas. Recibió su nombre en honor de la ciudad Berkeley en el Estado de California (EE.UU.).

**Bismuto** - Bismuthum (Bi). Número atómico, 83; peso atómico 209,00. Metal frágil, de color blanco rojizo. Las combinaciones del bismuto ya eran conocidas en la antigüedad, pero en aquellos tiempos el bismuto no se diferenciaba del plomo; en estado nativo lo obtuvo por primera vez el alquimista Vasilio Valentino en el siglo XV. Fácilmente fusible. Entra en la composición de las aleaciones empleadas en tipografía y se emplea en diferentes aparatos contra incendios. Es interesante su superconductividad eléctrica a temperaturas próximas al cero absoluto.

**Boro** - Borum (B). Número atómico, 5; peso atómico, 10,82. Descubierta en 1808 por Davy en Inglaterra, y Gay Lussac y Thenard en Francia. Su denominación proviene de la palabra persa "biirah", "bórax". EL boro cristalino, obtenido a partir de su aleación con aluminio, posee una dureza próxima a la del diamante. EL boro se encuentra en la naturaleza en forma de ácido bórico, bórax y en ciertos silicatos (sales del ácido silícico). Se emplea, principalmente, para la preparación de esmaltes, y, también, en medicina. Las combinaciones del boro con el carbono y con el nitrógeno son de dureza extraordinaria.

**Bromo** - Bromum (Br). Número atómico, 35; peso atómico, 79,916. Descubierta por Balard en 1826, recibió su nombre por el olor desagradable que posee ("bromos", "fétido"). Es un líquido

pesado de color rojo oscuro; a semejanza de todos los halógenos es un elemento muy activo capaz de reaccionar con casi todos los elementos; especialmente enérgica es su reacción con los metales. Al contacto con la piel produce graves quemaduras. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, en combinación con los metales potasio, sodio y magnesio. Los lagos salados de Crimea son ricos en bromo. Se utiliza en medicina y en la técnica fotográfica.

**Cadmio** - Cadmium (Cd). Número atómico, 48; peso atómico, 112,41. Es un metal de color blanco argéntico. Descubierto en 1817 por Stromeyer. Su denominación proviene de la palabra griega "kadmeia", "mineral de zinc". Por lo que respecta a sus propiedades se parece mucho a zinc y en la naturaleza siempre le acompaña. Se usa, en lugar del zinc, para el revestimiento del hierro a fin de protegerlo contra la corrosión, se adiciona al cobre para aumentar la tenacidad de los alambres de este metal, es un frecuente constituyente de las aleaciones fusibles y se emplea, también, para la obtención de pinturas amarillas.

**Calcio** - Calcium (Ca). Número atómico, 20; peso atómico, 40,08. Fue descubierto en 1809 por Davy y Berzelius. Su nombre proviene de la palabra "calx", "cal". Pertenece al grupo de los metales alcalinotérreos. Es un metal blanco, bastante duro y maleable, funde a unos 800, hierve a 1240°. Es muy abundante en la naturaleza en forma de carbonatos, sulfatos y silicatos. Constituye el 3,4% de la corteza terrestre hay sólo cuatro elementos (O, Si, Al y Fe) que se encuentran en mayores cantidades. El metal puro, hasta la fecha no tiene gran aplicación.

**Californio** - Californium (Cf). Número atómico, 98. Fue obtenido artificialmente bombardeando con partículas alfa al isótopo del curio con peso atómico 242. El período de semi-desintegración del californio con peso atómico 246 es de 35 horas. Recibió su denominación por el nombre del Estado de California en EE.UU.

**Carbono** - Carboneum (C). Número atómico, 6; peso atómico, 12,011. Se conoce desde tiempos remotos. Su denominación proviene de la palabra latina "carbo", "carbón". Se encuentra en la naturaleza como diamante, grafito, carbones fósiles, hidrocarburos diversos (petróleo, gases naturales) y en las sustancias orgánicas. Todavía mayor cantidad existe en los carbonatos (sales del ácido carbónico): calizas, mármoles, etc., así como disuelto en el agua y en el aire (en forma de anhídrido carbónico). Sus aplicaciones: el diamante, para las perforaciones, corte y pulimentación del vidrio y como adorno; el grafito, como material refractario (crisoles de grafito), lubricante, en forma de polvo para diferentes usos, en la fabricación de reóstatos y electrodos para hornos voltaicos; el carbón y el petróleo como combustible, como fuente importantísima de energía. El polvo fino de carbón (hollín) se emplea para la preparación de pinturas y tintas (tinta china). Sometiendo el carbón a diferentes tratamientos se obtienen numerosos productos químicos, por ejemplo, anilina, medicamentos (aspirina estreptocito, sacarina), explosivos (trinitrotolueno o trilita), etc.

**Casiopio** - Cassiopeum (Cp). Denominación del elemento lutecio, aceptada en algunos países. Véase lutecio.

**Cerio** - Cerium (Ce). Número atómico, 58; peso atómico, 140,13. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto en 1803 por Hisinger, Klaproth y Berzelius. Recibió su denominación del nombre del asteroide Ceres. Es componente de la mezcla empleada en la preparación de piedras de mecheros, se emplea en medicina, así como en artillería para los proyectiles trazadores. Se extrae de la monacita como residuo de la obtención del torio.

**Cesio** - Caesium (Cs). Número atómico, 55; peso atómico, 132,91. Pertenece al grupo de los metales alcalinos. Peso específico, 1,87; temperatura de fusión, 28,5. Su nombre se debe al color azul celeste característico de las líneas espectrales del cesio ("caesium" = "cielo azul"). Fue el primer elemento descubierto mediante el análisis espectral (Bunsen en 1860). Tiñe la llama de



color violeta. En la naturaleza se conoce solamente un mineral de cesio, la polucita. El cesio se emplea como componente principal de las células fotoeléctricas.

**Cloro** – Chlorum (Cl) Número atómico 17; peso atómico 35,457. Descubierto por Scheele en 1774. Recibió su denominación de la palabra “chloros”, “verde”. Es un gas de color amarillo verdoso, más pesado que el aire. En la naturaleza se encuentra en forma de sales de sodio y potasio, disueltas en el agua de los mares, o formando depósitos de sal gema (NaCl). Es uno de los elementos fundamentales de la industria química, sobre todo, para la obtención de cloruro de cal; desempeña un importante papel en la producción de pinturas muchos medicamentos y sustancias tóxicas. EL cloro se emplea en grandes cantidades para el blanqueo de tejidos y papel, para esterilizar el agua potable y como insecticida en agricultura. La sal sódica (NaCl) se utiliza en cantidades enormes en los alimentos (cada persona consume al año de 2 a 10 kilogramos de sal).

**Cobalto** - Cobaltum (Co). Número atómico, 27; peso atómico, 58,94. Descubierto en 1735 por Brandt. Recibió su denominación de la palabra "kobold" que significa "duende de la montaña", "gnomo". Es un metal de color blanco grisáceo, muy duro, maleable, dúctil, funde a 1490°C. Posee propiedades magnéticas, pero más débiles que el hierro. Finamente dividido puede absorber grandes cantidades de hidrógeno. Por sus propiedades físicas y químicas es semejante al hierro. En la naturaleza se encuentra en los meteoritos, aleado con níquel y el hierro, y en la corteza terrestre formando, además, combinaciones con el arsénico y el azufre. Se utiliza para la obtención de aceros especiales, para colorear el vidrio y el esmalte de color azul, y como catalizador para obtener carburantes de la hulla.

**Cobre** - Cuprum (Cu). Número atómico, 29; peso atómico, 63, 54. Se conoce desde tiempos remotos. Su nombre proviene de la isla de Chipre, donde existía en la antigüedad una gran producción de objetos de cobre. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, combinado con el azufre; en estado nativo se presenta con gran rareza. Es un metal maleable de color rojo. El cobre puro se emplea en electrotécnica debido a su alta conductividad eléctrica y térmica. Tienen gran aplicación sus aleaciones con estaño y zinc (latón, bronce).

**Criptón** - Kriptón (Kr). Número atómico, 36; peso atómico, 83, 80. Gas inerte, descubierto en 1898 por Ramsay y Travers, su denominación proviene de la palabra griega "kryptos", "oculto". Se encuentra como componente del aire atmosférico, que lo contiene en cantidad insignificante.

**Cromo** - Chromium (Cr). Número atómico, 24; peso atómico, 52,01. Descubierto por Vauquelin en 1789 al descomponer el mineral crocoita, traído por Pallas de una mina de los Urales. Su nombre proviene del griego, "chroma" = "color", debido a la diversidad de colorido que presentan sus diferentes combinaciones. Es un metal muy frágil y duro, muy resistente a la acción del aire y el agua. Peso específico, 7.1; temperatura de fusión, 1765°. En la naturaleza se encuentra frecuentemente formando el mineral hierro cromado (hematites de cromo). Se emplea, principalmente, en la industria del acero. Los aceros al cromo poseen gran dureza y tenacidad, se usan para la fabricación de herramientas, tubos para cañones y fusiles. Con cromo se recubre la superficie de otros metales con objeto de protegerlos contra la corrosión.

**Curio** - Curium (Cm). Número atómico, 96. Fue obtenido en 1944 por vía artificial. En la actualidad se conocen 8 isótopos. El isótopo con período de vida más largo es el de peso atómico 245. Su período de semi-desintegración es mayor de 500 años. Por sus propiedades químicas, el curio se parece a los elementos de las tierras raras. Recibió su nombre en honor de Marie y Pierre Curie y Frederic e Irene Joliot-Curie.

**Dimanganeso** - Véase renio.

**Disproσιο** - Dysprosium (Dy). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 66; peso atómico, 162,46. Descubierto por Lecoq de Boisbaudran en 1886. Su denominación proviene de la palabra griega "dysprositos" = "inaccesible".

**Einstenio** - Einstenium (Es). Se descubrió al mismo tiempo que el fermio. Número atómico 99. Su período de semi-desintegración varía, para los distintos isótopos, desde varios minutos hasta un año. Recibió su nombre en honor del gran físico alemán, creador de la teoría de la relatividad, Albert Einstein.

**Eka-aluminio** - Véase galio

**Eka-boro** - Véase escandio

**Eka-cesio** - Véase francio

**Eka-manganeso** - Véase tecnecio

**Eka-silicio** - Véase germanio

**Eka-yodo** - Véase astatino

**Elementos radiactivos.** Se llaman radiactivos a los elementos químicos que poseen la propiedad de emitir espontánea y constantemente rayos invisibles, que atraviesan, como los rayos X, diferentes sustancias, hacen al aire conductor de la electricidad, impresionan las placas fotográficas, etc. Las radiaciones despedidas por estos elementos se dividen en rayos alfa, beta y gamma. Son radiactivos el isótopo del potasio con peso atómico 40, uno de los isótopos del rubidio, indio, lantano, samario, lutecio y renio, el uranio, torio, polonio, radio, protactinio y todos los elementos transuránicos.

**Elementos transuránicos.** Transuránicos o transuranianos se llaman los elementos que se hallan en el sistema periódico de Mendeléev después del uranio, con pesos atómicos 93 o más elevado. Todos han sido obtenidos por vía artificial. Primeramente fue estudiado El neptunio (en 1939). Los elementos transuránicos son radiactivos. La duración de sus vidas es considerablemente menor que la edad de la Tierra. Por esta causa no fueron descubiertos en la naturaleza. En la actualidad se conocen los siguientes elementos transuránicos; neptunio, plutonio, americio, curio, berkelio, californio, einstenio, fermio, mendelevio, nobelio, laurencio y kurchatovio.

**Erbio** - Erbium (Er). Número atómico, 68; peso atómico 167,2. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Mosander en 1843. Su nombre proviene de Itterby, ciudad sueca.

**Escandio** - Scandium (Sc). Número atómico, 21, peso atómico, 44,96. Uno de los elementos más dispersos en la naturaleza. Mendeléev predijo su existencia en 1871 (le llamó Eka-boro). El año 1879, Nilson lo descubrió por medio del análisis espectral. Sus propiedades están poco estudiadas. Recibió su denominación del nombre de la Península Escandinava.

**Estaño** - Stannum (Sn). Número atómico, 50; peso atómico 118,70. Uno de los primeros metales conocidos por el hombre desde tiempos remotos (edad de bronce). El metal puro es de color blanco argéntico, muy dúctil y maleable; peso específico, 7,28; funde a 232°. A temperaturas inferiores a - 18°, el estaño se transforma en la variedad gris. Al doblar las barritas de estaño se oye, un crujido característico, por lo visto, debido a la fricción mutua de los cristales que componen su estructura. El estaño no se altera por la acción de los agentes atmosféricos (humedad, aire), por lo cual se usa para revestir al hierro (así se obtiene la hojalata, que se consume principalmente en la fabricación de botes de conserva). Gran importancia tienen sus aleaciones con el plomo (metal blanco, bronce). Se encuentra en la naturaleza, por lo general, formando el mineral casiterita (SnO<sub>2</sub>).

**Estroncio** - Strontium (Sr). Número atómico, 38; peso atómico, 87,63. Pertenece al grupo de los metales alcalinotérreos. Lo descubrió Grenford en 1790. En estado puro tiene color blanco de plata, químicamente muy activo, debido a lo cual en la naturaleza se presenta siempre combinado. Colorea la llama de rojo. Se utiliza en pirotecnia y en la industria azucarera.

**Europio** - Europium (Eu). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 63; peso atómico, 152,0. Descubierta por Demarcay en 1901. Las sales de europio tienen color rosado.

**Fermio** - Fermium (Fm). Número atómico 100. Fue descubierta en el año 1952 entre los productos de una explosión termonuclear. Su período de semi-desintegración varía, para sus distintos isótopos, desde varios segundos hasta algunos días. Fue denominado así en honor del padre de la era atómica, del físico italiano Enrico Fermi.

**Flúor** - Fluor (F). Número atómico, 9; peso atómico, 19,00. Metaloides del grupo de los halógenos. En estado libre lo obtuvo por primera vez Moissan el año 1886, a pesar de que Ampère lo consideró como elemento independiente mucho antes, el año 1810. Su denominación latina proviene del nombre del mineral fluorita. En condiciones normales es un gas de color amarillo verdoso. Peso específico, 1,11 (líquido); temperatura de fusión,  $-223^{\circ}\text{C}$ ; punto de ebullición,  $-188^{\circ}\text{C}$ . En estado libre no ha encontrado aplicaciones. El ácido fluorhídrico se utiliza ampliamente en los laboratorios químicos, así como para grabar el vidrio.

**Fósforo** - Phosphorus (P). Número atómico, 15; peso atómico, 30,975. Debe su nombre a la propiedad que tiene de emitir luz en la oscuridad (del griego "phos" = luz y "phoros" = portador). Descubierta por Brand en 1669. Peso específico, 1,83; temperatura de fusión,  $44^{\circ}$ ; punto de ebullición,  $280,5^{\circ}$ . Se conocen las variedades siguientes: fósforo amarillo, fósforo rojo y fósforo negro. Este último fue obtenido por Bridgman en 1914. Muy difundido en la corteza terrestre, donde, en forma de sales de los ácidos fosfóricos, se halla constituyendo numerosos minerales (apatito, turquesa, fosfatos de hierro y cobre, etc.) Se emplea para la fabricación de cerillas, obtención de cortinas de humo, sustancias incendiarias, etc. Las fosforitas y el apatito constituyen materias primas importantísimas para la producción de fertilizantes fosfatados.

**Francio** - Francium (Fr). Número atómico, 87. Primeramente fue descubierta por la física francesa M. Perey el año 1939 en la serie natural radiactiva de desintegración del actinio. Más tarde fue obtenido por vía artificial. El corto período de vida de los isótopos del francio, dificulta enormemente el estudio de sus propiedades químicas. El peso atómico de uno de los isótopos es 223. Por su comportamiento químico se parece al cesio. Es el más activo de todos los metales. Recibió su nombre en honor de la patria de su descubridora. Mendeléev predijo la existencia del francio, describió sus propiedades y lo denominó eka-cesio.

**Gadolinio** - Gadolinium (Gd.). Elemento perteneciente al grupo de las tierras raras. Número atómico, 64; peso atómico, 156,9. Descubierta por Marignac en 1880. Recibió su denominación en 1886 del nombre del mineral gadolinita.

**Galio** - Gallium (Ga). Número atómico, 31; peso atómico, 69,72. Es uno de los elementos cuyas propiedades predijo Mendeléev (*eka-aluminio*). Lecoq de Boisbaudran lo descubrió en 1875 mediante el análisis espectral y recibió su denominación en honor de Francia, que antiguamente se llamaba Galia. Es un metal blando de color blanco argéptico. Su temperatura de fusión es muy baja:  $29,8^{\circ}$  (se funde con el calor de la mano), pero su temperatura de ebullición es  $2300^{\circ}$ . El galio sólido es más ligero que en estado líquido, por ello flota en su masa fundida. Perteneció al grupo de los elementos raros dispersos. Se utiliza en la fabricación de termómetros, con los cuales pueden medirse altas temperaturas, y en la preparación de compuestos luminosos. Se emplea también para la obtención de espejos ópticos.

**Germanio** - Germanium (Ge). Número atómico, 32; peso atómico, 72,60. Uno de los elementos, cuyas propiedades predijo Mendeléev (*eka-silicio*). Winkler lo descubrió en 1886 por el método espectroscópico. Posee propiedades, tanto metálicas como no metálicas. Es uno de los elementos más raros. Se utiliza en gran escala en radiotécnica para la preparación de dispositivos semiconductores, de mezclas luminosas, y en la fabricación de tipos especiales de cristal.

