

# EL LIBRO DE LAS CURVAS

PABLO OLALQUIAGA • ALFONSO OLALQUIAGA



PRÓLOGO: JAVIER RUI-WAMBA • EPÍLOGO: ESTUDIO CANO LASSO

MIGUEL AGUILÓ • JUAN JOSÉ ARENAS • LOURDES CABELLO • ENRIQUE CASTILLO • ELENA CASTILLO VIGURI • SILVIA COLMENARES • CRISTINA DÍAZ MORENO • MANUEL ELICES • ANA ESPINOSA • ANTONIO FERNÁNDEZ ALBA • EFRÉN GARCÍA GRINDA • ALVARO GARCÍA PÉREZ • JAVIER GONZÁLEZ GALÁN • ROBERTO GONZÁLEZ GARCÍA • MIGUEL DE GUZMÁN • ANDRÉS JAQUE • MARÍA LANGARITA • CÉSAR LANZA • MIGUEL ÁNGEL LOSADA • JAVIER MANTEROLA • JOSÉ LUIS MANZANARES • GREGORIO MARAÑÓN • DAVID MARSINYACH • JOAQUÍN MARTÍ • SANTIAGO MOLINA • JAVIER MORALES LUCHEÑA • ALVARO MORENO • FEDERICO MORENO NIEVES • JAVIER MUÑOZ ÁLVAREZ • DANIEL MUÑOZ MEDRANDA • VÍCTOR NAVARRO • RAFAEL OLALQUIAGA SORIANO • MARIO ONZAIN • CARLOS RÍOS • PABLO SÁNCHEZ DE VEGA



FUNDACION  
ESTEYCO

Para la difusión y el progreso de la Ingeniería y la Arquitectura







FUNDACION  
ESTEYCO

En mayo de 1991 se constituyó la Fundación Esteyco  
con la finalidad de contribuir al progreso  
de la ingeniería y de la arquitectura en nuestro país.

La situación de precariedad e incertidumbre  
en que se ha estado desarrollando la ingeniería española independiente,  
ha exigido hasta ahora actitudes básicamente de supervivencia.

El esfuerzo de un creciente colectivo de profesionales  
y de órganos de la Administración  
ha ido, sin embargo, consolidando un sector cuyos servicios  
son considerados indispensables en una sociedad moderna y eficiente.

Es tiempo de pensar en el futuro,  
confiando en que no tardará en hacerse presente.

Fomentemos, para ello, un clima propicio para la creatividad,  
en el que se exija y se valore el trabajo bien hecho.

Contribuyamos a una sólida formación de los profesionales de la ingeniería,  
conscientes de que las organizaciones valen lo que valen sus miembros  
y de que en la ingeniería el valor de las personas  
se mide por el nivel de sus conocimientos.

Alentemos mejores y más frecuentes colaboraciones interprofesionales,  
eliminando fronteras innecesarias.

Reivindiquemos un espacio cualitativamente destacado  
de la ingeniería en la sociedad  
e impulsemos la evolución de la imperante cultura del hacer  
hacia la cultura del hacer pensando.

Consideremos las ingenierías como una prolongación de la Universidad,  
en la que se consolida la formación de los jóvenes titulados,  
en los años que serán decisivos para su futuro.

Sintámonos involucrados con la Universidad y centros de investigación.

Aseguremos la estabilidad y pervivencia de nuestras organizaciones  
y establezcamos los medios para que su vitalidad, garantía de futuro,  
no se encuentre lastrada.

Valoremos nuestra independencia, no como un arma contra nadie,  
sino fundamentalmente como un atributo intelectual  
inherente a quienes tienen por oficio pensar,  
informar y decidir libremente.

Javier Rui-Wamba Martija  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Presidente de la Fundación Esteyco



EL LIBRO DE LAS CURVAS

© 2005 Fundación ESTEYCO  
© 2005 Pablo Olalquiaga y Alfonso Olalquiaga  
© 2005 AA.VV.  
Editado por Fundación Esteyco  
Impreso en España I.S.B.N.: 84-933553-0-5  
Depósito Legal: M-47052-2005  
1ª Edición. Diciembre 2005

Javier Rui-Wamba	<b>PRÓLOGO</b>	<b>9</b>
	<b>CURVAS DE LAS MATEMÁTICAS</b>	<b>19</b>
	<b>CURVAS DE LA NATURALEZA</b>	<b>65</b>
	<b>CURVAS DE LA MÚSICA</b>	<b>115</b>
	<b>CURVAS DE LA INGENIERÍA</b>	<b>155</b>
	<b>CURVAS DE LA ARQUITECTURA</b>	<b>195</b>
Estudio Cano Lasso	<b>EPÍLOGO</b>	<b>235</b>



A Paco Rodríguez Martínez,  
patrono de nuestra Fundación,  
compañero y amigo.

PRÓLOGO



El azar y la necesidad han contribuido a la gestación de este libro que tienes lector amigo posado en tus manos.

Hace pocos años, cuatro tal vez, en uno de mis ahora infrecuentes viajes a París –ciudad que aun pareciendo que está cada vez más alejada, ha preservado su innegable poder de atracción–, en uno de esos dichosos ratos libres que suelen existir cuando consciente o inconscientemente se programa inteligentemente un viaje, me asomé, muy bien acompañado, por el Palais de la Découverte. Allí, en lugar destacado estaba impresa la más bella fórmula de las matemáticas:

$$e^{\pi i} + 1 = 0$$

y allí encontré también una sencilla publicación que recogía dibujos, fórmulas y una breve historia de algunas de sus más célebres curvas. Así, por ejemplo, la espiral de Arquímedes, la cisoide de Diocles, la conchoide de Nicódemes, el “folium” de Descartes, los óvalos de Cassini, la lemniscata de Bernoulli, las cicloides y tantas otras que fueron para mí y para tantos como yo, un riguroso filato matemático en el umbral de nuestros estudios de ingeniería, para luego anidar para siempre en el entorno de nuestras vidas. Y cuando esporádicamente, por unas u otras razones, lúdicas a veces, nos visitan, las recibimos con la alegría con la que se recibe a los amigos auténticos, con los que se comparte una amistad perdurable nacida del esfuerzo y no de la comodidad ni de las convenciones sociales.

Tengo para mí que somos muchos los ingenieros a los que nos atrajo el reto de las matemáticas antes que el placer por la Ingeniería cuando decidimos, con más intuición que conocimiento, iniciar nuestro largo y felizmente interminable camino que nos va convirtiendo en ingenieros.

La imagen de estas curvas, sus claras y precisas formulaciones, sus sencillos modos de construir, eran respuesta al enunciado de un problema planteado como reto intelectual que exigía a sus creadores conocer y comprender en profundidad las matemáticas del momento, promover el progreso de los conocimientos matemáticos y explorar senderos de futuro. Y estas curvas tienen para nosotros significados que se podrían calificar incluso de emotivos. Porque al observar sus geometrías brotan inmediatamente en nuestra memoria paisajes y sensaciones que vivimos con intensidad e incertidumbre cuando empezaban a madurar nuestras vidas. Recuerdos y percepciones que a pesar del tiempo transcurrido han perdurado y son parte de nuestro ser de ingenieros.

Algunas de estas curvas nacieron del balbuceante y geométrico saber griego. Luego, tras el paréntesis de la oscuridad medieval, se rescataron en tiempos renacentistas para conocerlas mejor y abordar otros problemas diferentes que trajeron nuevas curvas gracias al progreso admirable que se produjo también en las matemáticas. Las representadas en el libro sólo son algunas, y todas ellas curvas planas. Las superficies curvadas se han quedado para mejor ocasión, pero sí se han incorporado muestras de otras geometrías que podríamos llamar con algún fundamento las curvas (¿lo son realmente?) del siglo XX. Los fractales, la teoría de caos y conocimientos asociados, unidos a los progresos de las tecnologías digitales, han generado un conjunto asombroso de imágenes a partir de formulaciones también muy simples, aunque con planteamientos bien diferentes.

Conocimientos y sensibilidades asociadas que ayudan a comprender el origen de muchas formas de la naturaleza y que, por tanto, son un excelente pórtico de entrada al siguiente capítulo del libro, en el que hemos seleccionado algunas bellas y expresivas imágenes. La apariencia de la complejidad geométrica, la belleza de formas y colores, la diversidad de funciones y de formas de relación con un entorno indispensable para su supervivencia y que justifican su existencia, responde sin

embargo a conceptos que una vez han sido comprendidos, están llenos de racionalidad aunque no haya sido la razón humana –no seamos prepotentes– quien las haya gestado. Pero así como por las cumbres de la física se busca desde hace tiempo una “theory of everything” que desvele el origen de todas las cosas, en las formas de la naturaleza parece que nos aproximamos también al descubrimiento de lo esencial, del origen sencillo y evidente del delta de una evolución cada vez más compleja y diversa, tras la que subyace una realidad laica, sencilla y luminosa aún por descubrir.

Toda esta variedad de geometrías curvas –la recta sólo aparece cuando no se ha podido observar la realidad con la precisión necesaria y en todo caso la recta no es sino una curva de radio infinito– que la naturaleza pone frente a nuestros ojos ayudados por lentes prodigiosas y tecnologías eficientísimas, surgen todas de una necesidad, de una función. En la naturaleza nada es gratuito. También en la naturaleza la función hace la forma, aunque es bien evidente que para la misma función existen formas muy diferentes. Lo que no es la menor enseñanza que se puede extraer de la observación de las imágenes impresas y de la reflexión que debe acompañar a la pasiva observación visual.

Admirar las geometrías de la naturaleza nos plantea también si uno de los ingredientes de la belleza es el misterio. Misterio no asociado a la ignorancia sino, bien al contrario, al asombro que produce tratar de comprender unos mecanismos biológicos, químicos y físicos que se pueden intuir y algunos sabios pueden llegar a entender en gran medida sin, por ello, desvelar del todo su misterio. Porque descubrir no es nunca llegar a la meta: es situarse en una posición más elevada desde la que se vislumbran nuevos y fascinantes retos.

¿Tiene curvas la música? Claro que las tiene. Hasta el punto que los sentidos bien afinados las perciben aun con los ojos suavemente cerrados. Porque la música, mezcla de sonidos y silencios, es física. Son vibraciones complejas que los ojos no ven, pero que las sutiles antenas de los oídos hacen sintonizar, es decir, ponen en resonancia con las vibraciones físicas que llegan a ellos y las transmiten así a la mente donde quedan dibujadas en un lenguaje desconocido para el ser humano, pero que es muy nuestro. Una música que siendo sólo física puede emocionar, porque las emociones son también solo vibraciones. Porque lo estático no existe. En todo caso es ausencia de vida. Y la música, su dinamismo, es también manifestación de vida. Como lo es también lo que llamamos silencio, que es la música de la soledad, pero de una soledad viva. Porque el silencio sólo lo escuchan los seres vivos y cuanto más vivos mejor lo hacen.

Pero, además, en el maravilloso mundo de la música tenemos los instrumentos musicales de fascinantes geometrías. ¡Cuánta música duerme en sus formas!, podríamos decir parafraseando al poeta. Porque sus formas son la representación de la música que pueden exhalar activadas por la técnica y la sensibilidad del intérprete. También aquí podemos constatar cómo la función hace la forma. Pero que formas muy diferentes pueden atender funciones muy similares. Y que el análisis de los instrumentos musicales nos hace comprender que nada en ellos es superfluo. Porque cada uno de sus componentes tiene una misión parcial que integrado y en armonía con todos los demás configuran el instrumento musical. Un trabajo en equipo. Lo que contribuye a la fascinación que nos producen sus geometrías.

Pero si un instrumento musical es un almacén de música en manos de instrumentistas que necesitan, eso sí, una larga e intensa preparación para extraer de un objeto aparentemente inerte su música almacenada (la música potencial que se transforma en sus manos en música cinética), también se puede decir que un instrumento musical es un potencial almacén de ruidos, porque utilizado por gente sin la adecuada y compleja preparación no es sino un aparato desdichado. De manera

que también la fascinación por las curvas de los instrumentos musicales nos recuerda que la belleza –que puede brotar de un instrumento musical–, está relacionada con el conocimiento y la sensibilidad del intérprete y, en menor medida, con el del oyente.

Pero las curvas de la música no están solo –por grande que sea su expresividad– en las geometrías de los instrumentos, donde se encuentran embalsadas, que no embalsamadas. Porque, también, en los signos impresos del lenguaje musical aparentemente inertes, late potencialmente la música. Y la geometría de los signos, que cobijan vibraciones individuales que se tejen con otras anteriores y posteriores en el aire transparente para hacerse armonía musical, puede ser también imagen visual muy atractiva. Tal vez y, sobre todo, para quienes siendo analfabetos musicales no comprendemos el lenguaje de la música y nos extrañamos ante geometrías que danzan en el papel pautado, con una intención de comunicar con precisión y con un mínimo de medios, la riqueza y complejidad del arte musical. Nada sobra tampoco en la escritura musical. En todo caso el lenguaje musical busca nuevos caminos para expresar la complejidad de las composiciones contemporáneas. Y los signos, que tratan de comunicar notas y sentimientos, conforman, en ocasiones, una sorprendente paleta gráfica que de mostrarse sin el soporte del papel pautado resultaría incomprensible, provocando sorpresa y, acaso, una bienvenida curiosidad.

El lenguaje musical tiene por finalidad la comunicación con los demás de los creadores de música, de los compositores. Es también almacén de pensamientos que para renacer desde el reposo del papel impreso requieren un intérprete que traduzca las notas escritas en vibraciones sonoras. Y si la música no es sino sutil vibración del aire, si realmente todas las percepciones del ser humano, olores, colores, sabores, tacto, emociones, son formas de vibración, entonces es posible que la “theory of everything” que busca –como su Santo Grial– el mundo de la Física, se concrete en el conocimiento profundo de las vibraciones. Y así parece que sea. Y es por ello que podemos saber de antemano que todo esfuerzo por penetrar en la física de las subpartículas no dará más que resultados limitados, aunque no por eso menos deseables. Siempre existirán otras partículas subatómicas agazapadas tras las que podamos llegar a descubrir. Y perdurará el misterio. Y con ello la belleza y la esperanza asociada a ella: la posibilidad de descubrir, como esperanza de vida; porque mientras quede algo por descubrir, perdurará la vida.

Las curvas de la música se manifiestan, por otra parte, con todo su esplendor en las geometrías creadas por la danza o en aquellas otras, tan diferentes pero tan expresivas, que nos trae el jazz. En la danza o en el baile, los cuerpos que se cimbrean, que flotan, que parecen deshacerse al percibir el estímulo de unas notas conforman unas imágenes de un dinamismo y una elegancia suprema, que perdura en la imagen fija y sin sonido de una instantánea que, a pesar de ello, logra transmitir movimiento y musicalidad.

Pero es acaso en la música de jazz donde más explícitamente se manifiesta la comunión del artista y de su instrumento. Los dos forman un solo cuerpo con un alma común. Y las formas generalmente rígidas e inamovibles del instrumento toman vida en las manos, en el rostro y en los gestos corporales del intérprete.

El jazz nos trae imágenes de una gran belleza. Paisajes de sombras creadas por los pliegues de la piel del intérprete, por las gotas de sudor que son las lágrimas de su alma, por las prodigiosas geometrías de los instrumentos, por el gesto con que el solista o los miembros de una banda, abrazan, golpean, soplan y resoplan para darles apasionada vida. Por la atmósfera

creada por volutas de humo, sillas y mesas plagadas de vasos medio vacíos, por las miradas de sus ocupantes, concentradas para no perder matices de unos sonidos improvisados, para sentir los momentos de genialidad cuando la pasión del intérprete crea belleza. Y todo de noche. En blanco y negro. Los colores del jazz.

Pero, así como la belleza y la utilidad de algunas curvas matemáticas encendieron la posibilidad de este libro, fueron las curvas de la Ingeniería, las geometrías de los ingenieros las que acabaron por aportar el impulso imprescindible para acometer la ardua tarea de su creación.

Porque, en contra de lo que a veces se piensa, la recta y el plano no tienen mucho protagonismo en la Ingeniería. La riqueza de la Ingeniería, en todas sus variadísimas manifestaciones, va acompañada de un cortejo de curvas de las que, en este libro que quiere ser también un modesto homenaje a su esencial aportación, sólo aparece un puñado en imágenes de un territorio muy rico y poblado.