**Glúcinio** - Glucinium (Gl). Véase berilio.

**Hafnio** - Hafnium (Hf). Número atómico, 72; peso atómico, 178,6. A pesar de que el hafnio es un elemento más difundido en la naturaleza que la plata y el oro y se encuentra en algunos minerales en cantidad hasta del 30%, fue descubierto sólo en 1923 por Coster y Hevesy. Esto fue debido a la gran semejanza de sus propiedades químicas con el circonio, del que se separa con gran dificultad. El hafnio en estado metálico es extraordinariamente duro y posee temperatura de fusión muy elevada, cerca de 2200°. En forma de óxidos entra en la composición de las aleaciones usadas para los filamentos de las lámparas electrónicas. Se proyecta su utilización en radiotécnica y como material superrefractario. Su denominación proviene del nombre antiguo de la capital de Dinamarca, Copenhague (Hafnia).

**Helio** - Helium (He). Gas noble. Número atómico, 2; peso atómico, 4,003. El año 1868, Janssen descubrió por medio del análisis espectral la presencia de helio en la atmósfera del Sol. En la Tierra fue descubierto por Ramsay en 1895 que obtuvo este gas del mineral cleveita. Su nombre proviene de la palabra "helios", "sol". Después del hidrógeno, el helio es el más ligero de todos los gases; es 8 veces menos pesado que el aire. En la naturaleza abunda en la atmósfera y se desprende de las entrañas de la tierra junto con otros gases naturales. El helio se forma durante la desintegración radiactiva de los elementos: cada partícula alfa, despedida del núcleo atómico del elemento radiactivo, es un núcleo de helio con carga positiva. El helio se utiliza para llenar los dirigibles mezclado con el hidrógeno, con lo cual se protege a este último de posibles explosiones. Evaporando el helio se ha conseguido, en la Tierra la temperatura más baja, casi - 273°.

**Hidrógeno** - Hydrogenium (H). Número atómico, 1; peso atómico, 1,008. Es el elemento más ligero, ocupa el primer puesto en el sistema periódico de Mendeléev. Constituye aproximadamente el 1% de toda la masa de la corteza terrestre, incluyendo el agua y el aire. Es un gas incoloro, 14 veces más ligero que el aire. EL hidrógeno fue descubierto en la primera mitad del siglo XVI por Paracelso, que lo obtuvo por la acción del hierro sobre el ácido sulfúrico. En 1766 Cavendish estableció sus propiedades e indicó sus diferencias con respecto a otros gases. En 1783 Lavoisier lo obtuvo por primera vez a partir del agua y demostró que el agua es una combinación química de hidrógeno y oxígeno. En la tierra se presenta sólo combinado en el agua, petróleo y tejidos de las células vivas; en estado libre se encuentra sólo en ínfimas cantidades en las capas superiores de la atmósfera. El hidrógeno se desprende también durante las erupciones volcánicas. Mediante el análisis espectral se descubrió el hidrógeno en el sol y en las estrellas. La sustancia cósmica, según el criterio actual, consta de 30 a 50% de hidrógeno libre, cuyo átomo constituye el ladrillito fundamental de que está construido el universo.

Además del hidrógeno con peso atómico 1, existen otros dos isótopos raros con pesos atómicos 2 y 3, los cuales al combinarse con el oxígeno producen "agua pesada". El hidrógeno se utiliza para llenar los globos aerostáticos, dirigibles, en los cuales, debido a que es más ligero que el aire, actúa como fuerza sustentadora. Se emplea en la soldadura autógena (la temperatura de la llama alcanza hasta 2 000°), así como en la industria química para la obtención de petróleo artificial a partir de la hulla. A presiones y temperaturas muy altas, los isótopos del hidrógeno entran en reacción termonuclear desprendiendo una cantidad de energía enorme. En la actualidad se buscan los procedimientos para controlar estas reacciones.

**Hierro** - Ferrum (Fe). Número atómico, 26; peso atómico, 55,85. Es conocido desde tiempos remotos. Es fácilmente oxidable y, en general, se combina con otros elementos, por lo que es difícil obtenerlo en estado puro. El hierro metálico es de color blanco acerado, maleable. Posee las cualidades magnéticas más elevadas de todos los metales. Las combinaciones del hierro con el carbono (aceros y hierro colado, con contenido respectivo de carbono, 0,2-2% y 2,5-4%) constituyen la base de la industria metalúrgica de nuestro siglo. Sus minerales más importantes son: el hierro oligisto o hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); la piedra imán o magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ); el carbonato ferroso

o siderita ( $\text{FeCO}_3$ ); y los óxidos hidratados de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). En la corteza terrestre constituye el 4,7%; en el Cosmos su cantidad es todavía mayor. Las rocas que contienen más del 30% de hierro, se llaman minerales férricos.

**Holmio** - Holmium (He). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 67; peso atómico, 164,94. Descubierto en 1880 por el químico sueco Cleve. Las sales de holmio tienen color rosado. Su denominación proviene del nombre de la capital de Suecia, Estocolmo.

**Indio** - Indium (In). Elemento con peso atómico 114,76 y número atómico 49. Reich y Richter lo descubrieron en 1863 mediante el análisis espectral. Recibió su denominación por el color azul oscuro, color índigo, de sus líneas espectrales. El indio en estado libre es un metal blanco argéntico, más blando que el plomo. Pertenece a los elementos dispersos poco difundidos en la naturaleza. Minerales ricos de este metal no se conocen. En pequeñas cantidades, a modo de impurezas, las combinaciones de indio existen en los minerales de muchos metales, especialmente asociado con el zinc. El indio es el mejor metal para la fabricación de espejos.

**Iridio** - Iridium (Ir). Número atómico, 77; peso atómico, 192,2. Fue descubierto por Tennant en 1803 en los minerales de platino. Recibió su nombre de la palabra "iris", "arco iris" (por la diversidad de colorido de las disoluciones de sus sales). Es uno de los metales más pesados (peso específico, 22,4). Se caracteriza por su gran dureza y estabilidad química. Funde a  $2454^\circ$ . Por sus propiedades químicas es muy parecido al rodio. En la naturaleza se encuentra, por lo general, acompañando al platino. En estado puro se utiliza en la fabricación de crisoles, hornos eléctricos con alta temperatura de caldeo y en los pares termoeléctricos. Tiene gran aplicación en las aleaciones.

**Itterbio** - Itterbium (Yb). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 70; peso atómico, 173,04. Descubierto en 1878 por Marignac, que estableció que el elemento erbio contiene una "tierra nueva". Su denominación proviene de la pequeña población sueca llamada Itterby.

**Itrio** - Yttrium (Y o Yt). Número atómico, 39; peso atómico, 88,92. Por lo que respecta a sus propiedades y presencia conjunta en la naturaleza, es muy parecido a la familia de los lantánidos y se incluye en el grupo de las tierras raras. En la naturaleza, se halla en grandes cantidades en los minerales xenotima y gadolinita. Descubierto en 1794 por Gadolin; en estado puro fue obtenido por primera vez en 1828 por Wöhler. Sus aplicaciones técnicas, hasta la fecha, son de poca importancia.

**Kurchatovio**. (Ku) Elemento número 104 obtenido artificialmente denominado así por los físicos soviéticos en honor del científico soviético Igor Kurchátov. La longevidad mayor tiene el isótopo con el número másico 261. Su período de semi-desintegración es cerca de 1,5 min.

**Lantánidos** - Véase elementos de las tierras raras.

**Lantano o Lantano** - Lanthanum (La). Elemento perteneciente al grupo de las tierras raras. Número atómico, 57; peso atómico, 138,92. Descubierto en 1839 por Mosander, su nombre proviene del griego "lanthano" - "escondido". Interviene como ingrediente en la aleación empleada para la fabricación de piedras de mechero.

**Litio** - Lithium (Li). El más ligero de los metales. Número atómico, 3; peso atómico 6,940. Descubierto en 1817 por Arfwedson; su nombre proviene de la palabra "lithos", "piedra". Pertenece al grupo de los metales alcalinos, se caracteriza por su gran actividad química y por sus propiedades, parecidas a las del potasio y sodio. Es más ligero que el agua (peso específico 0,534). Las sales de litio colorean la llama de rojo vivo. En la naturaleza existen sólo sus combinaciones; en el agua de los manantiales minerales se descubren indicios de litio. Se utiliza en la fabricación de acumuladores para submarinos, de ciertas aleaciones especiales y en la soldadura de objetos de aluminio.

**Laurencio** - Laurenium (Lr). Número atómico 103. Obtenido por vía artificial, en el año 1961, bombardeando el californio con iones de boro. El período de semi-desintegración es de 8 s. Recibió su denominación por el nombre del inventor del ciclotrón Ernest Lawrence.

**Lutecio** - Lutetium (Lu). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 71; peso atómico, 174,99. Descubierto simultáneamente por Urbain en Francia y por Auer en Alemania. El primero lo denominó lutecio (por el nombre antiguo de París, Lutecia), el segundo lo llamó caseopio. En la Unión Soviética se usa lutecio.

**Magnesio** - Magnesium (Mg). Número atómico, 12; peso atómico, 24, 32. Descubierto por Davy en 1808 por el método electrolítico. La denominación proviene del mineral "magnesia alba" (Magnesia - localidad de Grecia, "alba" = "blanca") Metal alcalino-térreo. Muy difundido en la corteza terrestre, de la que constituye el 2,5% en peso; interviene en la composición de las rocas, en formas de carbonatos y silicatos. El agua del mar contiene sales magnésicas disueltas en gran cantidad. Es un metal ligero (peso específico 1,74), maleable, químicamente muy activo, sin embargo, estable en sus aleaciones. En los últimos tiempos las aleaciones aluminomagnésicas se utilizan en gran escala en la industria de aviación.

**Manganeso** - Manganum (Mn). Número atómico, 25; peso atómico, 54,93. Descubierto en 1774 por Scheele en el mineral pirolusita (variedad natural de dióxido de manganeso, llamada "magnesia negra", de donde proviene su denominación). Es un metal duro de color blanco de plata. Muy difundido en la naturaleza, forma concentraciones de pirolusita negra en los sedimentos marinos. Se emplea en la metalurgia para mejorar la calidad del acero, en la industria de colorantes y en otras muchas industrias químicas.

**Mendelevio** - Mendeleevium (Md). Número atómico, 101. Obtenido artificialmente, en el año 1955, bombardeando el einstenio con iones de helio. Su período de semi-desintegración es de cerca de 30 mío. Fue denominado así, por los físicos americanos que lo obtuvieron, en honor del gran químico ruso Mendeléev.

**Mercurio** - Hydrargyrum (Hg). Número atómico, 80; peso atómico, 200,61. Es el único metal líquido a la temperatura ordinaria. Se conoce su existencia desde tiempos remotos. Su denominación proviene de las palabras griegas "hudar argiros", "plata líquida". Se solidifica a  $-39,3^{\circ}$ , hierve a  $357^{\circ}$ . Peso específico 13,6. Disuelve muchos metales (oro, plata, cobre, estaño) formando aleaciones líquidas y sólidas, llamadas amalgamas. Los vapores de mercurio son muy tóxicos. Se utiliza para llenar diversos instrumentos (por ejemplo, termómetros), en medicina, para extraer el oro de sus minerales y para preparar el fulminante de mercurio, uno de los detonadores más importantes. En la naturaleza se encuentra en el mineral cinabrio (HgS).

**Molibdeno** - Molybdenum (Mo). Número atómico, 42; peso atómico, 95,95. Descubierto por Hjelm en 1782, pero en estado puro fue obtenido sólo en 1895 por Moissan. Su denominación proviene de la palabra griega "molybdos" que significa "plomo", debido a la gran semejanza que existe entre este último y el mineral molibdenita. Se encuentra en la naturaleza, principalmente, en forma de molibdenita (MoS<sub>2</sub>), mineral muy parecido al grafito por su aspecto externo. El molibdeno es un metal de color blanco grisáceo, duro, maleable a alta temperatura. En estado puro se emplea en forma de aleaciones con el acero, al que transmite gran dureza y tenacidad. Su aleación con wolframio es un sustitutivo del platino. También se utiliza como anticátodo en los tubos de rayos X; con él se hacen los ganchitos que sujetan los filamentos incandescentes de wolframio en las lámparas eléctricas. Su combinación con el carbono, el carburo MoC<sub>2</sub>, posee extraordinaria dureza.

**Neodimio** - Neodymium (Nd). Elemento del grupo de las tierras raras. Número atómico, 60; peso atómico, 144,27. Descubierto por Auer en 1885 como resultado de la división en dos (neodimio,

o sea, "nuevo gemelo", y praseodimio) del didimio que hasta entonces se consideraba como un solo elemento. Las sales de neodimio son de color rojo rosado.

**Neón** - Neon (Ne). Número atómico, 10; peso atómico, 20,183. Gas noble, descubierto en 1898 por Ramsay y Travers, simultáneamente con el criptón y xenón. Su denominación proviene de la palabra griega "neos", "nuevo". Se encuentra en cantidades pequeñísimas en el aire. Se emplea para llenar las lámparas de descarga gaseosa (lámparas de neón), que iluminan con luz roja.

**Neptunio** - Neptunium (Np). Número atómico, 93. Es el primero de los metales transuránicos. Fue obtenido en 1940 por vía artificial bombardeando el uranio con neutrones. Es radiactivo. Actualmente se conocen 12 isótopos. El de vida más larga es el isótopo con peso atómico 237, cuyo período de semi-desintegración es de 2,2 millones de años. Por sus propiedades es muy parecido al uranio. Su denominación proviene del nombre del planeta Neptuno. Se ha descubierto su presencia, en ínfimas cantidades, en la naturaleza.

**Niobio** - Niobium (Nb). Número atómico, 41; peso atómico, 92,91. Descubierto por Hatchett en 1801 y fue denominado columbio (Cb). En 1846 Rose desdobló el columbio en dos elementos, niobio y tantalio. En América se conservó el nombre de "columbio", en los países europeos está aceptado llamarle "niobio". Esta última denominación proviene del nombre de la ninfa Niobe, hija de Tántalo. En estado libre fue obtenido en 1907. Es un metal de color blanco grisáceo, duro maleable y se caracteriza por su extraordinaria estabilidad ante la acción de los agentes químicos. En la naturaleza se encuentra asociado al tantalio y titanio. Se utiliza para obtener aleaciones y aceros especiales destinados a la construcción de estructuras metálicas soldadas que hayan de sufrir grandes presiones, pues la adición de niobio eleva bruscamente la estabilidad de las juntas de soldadura. También se emplea para la preparación de aleaciones extraduras. Gran interés presenta la posibilidad de emplear el niobio en la electrotecnia de vacío.

**Níquel** - Niccolum (Ni). Número atómico, 28; peso atómico, 58,69. Su denominación proviene del nombre mineral "kupfernickel, que significa "cobre inservible". Descubierto por Cronstedt en 1751. Es un metal de color blanco de plata, bastante duro, temperatura de fusión 1 455°. Existe en la naturaleza combinado con el azufre o en forma de minerales silicáticos. Se emplea ampliamente para el niquelado, para la preparación de aceros especiales y como catalizador.

**Nitrógeno** - Nitrogenium (N). Número atómico, 7; peso atómico, 14,008. Gas incoloro. Constituye las 4/5 partes en volumen del aire atmosférico. Los primeros datos sobre la existencia del nitrógeno como sustancia especial corresponden a Rutherford (en el año 1772), sin embargo, sólo Lavoisier demostró que se trataba de un elemento independiente y le dio la denominación "ázoe" (del griego, "sin vida"). La denominación latina Nitrogenium proviene de las palabras "nitrón = salitre y "genus" = engendrador. Se encuentra en la naturaleza además de en el aire, en todos los organismos vivos, así como en forma de salitre (nitratos de sodio y potasio). En estado libre, el nitrógeno se emplea en las lámparas eléctricas. Sus combinaciones tienen una gran importancia como fertilizantes y como parte componente de los explosivos.

**Nobelio** - Nobelium (No). Elemento con número atómico 102, obtenido por vía artificial. Por primera vez fue publicada su obtención en el año 1957 por unos físicos suecos, los cuales propusieron la denominación del nuevo elemento. Pero los experimentos llevados a cabo por científicos soviéticos y americanos no confirmaron las deducciones de aquellos. Los físicos soviéticos obtuvieron el elemento 102 bombardeando el plutonio con iones de oxígeno. Su período de semi-desintegración es de varios segundos.

**Oro** - Aurum (Au). Número atómico, 79; peso atómico, 197,2. Conocido desde tiempos muy remotos. Es un metal de color amarillo, blando y maleable, muy resistente a la acción química de los oxidantes. Se disuelve sólo en el agua regia. De "mal grado" entra en combinación con otros elementos. En la naturaleza se conocen únicamente sus aleaciones con la plata y sus

combinaciones con el selenio y el telurio. Peso específico del oro químicamente puro 19,3 (el del oro nativo, con 15-25% de plata, es 15-16). Funde a 1 060°, hierve a 2 677°. Las láminas finas de oro dejan pasar la luz verde. El oro es un metal valioso y esto es lo que principalmente determina su importancia. Sus aplicaciones técnicas son escasas: para contactos, dorado de objetos, fotografía y medicina.

**Osmio** - Osmium (Os). Número atómico, 76; peso atómico 190,2. Pertenece al grupo de los metales del platino. Descubierta por Tennant en 1803. Su denominación deriva de la palabra griega "Osme", "olor", pues los vapores de anhídrido ósmico huelen a rábano podrido. Es un elemento poco activo, muy estable desde el punto de vista químico. Su peso específico (22,118) es el más elevado de todas las sustancias conocidas en la tierra. Temperatura de fusión 2.500°. Existe en la naturaleza en estado nativo, asociado al platino. La aleación de osmio e iridio es extraordinariamente dura y se usa para las puntas de las plumillas de las plumas estilográficas.

**Oxígeno** - Oxygenium (O). Número atómico, 8; peso atómico, 16,0000. Su denominación literalmente significa "engendrador de ácido". Descubierta por Priestley en 1774. Elemento extraordinariamente difundido en la naturaleza, constituye el 49,5% en peso de la corteza terrestre. Juega un papel enorme en los procesos naturales, toma parte en la composición del agua, la mayoría de los minerales y los organismos vivos. Se utiliza ampliamente en metalurgia (para la fundición del hierro colado), en la soldadura autógena mezclado con el hidrógeno o acetileno, y en muchas ramas de la industria química. El oxígeno líquido o el aire líquido se emplean como explosivos energéticos.

**Paladio** - Palladium (Pd). Número atómico, 46; peso atómico, 106,7. Elemento del grupo del platino. Descubierta por Wollaston en 1803 y denominada en honor del asteroide Palas. Es el más blando y maleable de todos los metales del grupo del platino. Es notable su propiedad de absorber el hidrógeno en enorme cantidad (hasta 300 volúmenes por 1 volumen del metal), conservando el aspecto metálico, pero aumentando de volumen. Debido a su bello aspecto externo se usa en joyería.

**Plata** - Argentum (Ag). Número atómico, 47; peso atómico, 107,88. Es un metal noble conocido desde la más remota antigüedad. La plata pura es de color blanco, muy blanda y dúctil. Peso específico, 10,5; temperatura de fusión, 960,5°; muy parecido por sus propiedades al oro y al cobre; en contacto con aire no se altera, posee gran maleabilidad. Es el metal que mejor conduce el calor y la electricidad. En la naturaleza se encuentra en estado nativo y combinado con el azufre y el cloro. Sus aleaciones se emplean para la fabricación de objetos y utensilios domésticos, en joyería y para acuñar monedas. Su denominación proviene del sánscrito "argenos" - "claro"

**Platino** - Platinum (Pt). El más importante de los elementos de su grupo. Número atómico, 78; peso atómico, 195,23. Fue descubierta el año 1735 en las arenas auríferas del río Pinto por Antonio Ulloa. Como elemento independiente lo describió Watson ya en 1750. Su denominación proviene de la palabra española "platina", diminutivo de "plata". Peso específico 21,4; temperatura de fusión, 1.773,5°. Es un metal brillante, maleable, inalterable, incluso, elevando la temperatura hasta el más alto grado de incandescencia. Debido a su elevado punto de fusión y su estabilidad ante los agentes químicos se usa en gran escala en los laboratorios científicos e industriales. En la naturaleza se encuentra en estado nativo. La mayor cantidad de platino se extrae de los yacimientos superficiales (placeres).

**Plomo** - Plumbum (Pb). Número atómico, 82; peso atómico, 207,21. Se conoce su existencia desde tiempos remotos. Es un metal blando y pesado de color gris azulado. Peso específico, 11,34; temperatura de fusión 327°. Tiene numerosas aplicaciones. Principalmente, se usa para recubrir cables y hacer placas de acumuladores. Gran cantidad se consume en la fabricación de



balas y perdigones, pantallas protectoras contra la irradiación radiactiva y los rayos X. Toma parte en la composición de muchas aleaciones (metal antifricción, aleación tipográfica, etc.). Los compuestos de plomo se emplean para preparar pintura blanca. Su principal mineral es el plomo brillante o galena (PbS), del que se extrae.

**Potasio** - Kalium (K). Número atómico, 19; peso atómico, 39,096. Davy fue el primero que lo obtuvo en 1807 por electrólisis del hidróxido potásico. Su denominación proviene de la palabra árabe "álcali", "alcalino". En estado libre no se encuentra en la naturaleza, sin embargo, está muy difundido en forma de silicatos y sales haloideas. El isótopo del potasio con peso atómico 40 es radiactivo. EL potasio es un metal de color blanco argentino, al contacto del aire se oxida rápidamente, debido a lo cual se conserva en kerosene. Es blando como la cera; temperatura de fusión, 63,5°, punto de ebullición, 762°. Más ligero que el agua (peso específico 0,862). Mezclándolo con el sodio se obtiene una aleación líquida a la temperatura ordinaria, que puede sustituir al mercurio en los termómetros. El potasio puro tiene pocas aplicaciones, pues, por lo general, es sustituido por el sodio, elemento más barato.

**Plutonio** - Plutonium (Pu). Número atómico, 94. Por primera vez fue obtenido artificialmente en 1941 bombardeando el uranio con deuterones (núcleos de hidrógeno pesado). Es radiactivo. En la actualidad se conocen 12 isótopos. El de mayor longevidad es el isótopo con peso atómico 242, su período de semi-desintegración es de 500 000 años. EL isótopo 239 es el principal producto para la obtención de energía atómica. Desde el punto de vista químico se parece mucho al uranio. La denominación proviene del planeta Plutón. Se ha descubierto en pequeñas cantidades en los minerales naturales de uranio (aproximadamente 1 átomo de plutonio por cada 140 000 millones de átomos de uranio).

**Polonio** - Polonium (Po). Número atómico, 84; peso atómico, 210,0. Es radiactivo. Fue descubierto por Mario Curie el año 1898 y denominado en honor de su patria Polonia. En estado puro no ha sido obtenido. Por sus propiedades químicas es muy parecido al telurio y es uno de los miembros de la serie de desintegración radiactiva del uranio. Período de semi-desintegración, 137,6 días.

**Praseodimio** - Praseodymium (Pr). Pertenece al grupo de las tierras raras. Número atómico, 59; peso atómico, 140,92. Descubierto por Auer en 1885 junto con el neodimio. Recibió su nombre de las palabras griegas "prasios" = "verde" y "didymos" = "gemelo". Sus sales son de color verde.

**Prometio** - Prometheum (Pm). Número atómico, 61. En el sistema periódico de Mendeléev se encuentra en el grupo de las tierras raras. Fue extraído, por vía química, de los fragmentos de la fisión del uranio en forma de isótopo dotado de vida relativamente larga, con peso atómico, 147. EL período de semi-desintegración es de unos 4 años. Se denominó en honor de titán mitológico Prometeo.

**Protactinio** - Protactinium (Pa). Número atómico, 91; peso atómico, 231. Es radiactivo. Descubierto en 1917 por Hahn y Lise Meitner. En 1927, Grosse lo obtuvo en estado libre en cantidad de centésimas de gramo. Es un metal de color blanco argéntico. Recibió su denominación de las palabras griegas "protos" y "actinos", o sea, "primer rayo". Se encuentra en la naturaleza junto con el uranio, constituyendo uno de los productos de su desintegración. Su periodo de semi-desintegración es de 3200 años.

**Radio** - Radium (Ra). Número atómico, 88; peso atómico, 226,05. Elemento radiactivo de la serie del uranio descubierto el año 1898 por los esposos Curie en la peblenda. Su denominación proviene de la palabra "radios" que significa "rayo". Es un metal de color argéntico que descompone el agua a la temperatura ordinaria. Muy parecido al bario en sus propiedades químicas, por lo cual las sales de radio son muy difíciles de separar de las de bario. La propiedad más notable del radio es su elevada radiactividad, que supera en varios millones de veces a la del

uranio. EL radio despidе rayos alfa, beta y gamma. Sus sales emiten luz en la oscuridad. Los rayos por él emitidos, además de impresionar las placas fotográficas, tienen la propiedad de provocar numerosas reacciones químicas, destruyen los tejidos de los organismos vivos y matan las bacterias. Es especialmente admirable la propiedad que posee el radio de emitir permanentemente grandes cantidades de energía. La duración del período de semi-desintegración del radio es de 1 580 años. Se emplea en medicina para curar el cáncer y el lupus.

**Radón** - Radon (Rn). Número atómico, 86; peso atómico, 222,0. Es el gas noble más pesado, producto de la transformación radiactiva del radio. Su existencia dura corto tiempo, período de semi-desintegración 3,85 días, convirtiéndose en helio y la sustancia sólida radio A. Descubierto por Dorn en 1900. Su denominación proviene de la misma raíz que la palabra "radio". Se llama también emanación de radio y nitón. Se emplea para el tratamiento no quirúrgico del cáncer.

**Renio** - Rhenium (Re). Número atómico, 75; peso atómico, 186,31. Es uno de los elementos más dispersos, descubierto sólo en 1925 por los esposos Noddack. Su denominación proviene de la denominación del río "Rhein" = "Rin". Mendeléev predijo sus propiedades y lo llamó dimanganeso. Por su aspecto exterior recuerda al platino. Es uno de los elementos más pesados y difíciles de fundir. Presenta gran interés para la industria electrotécnica, pues constituye un excelente material para los filamentos de las lámparas eléctricas, todavía mejor y más resistente que el wolframio. También se utiliza en forma de aleación. En la naturaleza se encuentra en el mineral molibdenita en cantidad inferior a una cienmilésima %.

**Rodio** - Rhodium (Rh). Número atómico, 45; peso atómico, 102,91. Pertenece al grupo del platino. Descubierto por Wollaston en 1804, su denominación proviene de la palabra griega "rhodon", "rosado" debido a que sus sales son de este color. En la naturaleza se encuentra en estado nativo junto con los elementos del grupo del platino. Con la aleación de platino y rodio se fabrican instrumentos para medir altas temperaturas (pares termoelectrónicos).

**Rubidio** - Rubidium (Rb). Número atómico, 37; peso atómico, 85,48. Pertenece al grupo de los metales alcalinos. Descubierto por Bunsen el año 1861 mediante el análisis espectral. Recibió su nombre por el color rojo característico de sus líneas del espectro ("rubidus", "rojo oscuro"). Sus propiedades son muy parecidas a las del sodio y potasio. Peso específico, 1,52; temperatura de fusión, 39°; punto de ebullición, 696°. Se encuentra en la naturaleza en estado extremadamente disperso. El mayor contenido de rubidio (hasta 0,1% se observa en la amazonita (feldespato verde); en cantidades apreciables existe en el mineral carnalita. EL rubidio es radiactivo, emite sólo rayos beta, transformándose en estroncio. Período de semi-desintegración, 70.000 millones de años.

**Rutenio** - Ruthenium (Ru). Número atómico 44; peso atómico, 101,7. Pertenece al grupo del platino. Descubierto el año 1844 por el investigador ruso Claus en la ciudad de Kazán, denominado en honor de Rusia (en latín, Ruthenia significa Rusia). Es un metal frágil, con peso específico 12,26 y temperatura de fusión 1950°. En la naturaleza se encuentra junto con otros elementos del grupo del platino. Es muy poco abundante, por lo que tiene pocas aplicaciones.

**Samario** - Samarium (Sm). Número atómico, 62; peso atómico, 150,43. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Lecoq de Boisbaudran en 1879, su denominación proviene del mineral samarsquita. La llama del arco voltaico adquiere coloración rojorosa en presencia de sales de samario. Es radiactivo, emite únicamente rayos alfa, transformándose en neodimio.

**Selenio** - Selenium (Se). Número atómico, 34; peso atómico 78,96. Descubierto por Berzelius en 1817. Recibió su denominación de la palabra griega "Selene", "Luna". Conduce la corriente eléctrica, con la particularidad de que su conductividad varía al cambiar la luminosidad. En esto está fundada su principal aplicación en las células fotoeléctricas. Por sus propiedades químicas se parece al azufre y, todavía más, al telurio. Peso específico, 4,8; temperatura de fusión, 220,2°;

punto de ebullición, 688°. En la naturaleza se encuentra en estado disperso, acompañando en pequeñas proporciones al azufre. Además de en las células fotoeléctricas, el selenio se emplea en electrotecnia, en las industrias del caucho y del vidrio y en televisión.

**Silicio** - Silicium (Si). Número atómico, 14; peso atómico, 28,09. Después del oxígeno, es el elemento más difundido en la corteza terrestre. En la naturaleza nunca se presenta en estado libre sino combinado con el oxígeno (sílice  $\text{SiO}_2$ ) o en forma de sales del ácido silícico (silicatos). El mineral cuarzo y sus numerosas variedades están constituidos de sílice. Importantísimos productos técnicos, como el vidrio, porcelana, cemento, ladrillos, en lo fundamental están formados por silicatos, lo mismo que el granito, basalto, sienita y otras rocas. Fue descubierto por Gay-Lussac y Thenard en 1811. Sin embargo, su naturaleza como elemento fue establecida por Berzelius sólo en 1823. Su denominación proviene de la palabra latina "sílex", "pedernal". Durante estos últimos años ha empezado a utilizarse mucho para la fabricación de dispositivos semiconductores, especialmente pilas solares para los aparatos cósmicos.

**Sodio** - Natrium (Na). Número atómico, 11; peso atómico, 22,997. Davy lo descubrió en 1807 al efectuar la electrólisis del hidróxido sódico. Su denominación proviene de la palabra árabe "natron", "sosa". Es un metal de color blanco argéntico, blando como la cera, se oxida en contacto con aire (se conserva en kerosene), más ligero que el agua (peso específico 0,971). Muy difundido en forma de silicatos y sales haloideas. Él y sus sales se emplean en gran escala en la industria (sal común, sosa, sal de Glauber, etc).

**Talio** - Tallium (Tl). Número atómico, 81; peso atómico, 204,39. Descubierto por Crookes el año 1861 mediante el análisis espectral. Su nombre proviene de la palabra griega "thallos", "tallo verde", debido al color de sus líneas del espectro. Es un metal más ligero que el plomo, muy volátil, funde a 302° y tiñe la llama de color verde. En la naturaleza se encuentra muy diseminado. La principal materia prima para su obtención es el polvo que se obtiene durante la calcinación de los sulfuros de ciertos metales. Se emplea en las aleaciones resistentes a la acción de los ácidos, para preparar cristal óptico y en los pares termoeléctricos.

**Tantalio** - Tantalum (Ta). Metal raro. Número atómico, 73; peso atómico, 180,95. Descubierto por Ekeberg en 1802, recibió su nombre en honor de Tántalo, héroe mitológico griego. Admite toda clase de tratamientos mecánicos y se caracteriza por su alta estabilidad ante la acción de reactivos químicos. Esta propiedad se utiliza para la preparación de aparatos de laboratorios químicos e instrumentos quirúrgicos. Sus aleaciones con el carbono se distinguen por su elevadísima dureza, lo que las hace muy útiles para la fabricación de cuchillas y taladros. En la naturaleza es raro siempre asociado al niobio y, a menudo, al titanio.

**Tecnecio** - Technetium (Tc). Número atómico, 43. Es el primer elemento químico obtenido por vía artificial. Fue sintetizado por K. Perrier y Segré en 1937 bombardeando el molibdeno con deuterones, núcleos del isótopo pesado del hidrógeno. En la actualidad se conocen 17 isótopos. El de vida más larga es el isótopo de peso atómico 99. Por sus propiedades químicas, el tecnecio se parece al renio y al manganeso. Su denominación proviene de la palabra griega "technetos", "artificial", pues éste es el primer elemento producido artificialmente. Sus propiedades concuerdan exactamente con las que predijo Mendeléev, que llamó a este elemento eka-manganeso.

**Telurio** - Tellurium (Te). Número atómico, 52; peso atómico, 127,61. Descubierto por F. Müller el año 1782; Klaproth confirmó en 1798 este descubrimiento y dio al nuevo elemento su denominación que proviene de la palabra latina "telluris", "tierra". Por su comportamiento químico se parece al azufre y, todavía más, al selenio. Se proyecta su utilización en la industria de cerámica, para colorear el vidrio, y como aditivo a la gasolina con objeto de acelerar el proceso de combustión en los motores.

**Terbio** - Terbium (Tb). Número atómico, 65; peso atómico, 158,93. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Mosander en 1843. Su denominación proviene del nombre de la ciudad Itterby (Suecia) en cuyas canteras fueron descubiertos los minerales de las tierras raras.

**Tierras raras** - Terrae Rarae (TR). La casilla N°57 de la tabla de Mendeléev está ocupada, no por un solo elemento, como ocurre en otras casillas, sino por 15 elementos muy semejantes entre sí. Sus números atómicos oscilan entre 57 y 71. Estos elementos se unifican bajo la denominación común de elementos de las tierras raras, llamados también lantánidos. A las tierras raras pertenecen el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio, lutecio. En el grupo de las tierras raras se incluye también el elemento itrio (N°39). Las tierras raras se dividen en dos grupos, del cerio y del itrio. Todas las tierras raras son muy parecidas entre sí por sus propiedades químicas. En estado libre poseen altos puntos de fusión, reaccionan con el agua a la temperatura ordinaria. En la naturaleza siempre se encuentran mezclados unos con otros. Su separación implica grandes dificultades. El mineral más importante de las tierras raras es la monacita. Sólo el cerio ha adquirido la utilización práctica. La historia del descubrimiento de algunos de ellos es bastante compleja. La existencia de la "tierra nueva" fue establecida por vez primera en 1794 por Gadolín. El último elemento descubierto de las tierras raras es el lutecio, últimamente por vía artificial ha sido obtenido el prometio (N°61). Datos suplementarios sobre cada uno de los elementos del grupo de las tierras raras pueden verse en este vocabulario.