Carlos Fernández Casado por los años 70 editó en Alfaguara una espléndida publicación con el expresivo título de “La Arquitectura del Ingeniero”. A través de sus páginas, de la mano del maestro, se recorre un itinerario deslumbrante con imágenes de ingeniería de todo tipo, que comienza explicando la morfogénesis del automóvil, del avión, de la locomotora y del trasatlántico. Nos muestra en imágenes y nos habla en textos de la gran riqueza conceptual y simbólica de ríos y caminos, de puentes naturalmente y de obras hidráulicas, canales, acueductos o presas-bóvedas. De puertos y aeropuertos. De agronomía, selvicultura, minería e industria. De torres de todo tipo, de chimeneas, digestores, depósitos de agua. De naves industriales, cúpulas de toda índole, de edificaciones singulares y de rascacielos. Y nos habla expresamente de las obras de Maillart, de Freyssinet, de Torroja y de Morandi. Y nos ilustra con reflexiones sobre la ingeniería romana, renacentista y actual, incluidas en textos que escribió en su juventud, y en los que publicó a lo largo de una admirable vida profesional. “La Arquitectura del Ingeniero” es un libro que yo he tenido siempre a mi lado. Y en el que he buceado con frecuencia. Y ocurre, por ello, que este libro que ahora editamos, ha estado también inspirado en su obra. Conviene ahora destacarlo porque tan solo hace unos meses, el pasado 4 de marzo, se cumplió el centenario del nacimiento de don Carlos, al que ahora volvemos a recordar con gratitud, veneración y afecto.

Y entre tantas imágenes que con tanta naturalidad enlazaban con las curvas de las matemáticas y pugnaban por compartir con ellas protagonismo en nuestro libro, los enlaces de sistemas viarios, a modo de póster y cuidadosamente ordenados, eran protagonistas en el libro de don Carlos. Símbolos de la variedad de situaciones diferentes planteadas en los cruces sin interrupciones de recorridos viarios que se entretajan para evitar cruces a nivel y ordenar los cambios de rumbo de los vehículos, que tienen que ser conducidos a través de una maraña de viarios superpuestos y conectados. Un problema aparentemente siempre análogo y que, en buena medida lo es, pero que se resuelve de formas muy variadas. Y todas llenas de racionalidad. Sin que sobre ni falte una sola línea en el reto ingenieril de atender la necesidad de conductores que desplazándose de un lugar a otro no necesitan comprender un enlace: les basta con ser pastoreados por un trazado eficiente y una señalización minimalista y perceptible. Aspiran a ignorar la complejidad de los encuentros viarios y a circular, por ellos, sin pensar.

Los enlaces representados en el libro son unos pocos de la infinidad de los que han sido construidos. Las fotografías aéreas incorporadas al texto nos recuerdan su magnitud y su poderosa presencia en un territorio marcado por la complejidad de

estos enlaces. Complejidad lograda, por otra parte, con una combinación de rectas, curvas circulares y de clotoides que reinan en estos trazados a veces incomprensibles a los ojos de profanos.

Claro que estos gráficos representados en planta pero que expresan geometrías espaciales, no son líneas, son en realidad bandas que se cimbrean en torno al hilo conductor de la recta, curva o clotoide para alejar así de la calzada el agua de lluvia, enemigo capital de la conducción, y vencer las fuerzas centrífugas asociadas a la curvatura del recorrido de los vehículos que las utilizan. Todo necesario. Nada superfluo. Pocos conceptos idénticos que conducen a soluciones esencialmente diferentes. Un mecano de curvas y rectas que gestan geometrías impensables, llenas de lógica. Y aquí también, como sucede en la naturaleza, se percibe cómo pequeñas diferencias en el enunciado de un problema conducen a resultados muy diferenciados.

Lo sutil también está presente en estas imágenes. Como lo está en el resto de las que componen el capítulo al que me estoy ahora refiriendo. Y que podrían ser muchísimas más. Porque la Ingeniería es de una riqueza excepcional, un manantial inagotable de formas nacidas para ser útiles y que, con frecuencia, de tanto serlo, desprovistas de todo lo superfluo, alcanzan unas cotas de belleza incomparables. Lo que las hace aún más útiles, porque la belleza debe ser, también, un ingrediente de la utilidad: tenemos que consumir belleza.

El último capítulo, y no es casualidad, está dedicado a las curvas de la Arquitectura. Y lo hemos hecho así porque las imágenes incluidas como muestra, pueden ser mejor comprendidas y valoradas por comparación con las que han configurado los capítulos anteriores.

Hoy, la Arquitectura ocupa en los países económicamente poderosos un lugar social y mediáticamente relevante. Y entre las arquitecturas que se festejan, las curvas suelen ser frecuentes protagonistas. Ni la recta, ni el plano, ni el sencillo círculo están en boga. La regla, el cartabón y el compás son instrumentos arcaicos. En muy poco tiempo el lápiz y el papel han cedido protagonismo al teclado y a la pantalla del ordenador, artefacto caracterizado por una rapidez que, con muchísima frecuencia, impone su ritmo y anula, o cuando menos distorsiona, el resultado de un trabajo que debería ser en su esencia intelectual. Pero que no puede serlo porque el ritmo de creación de la mente humana es mucho más parsimonioso y el poder del robot, asociado a su rapidez, puede acabar imponiéndose.

No sucede así en la creación literaria. La obra escrita nace en la mente del escritor y la va plasmando al ritmo que él impone al ordenador, cuya pantalla, por otra parte, tiene una dimensión similar a la hoja de papel en la que acostumbraba a escribir –y algunos continúan haciéndolo– hasta que llegó el bienvenido, si bien utilizado, ordenador. Porque resulta evidente que el ordenador no ha transformado el arte de escribir. Acaso haya evolucionado, en cierto modo, el oficio de escribir. Pero el ser humano continúa siendo el creador y el ordenador se adecua a su ritmo de creación, aunque ofrece innegables ventajas que favorecen la edición de libros y justifican la cantidad, que no la calidad, de los muchos editados en una sociedad en la que se lee poco y se escribe menos todavía.

No es esto lo que está ocurriendo, sin embargo, en la Arquitectura. El ordenador se ha hecho instrumento de creación. Y en su ridícula pantalla –la misma, cualquiera que sea la naturaleza y dimensión del proyecto que se está concibiendo– van naciendo a retazos imágenes de un puzzle que se acaba de convertir en el sueño de una construcción, que antes debería haber sido dibujada en la mente de sus creadores. El ordenador, que es ciertamente de una utilidad extraordinaria, está distorsionando los procesos de creación en Arquitectura. Lo que podría ser muy deseable, pero sólo en la medida en que la



potencia y rapidez de la informática esté al servicio del creador y se adecue al ritmo de su pensamiento. En otro caso, se produce un vacío en el proceso y el vértigo de lo posible anula toda búsqueda creativa de lo imposible.

Y el protagonismo de las curvas en las arquitecturas publicadas en la actualidad y en algunos casos, sólo algunos, construidas, tiene su origen en las posibilidades que ofrece el ordenador. Porque las seductoras imágenes que pueblan las numerosísimas revistas de arquitectura que polinizan las mentes de estudiantes, de jóvenes y no tan jóvenes arquitectos, que crean modas, difunden tendencias, inventan o descubren genios, están llenas de curvas no tanto porque se trate de la geometría adecuada a la solución de un problema funcional sino porque, independientemente de la función a la que debe estar condicionada la creación arquitectónica, el ordenador, símbolo supremo de modernidad y post-modernidad, hace posible con escaso esfuerzo la generación de líneas que se desmelenan y configuran contornos y espacios debidos más al útil que los ha generado que a la necesidad que debería haberlos justificado.

Es lamentable que se diga y se escriba, por ejemplo, que el por tantas cosas admirable –no por todas y no precisamente relacionadas con la esencia de su arquitectura– Guggenheim bilbaíno, no hubiese sido posible sin recurrir a poderosos programas de ordenador. Ni siquiera los más modernos aviones son el fruto de la informática. Lo esencial de los ultramodernos vehículos que navegan con tanta precisión por el espacio ha nacido en la mente de sus creadores, que son muchos y que, eso sí, han podido trabajar en equipo porque las modernas tecnologías les han ayudado a hacerlo y les han permitido corroborar objetivamente el acierto de decisiones intuitivas y ensayar la realidad soñada cuando no era, todavía, sino un sueño.

Algo huele a podrido en Dinamarca. Otras voces más autorizadas que la mía lo han expresado públicamente y muchas son las conversaciones privadas en las que se lamenta una evolución inquietante que está relacionada con la formación. La Arquitectura española goza de un merecido prestigio internacional y en buena medida es debido a la sólida formación que recibieron sus estudiantes en las Escuelas y en el oficio que, posteriormente, adquirieron en el ejercicio de su profesión, integrados con frecuencia en Estudios de maestros, donde la regla, el cartabón, el compás, el lápiz y el papel, reinaban en una atmósfera de creación parsimoniosa. ¿Qué está ocurriendo en la actualidad? La Universidad parece desconcertada y las Escuelas decaen, los maestros se van y no es evidente el relevo. No se aprende el oficio, el hermoso oficio de Arquitecto, ni parece que sea necesario tenerlo. Craso error. Porque la arquitectura que se hace sin oficio no lo es. Es otra cosa, aunque el oficio tan solo no es suficiente. Es condición necesaria pero no suficiente. Porque la Arquitectura es, debe ser, Arte también y no necesariamente un arte elitista al alcance de unos pocos privilegiados. Un arte que se manifiesta en la capacidad para escoger entre diferentes soluciones posibles, y con datos siempre insuficientes, aquellas que no solamente atienden a la función, sino que van más allá. Y pueden ir mucho más allá. Aunque tampoco, a este respecto, convenga olvidar el más acá.

En Ingeniería el panorama es similar. En una época de prosperidad como no ha existido antes, con un vertiginoso cortejo de construcciones que deberían ser oportunidades para la auténtica formación de profesionales, para la adquisición de un sólido oficio basado en la experiencia. La realidad parece ser otra. Las urgencias impiden la reflexión serena y el peso de la experiencia no tiene tiempo para decantarse. Estamos inmersos en una vorágine de acontecimientos que nos impide recordar que el progreso auténtico consiste no en hacer más, sino en hacer mejor. Y en todo caso, hacer mejor y más. No más. Ni tampoco menos.

Y hacer mejor puede ser también hacer diferente, porque la diferencia es una virtud a reivindicar. Pero no se trata, como a menudo sucede, que sea la originalidad el distorsionado objetivo que algunos parecen perseguir. Ser original es relativamente sencillo. Hacer las cosas equivocadas puede ser el camino más directo hacia la originalidad: no suelen existir antecedentes. La originalidad no es, como erróneamente postulaba Gaudí, volver a los orígenes. Es ser origen. Y esto es muy difícil. Pero hay otros caminos de creación, de generación de diversidad y de progreso, que implícitamente han sido la motivación de esta publicación. Porque las curvas de las matemáticas, las de la naturaleza y las de la música con su riqueza, su belleza y su diversidad, nos recuerdan que nada en ellas es superfluo, que todo tiene una razón de ser, un motivo para estar. Pero que análogas funciones se atienden con formas y geometrías muy diversas. Porque en el enunciado del problema siempre hay un sutil ingrediente diferenciador, que como en la teoría del caos, activa soluciones que aparentemente son muy distintas. Y la auténtica labor de creación de ingenieros y arquitectos está en la identificación de las diferencias. No puede haber dos construcciones iguales, porque nunca hay dos enunciados idénticos. Por eso la famosa descontextualización de algunas prestigiosas obras no es sino manifestación de la desidia intelectual de sus autores o reconocimiento implícito de su oportunismo profesional. Lo que se puede decir también de quienes pretenden justificar repeticiones injustificables, por coherencia con su propio estilo, lo que sitúa al autor en la cima inalcanzable de todo el proceso, relegando todos los demás condicionantes y renunciando a que brote de su obra el germen latente de la diversidad.

Pero, por otra parte, esta visión un tanto pesimista, que en todo caso hago explícita para que pueda ser debatida y rebatida, tiene como contrapunto el hecho de la propia génesis de este libro. Y no es, ni mucho menos casualidad, que dos jóvenes arquitectos, Pablo y Alfonso Olalquiaga, lo hayan llevado a buen puerto, utilizando como instrumento esencial para su composición, la informática. Pero, Pablo y Alfonso, han tenido y tienen un maestro cerca. Con Rafael, su padre, comparten un Estudio donde la regla, el cartabón, el compás, el papel cebolla, el lápiz y la goma de borrar conviven con ordenadores, teléfonos móviles e inmóviles, internet, webs, y todo tipo de modernidades. Y claro, Rafael, que durante tantos años compartió Estudio con Corrales y Molezún, ha contribuido a que en Pablo y Alfonso haya arraigado la pasión por la Arquitectura y por tanto, porque no puede ser de otra manera, su profundo interés por las obras de Ingeniería. Lo que ha contribuido a que la relación entre todos, y hemos sido numerosos quienes de una manera u otra hemos aportado ideas y hemos discutido contenidos del libro, haya resultado tan fluida, tan grata y tan eficiente.

Y tampoco es casualidad que el libro se cierre con un epílogo del Estudio Cano Lasso, en torno a uno de los dibujos y anotaciones de su padre, maestro y referente de arquitectos, Julio Cano Lasso, en relación con la cúpula del Panteón. Porque la admirable saga de los Cano, no desdeña las curvas. Ni muchísimo menos. Ni deja de utilizar el ordenador para hacer realidad sus sueños dibujados primero en su mente y luego pergeñados en papel antes de inocularlos controladamente en los entresijos del ordenador para favorecer su gestión.

A ellos, a Pablo y Alfonso, y a la saga de los Cano: Diego, Gonzalo, Alfonso y Lucía (como yo, del 3<sup>o</sup> de 3<sup>o</sup>), mi agradecimiento y mi testimonio de profundo afecto personal y de alta estima profesional. Como es el agradecimiento lo que me embarga al rememorar la colaboración de tantos que con sus textos, imágenes y trabajo de edición han hecho posible el puntual nacimiento de este libro al final de un rico itinerario jalonado de dudas, de incertidumbres, de alegrías y de emociones.

JAVIER RUI-WAMBA MARTIJA



CURVAS DE LAS MATEMÁTICAS

## CISOIDE DE DIOCLES

Atribuida a Dioclés que en el siglo VI a.c. la concibió para solucionar el problema de la duplicación del cubo, que junto con el de la cuadratura del círculo y el de la trisección de un ángulo, fueron los tres grandes problemas geométricos que reclamaron la atención de los sabios griegos. En el siglo XVII matemáticos renacentistas como Roberval y Slusse analizaron y profundizaron en la definición y conocimiento de la curva nacida 2000 años antes.

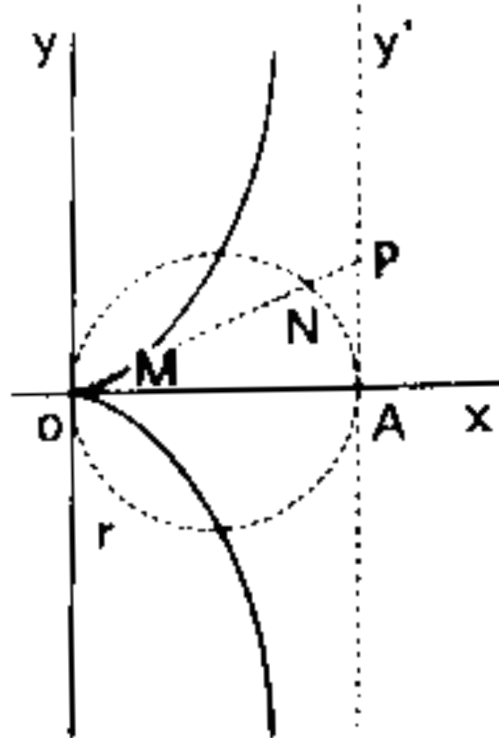


Peligrosísima víbora llevada desde Libia al serenísimo Caudillo de Etruria, junto con un ammodites: quien me regaló ambas y después me envió también dibujos de las dos.

Ammodites, que con su herida o mordedura atrae copiosamente sangre al desgarro, como Doscorides atestigua con estas palabras: desde la herida fluye abundante sangre, y cualquiera que fuere la parte del cuerpo de la mordedura, mana de ella con fuerza. Ulisse Aldrovandi (1522-1605), "Le code dei serpenti"

### PARTICULARIDADES

Simétrica respecto del eje horizontal. Asíntota vertical para  $x=a$ . Punto de retroceso para  $x=0$  con radio de curvatura nula. El área comprendida entre la cisoide y la asíntota es tres veces la del círculo generador. El volumen engendrado por la cisoide girando alrededor de su eje de simetría es infinito. Girando alrededor de la asíntota es el doble del volumen engendrado por el círculo generador girando alrededor del mismo eje. El centro de gravedad se sitúa en relación con la asíntota a  $1/5$  del diámetro del círculo generador.