**Titanio** o **titano** - Titanium (Ti). Número atómico, 22; peso atómico, 47,90. Elemento muy difundido en la naturaleza, constituye el 0,6% del peso de la corteza terrestre. Descubierto por Klapproth el año 1795, sin embargo, en estado puro fue obtenido solamente en 1857 por Wöhler y Sainte-Claire Deville y denominado en honor del héroe mitológico Titán, hijo de la Tierra. Es un metal de color blanco de plata, muy duro y frágil. Peso específico, 4,5; punto de fusión, 1.800°C. EL titanio tiene una importancia práctica especialmente grande en metalurgia, pues contribuye a la total eliminación del oxígeno y nitrógeno en la fundición de acero, con lo cual se obtiene un acero perfectamente homogéneo, transmitiéndole dureza y elasticidad. El titano puro es muy resistente a los cambios bruscos de temperatura y ante él se abren amplias perspectivas de empleo en aviación. EL dióxido de titanio se usa para preparar pinturas blancas de buena calidad (blanco de titanio).

**Torio** - Thorium (Th). Número atómico, 90; peso atómico, 232,12. Es uno de los elementos radiactivos más importantes, descubierto por Berzelius en 1829. Recibió su denominación por el nombre de Thor, dios escandinavo de la guerra. La radiactividad del torio fue establecida en 1898 por Sklodowska-Curie y Smidt. Por su aspecto exterior, este metal se parece al platino. Peso específico, 11,7; punto de fusión, 1842°. Período de semi-desintegración 13.000 millones de años. Al desintegrarse forma la llamada serie radiactiva del torio, cuyo producto final es el plomo con peso atómico 208. Los principales minerales de torio son la monacita y la torita. La monacita se extrae de ciertas arenas que la contienen. El óxido de torio se usa en manguitos de incandescencia para mecheros de gas. Juntamente con el uranio, el torio se desintegra desprendiendo enorme cantidad de energía atómica.

**Tulio** - Thulium (Tu). Número atómico, 69; peso atómico, 169,4. Pertenece al grupo de las tierras raras. Descubierto por Cleve en 1880. Recibió su nombre de la palabra "Thulo", antigua denominación de Escandinavia. Sus sales son de color verde.

**Uranio** - Uranium (U). Número atómico, 92; peso atómico, 238,07. Elemento que no hace mucho tiempo ocupaba el último lugar en el sistema periódico de Mendeléev. Fue descubierto el año 1789 en la peblenda por Klapproth, pero en estado libre fue obtenido por Peligo en 1841. Es un metal de color blanco argéntico, muy difícil de fundir (temperatura de fusión 1.690°), peso

específico 18,7, radiactivo. Precisamente las radiaciones que emite el uranio, fueron las que permitieron a Becquerel descubrir en 1898 el fenómeno de la radiactividad. EL uranio natural tiene varios isótopos; predomina el isótopo con peso atómico 238; el de peso atómico 235 se halla en la proporción del 0,7% con respecto a los demás isótopos. Cuando se desintegra el uranio-238, se forman los elementos de la serie del uranio; durante el proceso de radiactividad del uranio-235 se produce la serie del actinio. El producto final de la serie del uranio es el plomo con peso atómico 206, el de la serie de actinio es el plomo con peso atómico 207. Cuando se bombardea el uranio-235 con neutrones lentos, su núcleo se fisiona con facilidad en dos fragmentos casi iguales, desprendiendo una cantidad enorme de energía. Recibió su nombre del planeta Urano, descubierto unos años antes.

**Vanadio** - Vanadium (V). Número atómico, 23; peso atómico, 50,95. Descubierta por Sefström en 1830. Recibió su nombre en honor de la diosa Vanadis. Es un metal de color gris acerado, muy duro, no frágil, bastante difundido en la naturaleza, pero sólo en estado disperso. Se obtiene de los minerales titanomagnetíticos y de las pizarras bituminosas. Su principal aplicación es para la fabricación de acero de alta calidad, dotado de gran dureza, elasticidad y resistencia a la ruptura. Se utiliza como catalizador en la industria química en cerámica, como colorante, en fotografía, para dar tonalidad a las pruebas fotográficas. Se emplea también en medicina.

**Wolframio** - Wolfram (W). Número atómico, 74; peso atómico, 183,92. Descubierta por Scheele en 1783 en el mineral wolframita. En estado libre lo obtuvo Wöhler sólo en 1850. En Inglaterra y Francia, el wolframio se llama "tungsteno". EL wolframio es un metal pesado (peso específico 19,1) de color blanco argéntico que posee una temperatura de fusión elevada (3.370°C). No se oxida, ni se disuelve en los ácidos, a excepción del agua regia. Se emplea en la fabricación de filamento para lámparas eléctricas, aceros extrarrápidos y aleaciones extraduras, que se conocen con las denominaciones "pobedit", "vidia" y "carbolói". El "pobedit" posee una dureza próxima al diamante y se utiliza para la perforación de las rocas más duras. Debido a la propiedad del wolframio de estirarse en alambres con espesor hasta de una centésima de milímetro, con él se preparan filamentos para lámparas eléctricas. El wolframio se emplea también para la fabricación de los recipientes y accesorios que se usan en los laboratorios químicos y para contactos, como sustitutivo del platino, elemento más costoso.

**Xenón** - Xenon (Xe). Número atómico, 54; peso atómico, 131,3. Gas noble, descubierta en 1898 por Ramsay y Travers simultáneamente con el criptón y neón. Su nombre deriva de la palabra griega "xenos", "extraño". Se encuentra en el aire atmosférico en ínfima cantidad. Es cuatro veces y media más pesado que el aire.

**Yodo** - Iodum (I). Número atómico, 53; peso atómico, 126,92. Metaloides típico. En condiciones normales, el yodo es sólido, muy volátil y fácilmente soluble en muchos disolventes. Fue descubierta por Courtois en 1811. La industria lo obtiene del salitre chileno en cantidades hasta de 1.000 toneladas al año. Existe también en las aguas petrolíferas y en las algas marinas, de donde también se extrae. Pertenece al grupo de los materiales dispersos en la naturaleza. Su nombre proviene de la palabra griega "iodes", que significa "violado", debido a la coloración de sus vapores. Se utiliza en medicina para obtener cristales polarizados, en fotografía y en la industria de colorantes.

**Zinc** - Zincum (Zn). Número atómico, 30; peso atómico, 65,38. Descubierta por Paracelsus en el siglo XVI. Su denominación proviene de la palabra "zinco", "pátina blanca" (las sales de zinc son de color blanco). Es un metal de color blanco grisáceo, resistente a la acción del agua y el aire. En la naturaleza se encuentra, principalmente, constituyendo el mineral esfalerita (ZnS). Se emplea para recubrir el hierro (hierro galvanizado), así como en las aleaciones con el cobre (latón). Las sales blancas de zinc se usan como pintura, y, también, en medicina.

**Zirconio** o **circonio** - Zirconium (Zr). Número atómico, 40; peso atómico, 91,22. Descubierta por Klaproth en 1789, su nombre proviene del mineral zircón (del persa "zargun" - "dorado"). El dióxido de circonio funde a 3 000°, y a esta temperatura se mantiene estable ante los agentes químicos. Debido a estas propiedades se emplea como material refractario de alta calidad. Se utiliza como aditivo al hierro colado, con objeto de elevar la calidad de la fundición metálica. En la naturaleza se presenta en forma de zircón y de silicatos complejos.

**Capítulo XLII****ACLARACIONES A ALGUNOS TERMINOS Y NOMBRES QUE APARECEN EN EL TEXTO**

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V Y Z

**A*****Abrasivos o materiales abrasivos.***

Substancias dotadas de alta dureza, que al ser trituradas producen granos con bordes agudos. Los abrasivos se emplean para cortar, serrar, taladrar, afilar, bruñir, pulimentar y efectuar otras clases de tratamientos mecánicos en los metales, piedra, vidrio, etc. Los abrasivos naturales más importantes son el diamante, corindón granate, sílice, cuarzo, arenisca y piedra pómez; artificiales: corindón sintético (electrocorindón, alúndum), carborundo (aleación de cuarzo y carbono), estalinita, volomita (aleaciones de wolframio y carbono) y carburo de boro. La importancia técnica de los abrasivos es enorme.

**Acero.** Aleación más o menos maleable de hierro carbonado con distintos elementos químicos.

**Acero cromado.** Acero recubierto de una capa de cromo. Se caracteriza por su resistencia al desgaste y estabilidad ante los agentes químicos.

**Acetileno.** Gas que se obtiene por la acción del agua sobre el carburo de calcio. Arde con llama de color blanco muy vivo. Se emplea (en combustión con oxígeno) para el corte y soldadura de metales ferrosos y no ferrosos.

**Acido bórico** ( $H_3BO_3$ ). Acido débil. Existe en la naturaleza constituyendo el mineral sasolita. Se presenta en forma de cristales blancos tabulares.

**Acidos húmicos.** Parte ácida de las materias húmicas, componentes del estiércol natural de los terrenos (humus). Estas substancias orgánicas juegan un importante papel en el proceso de cultivo de las plantas.

**Adornos de piedra.** Objetos pequeños y aderezos hechos de piedras preciosas coloreadas.

**Ágata.** Calcedonio estriado, estratificado, con capas de distinta coloración (blanca, roja, negra, etc.) Véase calcedonio.

**Agrícola.** Nombre latinizado de Jorge Bauer (1494-1555). Médico, mineralogista y metalúrgico alemán. Su obra "*El arte minero*" sirvió en el transcurso de dos siglos como libro de texto para el estudio de la técnica minera y la metalurgia.

**Aguarina.** Variedad transparente del berilio, de color verde-azul parecido a la del agua del mar (de las palabras latinas "aqua" = agua y "mare" = mar). Se usa como piedra preciosa.

**Alaita.** Mineral rarísimo de bello color rojo. Por su composición química es ácido vanádico natural ( $V_2O_5 \times H_2O$ ). Fue hallado en Asia Central.

**Afloramiento.** Lugar donde sobresalen a la superficie terrestre rocas, vetas y yacimientos minerales. Los afloramientos pueden ser naturales o artificiales (desbrozos).

**Agrología.** Ciencia que estudia el origen y formación de los terrenos, el proceso de desarrollo de su fertilidad y los factores que influyen sobre los terrenos para elevar la cosecha de cultivos.

**Algas diatomeas o algas silíceas.** Algas unicelulares de magnitud microscópica, con caparazones (envolturas) impregnadas de sílice. Abundan en todas las aguas dulces y saladas del globo terrestre. Son organismos originarios de las rocas, formando potentes depósitos de diatomita (tierra de diatomeas) y tripolita (tierra de infusorios). Estas concentraciones de diatomita y tripolita tienen gran importancia económica como materiales de construcción y abrasivos.

**Alquimia.** Denominación medieval de la Química. Corrientemente, se llama alquimista al período pre-científico de desarrollo de la Química.

**Aludes.** Hundimientos de grandes masas de nieve y hielo que se desprenden de las pendientes de montañas elevadas.

**Alumbres.** Combinaciones químicas constituidas por sales dobles del ácido sulfúrico. Los alumbres que más abundan en la naturaleza son los aluminicos (alunita) y férricos (halotriquita).

**Alúmina.** Oxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Forma parte de la composición de muchas rocas y minerales (aluminosilicatos). Industrialmente se obtiene, por lo general, de la bauxita. En la naturaleza se presenta formando el mineral corindón y otros.

**Aluminosilicatos.** Silicatos, en cuya composición juega un gran papel el óxido aluminico, es decir, la alúmina.

**Alúndum.** Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) obtenida artificialmente a partir de aluminosilicatos o bauxitas naturales. Véase abrasivos.

**Alunita o piedra alumbre.** Mineral blanco o marrón rojizo. Sulfato básico hidratado de aluminio y potasio.

**Amatista.** Variedad del cuarzo. Mineral transparente de color malva. Véase cuarzo.

**Ámbar.** Resina fósil solidificada en masa compacta, procedente de árboles coníferos pertenecientes con preferencia al período terciario. Puede ser de color lechoso, amarillo de miel, pardo, anaranjado oscuro y rojizo. Es frágil, pero se talla y pule con facilidad. Arde desprendiendo olor aromático. Se emplea en la industria química, en electrotecnia y como piedra de adorno.

**Ampangabeita.** Niobato y titanato de uranio, hierro y otros metales. Raro mineral radiactivo de color rojo pardusco. Fue hallado por primera vez en Madagascar.

**Análisis espectral.** Método para determinar la composición química de cualquier sustancia compleja basándose en las características de su espectro. Es un método muy sensible.

**Aneroide.** Véase barómetro.

**Anfibol u hornablenda.** Mineral de color verde oscuro, negro verdoso o negro pardusco de brillo vítreo, perteneciente al grupo de los silicatos. Se presenta en la naturaleza formando masas compactas de estructura granulada o fibrosa.

**Angstrom.** Unidad de longitud igual a una cienmillonésima de centímetro ( $1 \times 10^{-3}$  cm). Se designa con el símbolo Å. Se emplea, principalmente, en óptica (para medir las longitudes de onda de la luz) y en Física nuclear. Recibió su nombre en honor del físico sueco Angström que empleó y puso en uso esta unidad de medida en 1868.

**Anión.** Véase ion.

**Anomalía magnética de Kursk.** Extenso territorio en la región de Kursk, donde se observa una considerable desviación de la aguja magnética en las brújulas, producida por la existencia de grandes yacimientos de magnetita.

**Antimonita.** También llamada antimonio brillante o estibnita. Sulfuro de antimonio  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ . Mineral gris plomizo de brillo metálico, a veces, con trazos esmaltados de coloración variadísima. Se presenta en forma de agujas cristalinas y en masas compactas. Se utiliza para la obtención de antimonio.

**Antracita.** El tipo de carbón de piedra que contiene mayor cantidad de carbono (del 90 al 96%).

**Apatito.** Fosfato cálcico natural que suele ir acompañado de cloruro y fluoruro de calcio. Se emplea en la producción de abonos fosfatados.

**Aragonito.** Mineral de composición análoga a la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), que se diferencia de ésta en la distribución de sus átomos y en poseer distintas propiedades físicas. Puede ser de color blanco, amarillo, verde y violeta. Son características para este mineral sus grandes formaciones que se presentan a modo de concreciones esféricas (oolitos), o bien, diferentes depositaciones formadas por infiltración que cuelgan de los techos de las cavernas (estalactitas) o que se elevan al



encuentro desde el suelo (estalagmitas). Se forma, generalmente, al precipitar de las soluciones acuosas calientes y frías.

**Arcilla.** Roca sedimentaria, constituida principalmente de silicatos hidratados de aluminio que contienen con frecuencia partículas diminutas de otros minerales. Es plástica y forma, al mezclarse con el agua, una masa pastosa moldeable. Se utiliza en la construcción, en alfarería, etc.

**Arena.** Formación rocosa de estructura floja y finamente fragmentada debida a la acumulación no consolidada de sedimentos detríticos, consistentes en granos sueltos redondeados o puntiagudos de diferentes minerales (cuarzo, feldespato, etc.). La magnitud de los granos oscila entre 2 y 0,02 mm.

Por su procedencia, las arenas representan productos de destrucción, acarreo y sedimentación de rocas preexistentes.

Las arenas se utilizan para los fines técnicos más diversos. Según sea la aplicación técnica a que se destinen se clasifican en arenas para la construcción, para la fabricación de vidrio, para fundiciones, pulimentación, filtración, etc.

**Argonautas.** Tripulantes de la nave "Argos", héroes del ciclo de fábulas helénicas antiguas que emprendieron, encabezados por Jasón, la campaña sobre Cólquida (la Transcaucasia actual) en busca del vellocino de oro. El mito de los argonautas es el reflejo histórico de las primeras colonizaciones griegas (siglos VIII - VI a. n. e.).

**Aristóteles (384-322 a. n. e.).** Eminente filósofo de la Grecia antigua. Las obras de Aristóteles abarcan todas las ramas del saber de su tiempo: Lógica, Psicología, Ciencias Naturales, Historia, Política, Ética y Estética. No se conserva ninguno de sus trabajos, sólo se conocen ciertos fragmentos sueltos que se citan en las obras de autores antiguos.

**Arrecifes de coral.** Bancos rocosos subacuáticos o a flor de agua, formados por la acumulación de los esqueletos calcáreos de corales que habitaban en colonias. Existen exclusivamente en los mares tropicales, cerca de las costas de continentes e islas o en alta mar, en los sectores poco profundos.

**Asbesto.** Denominación conjunta de varios minerales constituidos por fibras sumamente finas, los silicatos magnésicos. La longitud de las fibras puede alcanzar 5 y más centímetros. Se emplea para fabricar tejidos incombustibles, juntas termo y electroaislantes, valiosos materiales de construcción resistentes al fuego, etc.

**Asfalto.** Betún sólido de color pardo o negro mate. Consiste, con frecuencia, en residuos solidificados procedentes de la oxidación del petróleo. A 70-110°C se reblandece y funde. Los asfaltos se clasifican en naturales y artificiales.

**Astrofísica.** Rama de la Astronomía dedicada al estudio del estado físico y composición química de los astros y materia intersidial.

**Atmósfera.** Envoltura gaseosa que rodea a la Tierra. Actualmente, la atmósfera se considera dividida en tres capas:

- 1) troposfera,
- 2) estratosfera y
- 3) ionosfera.

**Atolón.** Isla (arrecifes) de coral dispuesta en forma de anillo continuo o discontinuo con una laguna central. Los atolones se hallan en alta mar, aislados o formando archipiélagos enteros.

**Atomo** (del griego "indivisible"). Partícula ínfima de elemento químico. Hasta mediados del siglo XIX se consideraba al átomo como partícula de substancia indivisible e inalterable. A principios del siglo XX se demostró que el átomo es indivisible sólo desde el punto de vista químico.

**B**

**Baikalita.** Variedad oscura, verde mate, del silicato de calcio y hierro, que se encuentra cerca del lago Baikal.

**Baritina** o espato pesado. Sulfato bórico ( $\text{BaSO}_4$ ). Mineral opaco y pesado. Existen en la naturaleza sus variedades incoloras o, más frecuentemente, amarilla, roja, azul y de otros colores. Se utiliza en gran escala para la preparación de albayalde, productos químicos, etc.

**Barómetro** (del griego "baros" = pesantez y "metro" = mido). Instrumento meteorológico que sirve para medir la presión atmosférica. Los barómetros pueden ser de mercurio o metálicos ("aneroides").

**Basalto.** Roca eruptiva de color negro o negro verdoso emergida en estado fundido a la superficie terrestre o bajo el agua. Se compone de minerales ricos en magnesio y hierro. Forma planos de división que tienen forma de columnas hexagonales.

**Bauxita.** Roca arcillosa de color blanco y, a veces, rojizo, compuesta de combinaciones hidratadas de alúmina, óxidos de hierro y titanio. Se usa como materia prima para la obtención de aluminio.

**Belomorita.** Piedra lunar de las vetas pegmatíticas de Belomorie (litoral del mar Blanco). Variedad de feldespato, la albíta.

**Berilo.** El mineral más importante para la obtención de metal berilio. Está compuesto de silicio, aluminio y berilio (hasta el 14% de su óxido). Incoloro o con coloración verde y amarilla. En la naturaleza se presenta formando variedades transparentes bellamente coloreadas: esmeralda (verde vivo), aguamarina (color del agua del mar), vorobiévita (rosa) etc. El berilio puro y bien coloreado se usa como piedra preciosa. La variedad más apreciada es la esmeralda.

**Berzelius Juan Jacobo** (1779-1848). Eminente químico y mineralogista sueco. Su texto de Química y los resúmenes anuales sobre los progresos de la Química (1820-1847) cooperaron enormemente al desarrollo de las ciencias químicas en la primera mitad del siglo XIX.

**Betún o betumen.** Denominación con que se designan a las mezclas de diferentes hidrocarburos que se hallan en la naturaleza en forma de sustancias (gases del petróleo), líquidos (nafta, asfalto) y sólidas (ozoquerita). Frecuentemente, los betunes se encuentran impregnando diversas rocas (calizas, pizarras, areniscas). Estas rocas se llaman bituminosas.

**Biotita.** Véase mica.

**Blenda de zinc.** Véase esfalerita.

**Bólide.** Cuerpo luminoso de forma semejante a un globo de fuego, que vuela rápidamente por el cielo. Se origina al penetrar un cuerpo meteórico en la atmósfera terrestre, procedente del espacio interplanetario.

**Bórax** ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Tetraborato disódico decahidratado. Disuelve muy bien los óxidos metálicos, por lo que se usa para limpiar la superficie de las juntas de soldadura. Se utiliza en la industria del cuero y la cerámica, en medicina, etc.

**Boyle Roberto** (1627-1694). Eminente químico y físico inglés.

**Brillante.** Diamante tallado de forma especial. Se usa como piedra preciosa de gran valor.

**Bronce.** Actualmente se llama así a la aleación de cobre con otros elementos, por lo general, metales. Varios decenios atrás, el término "bronce" se empleaba sólo para designar la aleación de cobre y estaño.

**Bronce berílico.** Mezcla de cobre y berilio (de 2 a 2,5% de berilio). Material dotado de gran tenacidad, elasticidad, buen conductor del calor y la electricidad. Se usa para fabricar muelles y piezas amortiguadoras, así como engranajes, casquillos y cojinetes, sometidos a altas velocidades, presiones y temperaturas.

## C

**"Cabellos de Venus"**. Cristal de roca, cuarzo ahumado o amatista con inclusiones de rublo y otros minerales de estructura fibrosa.

**Cadenas transportadoras**. Instalación mecánica que se utiliza para trasladar de forma continua distintas cargas en el interior de un local o entre dos locales diferentes, por ejemplo, en las obras de construcción, fábricas, muelles de embarque y transbordo, almacenes, etc.

Calcedonia. Mineral de todos los colores posibles. Variedad criptocristalina fibrosa del cuarzo que se presenta en forma de nódulos abultados o de concreciones por precipitación de soluciones infiltradas. Semitransparente, traslúcido. Se usa para fines técnicos, y como piedra semipreciosa y de adorno. Su variedad estriada se llama ágata.

**Calcita o espato calizo**. Carbonato cálcico natural ( $\text{CaCO}_3$ ) con frecuencia impurificado por diversas sustancias. Mineral blanco, incoloro o ligeramente coloreado. Se presenta en cristales admirables, en masas granuladas y compactas, en formas concrecionarias de infiltración y estratificadas, estalactitas, estalagmitas, etc. La variedad totalmente transparente que amplifica las imágenes de los objetos observados a su través, se llama espato de Islandia. Ciertas rocas, como los mármoles, calizas y creta, están constituidas casi exclusivamente de calcita.

Calcopirita o pirita de cobre. Mineral de color amarillo-latón que contiene 35% de cobre, 35% de azufre y 30% de hierro. Es uno de los minerales de cobre más importantes.

Caliza. Roca sedimentaria blanca, gris y de otros colores constituida por carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ), cuyo origen se debe con frecuencia a la acumulación de restos de esqueletos y conchas. Muy difundida en la corteza terrestre, se presenta formando estratos de enorme espesor. Se emplea en la fabricación de materiales de construcción, industrias química y metalúrgica, en agronomía y otras ramas de la economía.

**Caloría**. Unidad de cantidad de calor. Caloría grande es la cantidad de calor necesaria para aumentar en  $1^\circ\text{C}$  la temperatura de 1 kg de agua. Caloría pequeña es la cantidad de calor que se requiere para elevar en  $1^\circ\text{C}$  la temperatura de 1 g de agua.

**Cantos rodados**. Trozos de rocas, principalmente, de granitos, cuarcitas, calizas, etc., de dimensiones que oscilan entre 10 cm y 10 ó más metros de diámetro. Se originan durante la erosión de las rocas por la acción del agua, el viento y los glaciares. Se emplean para pavimentar las calles, como grava para las construcciones de hormigón. De cantos rodados de gran tamaño se hacen los zócalos para monumentos.

**Caolín**. Arcilla de porcelana. Su denominación proviene de la palabra china "kaolong" que quiere decir "montaña con yacimientos de caolín". Tiene color claro, con frecuencia blanco, estructura porosa de grano fino, constituida casi totalmente del mineral caolinita. El caolín puro es muy refractario, funde a  $1750^\circ$ . Debe su origen a la disgregación y descomposición de rocas ricas en feldespato. Se utiliza en la industria química, en la fabricación de azulejos, porcelana, papel, caucho y otros productos.

**Caolinita**. Mineral opaco de color blanco que corresponde a la fórmula  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{S}_2\text{O}_5]$ . Contiene cerca del 40% de alúmina (óxido aluminico), sílice y agua.

**Carbón (fósil)**. Producto de la transformación lenta, en el transcurso de períodos geológicos, de grandes acumulaciones de restos orgánicos diversos, principalmente, vegetales. Se presenta formando estratos que alternan con arcillas, areniscas y otras rocas. El espesor de los estratos carboníferos oscila entre décimas de centímetro y varios metros. Se divide en: antracita, hulla y lignito.

**Carbonatos**. Sales del ácido carbónico. Se hallan muy difundidos en la naturaleza.

**Carburos**. Combinaciones químicas del carbono con los metales. Se obtienen por la acción del carbón sobre los metales o sus óxidos.

**Carnalita.** Cloruro hidratado de potasio y magnesio. Mineral transparente de color rojizo. Expuesto al aire húmedo adquiere consistencia fluida debido a su propiedad de absorber el agua. Se emplea como abono potásico y para la obtención del magnesio.

**Carst** (fenómenos cársticos). Configuraciones del relieve, características de los lugares cuyas formaciones rocosas son permeables al agua o solubles en ella, por ejemplo, calizas, dolomitas, yeso, etc. Como consecuencia del proceso de lixiviación que experimentan las rocas por la acción de las aguas subterráneas, en la superficie se forman embudos al hundirse el terreno y cuencas cerradas de gran extensión, y en las zonas profundas se forman cavidades y cuevas. En estas regiones, los ríos penetran con frecuencia por las hendiduras y embudos, corren por debajo del terreno y, después, surgen a la superficie en otros lugares. Estos fenómenos se observan en Crimea, los Urales y en ciertas regiones de Siberia.

**Casiterita o piedra estannífera.** Dióxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ), que contiene de este último hasta un 79%. Mineral de coloración parda o negra. Es el mineral más importante de estaño.

**Catión.** Véase ion.

**Celestina.** Sulfuro de estroncio ( $\text{SrSO}_4$ ). Mineral de color celeste. Se emplea para la obtención de sales estróncicas.

**Cemento.** Mezcla calcinada de caliza y arcilla. Al añadirle agua se endurece formando una masa pétreica consistente. Se produce en cantidades enormes y se emplea en la construcción.

**Cerámica** (del griego "keramos" arcilla). Nombre genérico que se da a todos los objetos de arcilla cocida y de sus combinaciones con aditivos minerales. Entre otros objetos cerámicos podemos citar: ladrillos para construcción, tejas, placas de revestimiento, azulejos, ladrillos de escoria, tuberías de agua y de canalización, materiales resistentes al fuego y a los ácidos, alfarería, mayólica, loza, porcelana y cuchillas para cortar metales. La elaboración de objetos de cerámica, empleando métodos primitivos de cocción, se efectuaba ya en la edad de piedra.

**Cianita o distena.** Mineral coloreado con bellos tonos azul celeste y azul marino, más o menos transparente. Contiene cerca del 60% de óxido aluminico. Se utiliza como material muy resistente al fuego y a los ácidos. Las variedades transparentes y bellamente coloreadas se labran para su empleo con fines ornamentales.

**Cianuración.** Método para extraer el oro de las rocas que lo contienen. Este procedimiento está basado en la disolución del oro finamente dividido en soluciones acuosas de cianuro potásico.

**Cinabrio.** Sulfuro de mercurio. Mineral rojo de brillo adamantino. Es el mineral más importante de mercurio.

**Cleopatra.** La última emperatriz de Egipto (69-30 años a. n. e.).

**Cleveíta.** Mineral que contiene uranio y cierta cantidad de tierras raras. Cuando se calienta desprende gran cantidad de helio, formado en el mineral a causa de la desintegración radiactiva del uranio. Al estudiar el desprendimiento de gases en la cleveíta, los hombres de ciencia descubrieron por vez primera la existencia de helio en la Tierra. Hasta entonces se consideraba que el helio sólo se hallaba en la atmósfera del Sol.

**Cloritas.** Grupo de minerales que pueden ser considerados como silicatos hidratados de aluminio y magnesio, en los que parte de los óxidos magnésico y aluminico han sido sustituidos por óxido de hierro. Su color es variable: desde el verde de distintos matices hasta el negro. Las cloritas son, por lo general, productos de la alteración de otros minerales, como la biotita, hornahlenda y piroxenos. Se parecen a la mica por su textura foliácea, pero se diferencian en que no poseen elasticidad.

**Columbíta.** Mineral raro, opaco, de color negro pardusco. Es el niobato y tantalato de hierro y manganeso. De ella se obtienen los metales raros tantalio y niobio. Se encuentra con preferencia en las vetas pegmatíticas.

**Concentrado.** Residuos que quedan después de lavar las arenas auríferas o platiníferas, constituidos por la acumulación de minerales de gran peso específico. Se divide en negro y gris, según sea el color de los minerales integrantes.

**Corales o pólipos coralinos.** Animales marinos selentéreos (o sea, que poseen una sola cavidad en el cuerpo, el intestino). La mayoría forma colonias de vida sedentaria. El esqueleto está constituido por corpúsculos calcáreos sueltos.

**Corindón.** Mineral compuesto de óxido aluminico ( $Al_2O_3$ ). Se distingue por su alta dureza: raya a todos los minerales, menos al diamante. Sus cristales transparentes homogéneamente coloreados se usan como piedras preciosas. A la variedad roja se le llama rubí, a la azul, zafiro.

**Corteza terrestre - litosfera.** La envoltura sólida exterior de la Tierra. Su espesor a partir de la superficie se considera, según los cálculos teóricos, igual a 15-60 km.

**Costra de óxido.** Costra que se forma en la superficie de los metales fundidos (hierro, cobre, etc.), cuando se opera en contacto con aire. La composición de la costra no es constante y depende de la temperatura y del exceso de aire existente durante su formación.

**Creta.** Roca sedimentaria de grano fino, blanca, blanda, de origen orgánico. Está constituida, principalmente, de carbonato cálcico. Se formó por la acumulación de conchas microscópicas. Se utiliza en las industrias del vidrio, cemento, caucho y colorantes, como material para escribir (tiza), etc.

**Criolita.** Mineral rarísimo de color blanco como la nieve. Fluoruro de aluminio y sodio ( $Na_3AlF_6$ ). En estado fundido disuelve al óxido de aluminio, lo que se utiliza para la obtención del aluminio por el método electrolítico, así como en la industria del vidrio y de la loza. En la actualidad se prepara por vía artificial.

**Crisoberilo.** ( $BeAl_2O_4$ ). Mineral transparente de color verde, compuesto de berilio y aluminio con cierta cantidad de hierro y, a veces, de cromo. Es una piedra preciosa rara. Su denominación proviene de las palabras "crisos" -dorado y "berillos" - berilo.

**Cristal.** Estructura geométrica regular de átomos o iones dispuestos en los vértices de una red cristalina. La palabra "cristal" se usaba ya mucho antes de nuestra era y significaba "cristal de roca", cuyo origen se atribuía en aquel entonces al hielo petrificado. Posteriormente, este término comenzó a emplearse para designar todos los minerales que poseen forma natural poliédrica. La ciencia que estudia los cristales se llama Cristalografía.

**Cristal de roca.** Variedad incolora del cuarzo. En la naturaleza se presenta formando bellísimos cristales hexaédricos. Se emplean en radiotecnología. Véase cuarzo.

**Cristalografía.** Ciencia de los cristales. Se ocupa del estudio de las formas y propiedades ópticas, eléctricas, mecánicas, etc., de los cristales, así como de las cuestiones relacionadas con el origen y formación de los cuerpos cristalinos, en dependencia de sus diferencias en lo que respecta a la composición química.

**"Crocus".** Material abrasivo natural o artificial. Se usa para pulir metales, cristales ópticos, etc. y piedras de ornamentación y decorativas.

**Cromita o mineral ferro-crómico.** Mineral pesado de color negro o negro pardusco. Se presenta en masas compactas y granuladas. Se emplea para la obtención del cromo.

**Cuarzo.** Dióxido silícico o sílice ( $SiO_2$ ). Mineral duro, incoloro, blanco o coloreado. Es el componente principal de numerosas rocas. Uno de los minerales más abundantes en la naturaleza. Se presenta en forma de magníficos cristales, así como en masas granuladas y compactas.

Variedades: cuarzos transparentes - cristal de roca, amatista, cuarzo ahumado o falso topacio, citrino; poco transparente: morión, gris, lechoso, etc.; opacos: blanco ordinario, ferruginoso y otros. El cuarzo se emplea en diversas ramas de la industria: para la fabricación de aparatos de

Física, instrumentos ópticos, en mecánica de precisión, radiotecnica, industrias del vidrio y cerámica, etc. Se usa como piedra preciosa y como material de ornamentación.

**Cuerpo meteórico.** Masa sólida férrica o pétreo, cuyo peso puede oscilar entre 1 gramo (o menos) y varios miles de toneladas, y que se mueve en el espacio interplanetario alrededor del Sol como cuerpo celeste independiente. Al penetrar en la atmósfera terrestre se pone incandescente por fricción y da lugar a la aparición del meteoro o bólido que a veces concluye por caer a la Tierra.

**Cuncita.** Variedad transparente, de color lila o rosado, del mineral espodúmeno. Silicato de litio y aluminio. Se usa como gema preciosa.

**Curie-Sklodowska, Marie** (1867-1934). Sabio eminente. Uno de los fundadores del estudio e investigación de las sustancias radiactivas. La primera mujer-profesora de la Universidad de la Sorbona (Francia). Descubrió el polonio y el radio (1896).

## D

**Darwin, Carlos Roberto** (1809-1882). Notable naturalista inglés creador de la doctrina materialista sobre el desarrollo histórico de la naturaleza viva (darwinismo). Fundador de la Biología evolucionista científica. Autor del "Origen de las especies" y otras obras. El mérito histórico de Darwin consiste en que su doctrina contribuyó al triunfo del materialismo sobre el idealismo en el conocimiento de la naturaleza viva.

**Demócrito** (aproximadamente 460-370 años a. n. e.). Notable filósofo materialista griego.

**Desoxidantes.** Materiales que se adicionan al acero líquido, después de quemadas las impurezas, con objeto de reducir el óxido ferroso que se halla disuelto en la masa fundida, el cual transmite al metal obtenido color rojo y fragilidad. Los desoxidantes contienen, por lo general, tres elementos que son los encargados de reducir el óxido ferroso: carbono, manganeso y silicio.

**Deuterio** (del griego "segundo"). Isótopo pesado del hidrógeno H<sub>2</sub>. Su masa atómica es 2.01471, o sea, aproximadamente el doble de la que corresponde al átomo de hidrógeno ordinario. Al combinarse con el oxígeno forma agua pesada D<sub>2</sub>O y peróxido de deuterio D<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (agua oxigenada pesada), más estable que el peróxido de hidrógeno corriente. Fue descubierto en 1932.