COORDENADAS RECTANGULARES:

$$y^2 = \frac{x^3}{a-x}$$

COORDENADAS POLARES:

$$\rho = \frac{a \operatorname{sen}^2 \phi}{\cos \phi}$$

$a$  = diámetro del círculo generador

### CONSTRUCCIÓN

Si  $Ay'$  es la tangente en  $A$  al círculo de diámetro  $OA=a$ , tracemos un vector  $ONP$  que corte al círculo en  $N$  y  $Ay'$  en  $P$ . Al llevar  $OM=NP$ , el punto  $M$  describe una cisoide recta.

## CONCOIDE DE NICÓMEDES

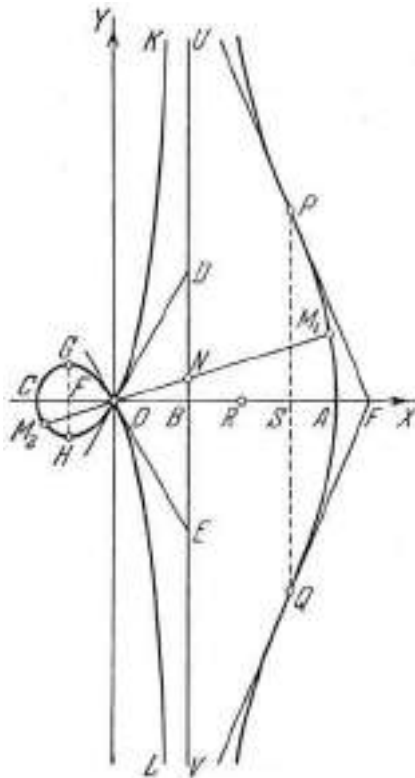
Nicómedes, unos ciento cincuenta años antes de nuestra era, resolvió el problema de la división de un ángulo dado en tres partes iguales. Para ello, Nicómedes, construyó un instrumento especial, basado en la concoide, denominación que proviene del griego "Konkhe", concha.

### PARTICULARIDADES

Cuando  $l/a > 1$ , la rama interior posee un bucle. Si  $l/a > 1$  el bucle se reduce al polo y se transforma en punto de retroceso.

Para  $l=2a$  el área del bucle es aproximadamente igual a  $0,65 a^2$ . El área comprendida entre la asíntota y una de las ramas de la concoide (interior o exterior) es infinita.

Si en lugar de una recta vertical para construir la concoide se utiliza una curva cualquiera L, se obtiene una concoide generalizada: concoide de la curva L con relación al polo O. El caracol de Pascal o cardioide es un ejemplo concreto.

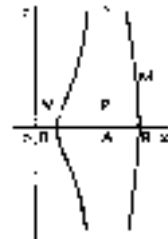


COORDENADAS RECTANGULARES:  $(x - a)^2(x^2 + y^2) = l^2 \cdot x^2$

COORDENADAS POLARES:  $\rho = \frac{a}{\cos \phi} + l$

#### CONSTRUCCIÓN

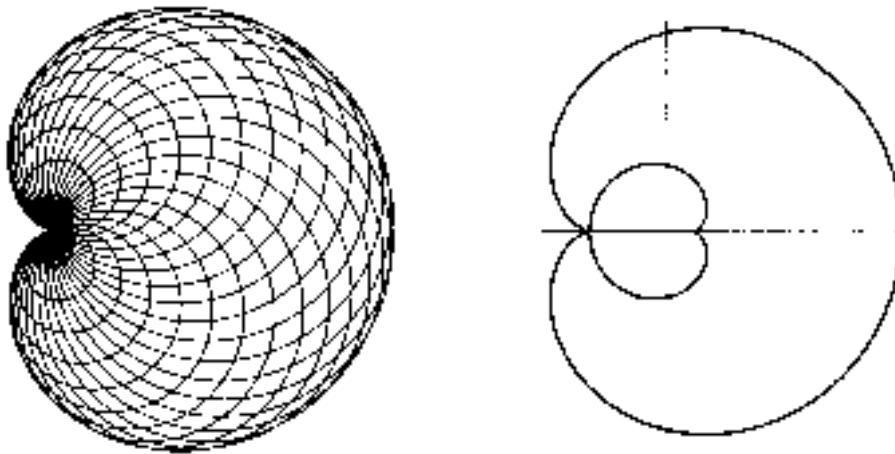
Esta curva, llamada también Conchoide recta, se obtiene al trazar una recta  $Ay'$  con  $OA=a$ , llevando después sobre cada radio vector  $OP$  dos longitudes constantes:  $PM = PM' = AB = AB' = l$ .





## CARDIOIDE O CARACOL DE PASCAL

La cardioide, curva y denominación dieciochesca, se conoce también como caracol de Pascal, en honor de Etienne Pascal, padre del gran sabio francés Blaise Pascal. Es una curva llena de propiedades geométricas.

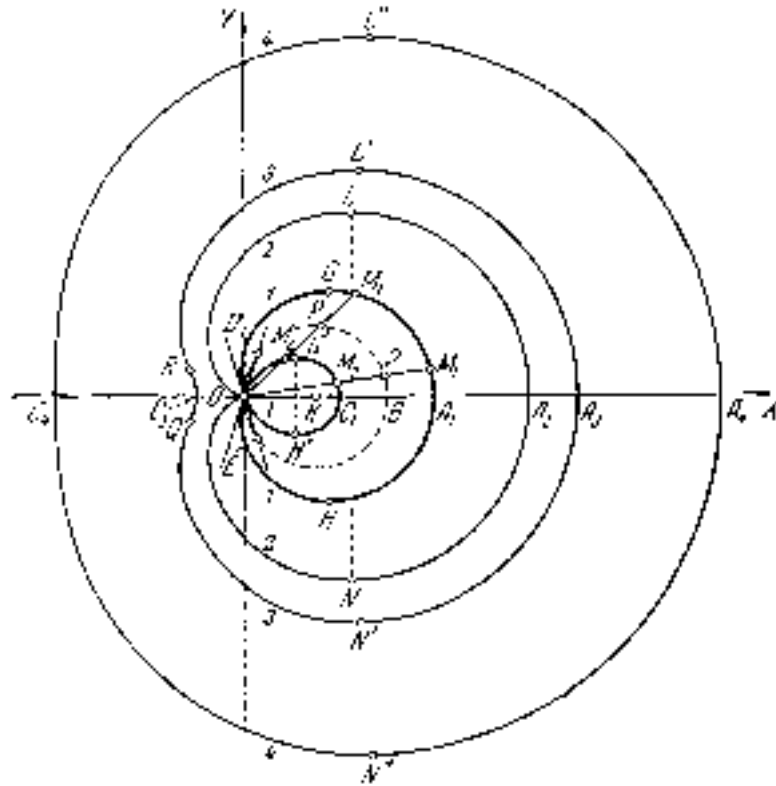


### PARTICULARIDADES

- Cuando  $l/a < 1$  la cardioide presenta un punto doble en 0 y forma dos bucles.
- Cuando  $l/a = 1$  el bucle interior se reduce a un punto de retroceso. Es a esta figura a la que se conoce específicamente con el nombre de cardioide, un caso particular del caracol de Pascal.
- Cuando  $1 < l/a < 2$  se trata de una curva cerrada sin punto de cruce.
- Cuando  $l/a = 2$  los puntos de inflexión desaparecen, la curvatura del punto C se anula y el caracol toma una forma oval.

El área de la cardioide es 6 veces el área del círculo generador.

La longitud del perímetro de la cardioide es 8 veces el diámetro del círculo fijo.



COORDENADAS RECTANGULARES:  $(x^2 + y^2 - ax)^2 = l^2(x^2 + y^2)$

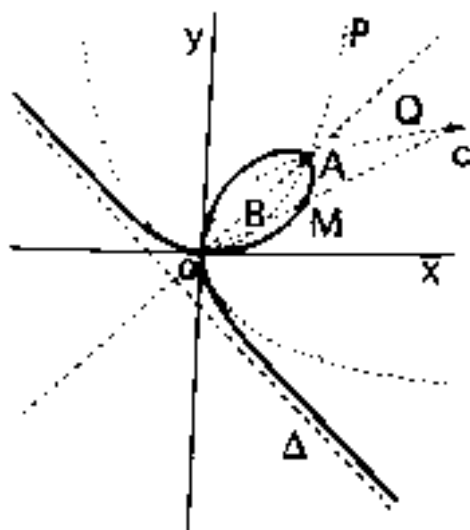
COORDENADAS POLARES:  $\rho = a \cos \phi + l$

#### CONSTRUCCIÓN

Existen diferentes maneras de construcción de la cardioide. Por ejemplo: a partir de un círculo de diámetro  $OB=a$ , un punto  $O$  del círculo y una longitud dada,  $l$ . Se traza desde  $O$  una recta inclinada que corta al círculo en un punto  $P$ , a partir del cual se determinan dos puntos  $M_1$  y  $M_2$  sobre la recta, tales que  $PM_1 = PM_2$ . El lugar geométrico de los puntos  $M_1$  y  $M_2$  es la cardioide.

## FOLIUM DE DESCARTES

Nació de una de las frecuentes disputas entre sabios, que en el siglo XVII gestaron la geometría analítica. Descartes, en 1638, la propuso para refutar el método planteado por Fermat para encontrar la tangente a una curva.



### PARTICULARIDADES

El radio de curvatura en el eje del bucle e

$$R_A = \frac{3a}{8\sqrt{2}} = \frac{l}{8}$$

En el cruce del bucle

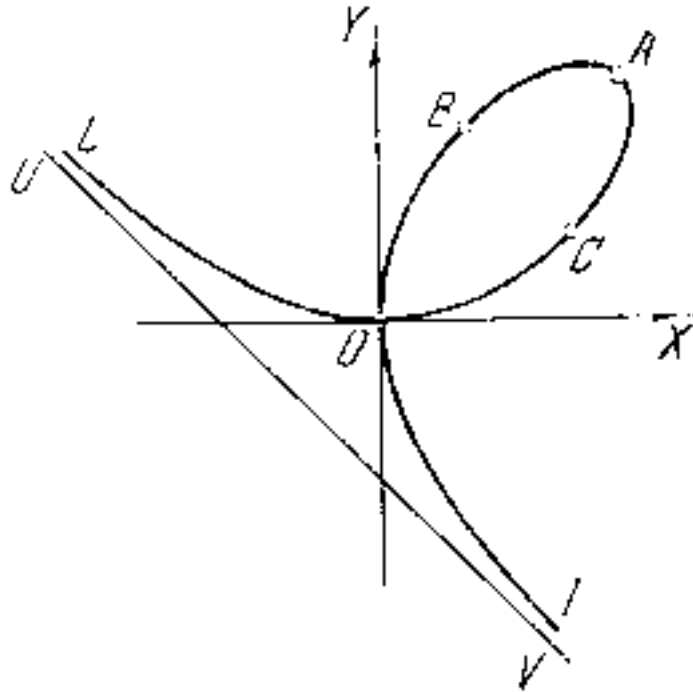
$$R_O = \frac{l}{\sqrt{2}}$$

El área del bucle y el área comprendida entre las ramas infinitas de la curva y su asíntota son iguales y valen

$$(l/3)^2$$

La amplitud máxima del bucle vale aproximadamente 0,448 l y la distancia DO es igual a

$$\frac{l\sqrt{3}}{3}$$



COORDENADAS RECTANGULARES:  $x^2 + y^2 = 3 a x y$

siendo  $3a$  la diagonal del cuadrado cuyo lado es igual a la cuerda  $OA$ , por tanto,  $OA = \frac{3a}{\sqrt{2}} = l$

COORDENADAS POLARES: 
$$\rho = \frac{3 a \cos \phi \operatorname{sen} \phi}{\cos^3 \phi + \operatorname{sen}^3 \phi}$$

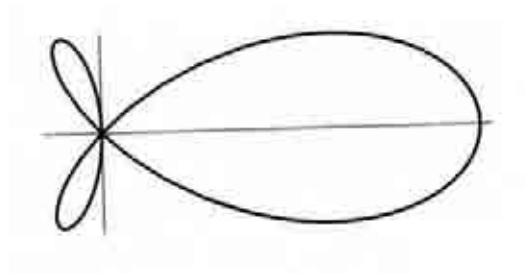
#### CONSTRUCCIÓN

Consideremos un punto  $A$  de coordenadas  $(a, a)$  y las dos parábolas  $P$  y  $Q$  de vértice  $O$  que pasando por este punto tienen el origen como vértice y respectivamente  $Ox$  y  $Oy$  como ejes de simetría. Tracemos un vector cualquiera que se cruce con las dos parábolas en los puntos  $B$  y  $C$ . La combinación armónica  $M$  de  $O$  en relación a  $B$  y  $C$  describe un Folium de Descartes.

## ESTROFOIDE

Estudiada por Roberval, hacia 1645, se la denominó inicialmente pteroide (el griego “pteron”, que significa ala) antes de ser rebautizada, hacia 1849, estrofoide, que deriva también de la palabra griega “strophe” (acción de retornar\*).

\* “Strophos”, cinta que forma un anillo apto para portar una espada.

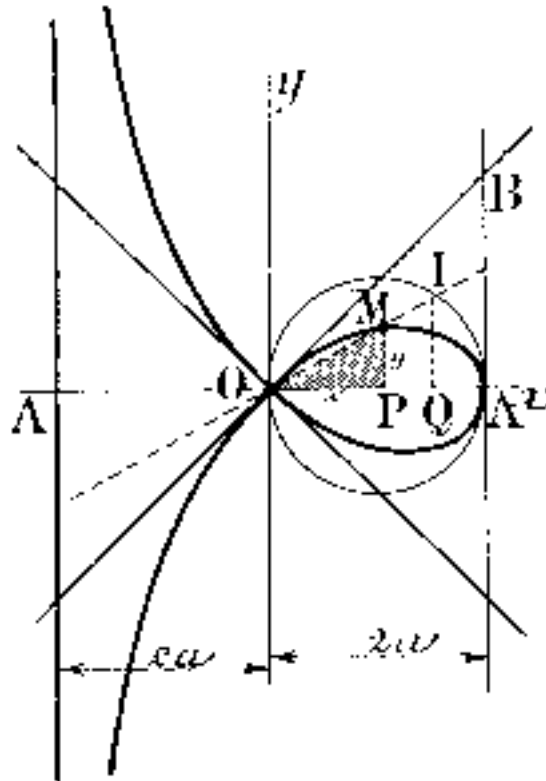


### PARTICULARIDADES

Las tangentes en las dos ramas de la curva en O son ortogonales.

El volumen encerrado por el bucle girado alrededor del eje OX es aproximadamente  $\frac{a^3}{6}$ .

El matemático inglés T.J. Freeth, en el siglo XIX, propuso una estrofoide evolucionada que facilitaba la construcción de polígonos regulares de 7, 9 y 11 lados. Su ecuación en coordenadas polares es  $\rho = 4 a \cos 2t \operatorname{sen} 2t$ . Entre la familia de curvas que resulta se encuentra la estrofoide de tres pétalos.



COORDENADAS RECTANGULARES:  $y = \pm \sqrt{\frac{a+x}{a-x}}$

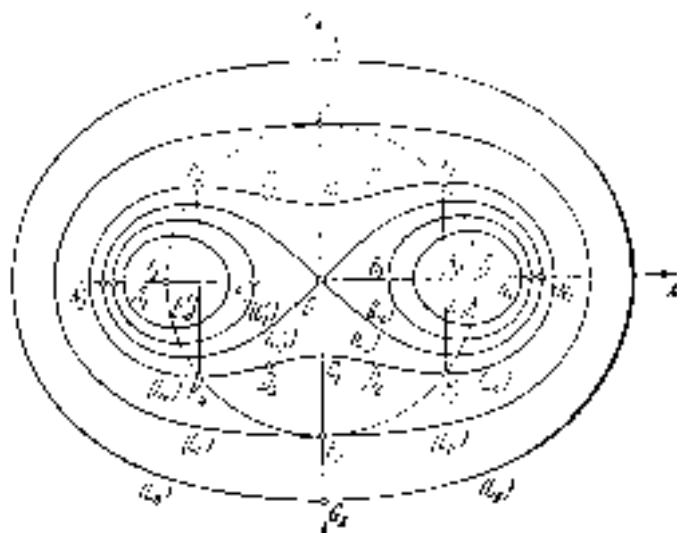
COORDENADAS POLARES:  $\rho = -\frac{a \cos 2\phi}{\cos \phi}$

#### CONSTRUCCIÓN

Dada una circunferencia de radio  $a$  se toman como ejes su diámetro y la tangente a la circunferencia en el extremo  $O$  de ese diámetro  $OA$ ; por el punto  $O$  se trazan rectas  $OB$  que cortan a la circunferencia en puntos  $I$ ; llevamos  $IM=IB$ ; el lugar del punto  $M$ , siendo  $B$  el punto en que  $OB$  corta a la tangente por el punto  $A$  define esta curva.

## ÓVALOS DE CASSINI

Se trata del lugar geométrico de puntos  $M$ , tales que el producto de la distancia a dos puntos fijos  $F_1$  y  $F_2$  tenga un valor constante,  $a^2$  ( $MF_1 \cdot MF_2 = a^2$ )

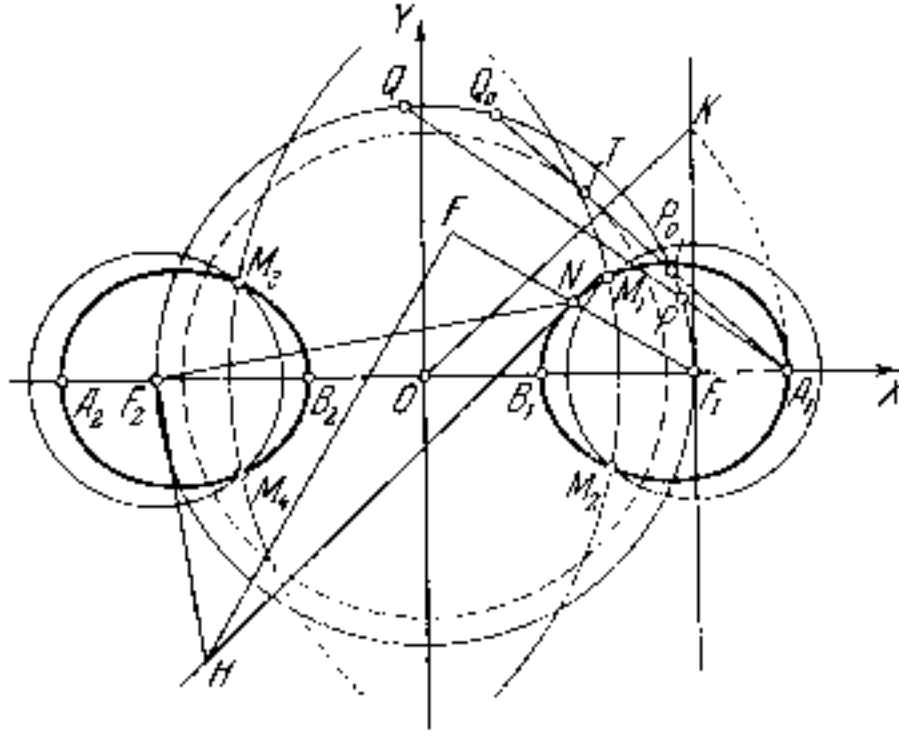


### PARTICULARIDADES

Cuando  $a < c$  la curva se convierte en dos óvalos separados.

Para  $c < a < a\sqrt{2}$ , la curva posee cuatro puntos de inflexión simétricos.

Si  $a \geq c\sqrt{2}$ , las curvas son óvalos.



COORDENADAS RECTANGULARES:  $(x^2 + y^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2) = a^4 - c^4$

COORDENADAS POLARES:  $\rho^2 = c^2 \cos 2\phi \pm \sqrt{a^4 - c^4 \sin 2\phi}$

#### CONSTRUCCIÓN

Para dibujarla representamos el círculo con diámetro  $F_1 F_2 = 2c$  y centro en  $O$ . En la tangente a  $F_1$  tomamos el segmento  $F_1 k = a$  que será el radio de otro círculo de centro también en  $O$  que corta al eje en abscisas en  $A_1$  y  $A_2$ . Si  $a > c$ , tracemos desde  $A_1$  ( $O A_2$ ) una secante arbitraria que defina los puntos de intersección con el círculo de radio  $c$ . Con centro en  $F_1$  tracemos una circunferencia de radio  $A_1 P$  y desde  $F_2$  otro de radio  $A_1 Q$ . Sus puntos de intersección  $M_1$  y  $M_2$  pertenecen al óvalo de Cassini. La construcción es diferente cuando  $a < c$ .



## LEMNISCATA DE BERNOULLI

Su nombre proviene del griego "Lèmniskos", que significa cinta. "Lemniscus" en latín, que en la antigua Roma designaba un lazo que colgaba de la corona triunfal en señal de honor. Tiene forma de ocho tumbado.

En 1694, Jacques Bernouilli utilizó esta curva en un trabajo sobre la teoría de las mareas.

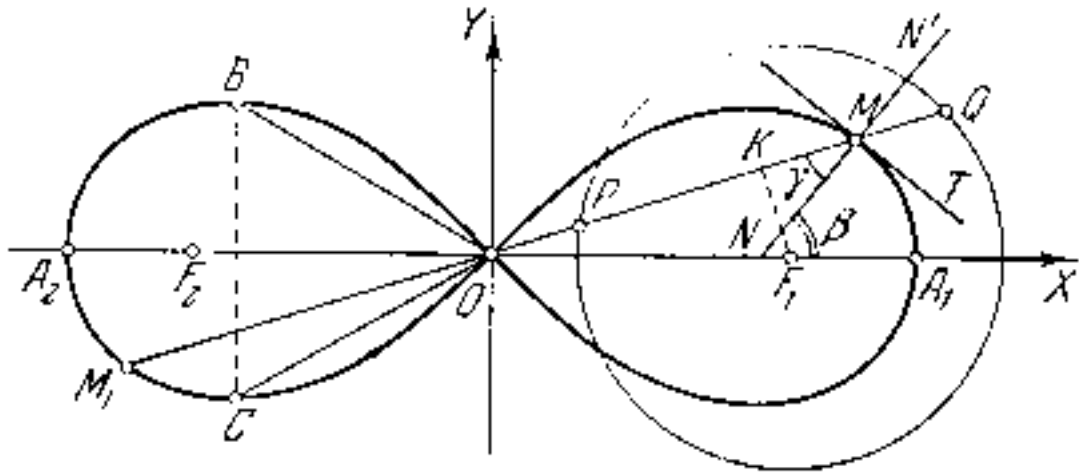
La lemniscata es una forma particular de los óvalos de Cassini y se puede definir como el lugar geométrico de puntos  $M$ , tales que el producto de sus distancias a dos puntos fijos, llamados focos, sea igual al cuadrado de la semidistancia entre los dos focos. Tomando  $F_1 F_2 = 2c$ , en el eje de la lemniscata, se tiene  $MF_1 \cdot MF_2 = c^2$ .

### PARTICULARIDADES

En el punto  $O$ , en el que intersectan las dos ramas de la curva, se sitúa el punto de inflexión. Los ángulos de la tangente en este punto con el eje horizontal valen  $\pm \pi/4$ . Los puntos  $A_1$  y  $A_2$ , los más alejados, están a una distancia  $c\sqrt{2}$  del punto  $O$ .

Si se traza una perpendicular a la tangente en  $M$  se forma un triángulo  $OMN$  con ángulos interiores en  $O$  de valor  $\phi$ , en  $M$  de valor  $2\phi$  y ángulo externo en  $N$  de valor  $3\phi$ .

El área de cada bucle de la lemniscata es igual a  $c^2$



COORDENADAS RECTANGULARES:  $(x^2 + y^2)^2 = 2c^2(x^2 - y^2)$

COORDENADAS POLARES:  $\rho^2 = 2c^2 \cos 2\phi$

#### CONSTRUCCIÓN

Se puede utilizar el método general de los óvalos de Cassini, pero existe otro procedimiento más sencillo: se dibuja una circunferencia de radio  $c/\sqrt{2}$  y centro en  $F_1$  ( $o F_2$ ). Tracemos una secante arbitraria que pase por  $O$  y corte a la circunferencia en  $P$  y  $Q$ . Definamos sobre dicha secante los puntos  $M$  y  $M_1$ , alejados de  $O$  la distancia de la cuerda  $PQ$  y que se encuentran en el trazado de la lemniscata.

## ESPIRAL DE ARQUÍMEDES

Arquímedes (-287, -212), extraordinario innovador en el arte militar fue, sobre todo, un genio de la matemática. A él se debe la primera espiral, estudiada probablemente porque ayudaba a resolver los tres famosos problemas clásicos de la Antigüedad.

La espiral que lleva su nombre es el lugar recorrido por un punto  $M$  que recorre con velocidad constante un radio vector  $OM$  que gira alrededor del punto  $O$  con una velocidad angular también constante. Lo que equivale a establecer la proporcionalidad entre la longitud del radio vector y el ángulo por él girado.

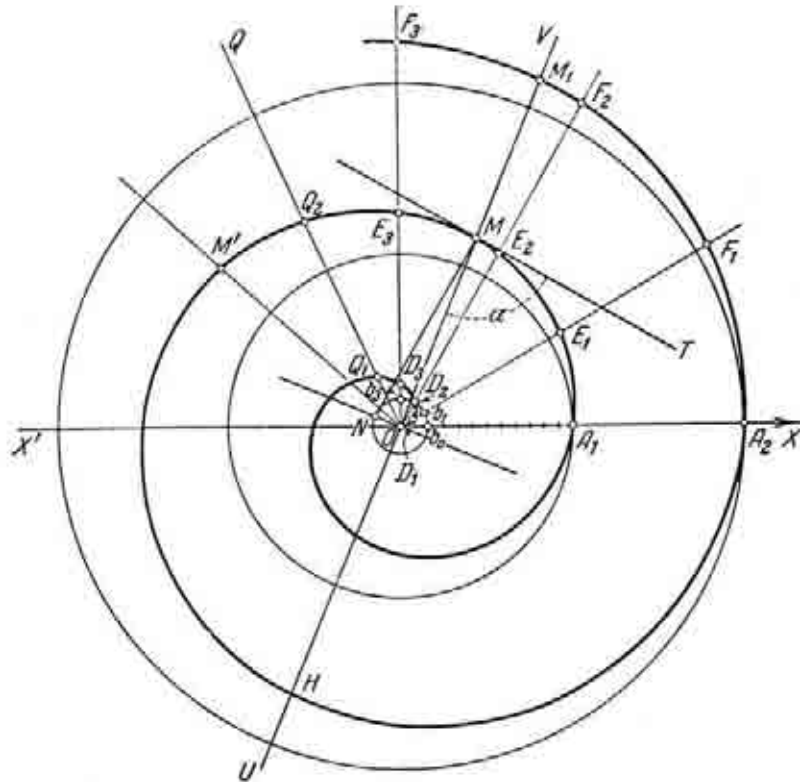
### PARTICULARIDADES

Cuando el ángulo de giro tiende a infinito la espiral se asemeja más y más a una circunferencia.

El área de la primera espira (desde  $\rho = 0$  a  $\rho = 2\pi k$ ) vale  $S_1 = 1/3 \pi \rho^2$ .

El área de la segunda (entre  $\rho = 2\pi k$  y  $\rho = 4\pi k$ ) vale  $7/3 \pi \rho^2$  y el de la espira  $n$ :  $\frac{n^3 - (n-1)^2}{3} \cdot \pi \cdot \rho^2$

El radio de curvatura en el origen es  $R_o = \frac{k}{2}$ .



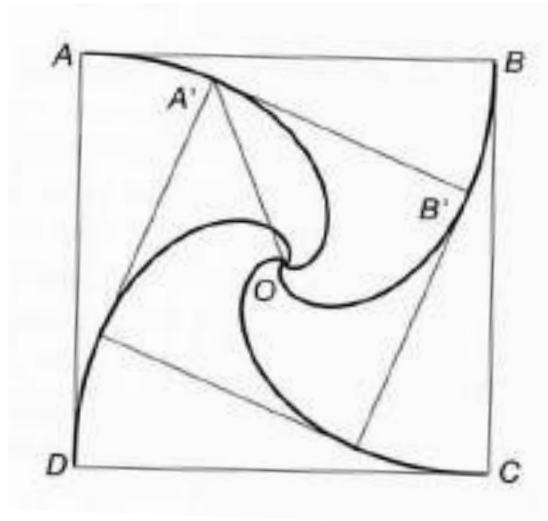
COORDENADAS POLARES:  $\rho = k\phi$

#### CONSTRUCCIÓN

Dibujemos una circunferencia de radio  $ON=k$ . Dividámosla en  $n$  arcos. Tomemos el segmento  $OA_1 = 2\pi k$  ( $k$ , peso de la espiral) en el eje de abscisas. Sobre las diferentes líneas  $OD_1 \dots OD_n$  llevamos los segmentos  $OA_1/n, 2OA_1/n \dots$  hasta  $nOA_1/n$ . Obtenemos los puntos  $D_1, D_2, \dots, D_n$  de la primera espira de la curva. Prolongando los segmentos a partir de dichos puntos una distancia igual al peso  $OA_1 = 2\pi k$  obtendremos los puntos de la espira siguiente y así sucesivamente.

## ESPIRAL DE LOGARÍTMICA

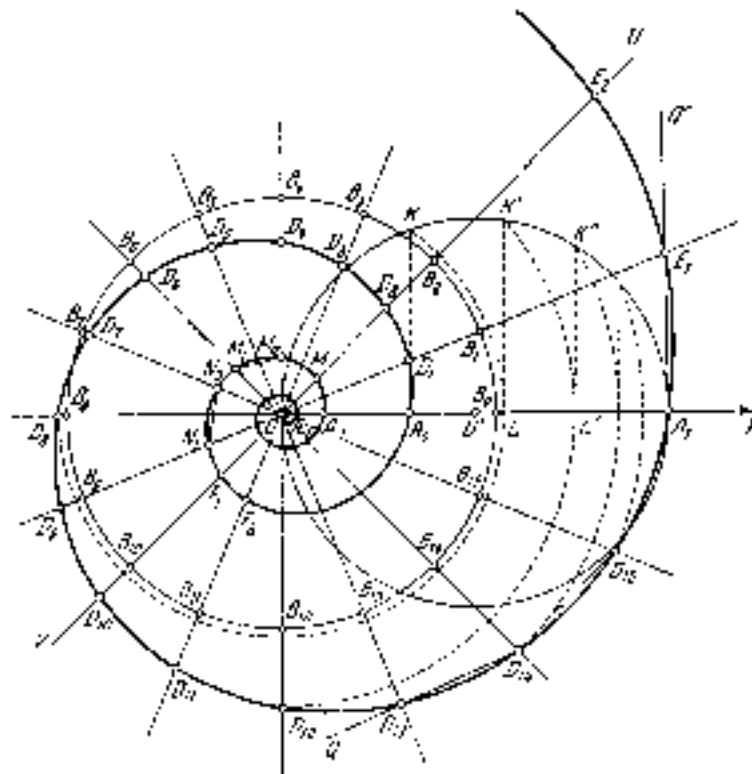
En la lápida de su sepultura, en el camposanto de Basilea, Jacques Bernouilli ordenó grabar la figura de su adorada “spira mirabilis” y al pie de ella la inscripción “Eadem numero mutete resurgo” (transformando las dimensiones, renazco siempre igual). La evoluta de la espiral logarítmica se mantiene. Una de las notables propiedades de una curva de la que ya existían indicios en los “Elementos” de Euclides, que atrajo también la atención de Descartes y Torricelli, cincuenta años antes que se despertase la admiración de Bernouilli por ella, al descubrir nuevas propiedades que antes habían estado ocultas.



### PARTICULARIDADES

Propiedad cinemática descubierta por Centalè en 1856: si el arco de la espiral logarítmica rueda, sin deslizar, sobre una recta, el centro de curvatura correspondiente al punto de contacto se desplaza siguiendo una recta que forma un ángulo  $\pi/2 - \phi$  con la recta de desplazamiento.

La espiral logarítmica coincide con el camino seguido por cada uno de cuatro perros (A,B,C yD) que parten de los vértices de un cuadrado y que, a la misma velocidad, pretenden alcanzar al perro situado a su derecha. Lo que consiguen simultáneamente en el centro del cuadrado.



COORDENADAS POLARES:  $\rho = a^w$

CONSTRUCCIÓN

Si un punto  $M$  se desplaza sobre una recta que gira a velocidad uniforme alejándose de  $O_1$ , eje de rotación, con una velocidad proporcional a su distancia al eje, el punto  $M$  describe una espiral logarítmica. Para cada ángulo de rotación, cualquiera que sea su valor, corresponden dos vectores cuya relación se mantiene constante. El índice de crecimiento,  $q$ , de la espiral logarítmica, se define como la relación de los vectores inicial y final en un giro vectorial de  $360^\circ$ :  $A q=1$  le corresponde una circunferencia.

## CICLOIDES

Es a Galileo a quien se debe la denominación de esta curva que él mismo descubrió hacia 1590, al tratar de comprender la trayectoria de un punto de un círculo rodando, sin deslizar, a lo largo de una recta. Su alumno Torricelli se ocupó, también, del estudio matemático de la cicloide. Roberval, antes que ellos, determinó el área encerrada por la curva.