**Diamante.** Una de las variedades cristalinas del carbono. Es el mineral más duro que se conoce en la naturaleza. Incoloro o ligeramente coloreado, rara vez negro. Piedra preciosa admirable, de gran aplicación técnica. Se forma de las rocas fundidas a altas presiones y temperaturas.

**Diorita.** Roca eruptiva de color gris verdoso compuesta de plagioclasa y hornablenda, a veces, con asociaciones de biotita y cuarzo (diorita cuarcífera). Debido a su gran dureza y resistencia al choque constituye un buen material para obras de construcción.

**Distena.** Mineral. Véase ciunita.

**Dokucháev, Vasili** (1846-1903). Notable naturalista ruso, fundador de la Agrología científica moderna y del estudio e investigación de la naturaleza en su conjunto. Los métodos de Dokucháev constituyeron la base de la Geografía científica. Su obra clásica fue "Las tierras negras de Rusia" (1883).

**Dolomita.** Carbonato de calcio magnesio (contiene 54% de CaO y 44% de MgO). Mineral blanco gris o débilmente coloreado. Con el término "dolomita" se designa también a la roca sedimentaria de estructura compacta, constituida principalmente de granos del mineral dolomita. Existe en las depositaciones marítimas sedimentarias pertenecientes a diversos períodos geológicos. Se usa como material refractario, como fundente en los altos hornos, así como en las industrias química y de la construcción.

## E

**Electrón.** Partícula elemental dotada de carga eléctrica negativa. Es parte constitutiva del átomo. En el átomo, los electrones giran alrededor del núcleo, cargado positivamente, por órbitas determinadas. El número de electrones de un átomo coincide con el número de orden del elemento químico dado.

**Electroscopio.** Instrumento que sirve para indicar la presencia o efectuar la medición grosera de una diferencia de potencial entre dos cuerpos cargados eléctricamente.

**Emanación.** Productos gaseosos que resultan de la desintegración de los elementos radiactivos.

**Enriquecimiento.** Tratamiento preliminar que se efectúa con un mineral para aumentar la concentración de la porción valiosa y separarlo de la ganga y otros minerales inútiles.

**Era geológica.** La mayor unidad de tiempo que se usa en Cronología geológica, correspondiente a un grupo geológico determinado. Existen cuatro eras: arcaica, paleozoica, mesozoica y cenozoica.

**Era paleozoica** o, simplemente, **Paleozoico.** Antigua era en la historia de la Tierra, o era de vida antigua. Se divide en cinco sistemas o períodos: Cámbrico, Silúrico, Devónico, y Carbonífero y

**Pérmico.** Los minerales útiles que existen en el territorio de la URSS, pertenecientes al Paleozoico, son abundantísimos y muy variados.

**Esfalerita o blenda de zinc.** Mineral de color amarillo, rojo pardusco verde y negro con brillo adamantino. Combinación química de zinc y azufre (ZnS). Se utiliza para la obtención del zinc. Se le llama blenda por su semejanza al plomo brillante, sin embargo, no contiene plomo. Su denominación proviene de la palabra griega "sfaleros" que significa "engañador".

**Esmeralda.** Véase berilo.

**Espato calizo.** Véase calcita.

**Espato de Islandia.** Véase calcita.

**Espato flúor.** Véase fluorita.

**Espectrógrafo de masas.** Aparato que permite determinar el número de isótopos correspondientes a cada elemento químico.

**Espectroscopio.** Instrumento que sirve para el estudio de espectros ópticos.

**Esquisto micáceo.** Esquisto compuesto, principalmente, de mica y cuarzo con pequeñas cantidades de feldespato.

**Estalactitas.** Depósitos concrecionados de forma cilíndrica, formados al precipitarse la calcita y otros minerales de las soluciones infiltradas, y que cuelgan como carámbanos de los techos y parte alta de las paredes de las cavernas y galerías de caliza.

**Estalagmitas.** Depósitos de infiltración que se acumulan en el fondo de cavernas y galerías subterráneas, formados al precipitarse los carbonatos de las gotas de agua saturadas que caen desde los techos. Van creciendo gradualmente desde el suelo de la caverna hacia arriba.

**Estibnita.** Véase antimonita.

**Estrabón** (63 a. n. e.- 20 n. e.). Eminente filósofo e historiador griego. Realizó numerosos viajes por Asia Menor, Siria, Egipto, Italia y Grecia. Se conserva hasta nuestros días su obra "Geografía" en 17 tomos, traducida a todos los idiomas, incluso, al ruso.

**Euclasa.** Mineral muy raro, de composición parecida al berilo transparente, de color azul o verde azulado, perteneciente al grupo de los silicatos. Se emplea como piedra preciosa por su gran belleza.

## F

**Feldespato.** El grupo de minerales más difundidos en la naturaleza. Constituye cerca del 50% en peso de la corteza terrestre y es el componente principal de la mayoría de las rocas. Los

feldespatos son aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio. Según su composición se clasifican en: 1) potásicos (ortoclasa y microlina) y 2) sódicocálcicos (plagioclasas).

**Fenacita.** Silicato de berilio. Mineral de color amarillo vinoso vivo, a veces, rojo rosado débil, transparente o semitransparente.

**Fluorescencia.** Emisión de luz por una sustancia, provocada no por incandescencia, sino al ser expuesta su superficie a los rayos solares, luz del arco voltaico, rayos ultravioletas o rayos X. La emisión de luz se suspende inmediatamente después de cesar la acción.

**Fluorita o espato flúor.** Fluoruro cálcico. Mineral transparente u opaco, en la mayoría de los casos coloreado de diversos tonos (violeta, verde, azul, gris), con brillo vítreo. Se utiliza en metalurgia como fundente (disminuye la temperatura de fusión de los metales), en la industria química para obtención del ácido fluorhídrico, en cerámica, para impregnar traviesas, en la fabricación de vidrio, etc. La variedad transparente se emplea en óptica y se llama fluorita óptica. Los ejemplares más bellos se usan como material de adorno. La variedad de aspecto terroso con coloración rosavioleta se denomina ratovkita.

**Foraminíferos.** Animales simples unicelulares con conchas, formadas generalmente de  $\text{CaCO}_3$  (carbonato cálcico). Existen en los depósitos marítimos sedimentarios de todas las épocas geológicas. Ciertos tipos de foraminíferos tienen gran importancia, pues permiten determinar la edad geológica de las rocas.

**Fosfatos.** Combinaciones del fósforo con el oxígeno y diversos metales. En la naturaleza es frecuente encontrar las combinaciones con el calcio y el flúor (apatito, fosforita, etc.).

**Fosforita.** Variedad del mineral apatito de origen sedimentario-organogénico. Se presenta en forma de concreciones convexas o esferoidales de estructura radial. Si las impurezas de arcilla y calizas no son elevadas, la fosforita constituye un fertilizante mineral de gran valor.

**Fuegos de bengala.** Diversas clases de mezclas pirotécnicas que arden lentamente y producen al arder viva llama blanca o coloreada. Se utilizan en iluminaciones y fuegos artificiales. El color de la llama depende del elemento químico que entre en su composición (por ejemplo, el estroncio produce coloración roja, etc.).

**Fulguritas.** Cuerpos tubulares pequeños, del espesor de un dedo, que se formaron en las arenas flojas debido a la ignición o cocción rápida producida por la descarga eléctrica de un rayo al caer sobre la tierra.

**Fulminato de mercurio.** Sal mercurial del ácido fulmínico  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ . Sustancia cristalina de color blanco o gris, muy tóxica. Explota fácilmente por percusión, rozamiento, calentamiento y por la acción de cierto ácidos concentrados. Su manejo es muy peligroso. Se usa como explosivo.

**Fumarolas.** Surtidores volcánicos gaseosos que contienen ácido sulfhídrico y anhídrido carbónico, así como pequeñas cantidades de amoníaco y metano. Los más conocidos son los de Toscana que contienen ácido bórico, el cual se extrae para fines industriales. Los vapores despedidos por las fumarolas son utilizados para calentar diferentes instalaciones.

**Fundente.** Material que se añade a la carga de un alto horno con objeto de que el mineral se funda con más facilidad y liberar, de esta forma, al metal de la ganga. Como fundentes pueden emplearse cuarzo, caliza, fluorita y otros minerales y rocas.

## G

**Gabro.** Roca magmática profunda. Rica en hierro, calcio y magnesio, pobre en ácido silícico. Puede ser de color negro verdoso y gris. Constituye un excelente material de construcción.

**Gadolinita.** Silicato complejo de las tierras raras. Mineral raro de color negro o negro verdoso.



Galaxia. Concentración de sistemas estelares, formados por muchos miles de estrellas. Nuestro Sol, por ejemplo, pertenece a la galaxia de la Vía Láctea, donde es sólo una de las estrellas autoluminosas entre decenas de miles de otras.

**Galena o plomo brillante.** PbS. Mineral de color gris con brillo argéntico. Contiene hasta 86% de plomo y va acompañado de plata como impureza permanente por lo cual con frecuencia se le considera como valioso mineral argentífero. Se usa para la preparación de minio, obtención de plomo, albayaldes y esmaltes. También se emplea en radiotecnología.

**Galería de mina.** Excavación minera horizontal o débilmente inclinada, uno de cuyos extremos comunica con la superficie. La sección transversal de las galerías puede ser trapezoidal, ovalada o circular.

**Galvanómetro.** Instrumento dotado de gran sensibilidad que se emplea para medir la intensidad de las corrientes eléctricas.

**Gedroitz, Konstantín** (1872-1932). Químico-agrólogo soviético, académico desde 1929. Fundador del estudio de los coloides del suelo y su papel en la formación de los terrenos y la fertilidad de los campos de cultivo.

**Génesis - origen.** En Mineralogía, el estudio de la génesis (origen de los minerales) tiene por objeto establecer las formas y condiciones de formación de los minerales y el conocimiento de sus cambios ulteriores.

**Geodas.** Grandes cavidades circulares, ovales y, rara vez, lenticulares que existen en las rocas, cuyas paredes están recubiertas de cristales de diversos minerales.

**Geofísica.** Conjunto de ciencias que estudian las propiedades físicas de la Tierra y los procesos físicos que en ella se verifican.

**Glaciar.** Masa natural de hielo que, como un río helado, desciende lentamente por la acción de la gravedad a lo largo de la pendiente de una montaña o un valle. Durante su movimiento, el glaciar tritura y disgrega su lecho, restrega y pulimenta los salientes que encuentra, a su paso, arañándolos con los fragmentos de rocas que lleva en su masa, transporta a distancias considerables y deposita cantidades enormes de detritos rocosos, cantos rodados, etc. (morrenas). Al llegar a la zona de deshielo, el glaciar da origen a ríos caudalosos.

**Gneis.** Roca pizarrosa metamórfica de composición análoga al granito. Se usa como material de construcción.

**Goethita.** Oxido hidratado de hierro. Mineral frágil de color amarillo rojizo, o negro pardusco. Se emplea, junto con otros óxidos férricos, para la obtención del hierro.

**Golitsin, Borís** (1862-1916). Físico ruso, académico, fundador de la Sismología, autor de numerosos trabajos científicos.

**Grafito.** Variedad cristalina del carbono. Mineral blando, grasiento al tacto, con coloración desde el negro hasta el gris acerado. Funde a más de 3.000°, resistente a la acción de los ácidos y álcalis. Se emplea para preparar crisoles de fundición, electrodos, pilas secas, pinturas, lápices, etc.

**Granates.** Grupo amplísimo de minerales (pertenecientes a la clase de los silicatos), caracterizados por su diversidad, difusión y variedad de colores. Poseen brillo vítreo graso y elevada dureza. Ciertas variedades de granate se usan como adorno y, también, como material abrasivo.

**Granito.** Roca eruptiva de estructura cristalino-granulada. Consta de cuarzo, feldespato, mica y, a veces, hornablenda. Su coloración es muy variada: desde el blanco al negro o desde el rosa claro hasta el rojo oscuro. Debido a su dureza, belleza y capacidad de formar grandes monolitos, el granito constituye un valioso material para obras de construcción, esculturas, etc. Muy resistente a la acción de los ácidos.

## H

**Halita (o sal común).** Sal gema, NaCl (sodio 39,39%, cloro 60,61%). Posee sabor salado. Su denominación proviene de la palabra "halos" - sal. Debido a que se emplea para la condimentación de alimentos, también se la llama sal de cocina. Todos conocen que se humedece al contacto del aire, lo que tiene lugar debido a las impurezas que contiene.

La sal de gema se formó en el fondo de los depósitos acuáticos antiguos durante períodos geológicos pasados. En la naturaleza se presenta formando masas pétreas compactas en terrenos rocosos. Además, la sal se deposita, también en la superficie de la tierra, principalmente, en las estepas y regiones desérticas en forma de capas e incrustaciones.

**Heráclito de Efeso** (aproximadamente 530-470 a. n. e.). Eminentísimo filósofo materialista griego. La filosofía de Heráclito recibió una caracterización científica completa en las obras de los clásicos del marxismo-leninismo.

**Heródoto** (aproximadamente 484-425 a. n. e.). Antiguo historiador griego, llamado el "padre de la Historia". Autor de la "Historia de las guerras greco-persas", que quedó sin terminar.

**Herschel, Juan** (1792-1871). Astrónomo inglés, hijo de Guillermo Herschel, eminentísimo astrónomo inglés.

**Hierro titanífero.** Véase ilmenita.

**Homero.** Poeta épico legendario de la Grecia antigua.

**Hormigón.** Material aglomerante artificial, constituido por la mezcla solidificada de una substancia aglutinante (cemento), agua y agregados inertes naturales o artificiales (arena, escoria fina, grava, piedras, etc.).

**Hornablenda.** Véase anjibol.

**Hulla.** Carbón mineral de color negro. Contiene del 70 a 90% de carbono. Véase carbón fósil. Humboldt, Alejandro (1769-1859). Eminentísimo naturalista y explorador alemán.

## I

**Ilmenita o hierro titarcífero (FeTiO<sub>3</sub>).** Mineral semimetálico, opaco, de color negro. Es un importante mineral para la obtención del titanio.

**Intemperización.** Proceso de desintegración y descomposición que tiene lugar en los minerales y rocas como consecuencia de las acciones físicas y químicas del aire y el agua.

**Ion. Atomo, molécula,** parte de molécula o grupo de moléculas con carga eléctrica positiva o negativa. Durante el proceso electrolítico, el ion positivo marcha hacia el cátodo y se llama catión (por ejemplo, el metal Y de las sales, el hidrógeno de los ácidos). El ion negativo se dirige al ánodo y se denomina anión. La atracción mutua que experimentan los iones cargados con electricidad contraria es la que motiva su unión al formarse las moléculas.

**Ionización.** Transformación de las partículas neutras (moléculas y átomos) de un medio cualquiera en partículas cargadas con electricidad positiva o negativa, es decir, en iones.

**Isótopos.** Variedades de un elemento químico con distintos pesos atómicos. Los átomos isótopos tienen números de masa (masas nucleares) diferentes, sin embargo, sus números atómicos son idénticos, debido a lo cual ocupan un mismo lugar en el sistema periódico de D. I. Mendeléev.

## J

**Jacinto de Compostela.** Cristales de cuarzo rojo vivo poco abundantes, que se encuentran en las formaciones de las cuevas en Asia Central y en España.

**Jaspe.** Variedad del mineral calcedonio con gran cantidad de impurezas coloreadas difuminadas finamente por toda su masa. Se presenta formando grandes concentraciones. Su dureza y

tenacidad, así como su belleza y diversidad de matices hacen a esta piedra muy valiosa para fines técnicos y artísticos.

**Joliot-Curio, Federico** (1900-1958). Eminentísimo físico francés. Uno de los sabios más notables en la rama de la Física nuclear. En colaboración con su esposa trono Curie descubrió la radiactividad artificial. Destacado hombre público progresista.

## K

**Kimberlita.** Roca maginática de color oscuro, casi negro. Está compuesta, principalmente, de olivino, micas pardas y piroxeno; se presenta en los embudos de explosión y chimeneas volcánicas. La kimberlita de Africa del Sur y de América contiene cristales de diamante.

## L

**Labrador.** Mineral perteneciente al grupo de los feldespatos grises azulados o negros con vivos matices irisados, que recuerda la cola del pavo real.

**Labradorita.** Mezcla de rocas cristalinas, constituidas principalmente de labrador. Es una piedra excelente para construcción y decoración.

**Lacolitos.** Depositaciones planoconvexas de rocas magmáticas en la corteza terrestre en forma de domos o sombreretes de sotas. El magma fundido se solidificó sin alcanzar la superficie terrestre, provocando el arqueado en forma de cúspide de las capas yacentes sobre él. Los lacolitos, liberados de las rocas sedimentarias que los cubren por la acción erosiva del agua y el aire, forman pequeñas montañas, como las de Beshtau, Mashuk (Cáucaso Septentrional), Aiú-Dag (Crimea) y otras.

**Laguna.** Golfo o bahía de poco fondo, aislada del mar (o lago) por una barrera de arena y arcilla aluviales que evita su libre comunicación. En dependencia de las condiciones climatológicas de la región, el agua de las lagunas puede ser salada o poco salada. La salinidad del agua se explica por las irrupciones periódicas del agua del mar. El mundo orgánico de las lagunas es siempre más pobre que el que puebla los mares.

**Laminado.** Una de las formas de tratamiento mecánico de los metales por presión. Puede efectuarse en caliente o en frío, pero en la mayoría de los casos se emplea el laminado en caliente.