Pero fue Pascal quien realizó el estudio exhaustivo de sus propiedades y las dio a conocer en 1659 ("Historia de la cicloide"). A partir de entonces sabios como Huygens, Newton, los hermanos Bernouilli y Leibnitz estudiaron las aplicaciones mecánicas de la cicloide.

### TANTOCRONISMO

Un punto material que se desplaza por la acción de la gravedad siguiendo un arco de cicloide ordinaria con la concavidad hacia arriba alcanza su posición inferior en un tiempo:

$$t = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$$



siendo  $r$  el radio del círculo generador. El tiempo no depende de la posición inicial del punto. El período de oscilación,  $T$ , de un péndulo cicloide vale  $4t$ .

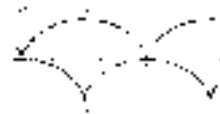
Una bola que se desliza por la pared de un recipiente con sección de cicloide tarda en llegar al fondo del recipiente un tiempo que es fijo e independiente de la posición inicial de la bola.

Huygens describió estas propiedades, que han tenido aplicaciones generalizadas en relojería.

### PARTICULARIDADES

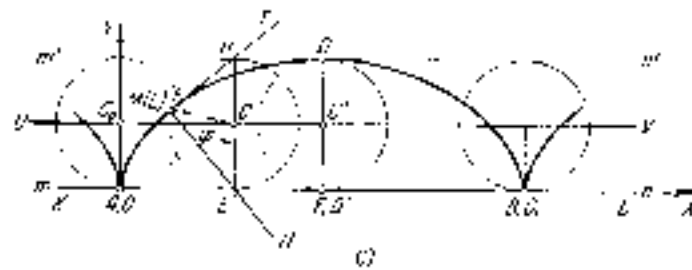
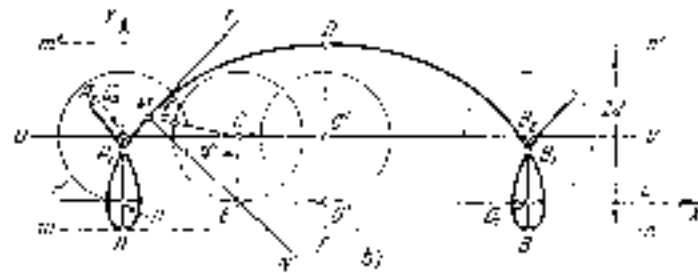
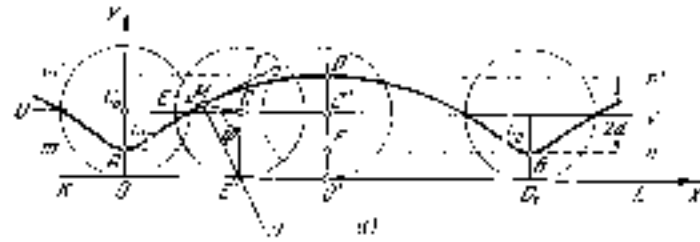
La normal a la tangente en cualquier punto  $Q$  pasa por el punto de contacto entre el círculo generador y la directriz.

La evolvente de la cicloide es una cicloide desplazada como se indica en la figura.



La longitud del arco de la cicloide ordinaria es igual a 4 veces el diámetro del círculo generador.

La superficie encerrada entre un bucle de la cicloide ordinaria y la directriz es tres veces el área del círculo generador.



COORDENADAS PARAMÉTRICAS:  $x = R(\phi - \lambda \operatorname{sen} \phi)$

$\lambda = 1$  ; cicloide ordinaria

$y = R(\phi - \lambda \operatorname{cos} \phi)$

$\lambda < 1$  ; cicloide recortada

$\lambda > 1$  ; cicloide alargada

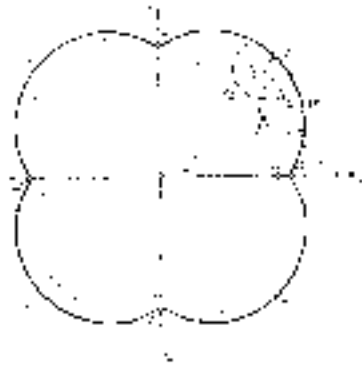
#### CONSTRUCCIÓN

Corresponde a la curva descrita por un punto relacionado con un círculo móvil (círculo generador) que se desplaza por rotación sobre una recta llamada directriz. Si el punto pertenece al círculo, la curva resultante es la "cicloide ordinaria". Si se trata de un punto interior al círculo pero unido por él, la curva descrita es la "cicloide recortada" y si es exterior a él, la "cicloide alargada".



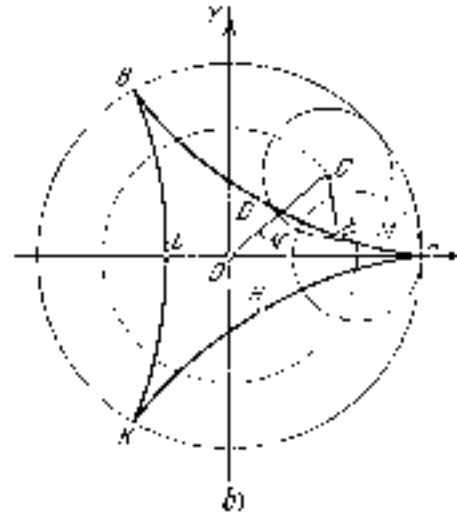
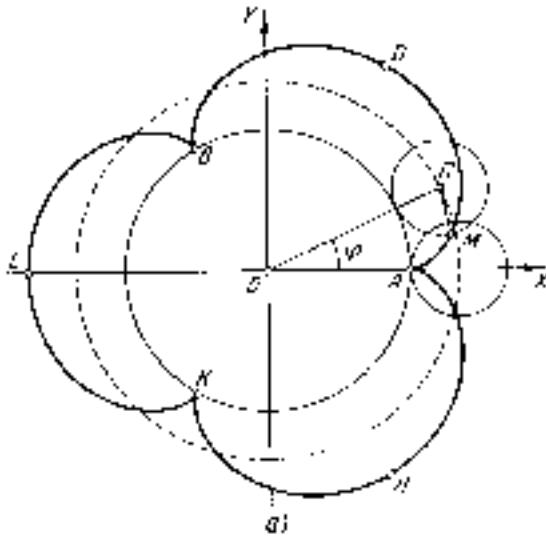
## EPICICLOIDES E HIPOCICLOIDES

Los astrónomos griegos conocían la epicicloide a la que identificaban con los movimientos retrógrados observados en el desplazamiento de los planetas. En 1543, Copérnico en su famoso libro “De las revoluciones de las órbitas celestes” se refirió también a estas curvas. Dürero, que aplicó con frecuencia los métodos geométricos en la creación de sus dibujos y pinturas, realizó estudios de matemáticas sobre las epicicloides y las hipocicloides. Newton en sus “Principios matemáticos de la filosofía natural” recogió y amplió los estudios de Huygens sobre este tipo de curvas que también despertaron la atención de Leibnitz, Euler y Daniel Bernouilli.



### PARTICULARIDADES

Las epicicloides se denominan “recortadas” cuando el punto  $M$  es interior al círculo generador y “alargadas” cuando es exterior.



ECUACIÓN DE LA EPICICLOIDE  
COORDENADAS PARAMÉTRICAS:

$$\left. \begin{aligned} x &= (R+r) \cos \varphi - d \cos \frac{R+r}{r} \varphi \\ y &= (R+r) \operatorname{sen} \varphi - d \operatorname{sen} \frac{R+r}{r} \varphi \end{aligned} \right\}$$

CONSTRUCCIÓN

Si se hace rodar un círculo de radio  $r$  sobre otro de radio  $R$ , un punto  $M$  del círculo exterior describe una epicycloide. Si el círculo de radio  $r$  rueda por el interior la curva descrita es una hipocicloide.

ECUACIÓN DE LA HIPOCICLOIDE  
Para la hipocicloide basta sustituir  $+r$  por  $-r$ .

## CATENARIA

Es la geometría que toma un hilo homogéneo e inextensible suspendido de dos puntos debido a su propio peso. Galileo no acertó cuando consideró que la solución a este problema clásico tenía forma de parábola. Hacia el año 1690, Leibnitz, Huygens y Jean Bernouilli establecieron la correcta formulación de esta curva.

### PARTICULARIDADES

La catenaria (denominación que proviene de “cadena”) tiene por evolución otra curva célebre, la tractriz, que es a su vez, envolvente de la catenaria.

La sección transversal de las velas infladas por el viento es igualmente una catenaria, porque la fuerza horizontal que el viento ejerce sobre la vela es análoga a la acción de la fuerza de la gravedad sobre la cadena. En este caso, la curva también se denomina velaría.

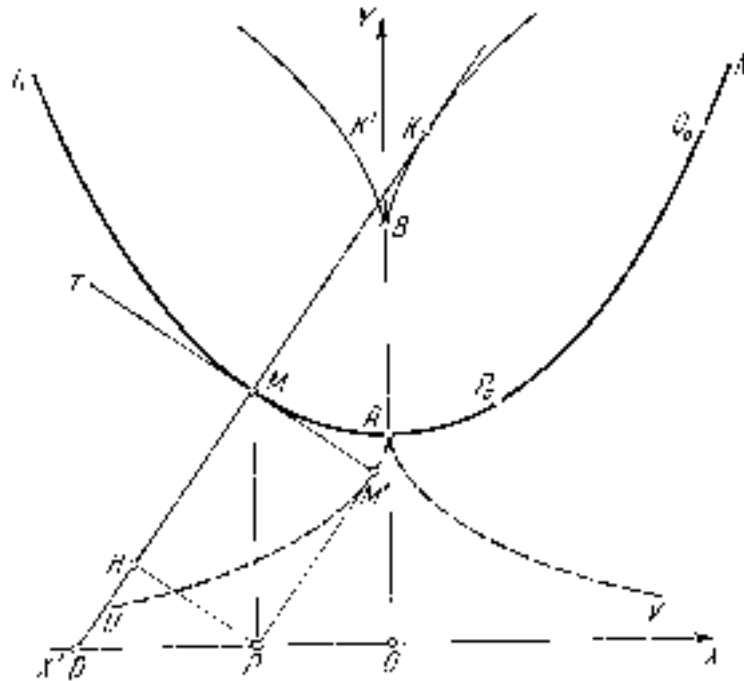
Si hacemos rodar una parábola a lo largo de una recta, el foco de la parábola describe una catenaria. Cerca del vertice, la parábola y la catenaria son casi coincidentes.

La longitud de un arco de la catenaria medida a partir de su cima ( $x=0$ ) vale:  $s=aShx/a$

La relación de la longitud del arco,  $s$ , y su ordenada  $y$ , es:  $s^2+a^2=y^2$

El área del rectángulo mixtilíneo entre la curva, el eje de abscisas, el eje de ordenadas y la vertical al punto de la curva considerado, tiene por valor  $S \cdot a$ .

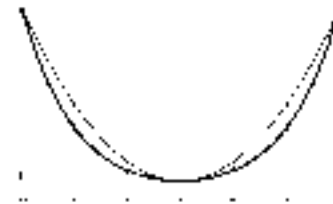
La catenaria es el antifunicular de cargas de un arco de sección constante, que no estará sometido sino a esfuerzos de compresión cuando adapte esta geometría.



COORDENADAS RECTANGULARES:  $y = a \frac{e^{x/a} + e^{-x/a}}{2} = a Cb \frac{x}{a}$

siendo  $a$  la distancia al vértice de la curva desde el origen de ordenadas.

La catenaria y la parábola son diferentes si están formadas por materiales pesados: en la catenaria la distribución del peso de la cadena es uniforme para cada longitud de arco; en los puntos suspendidos, sin embargo, donde de la cadena cuelgan los tirantes que sujetan el plano de un puente, la distribución del peso es uniforme por unidad horizontal de longitud y la curva descrita es una parábola. En los grandes puentes colgantes, donde el peso de las cadenas es del mismo orden de dimensión del plano de la carretera, la curva resultante está entre una parábola y una catenaria. En la figura se muestra la curva catenaria, descrita por una cadena suspendida, superpuesta a la parábola resultante cuando a la cadena se cuelgan los tirantes que sostienen el plano horizontal del puente.



## CLOTOIDE

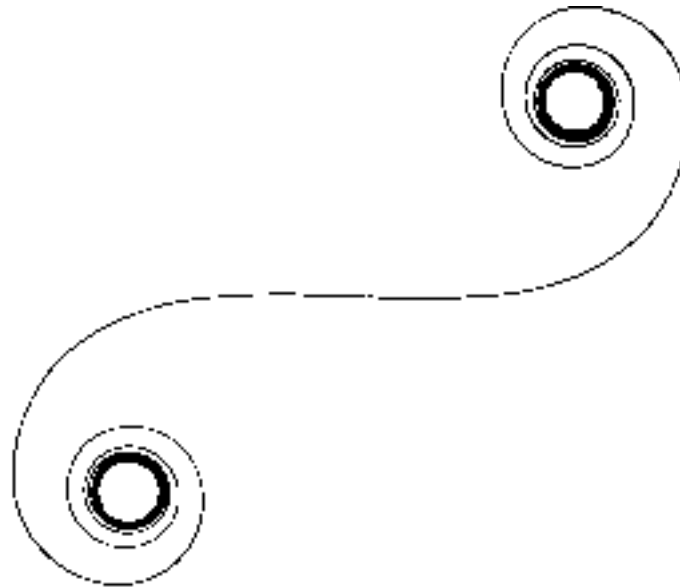
Cloto era el nombre de una de las tres Parcas de la mitología griega que hilaban el destino de los hombres: eran las encargadas de que los designios del dios Destino se cumplieran fielmente. Cloto, la más joven de las tres, distribuía los hilos adecuados al destino de cada persona. Los de oro y plata predeterminaban uno feliz. La lana y el cáñamo euguraban desgracia e infidelidad. Laquesis, la mediana, se ocupaba de enredar los hilos y, la mayor, Átropos, armada de tijeras, podía cortar los hilos de la vida y, por ello, es considerada la Parca por antonomasia.

Alfred Cornu (1841-1902) físico francés interesado en la óptica, planteó la formulación definitiva de la curva a la que bautizó con la denominación que ha perdurado. Fue también conocida como espiral de Cornu, espiral de Euler o espiral de Fresnel.



## PARTICULARIDADES

La clotoide es la reina de las curvas en el trazado de carreteras. Se caracteriza porque la variación de su radio de curvatura es constante y, por tanto, es geometría muy adecuada para hacer la transición entre dos curvas circulares, o entre una curva circular y otra de radio infinito: la línea recta. Su utilización favorece la conducción de un coche, que está sometido a una fuerza centrífuga inversamente proporcional al radio de curvatura, que variará gradualmente con una acertada definición de la clotoide como curva de transición.



COORDENADAS PARAMÉTRICAS:

$$x = \int_0^t \cos \frac{\pi}{2} t^2 dt$$

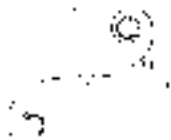
$$y = \int_0^t \sin \frac{\pi}{2} t^2 dt$$

conocidas como integrales de Fresnel y para su solución numérica se utilizan los desarrollos en serie.

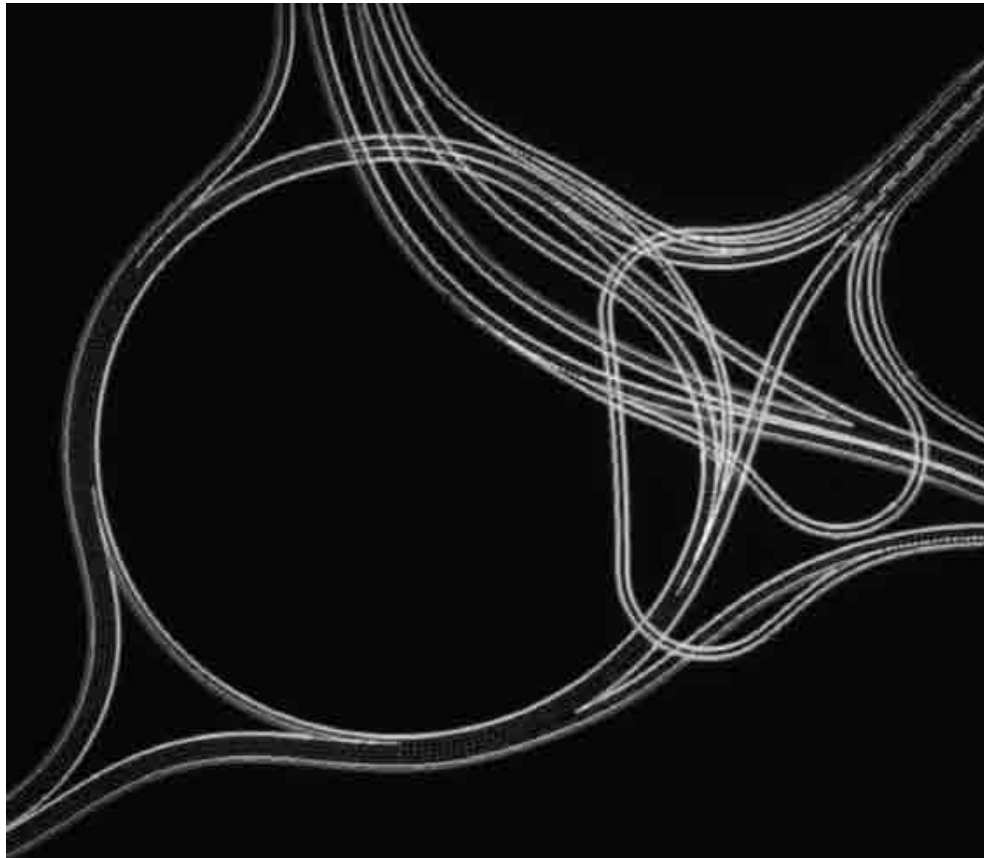
COORDENADAS POLARES:

$$s \cdot \rho = A^2$$

donde  $s$  es la longitud del arco y  $\rho$  el radio de curvatura del punto definido por  $s$ .  $A$  es el parámetro de la clotoide.



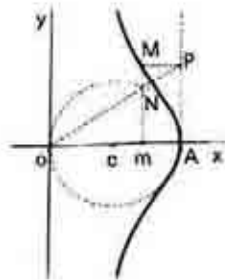
Las dos espirales simétricas respecto al origen tienen hacia dos puntos asintóticos de coordenadas,  $+1/2, +1/2$



Los trazados de carretera, con adecuados peraltes y clotoides, mantienen la variación de la aceleración transversal, por debajo de los  $0,5 \text{ m/s}^2$ , para velocidades de circulación superiores a 80 Km/hora. Existen otros condicionantes que suelen establecerse en las "Normas de trazado", que aseguran una conducción segura y confortable. La carretera, bien trazada, debe guiar al coche con muy escaso esfuerzo, físico o intelectual, del conductor, para quien la clotoide, sin él muchas veces saberlo, forma parte de su vida porque probablemente se la haya salvado en alguna ocasión.

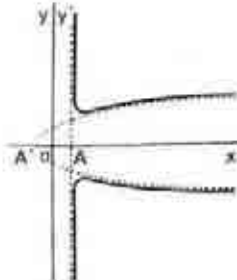
Enlace de la Trinidad. Barcelona

## OTRAS CURVAS CARTESIANAS



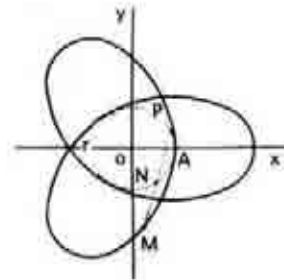
AGNESIANA (VERSIERA DE AGNESI)

$$x \cdot y^2 = a^2(a - x)$$



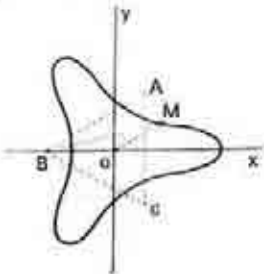
CÚBICA MIXTA

$$y^2 \cdot x = a(y^2 + 2x^2)$$



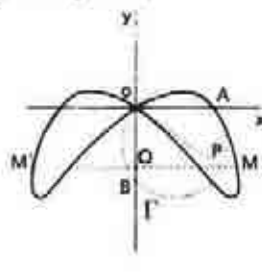
TRIFOLIO REGULAR

$$4a^2x^3 + y^3 - 6axy^2 - 2y^3 - 27a^2(xy^2 + y^3) + 27a^3 = 0$$



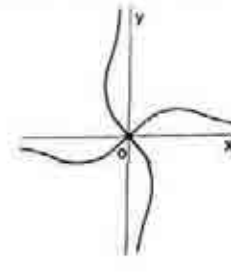
CUÁNTICA DE LOBACHA

$$(ax^2 + by^2)^2 - 2axy(ax^2 - by^2) + a^2(ax^2 + by^2) - a^3 = 0$$



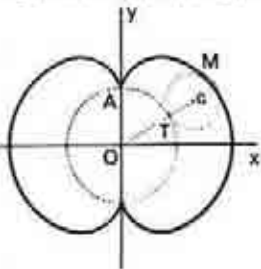
BESACE (LEMNISCATA DE GERONO)

$$(x^2 + by^2)^2 = a^2(x^2 - y^2)$$



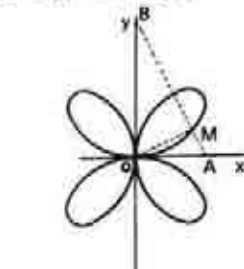
CUÁNTICA REGULAR

$$2xy(x^2 + y^2) = a^2(x^2 - y^2)$$



NEFROIDE O EROIDOIDE CON DOS BUCLES

$$(x^2 + y^2 - 4a^2)^2 = 108a^2xy^2$$

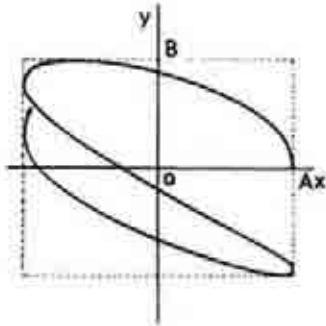


ROSA DE DE CUATRO PÉTALOE

$$(x^2 + y^2)^2 = 4a^2xy^2$$

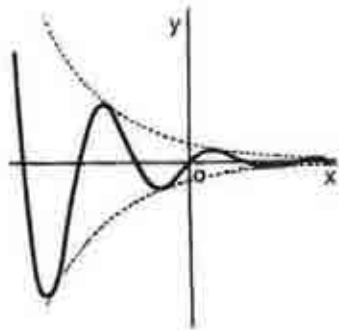


## CURVAS SENOIDALES



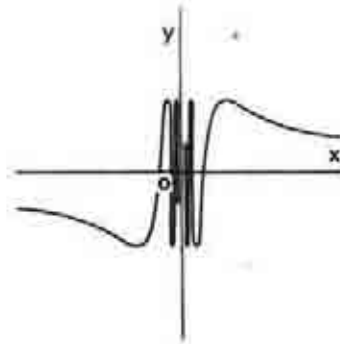
CURVA DE LISSAJOUS

$$x = a \sin mt \quad y = b \sin nt$$



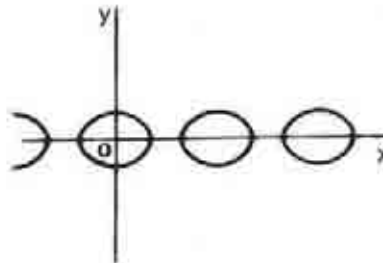
SINUSOIDE AMORTIGUADA

$$y = e^{-\lambda t} \sin \omega t$$



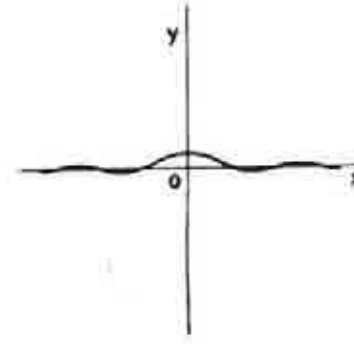
CURVA

$$y = \tan \frac{t}{\infty}$$



CURVA

$$|\operatorname{Im}(x + iy)| = C e^{t}$$



CURVA

$$y = \frac{\operatorname{Im} x}{\infty}$$

## CURVAS POLARES



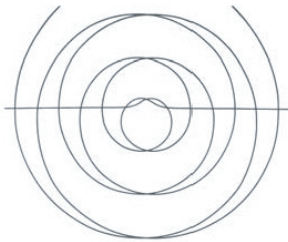
ESPIRAL HIPERBÓLICA. (BERNOULLI, 1710)

$$\rho = \frac{1}{\theta}$$



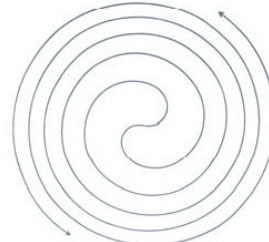
ESPIRAL DE GALILEO (FERMAT, 1636)

$$\rho = a(r - \lambda\theta^2)$$



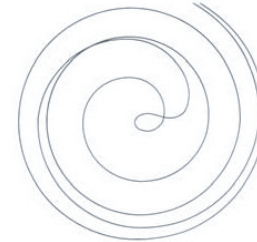
CURVA

$$\rho = \theta + \frac{1}{\theta}$$



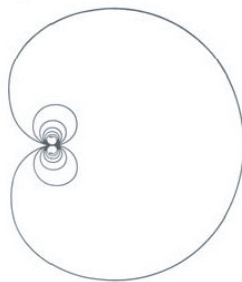
ESPIRAL DE FERMAT

$$\rho = \pm a \sqrt{\theta}$$



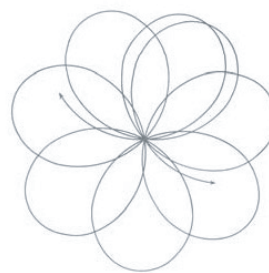
ESPIRAL PARABÓLICA (BERNOULLI, 1691)

$$\rho = a \pm \sqrt{2pa\theta}$$



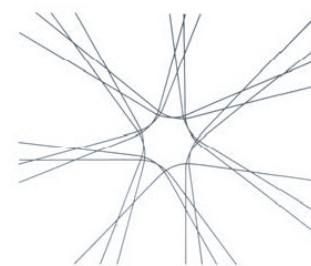
COCLOIDE (1884)

$$\rho = a \frac{\sin 2\theta}{\theta}$$



ROSACEA... (1723)

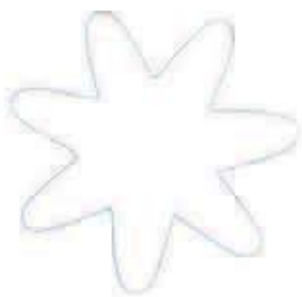
$$\rho = a \sin m\theta$$



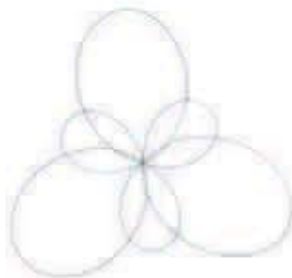
ÉPI (AUBRY, 1895)

$$\rho = \frac{a}{\sin m\theta}$$

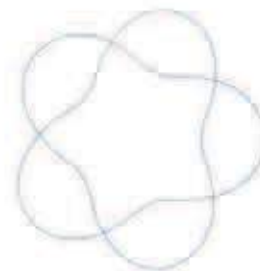
**CURVAS DE M.R.E. MORITZ** ( $\rho = \cos k + c$ )



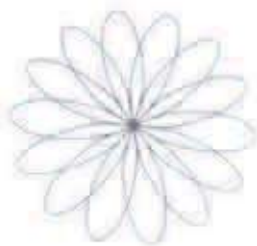
$$\rho = \cos 7\theta + \frac{1}{2}$$



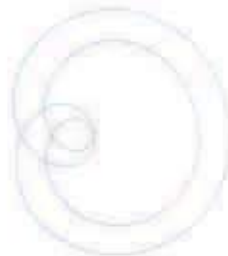
$$\rho = \cos \frac{3}{2}\theta + \frac{1}{4}$$



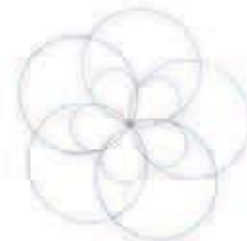
$$\rho = \cos \frac{5}{2}\theta + \frac{1}{3}$$



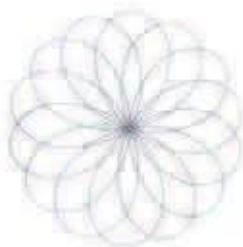
$$\rho = \cos \frac{7}{2}\theta$$



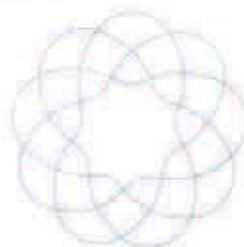
$$\rho = \cos \frac{6}{3}\theta + \frac{1}{2}$$



$$\rho = \cos \frac{5}{4}\theta + \frac{1}{3}$$



$$\rho = \cos \frac{7}{4}\theta$$

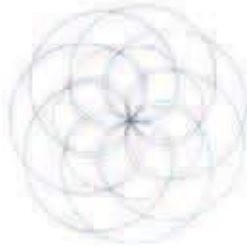


$$\rho = \cos \frac{9}{4}\theta + \frac{1}{3}$$

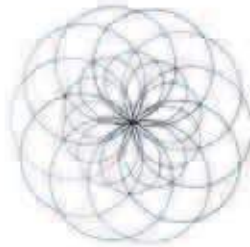


$$\rho = \cos \frac{5}{8}\theta + \frac{2}{3}$$

CURVAS DE M.R.E. MORITZ ( $\rho = \cos k + c$ )



$$\rho = \cos \frac{7}{9} \theta + \frac{3}{14}$$



$$\rho = \cos \frac{10}{9} \theta + \frac{1}{4}$$



$$\rho = \cos \frac{\theta}{10} + \frac{1}{5}$$



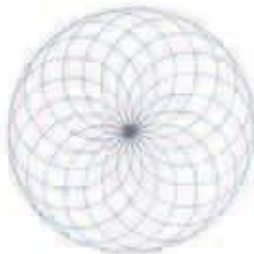
$$\rho = \cos \frac{3}{10} \theta$$



$$\rho = \cos \frac{3}{10} \theta + \frac{1}{5}$$



$$\rho = \cos \frac{7}{10} \theta + \frac{7}{5}$$



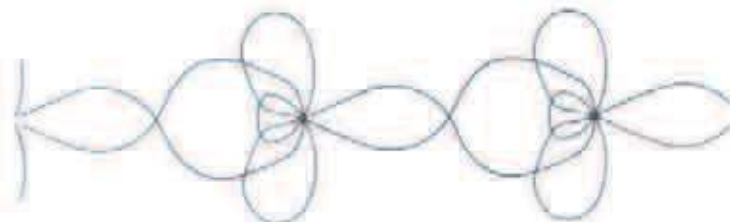
$$\rho = \cos \frac{\theta}{10}$$

## TRANSFORMACIONES COMPLEJAS\*



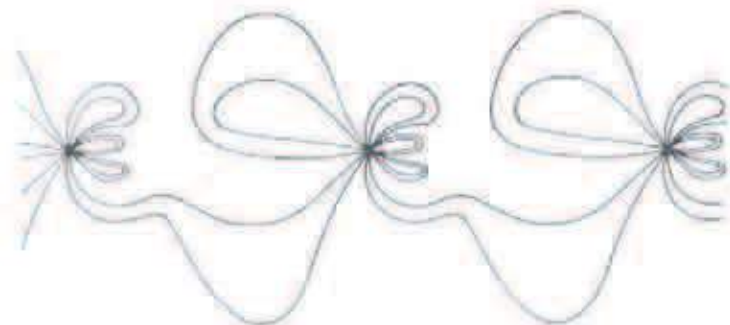
Transformada de un círculo y la transformación compleja:

$$W = \text{Log } w$$



1ª Transformación compleja a partir del caracol de Pascal:

$$W = \text{arg } z^b w$$

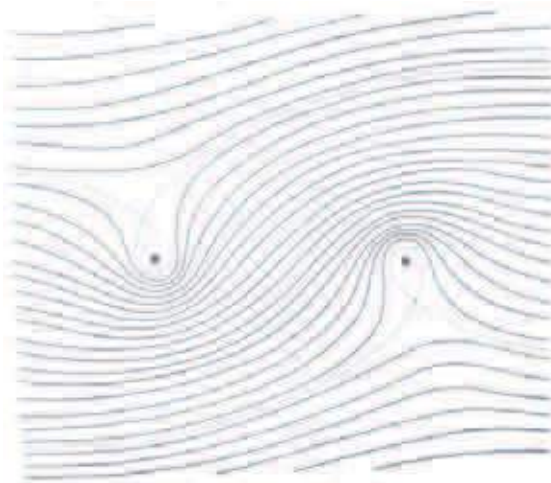


2ª Transformación compleja a partir del caracol de Pascal:

$$W = \text{arg } th w$$

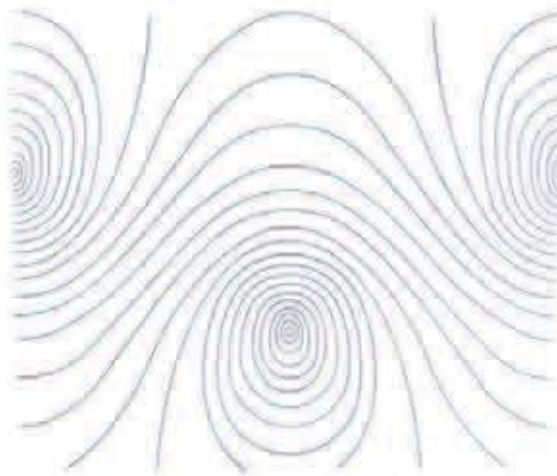
\*Atribuidas al matemático japonés M.K. Kurokawa