**Laterita o tierra roja.** Productos arcillosos coloreados de rojo, resultantes de la destrucción de rocas bajo las condiciones de clima húmedo y caluroso de las zonas subtropicales. Contiene óxidos hidratados de hierro y aluminio. Por su aspecto exterior recuerda al ladrillo y se usa en las obras de construcción, de donde proviene su nombre (del latín "later", o sea, "ladrillo").

**Lava.** Masa ígnea líquida (magma) que sale por las chimeneas o fisuras volcánicas a la superficie de la tierra. Después de solidificada, forma diversas rocas volcánicas. Esas últimas se depositan en forma de corrientes (en las pendientes de los volcanes) o capas superficiales en el terreno (al surgir de las fisuras), ocupando, a veces, enormes extensiones.

**Lavoisier, Antonio Lorenzo** (1743-1794). Eminentísimo químico francés. Por sus trabajos dedicados a la elaboración del atlas mineralógico de Francia fue elegido miembro de la Academia de Ciencias Francesa.

**Lecho basáltico.** Según la opinión de algunos petrógrafos actuales, los basaltos son el magma materno original que constituye la capa mineral situada debajo de la corteza sólida de la Tierra.

**Leucita.** Mineral blanco o grisáceo del grupo de los silicatos. Contiene aluminio o potasio. Con frecuencia produce cristales de configuración esférica con 24 facetas. Se presenta como constituyente primario de las rocas volcánicas (extrusivas). En la actualidad se intenta utilizar la leucita para la obtención del potasio y del aluminio.

**Liebig Justo** (1803-1873). Uno de los químicos más eminentes del siglo XIX. Fundador de la Agroquímica y la Agrología. Llevó a cabo trabajos de gran mérito sobre Química Orgánica.

**Lignito.** Variedad de carbón mineral. Contiene del 50 a 90% de carbono y produce al arder una cantidad relativamente grande de cenizas y azufre. Se utiliza mucho como combustible.

**Limo.** Sedimento que se forma en el fondo de los depósitos acuáticos constituido fundamentalmente por diminutas partículas de arcilla de dimensiones inferiores a 0,01 mm. De ordinario se llama limo o fango al terreno blando, inconsistente, con elevado porcentaje de agua.

**Limonita.** Sedimento coloidal de distintos óxidos de hierro hidratados, de composición no constante. Se utiliza como mena para la obtención del hierro. Véase minerales férricos.

**Litosfera.** Véase corteza terrestre.

**Lucrecio Caro** (99-55 años a. n. e.). Genial poeta y filósofo romano. En su obra "Sobre la naturaleza de las cosas", expuso en forma poética la filosofía del materialismo atomístico.

## M

**Madera petrificada.** Seudomorfo de calcedonio, cuarzo y ópalo formado por sustitución de éstos en la estructura de la madera.

**Magma** (del griego "masa pastosa"). Masa ígnea fundida que se halla debajo de la corteza sólida del globo terrestre. Desde el punto de vista químico, está constituida por una mezcla compleja de silicatos en estado fundente. Debido a los cambios de temperatura, presión y otros factores, el magma se divide en partes de distinta composición, cada una de las cuales, al solidificarse y consolidarse, da origen a una especie determinada de roca.

**Magnesita** - Carbonato magnésico. Mineral blanco o ligeramente coloreado. Excelente material refractario para hornos metalúrgicos y otros usos.

**Magnetita** o hierro magnético. Mineral opaco de color negro, constituido por óxido ferroso-férrico. Fuertemente imantado. Se deposita formando, a veces, montañas enteras, como las montañas Magnítinaia y Visókaia, en los Urales. Es el mineral de hierro más importante. Véase minerales férricos.

**Mal de montaña** (mal de altura). Estado enfermizo que se produce al elevarse a grandes alturas, debido a la influencia nociva que provoca en el organismo el descenso de la presión atmosférica.

**Manantial mineral.** Manantial, cuyas aguas contienen en disolución gran cantidad de sustancias inorgánicas.

**Manto de la Tierra.** Es un caparazón sólido subyacente bajo la corteza terrestre que se sitúa desde las profundidades de 12-60 km aproximadamente hasta 2900 km.

**Mar de Perm.** Mar del período pérmico.

**Marga.** Roca sedimentaria, constituida de arcilla y caliza mezcladas en distintas proporciones (marga arcillosa y marga calcárea). Contiene 75-80% de carbonato cálcico y 20-25% de arcilla, lo que la hace apta para la fabricación de cemento Portland sin necesidad de aditivos suplementarios (marga cementosa o cemento natural).

**Mármol.** Denominación general con que se designan las calizas y dolomitas de estructura granulada cristalina susceptibles de ser pulimentadas. El mármol se caracteriza por su diversidad de colores y dibujos. Constituye un valioso material de construcción, para usos técnicos, revestimientos y decoración. Las variedades blancas y las de color rosa se emplean en obras escultóricas.

**Mena.** Mineral o roca cuya parte útil es tan grande que resulta ventajosa, desde el punto de vista económico, su explotación.

**Mendeleevita.** Raro mineral de color negro que contiene niobio y tantalio.

**Metamorfismo.** Véase rocas metamórficas.

**Meteórica.** Rama especial de la ciencia que se ocupa del estudio de los meteoritos y las condiciones de su caída sobre la Tierra.

**Meteorito.** Masa férrea o pétreo de origen cósmico caída sobre la Tierra. Son los restos de cuerpos meteóricos que no llegaron a disgregarse totalmente al atravesar la atmósfera terrestre.

**Meteoro.** Fenómeno luminoso parecido a las estrellas fugaces, motivado al penetrar en la atmósfera terrestre, procedentes del espacio interplanetario, cuerpos sólidos, pequeños como granos, de peso inferior a 1 gramo.

**Micas.** Grupo de minerales de composición compleja (aluminosilicatos alcalinos, de magnesio y hierro). Su propiedad característica es la de poder dividirse en hojas muy finas. Las variedades principales son: la mica potásica, blanca, clara y transparente (muscovita); la variedad negra, rica en hierro y magnesio, traslúcida u opaca (biotita). A veces se presenta en cristales de grandes dimensiones. Es un excelente aislador eléctrico.

**Micrón.** Unidad de medida que equivale a una milésima de milímetro.

**Microscopio de luz polarizada.** Microscopio que se emplea para el estudio de sustancias cristalinas. Se emplea preferentemente para el estudio de las rocas y minerales.

**Microscopio electrónico.** Microscopio moderno en el que, en vez de rayos luminosos, se utiliza una corriente de electrones, gracias a lo cual se consiguen ampliificaciones hasta de medio millón de veces.

**Migración de elementos.** Desplazamiento y redistribución de los elementos químicos en la corteza terrestre, debido a lo cual se verifica su dispersión en unos lugares o su concentración en otros.

**Mina.** Excavación vertical o inclinada, de grandes dimensiones, con orificio de salida a la superficie, que se utiliza para la extracción de minerales. Las minas alcanzan, a veces, profundidades de tres mil y más metros.

**Minerales descoloridos o pálidos.** Denominación con que se designa a un grupo de minerales representados, principalmente, por la tenantita (sulfuro de cobre y arsénico) y la tetraedrita (sulfuro de cobre y antimonio). Se emplean, junto con otros minerales, para la fundición del cobre.

**Minerales férricos.** Sustancias minerales que contienen del 25 al 70% de hierro. A los minerales férricos pertenecen las diversas combinaciones naturales del hierro con el oxígeno: hematita, magnetita, limonita, hidrogoethita, goethita, siderita o espato de hierro, cuarcita ferruginosa, etc. Los compuestos de hierro con azufre no sirven para la obtención del hierro.

**Minerales mangánicos.** Diferentes óxidos de manganeso que forman acumulaciones entre las rocas sedimentarias. Los más importantes son: psilomelano, pirolusita y manganita.

**Minerales polimetálicos.** Minerales en cuya composición toman parte varios metales, los más frecuentes, cobre, zinc, plomo y plata.

**Minerales secundarios.** Minerales originados en los yacimientos próximos a la superficie terrestre como resultado de la destrucción de minerales primarios por la acción de las aguas y el oxígeno del aire.

**Molécula.** Partícula ínfima de sustancia que no puede ser dividida sin destruirse la naturaleza física y química de la sustancia dada. La molécula consta de átomos, cuyo número se expresa en unidades (en los gases nobles) hasta alcanzar millares (en las proteínas).

**Molibdenita.** Bisulfuro de molibdeno (MOS<sub>2</sub>). Mineral de color gris plomizo con brillo metálico. Es el mineral principal de molibdeno.

**Monomineral.** Que está compuesto de un solo mineral.

**Morión.** Cristal de roca casi negro, sin embargo, se trasluce en finos fragmentos de color pardo. Calentándolo con cuidado (cociéndolo en masa de harina) adquiere color amarillo, lo que se

utiliza en joyería. Si se sigue calentando, la coloración puede desaparecer totalmente. La composición química de la materia colorante y su origen, no se conocen todavía con exactitud. Véase cuarzo.

**Mosaico.** Dibujo artístico multicolor construido a base de trocitos de piedra, vidrio, madera, hueso y otros materiales adosados íntimamente unidos a otros.

**Murmanita.** Raro mineral de color violeta, constituido por titanio-silicato sódico procedente de las pegmatitas de sienitas nefelíticas.

**Muscovita.** Véase mica.

## N

**Narzán.** Manantial de agua mineral en la ciudad de Kislovodsk. Este agua, debido a las sales y gran cantidad de anhídrido carbónico que contiene en disolución, posee propiedades curativas muy valiosas.

**Nefelina o eleolita.** Mineral blanco grisáceo o verdoso con brillo vítreo o graso, aluminosilicato con elevado porcentaje de bases alcalinas. La nefelina se usa como mena aluminica en la industria química (obtención de sosa, alumbres, etc.), en la fabricación de abrasivos, porcelana, vidrio, cueros (como sustitutivo del tanino), tejidos impermeables, para impregnar maderas, como fertilizante, etc.

**Nefrita.** Mineral de color blanco lechoso, gris, verde manzana y más oscuro, hasta verde casi negro. Es un anfíbol calcáreo magnesiano-ferruginoso. Poco transparente, pero en hojas finas se trasluce. Susceptible de pulimentación. Muy apreciado por su tenacidad y resistencia al choque debido a su textura de fibras microscópicas entrelazadas. Se emplea como piedra de adorno y, a veces, para usos técnicos.

**Neptunismo.** Estudio sobre el origen de todas las rocas (incluyendo las eruptivas) de sedimentos acuáticos, que adquirió gran difusión entre los geólogos afines del siglo XVIII y comienzos del XIX.

**Neptuno.** 1) Dios mitológico de las aguas, ríos, arroyos y del agua de lluvia en la Roma antigua. Más tarde, al desarrollarse el comercio marítimo, Neptuno se convirtió en el dios del mar y patrón de los navegantes. 2) Octavo planeta del sistema solar, descubierto en 1846.

**Nerón** (37-68 años de n. e.). Emperador romano.

**Neutrón.** Partícula elemental desprovista de carga eléctrica, de peso igual al del protón. El peso atómico de un elemento químico depende del número de protones y neutrones de que consta su átomo. Los neutrones junto con los protones forman el núcleo del átomo.

**Nontronita.** Mineral raro. Silicato de óxido férrico, de aspecto terroso y color verde manzana. Es producto de la erosión por el agua y el aire, del silicato primario.

**Número o índice de octano.** Medida convencional que se emplea para medir la resistencia a la explosión de los combustibles líquidos. El número de octano del isoctano se considera igual a 100; el del heptano normal (muy detonante), se supone igual a 0. En la escala comprendida entre el isoctano y el heptano quedan incluidos casi todos los tipos de combustibles en lo que se refiere a su valor detonante.

## O

**Ocre.** Productos amarillos terrosos resultantes de la oxidación de metales pesados, por ejemplo, ocre vanádico, wolfrámico, férrico, crómico, plúmbico, etc. Cuando se trata de pinturas, se llama ocre a los óxidos hidratados de hierro con diferente contenido acuoso y de distintos tonos, desde el amarillo terroso hasta el rojo.

**"Ojo de gato"**. Variedad transparente verdosa de cuarzo con brillo sedoso (debido a las inclusiones fibrosas de asbesto). Su irisado a rayas es admirable, sobre todo, cuando se talla en cabujón.

**"Ojo de tigre"**. Cuarzo amarillo pardusco o pardo negruzco con matices dorados debidos a inclusiones fibrosas de hornablenda.

**Olivino o peridotita**. Ortosilicato de hierro y magnesio. Mineral traslúcido de color verdeamarillo, oliva o amarillopardo con brillo vítreo. Las variedades cristalinas transparentes de color verde dorado se denominan crisolita y se emplean en joyería.

**Ondas electromagnéticas**. Oscilaciones periódicas producidas por dos campos, uno eléctrico y otro magnético. Las ondas luminosas, las que se emplean en radiodifusión, los rayos X y los gamma, son de esta naturaleza.

**Ondas ultraacústicas o ultrasonoras**. Oscilaciones mecánicas de frecuencia superior al límite máximo perceptible por el oído.

**Ondas ultracortas**. Oscilaciones electromagnéticas de longitud de onda inferior a 10 m.

**Onice**. Variedad del ágata, constituida por capas alternativas de diferentes colores, blancas y rojas, blancas y negras, etc. Las fajas coloreadas son planas y las cavidades rectas. Sirve para elaborar camafeos y otros adornos.

**Onice marmóreo**. Depósito de calcita sedimentaria con franjas de diversos colores. Se emplea como piedra decorativa.

**Ópalo**. Mineral de estructura amorfa (no cristalino, vítreo) constituido por sílice con cantidad variable de agua. Se distingue por su gran variedad de formas de distinto aspecto exterior. Las principales variedades son: ópalos transparentes, irisados y homogéneamente coloreados (ópalo noble, Malita, hidrofano, ópalo de fuego, etc.); ópalos corrientes, no irisados y no totalmente transparentes (ópalo lechoso, céreo, etc.); semiópalos ligeramente traslúcidos y opacos que contienen impurezas mecánicas (jaspeado, calcedónico, de ágata, etc.). Los ópalos se hallan muy difundidos en la naturaleza, se separan por precipitación de las soluciones minerales calientes y frías. Grandes depósitos se acumulan en el fondo de los mares a consecuencia de la actividad vital de plantas y animales marítimos (radiolarios, esponjas, diatomeas).

**Órbita**. Trayectoria que sigue un cuerpo celeste en el espacio interplanetario cuando se mueve alrededor del Sol o de un planeta.

**Ortoclasa**. Véase feldespato.

## P

**Partículas alfa (partículas  $\alpha$ )**. Iones de helio despedidos por ciertas sustancias radiactivas. Ionizan las sustancias al pasar a su través y producen luminiscencia en los cuerpos fosforescentes o fluorescentes. En la piel de las personas y animales producen serias quemaduras difíciles de curar. También pueden provocar o activar ciertas reacciones químicas.

**Pegmatita**. 1) Rocas de composición variada que se presentan formando vetas y originadas por los residuos de magma ricos en elementos volátiles y fácilmente fusibles. La composición de las formaciones pegmatíticas puede estar relacionada con diversas rocas, pero las más conocidas son las pegmatitas graníticas. Se caracterizan por poseer grandes segregaciones de feldespato, cuarzo, mica blanca y oscura, y con frecuencia concentraciones de gemas preciosas y minerales raro. 2) Crecimiento y entrecruzamiento regular de ortoclasa con cuarzo que da origen a una estructura interna parecida a los caracteres gráficos antiguos.

**Peridotita**. Roca eruptiva, profunda, cristalina, de color gris oscuro o negro, constituida por los minerales olivino y piroxeno. Rica en hierro y magnesio.

**Periodo cretáceo.** Cretas que se originaron a finales de la era mesozoica de formación de la corteza terrestre. Se divide en dos épocas: cretáceo inferior y superior. Son característicos de este período, los enormes depósitos de creta procedentes de sedimentaciones marítimas.

**Petrografía.** Parte de la Geología que estudia la composición y estructura de las rocas.

**Petróleo o betumen líquido.** Líquido de color pardo, verde oscuro o negro, a veces, se presenta casi incoloro. Fácil de reconocer por su olor que recuerda al keroseno. Sus componentes primordiales son el carbono y el hidrógeno, que forman combinaciones de composición extraordinariamente variada (los hidrocarburos). El petróleo se acumula en los estratos y huecos subterráneos, impregnando rocas sedimentarias de estructura suelta o porosa. El petróleo juega un papel importantísimo en diversas ramas de la economía, empleándose principalmente como combustible. Destilando el petróleo en las refinerías se obtiene diferentes productos valiosos, como la bencina, keroseno, gasolina, lubricantes, asfaltos, explosivos y otros muchos.

**Piedra estannífera.** Véase casiterita.

**Piedras de Carlsbad.** Duras masas sedimentarias de carbonato cálcico depositado por precipitación de las aguas minerales calientes en los manantiales de Karlovy Vary (Carlsbad) (Checoslovaquia). Véase aragonito.

**Pirita o piritita de hierro.** Sulfuro de hierro. Mineral amarillo dorado, constituido por 46,7% de hierro y 53,3% de azufre. Es un mineral muy difundido que se usa, preferentemente, para la obtención de ácido sulfúrico, caparrosa de hierro, alumbres, azufre, etc.

**Piritas.** Sulfuros coloreados de cobre y hierro (también, de níquel y cobalto). Este término fue introducido en la ciencia por los mineros para diferenciarlas de las combinaciones brillantes de composición análoga, pero de color gris o blanco. Ejemplo: la piritita de cobre y la calcocita.