## FLUJO PLANO CON VÓRTICES



Con dos vórtices:

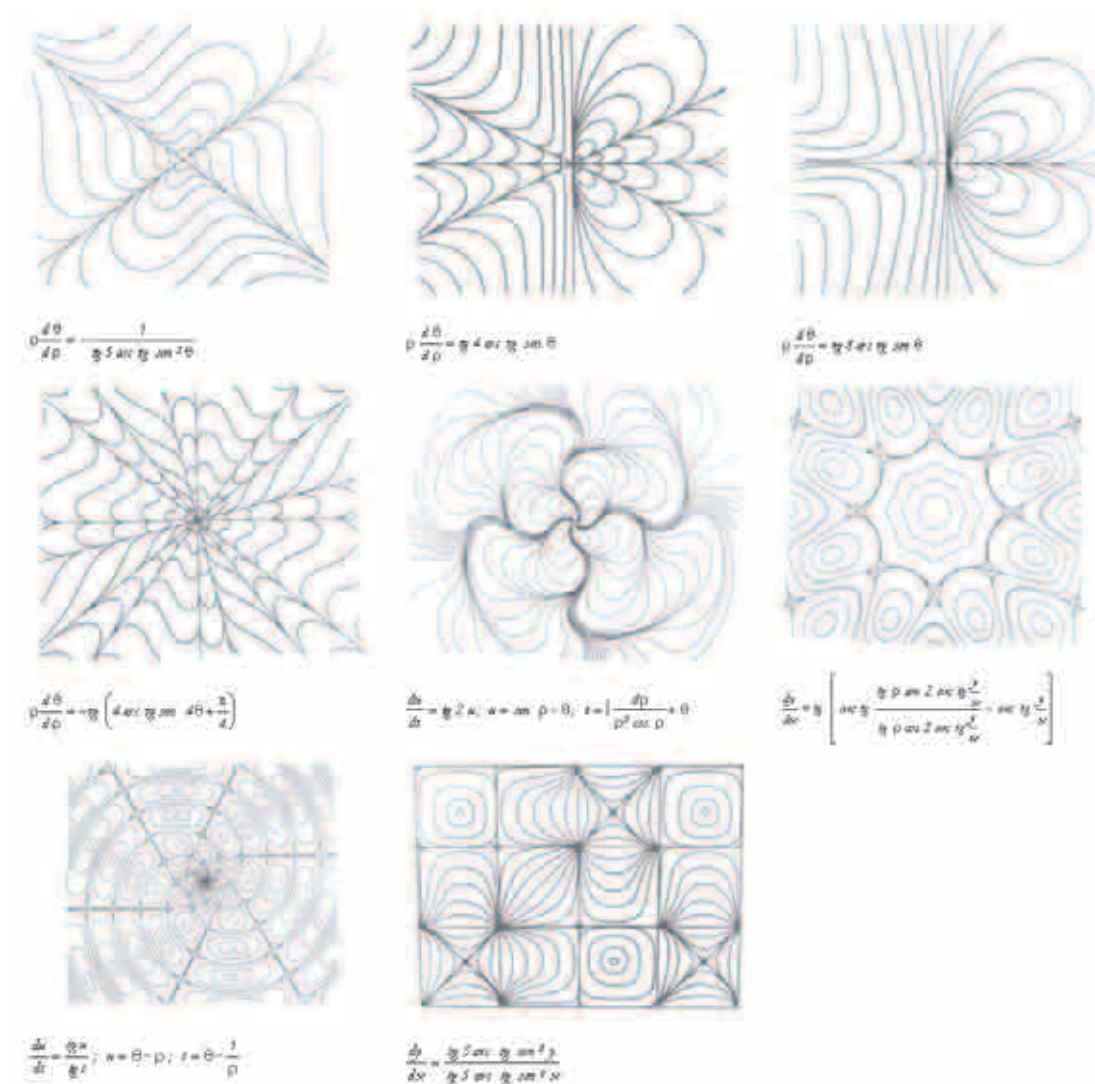
$$f(z) = -V_0 z + \frac{\Gamma}{2\pi i} \operatorname{Log} \frac{z-\lambda}{z+\lambda}$$



Con dos vórtices asimétricos:

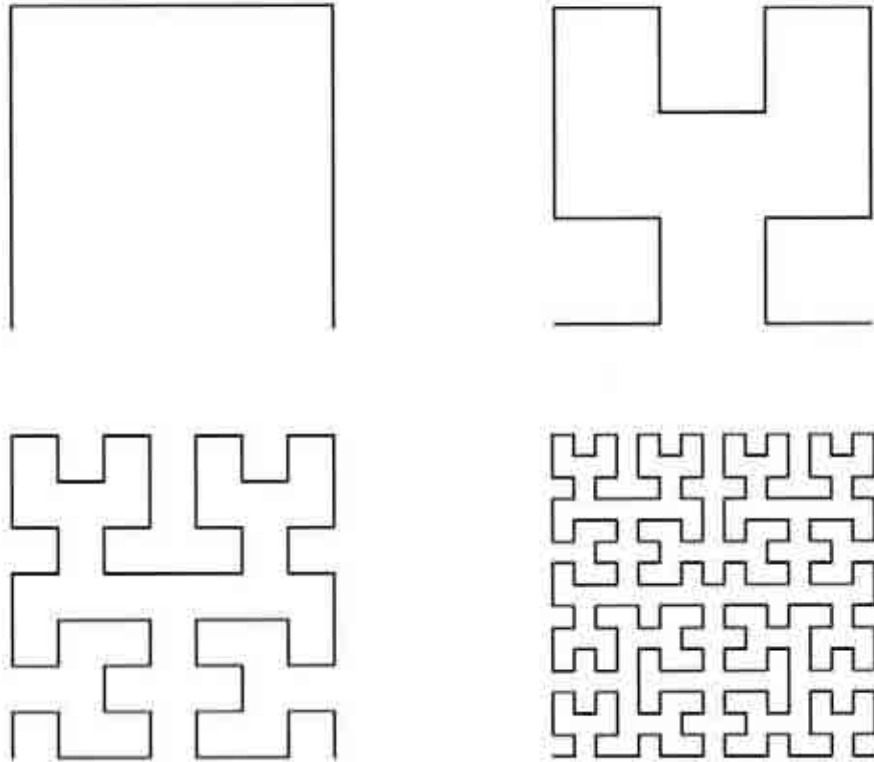
$$f(z) = \frac{\Gamma}{2\pi i} \operatorname{Log} \frac{e^{i\alpha} \frac{\pi z}{a}}{e^{i\beta} \frac{\pi}{a} \left( z + \frac{a}{2} + ih \right)}$$

OTRAS CURVAS\*



\*Atribuidas al matemático sueco M.G. Gyllström

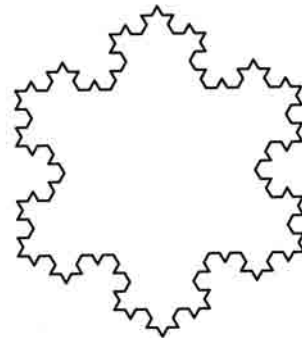
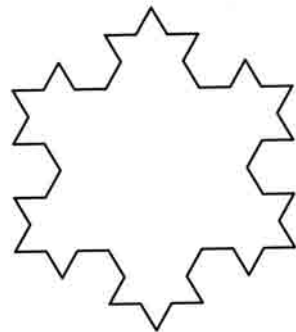
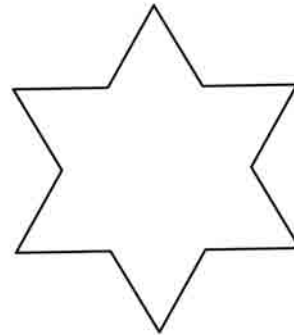
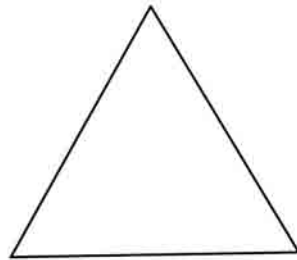
## CURVA DE PEANO



En 1890 Giuseppe Peano (1858-1932) publicó un artículo titulado “Sur une courbe qui remplit toute une aire plane”. Esta curva, como la de Hilbert, tiene la propiedad notable de “llenar” el plano, en el sentido de que pasa por cualquier punto, por ejemplo, del cuadrado unidad. Se demuestra que ambas tienen dimensión topológica igual a 1.

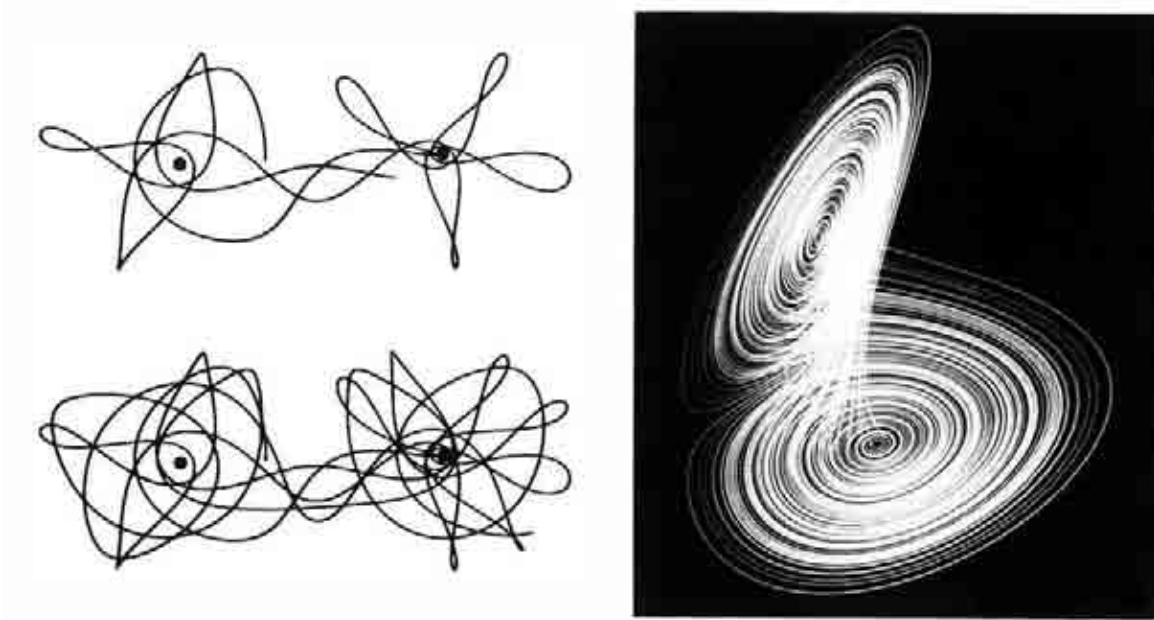


## CURVA DE KOCH



El matemático sueco Helge von Koch (1870-1924) es especialmente conocido por la curva que lleva su nombre, que publicó en 1906. Dado un segmento, se sustituye su tercio central por dos lados de triángulo equilátero; esta operación se repite con cada uno de los cuatro segmentos resultantes y así sucesivamente hasta el infinito. La curva de Koch es la que se obtiene como límite del proceso; es continua y admite expresión analítica, pero carece de tangente y tiene longitud infinita (es obvio que cada iteración la alarga  $1/3$ ). Una conclusión curiosa es que la longitud de la costa española crece indefinidamente al disminuir el tamaño de la regla que usemos para medirla.

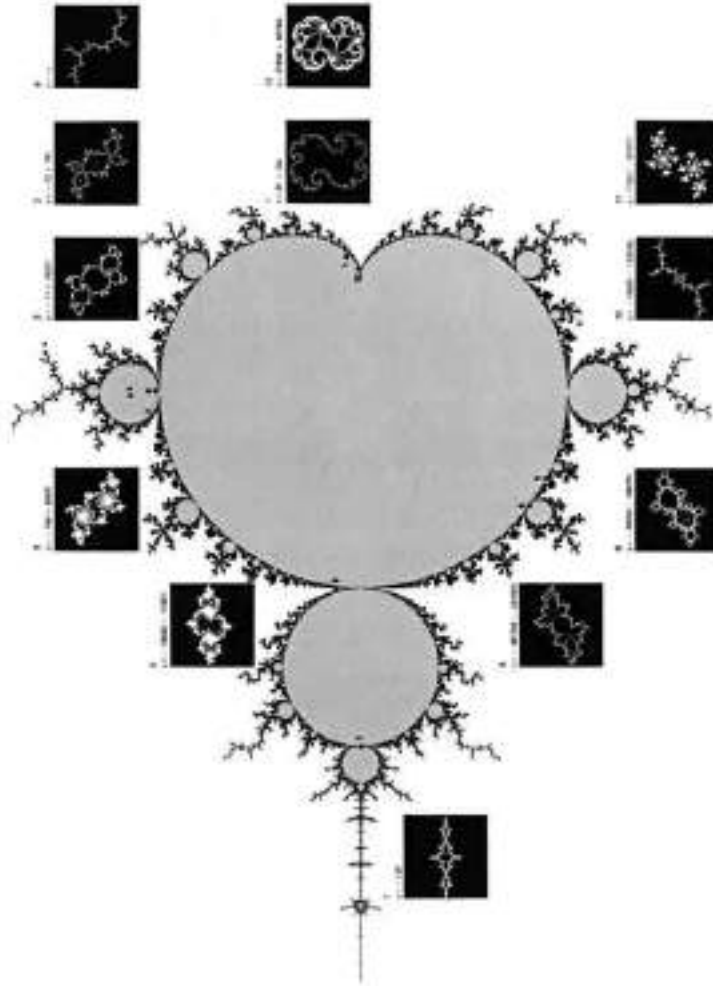
## GRAVITACIÓN CON TRES CUERPOS



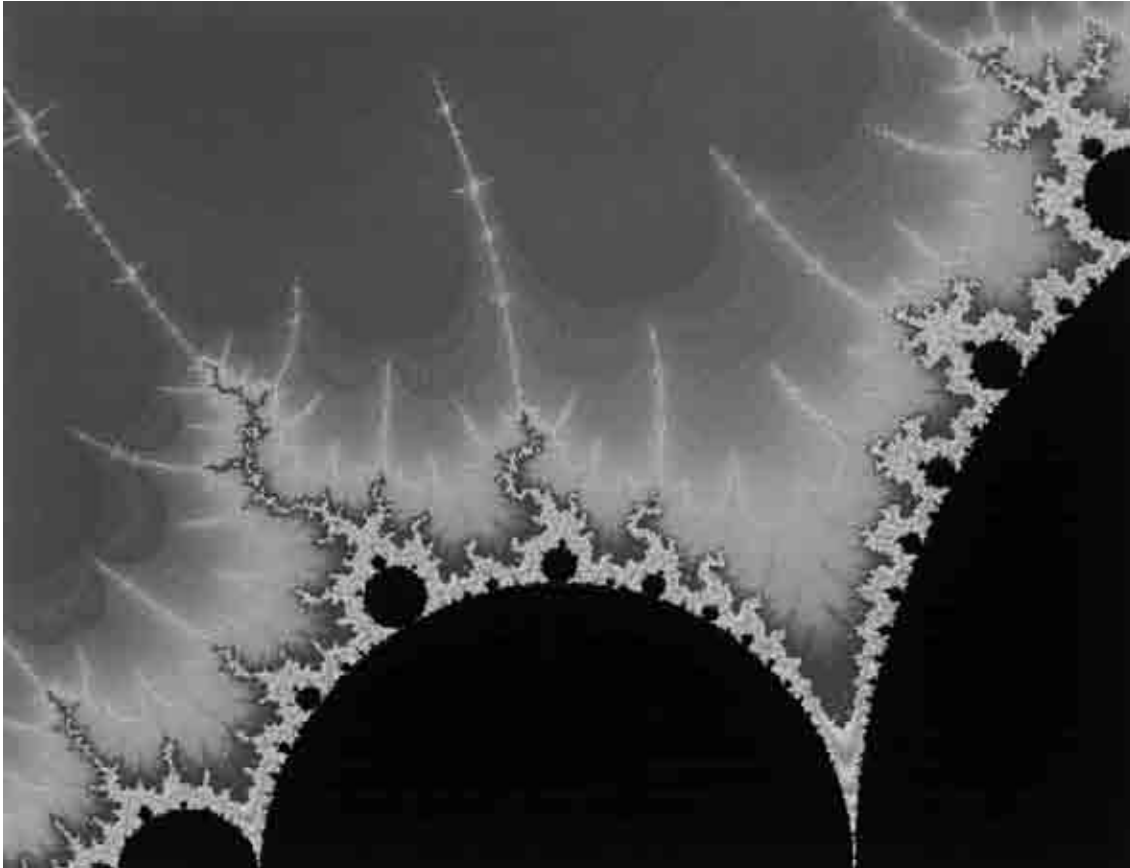
(1) En la parte izquierda se muestra la trayectoria de un planeta pequeño con dos soles de igual masa; arriba se observan las primeras evoluciones, que progresan siguiendo el comportamiento caótico que aparece abajo. En el atractor de Lorenz, que puede verse a la derecha, la disipación de energía hace que el movimiento tienda a un atractor, pero los “atractores extraños” pueden dar lugar a movimientos complejos, saltando entre órbitas de uno y otro centro, sin tender a círculos ni alcanzar nunca un estado estacionario. Edward Lorenz descubrió su atractor trabajando en meteorología en los años 60; la demostración de que es “extraño” data de 2002.