**Piroxenos.** Silicatos de composición química compleja ricos en hierro, calcio y magnesio. Presenta gran diversidad de colores: desde el gris amarillo y verde hasta el negro. Tiene brillo vítreo. En la naturaleza existen numerosas variedades de piroxeno (enstatita, broncita, hipersteno, diópsido ; otros). El mineral más corriente perteneciente a este grupo es la auguita.

**Pizarras.** Rocas que presentan, independientemente de su composición 1º origen, estructura foliácea y un crucero pizarroso muy marcado, o sea, que, tienen la propiedad de hendirse en: hojas más o menos delgadas, plana, y paralelas. Pueden proceder de rocas sedimentarias y magmáticas sometidas a metamorfismo.

**Plagioclasa.** Véase feldespato.

**Plinio el Viejo.** (24-79 años d.n. e.). Sabio romano. Pereció durante la erupción del Vesubio. Hasta nuestros días se conserva su obra de 36 tomos "Historia Natural" de carácter enciclopédico. Junto con libros dedicados a Biología, Botánica y Medicina existen también tomos que tratan de Cosmografía, Mineralogía e incluso de la Historia de las Artes.

**Plomo brillante.** Véase galena.

**Plutón.** 1) Dios del reino subterráneo en la Mitología de Grecia antigua. 2) Noveno planeta del sistema solar, descubierto en 1930.

**Plutonismo.** Estudio del origen de todas las rocas como resultado de la acción del calor subterráneo. Adquirió gran difusión a fines del siglo XVIII.

**Polaroide.** Película o placa hecha de cristales especiales, que polariza la luz natural (es decir, que deja pasar solamente a aquellas ondas luminosas): que se encuentran en un plano determinado).

**Pórfidos.** Término general usado para designar todas las rocas que contienen grandes cristales y granos de minerales (feldespato, cuarzo) incluidos en una masa fundamental de grano más fino.

**Pozo de perforación.** Excavación minera especial de sección circular, diámetro pequeño y gran longitud. El proceso de perforación se realiza por medio de herramientas perforadora (percutoras o giratorias). Estos pozos se practican en el terreno con objeto de determinar la calidad y



dimensiones de los yacimientos minerales, para la extracción de petróleo, agua, azufre, etc. A veces, alcanzan profundidades superiores a 5 km.

**Pozo de sondeo.** Excavación vertical no profunda que se realiza para explorar yacimientos de minerales útiles.

**Protón.** Partícula elemental de sustancia cargada con electricidad positiva. Los protones, junto con los neutrones, constituyen el núcleo del átomo. El número de protones en el núcleo es igual al de electrones negativos y, por consiguiente, igual al número de orden del elemento químico dado.

**Protuberancias.** Enormes lenguas de fuego que surgen próximas al contorno del disco solar, formadas por gases candescentes, principalmente, de calcio e hidrógeno. Se observan muy bien durante los eclipses totales de Sol en forma de surtidores de fuego y erupciones próximos al contorno del disco solar. Cuando no hay eclipses las protuberancias pueden observarse sólo mediante el espectroscopio.

## Q

**Quilate.** Medida que se usa para valorar las piedras preciosas. Es igual a 200 miligramos, o sea, 1 gramo equivale a 5 quilates.

## R

**Radiactividad.** Fenómeno físico, cuya esencia consiste en que los átomos de ciertos elementos químicos situados al final del sistema periódico, tienen la propiedad de desintegrarse espontáneamente. A consecuencia de la desintegración radiactiva los átomos de unos elementos se transforman en átomos de otros.

**Radiolarios.** Organismos unicelulares microscópicos pertenecientes al grupo de los de constitución más simple. Se distinguen por la gran diversidad de sus esqueletos, formados principalmente de sílice.

**Ratovkita.** Véase fluorita.

**Rayos alfa.** Véase partículas alfa.

**Rayos beta** (rayos  $\beta$ ) Corriente de electrones emitida durante la desintegración de núcleos atómicos. Los rayos beta ionizan los gases, provocan luminiscencia en numerosas sustancias e impresionan las placas fotográficas.

**Rayos cósmicos.** Rayos que llegan a la atmósfera terrestre procedentes del espacio interestelar. Poseen energía enorme, debido a lo cual su poder penetrante es extraordinariamente grande. La naturaleza de los rayos cósmicos no se ha establecido todavía con precisión.

**Rayos gamma** (rayos  $\gamma$ ). Radiación electromagnética de muy corta longitud de onda. Los rayos gamma son emitidos por los átomos de radio y de otras sustancias radiactivas durante su desintegración espontánea. Se parecen a los rayos X, pero tienen un poder de penetración todavía mayor. En la técnica se emplean para la comprobación de piezas metálicas, para tratar plásticos, etc. Son peligrosos para tus organismos vivos.

**Rayos Roentgen.** Llamados también rayos X. Son rayos electromagnéticos de corta longitud de onda, descubiertos por Roentgen en 1895. Se aplican ampliamente en numerosas ramas de la ciencia y técnica. Con su ayuda se estudia la estructura de los átomos y moléculas. Se utilizan para analizar las sustancias con objeto de descubrir en ellas la presencia de unos u otros elementos. También se emplean mucho en la Medicina.

**Rayos ultravioletas.** Designación general de las ondas electromagnéticas con longitud de onda de 40.000 Å a 100 m-1 aproximadamente.

**Rocas.** Agregaciones naturales de minerales, unidos durante el proceso general de formación, que poseen una composición y estructura más o menos constante. Atendiendo a su origen, las rocas se dividen en magmáticas, sedimentarias y metamórficas.

Rocas eruptivas. Véase rocas magmáticas.

**Rocas magmáticas o eruptivas.** Rocas formadas por consolidación del magma fundido al enfriarse. Se dividen en: rocas profundas, es decir, solidificadas en las zonas profundas (granito, peridotita, gabro, etc.), y rocas extrusivas, o sea, procedentes del magma emergido a la superficie terrestre, por ejemplo, durante las erupciones volcánicas (andesita, basalto, liparita, etc.).

**Rocas metamórficas.** Rocas de origen magmático o sedimentario que provienen de otras preexistentes, debido a alteraciones químicas, mineralógicas y estructurales. Se dividen en: rocas de metamorfismo profundo (pizarras cristalinas, pizarras micáceas, gneises, etc.), rocas de metamorfismo por contacto (hornstenos o piedras córneas, pizarras turmalizadas, etc.), rocas parcialmente refundidas.

**Rocas olivínicas.** Rocas eruptivas profundas, cuyo componente principal es el olivino.

**Rocas sedimentarias.** Rocas estratificadas que resultan de la sedimentación de sustancias minerales bajo la acción de la gravedad, en gran parte depositadas por las aguas. Por ejemplo, calizas, areniscas, etc.

**Rocas ultrabásicas.** Rocas extremadamente ricas en metales básicos (como magnesio y calcio) y óxido ferroso. Contienen 45% de ácido silícico. Todas ellas se distinguen por su color oscuro (verdoso o negro) y gran peso. Se forman en las zonas muy profundas de la corteza terrestre.

**Roentgen, Guillermo Conrado** (1845-1923). Renombrado físico alemán. Su nombre se hizo especialmente célebre cuando descubrió en 1895 un nuevo tipo de energía radiante, los llamados rayos X.

**Rubí.** Variedad roja del corindón usada en joyería y para las piedras (de apoyo) de los relojes, contadores, etc. Puede obtenerse también por vía artificial. Véase corindón.

**Rutherford, Ernesto.** (1871-1937). Eminentísimo físico e investigador inglés que se dedicó al estudio experimental de la constitución del átomo y de los procesos radiactivos.

**Rutilo.** Mineral, dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). Forma cristales de color pardo y encarnado. Se encuentra a veces incluido en el "velludo" (variedad de cuarzo) en forma de fibras delgadas denominadas "cabellos de Venus".

## S

**Sal gema.** Véase halita.

**Salitre.** Nitrato de sodio o potasio. En la naturaleza se encuentra en las regiones desérticas formando pequeñas y finas costras de color blanco adheridas a la superficie del terreno, murallas rocosas, peñas, etc. Se emplea como fertilizante y para la obtención de explosivos.

**Samarsquita.** Mineral raro de color negro aterciopelado, perteneciente al grupo de los niobatos y tantalatos

**Sarder.** Denominación antigua del calcedonio rojo (sard) de todos los matices: claro, oscuro, marrón rojizo y pardo.

**Scheele, Carlos Guillermo** (1742-1786). Eminentísimo químico sueco. Descubrió el oxígeno, cloro y manganeso.

**Sheelita.** Wolframato cálcico (CaWO<sub>4</sub>). Mineral opaco, amarillo grisáceo, de brillo graso. Cuando se expone a la acción de los rayos ultravioletas, emite luz azul verdosa muy agradable. Se utiliza para la obtención del wolframio, elemento importantísimo para la industria metalúrgica.

**Semidesintegración.** En Física, se llama semidesintegración al período de tiempo necesario para que se desintegren la mitad de los átomos radiactivos originales. Cada elemento radiactivo posee un período de semidesintegración determinado, cuyo valor puede oscilar desde fracciones de segundo hasta miles de millones de años.

**Serpentina.** Roca verde compacta de origen secundario, constituida por serpentinita, magnetita, cromita y otros minerales. Con frecuencia, se observa en ella manchas verdes, negras, grises, blancas, rojas y amarillas que la asemejan a la piel de serpiente.

**Serpentinita.** Silicato magnésico hidratado que contiene, en pequeñas proporciones, hierro, cromo y níquel. Mineral bastante difundido, de coloración variada (desde el verde cebolla hasta el verde rojizo). Se usa para fines ornamentales.

**Seudomorfo.** Formaciones minerales cuya estructura o constitución cristalina no es la asumida para el mineral dado. Estos minerales adquieren forma externa correspondiente a otras especies minerales, maderas petrificadas, conchas, etc.

**Sienita.** Roca cristalina de origen volcánico de color claro, formada principalmente por feldespatos y hornablenda. Se diferencia del granito en que no contiene cuarzo. Su denominación proviene de la ciudad Siene (Egipto).

**Sienita nefelítica.** Roca eruptiva profunda constituida de nefelina, feldespato, piroxeno y anfíbol, pero siempre exenta de cuarzo. Es poco abundante; la mayor concentración se encuentra en la península de Kola.

**Silicatos.** Numeroso grupo de minerales, en cuya composición toma parte el silicio y varios otros elementos. Son las sales naturales de los diversos ácidos silícicos. En la corteza terrestre, los silicatos constituyen el grupo más considerable de minerales. A ellas pertenecen los feldespatos, micas, hornblendas, piroxenos, minerales caolínicos, etc.

**Sirio.** Estrella de la constelación Can Mayor. Es la más luminosa de la, estrellas que se observan en la bóveda celeste. Consta de dos estrellas ("estrella doble"), las cuales sólo se pueden distinguir cuando se observan con telescopio ya que la luminosidad de la estrella satélite es 3.000 veces menor que la de Sirio.

**Sismógrafo o sismómetro.** Instrumento que registra y mide las sacudidas y conmociones producidas en la tierra y en las obras de ingeniería, por los terremotos, explosiones, actividad del transporte, maquinaria industrial y otras causas.

**Sismología.** Ciencia que se ocupa del estudio de los temblores de tierra.

**Sistema o período pérmico.** Capas rocosas formadas durante el último período de la era paleozoica. Sigue al período carbonífero. Su nombre proviene de la denominación de la antigua provincia de Perm, en cuya región se desarrolló de forma más completa este sistema y donde fue estudiado y descrito por primera vez.

**Smaragd.** Denominación antigua de la esmeralda.

**Sublimación.** Paso directo de una sustancia cristalina al estado de vapor (es decir, sin fundirse).

**Suess, Eduardo (1831-1914).** Geólogo austríaco. Su obra fundamental "La faz de la Tierra" contribuyó grandemente al desarrollo de muchas ramas de la Geología.

**Superfosfato.** Fertilizante mineral, principalmente constituido por la mezcla de sulfato y fosfato ácido de calcio. Es el abono agrícola más difundido.

## T

**Tajo.** El lugar de una excavación minera donde se efectúa la extracción directa del mineral.

**Talco.** Silicato magnésico. Uno de los minerales más blandos de color blanco plateado, verdoso y amarillo. Se caracteriza por su brillo resinoso con matiz perlítico, grasiento al tacto. Se utiliza, finamente dividido, como polvos higiénicos y como material de relleno en la fabricación del

caucho, papel, colorantes y en otras ramas de la industria. En forma compacta se emplea como material resistente al fuego y a los ácidos y como aislador eléctrico. Su variedad basta y compacta se llama esteatita o jabón de sastre.

**Téctitas.** Trozos pequeños de cristal fundido, encontrados en algunas regiones del globo terráqueo. Hasta la fecha no existe una interpretación totalmente clara y satisfactoria sobre el origen de las téctitas.

**Tectónica.** Parte de la Geología que estudia los procesos de formación de pliegues y fallas rocosas y las distintas alteraciones que experimenta la estructura y posición de los estratos.

**Tejuelo.** Apoyo o sostén de mineral muy duro, generalmente rubí (natural o sintético). Se emplea en los mecanismos de alta precisión. En ellos se apoyan las partes sometidas a giro rápido. Por ejemplo, las piedras en los relojes.

**Terrenos.** Formaciones superficiales relacionadas con la intemperización de las rocas, erosionadas y alteradas por la acción de agua, aire y otros procesos debidos a la actividad de las plantas y animales.

**Tetraedro.** Figura geométrica compuesta de cuatro caras triangulares.

**Tierra salina.** Tierra fuertemente impregnada de sales que tiene color blanco debido a las costras y cristales salinos que se hallan repartidos en su masa.

**Timiriázev, Klementi (1843-1920).** Sabio ruso, notable botánico-fisiólogo, ardiente propagandista de la teoría sobre el mecanismo de la evolución de Darwin.

**Toba volcánica (o verdadera).** Roca que consiste en ceniza volcánica compactamente comprimida. Puede ser grisácea, violeta suave o negra.

**Tolueno.** Combinación química que se obtiene del alquitrán de hulla y de los gases de los hornos de coque. Es la materia prima principal para la fabricación de sacarina; se utiliza en la preparación de colorantes. El derivado nitrado del tolueno, la trilita, es uno de los explosivos más importantes.

**Topacio.** Silicato de aluminio y flúor. Mineral transparente, translúcido u opaco, incoloro, amarillo vinoso, verde, azulado o rosado con intenso brillo vítreo. Los magníficos cristales de su variedad transparente, se usan como piedras preciosas.

**Tsiolkovski, Konstantán (1857-1935).** Eminente sabio ruso, inventora autodidacta. Fundador de la astronáutica. Consagró toda su vida al estudio de las fuerzas reactivas de los cohetes, comunicaciones interplanetarias y a la construcción de cohetes y dirigibles.

**Turanita.** Raro mineral de color verde oliva compuesto de cobre y vanadio. Se forma en la zona de intemperización superficial de ciertos yacimientos.

**Turmalina.** Mineral muy complejo de composición variable (aluminoboro-silicato de las bases alcalinas, de calcio, hierro y magnesio). Se presenta en distintas variedades con gran diversidad de colores. Se utiliza como piedra preciosa y como material termo y piezoeléctrico.

**Turquesa.** Fosfato hidratado de aluminio y cobre. Mineral opaco de bello color azul o verde azulado con brillo mate. Se usa para fines ornamentales.

## U

**Uvarovita.** Granito cálcico-crómico de color verde esmeralda.

## V

**Vauquelin, Luis Nicolás (1763-1829).** Químico francés. En 1797 descubrió el cromo en el mineral rojo plumbífero de Siberia. En ese mismo año, descubrió en el mineral berilo el óxido de un metal desconocido hasta entonces, el berilio. Se dedicó intensamente a la investigación de sustancias de origen vegetal y animal.

**Velocidad cósmica.** Velocidad de movimiento de un cuerpo celeste en el espacio interplanetario. Es muchísimo mayor que las velocidades de diversos cuerpos conocidos en la Tierra. Se distinguen tres velocidades cósmicas: la primera, al llegar a la cual el cuerpo que la posee se convierte en satélite del planeta (para la Tierra esta velocidad es de 7,9 km/seg.); la segunda, que se necesita para separarse para siempre del planeta (para la Tierra es de 11,2 km/seg) y la tercera, que permite vencer la atracción del Sol y abandonar el sistema solar (es de 17 km/seg cuando se parte de la Tierra).

**Vernadskita.** Mineral muy raro, perteneciente al grupo de los sulfatos básicos hidratados de cobre. Fue hallada en el cráter del Vesubio.

**Veta (rocosa).** Hendidura en Las rocas, rellena de cualquier mineral cristalizado por precipitación del magma o de soluciones minerales frías o calientes.

**Wolframita.** Mineral negro pardusco compuesto de wolframio, hierro y manganeso. Contiene hasta el 50% de wolframio y suministra el 95% de la producción mundial de este elemento. Se utiliza en la fabricación de aceros y pinturas.

## Y

**Yacimientos minerales.** Concentraciones naturales de minerales que por las condiciones de su depositación, magnitud y riqueza del contenido resulta ventajosa y rentable su explotación.

**Yeso.** Composición química:  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ . Mineral y, también, roca sedimentaria monomineral de color blanco o ligeramente coloreada. Muy difundido en la naturaleza. Se emplea mucho en la construcción, decoración y estucado, así como para la preparación de cemento. Se usa en Medicina para los vendajes quirúrgicos, en Agronomía para fertilizar los campos de cultivo. Sus variedades, alabastro y selenita, se utilizan para fines ornamentales.

## Z

**Zafiro.** Véase corindón.