(2) En sistemas dinámicos, un atractor es el conjunto de configuraciones al que el comportamiento del sistema tiende a largo plazo; si la aproximación es caótica, el atractor se llama extraño.

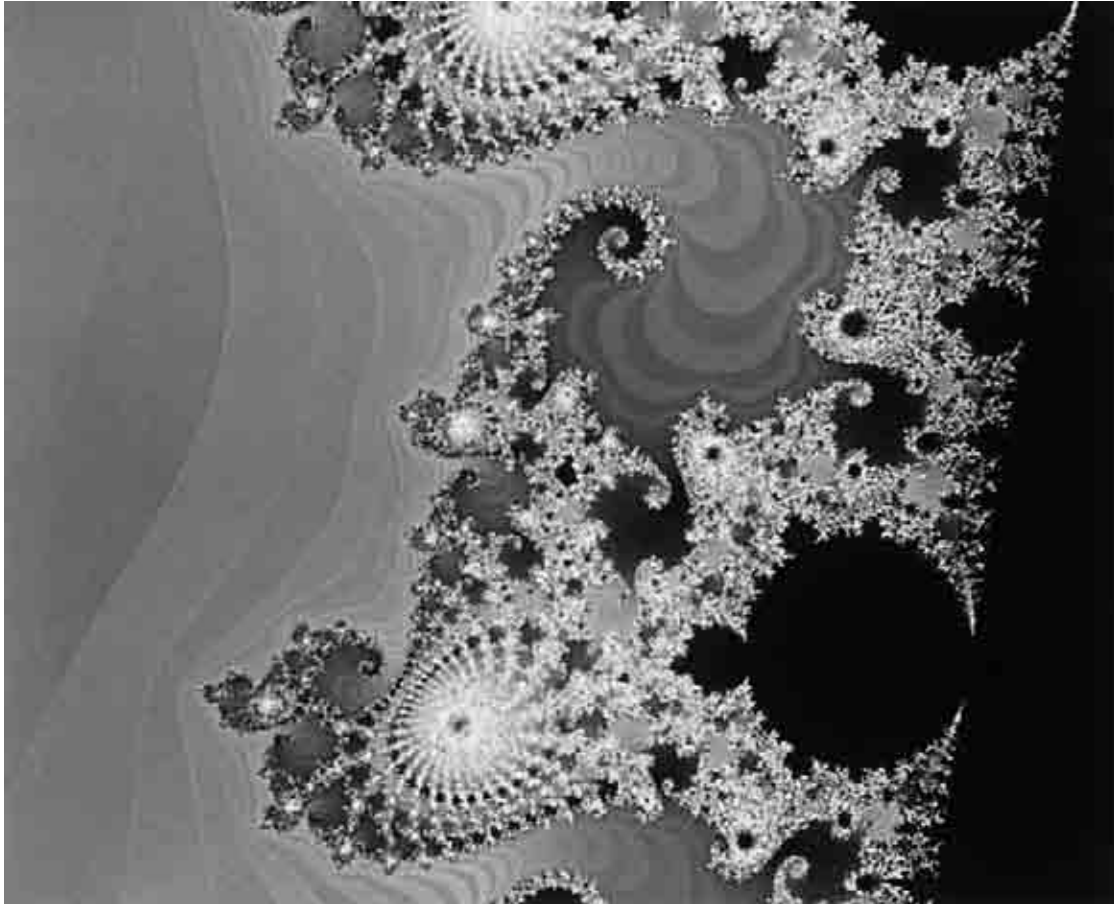
## FRACTAL



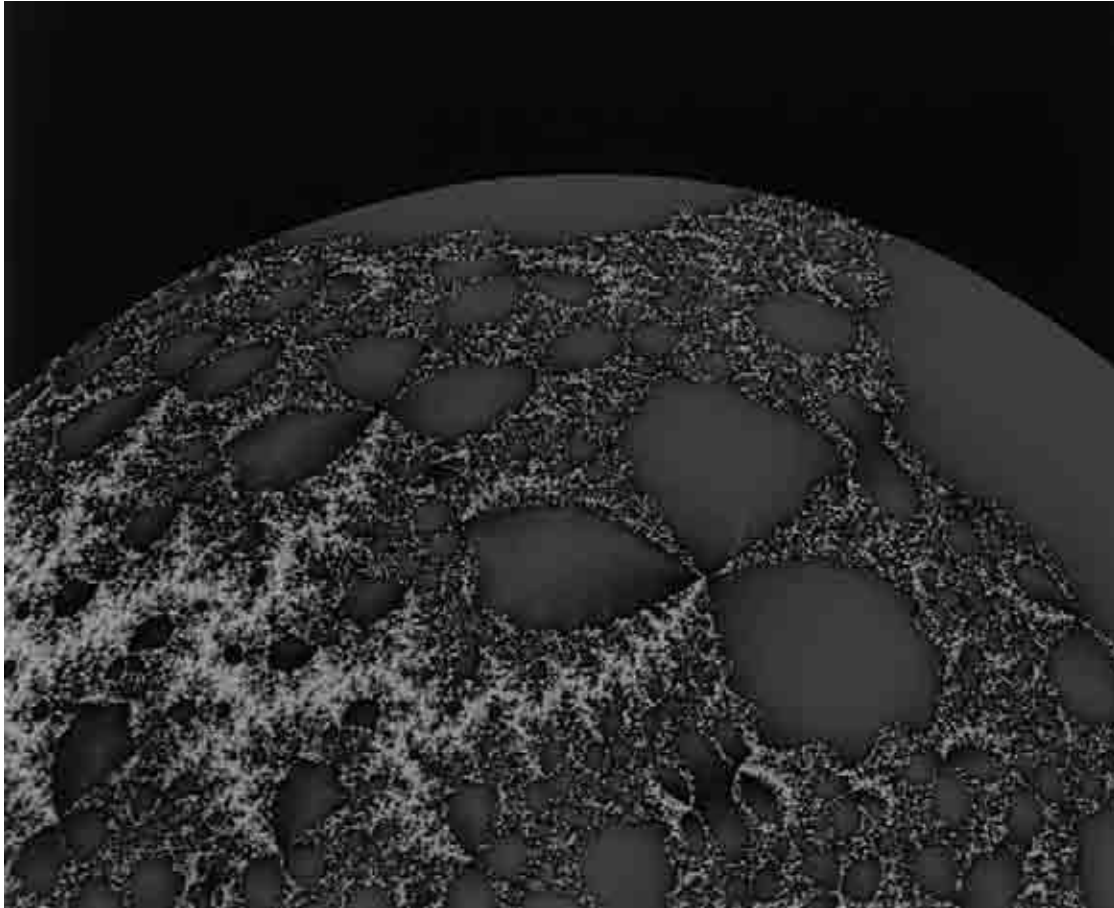
El término fractal fue propuesto por Benoît Mandelbrot en 1975. En muchos casos los fractales pueden ser generados por un proceso recursivo o iterativo capaz de producir estructuras autosimilares independientemente de la escala específica. Los fractales son estructuras geométricas que combinan irregularidad y estructura. Aunque muchas estructuras naturales tienen estructuras de tipo fractal un fractal matemático es un objeto que tiene por lo menos una de las siguientes características: tiene detalle en escalas arbitrariamente grandes o pequeñas, es demasiado irregular para ser descrito en términos geométricos tradicionales y tiene auto-similitud exacta o estadística.



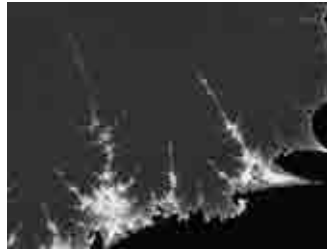
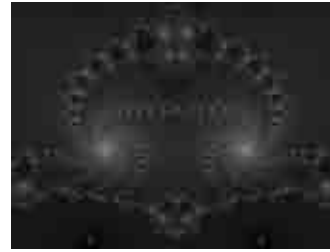
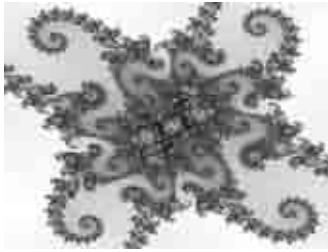
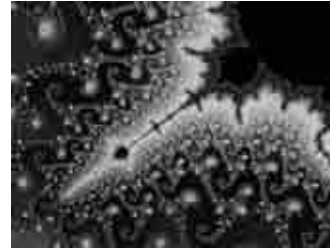
La autosemejanza de contornos es de hecho una idea mucho más antigua que la geometría de fractales; las muñecas rusas, por ejemplo, encarna la creencia en homúnculos autosemejantes todos ellos contenidos originalmente en los ovarios de Eva como generaciones sucesivas de la Humanidad. En el siglo Dieciocho Albrecht von Haller y otros médicos homeópatas alemanes desarrollaron una creencia parecida dentro de una teoría iterativa que fue en su momento bien aceptada sobre preformación de la vida humana. Más tarde su derrota histórica en la disputa con los epigenetistas puede haber sido parcialmente responsable de que las estructuras auto-similares se hayan ignorado hasta los años Setenta, en que de nuevo afloraron de forma entusiasta con la recreación por Mandelbrot de la obra de Gaston Julia. Como dice un conocido historiador de la metalurgia, Cyril Smith, “cuántas más veces el descubrimiento es resultado de la curiosidad motivada estéticamente que de una búsqueda con propósito bien orientado”

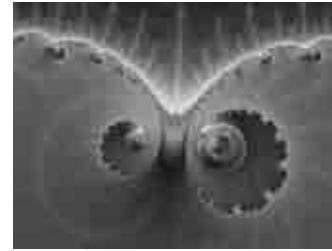
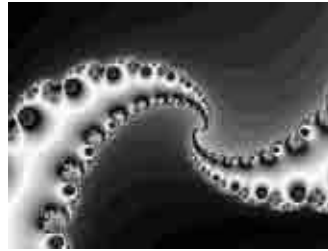
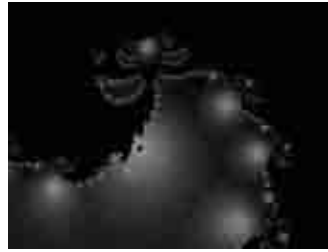
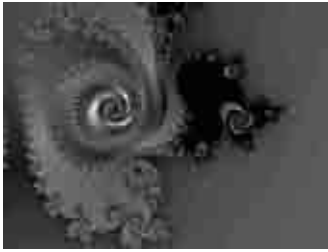
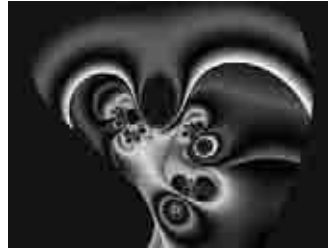


Imre Lakatos reprochó a Popper que la falsificación de una teoría no es condición necesaria ni suficiente para su eliminación de la Ciencia y parece claro que una refutación no es forzosamente un proceso de racionalidad instantánea. Un caso particularmente interesante para la metodología de la Ciencia se presentó cuando Einstein postulaba la consecuencia más importante del experimento de Michelson-Morley: la velocidad de la luz es invariante e independiente del estado dinámico de los observadores. Todo cuerpo experimenta en la dirección de su movimiento una contracción real, como manifiesta la curvatura de los rayos luminosos en el campo gravitatorio del Sol, igual que sucede en la mejor arquitectura del Barroco romano.



Existen fenómenos ópticos que contradicen la teoría geométrica de los rayos de luz, y que tampoco se explican por medio de la teoría corpuscular. Tales fenómenos aparecen cuando el índice de refracción varía muy rápidamente, aunque tal vez no de forma continua. Entre ellos se encuentra el caso de la división de un rayo entre refractado y reflejado, que no se explica por el cálculo diferencial aplicado a las discontinuidades superficiales. Además los fenómenos de la difracción y de la interferencia pertenecen a este tipo de problemas. Todos esos fenómenos pueden estudiarse con la ayuda del concepto de una onda en que la transversalidad específica de la luz puede ignorarse temporalmente. La formulación cuantitativa de esta teoría tiene sus orígenes, como es sabido, en Young, Fresnel y Euler



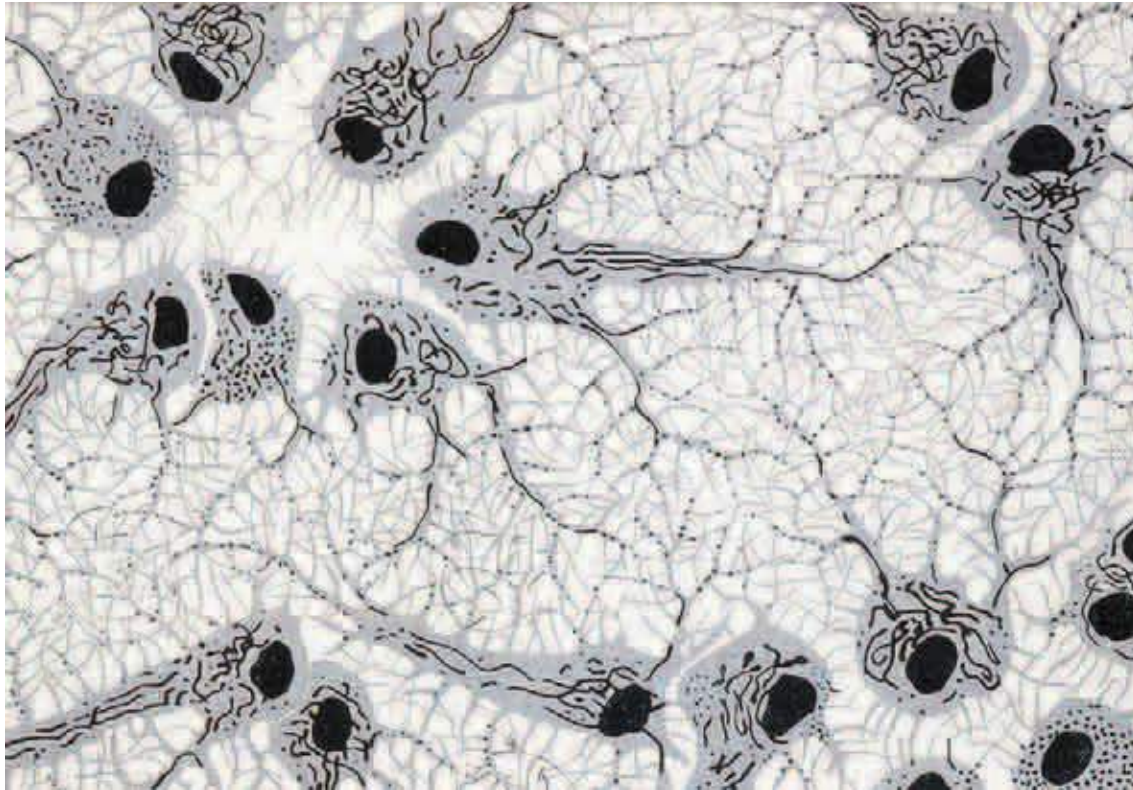


Donde el mundo deja de ser el escenario para las esperanzas y deseos personales, donde nosotros, como seres libres, lo contemplamos con asombro, para cuestionar y contemplar, ahí nos adentramos en el ámbito del arte y la ciencia. Si delimitamos lo que contemplamos y vivimos a través del lenguaje de la lógica, estamos creando ciencia; si lo mostramos a través de formas cuyas interrelaciones no son accesibles a nuestro pensamiento consciente pero cuya relevancia reconocemos intuitivamente estamos creando arte. Común a los dos es la devoción hacia algo que va más allá de lo personal, que está lejos de lo arbitrario. Albert Einstein



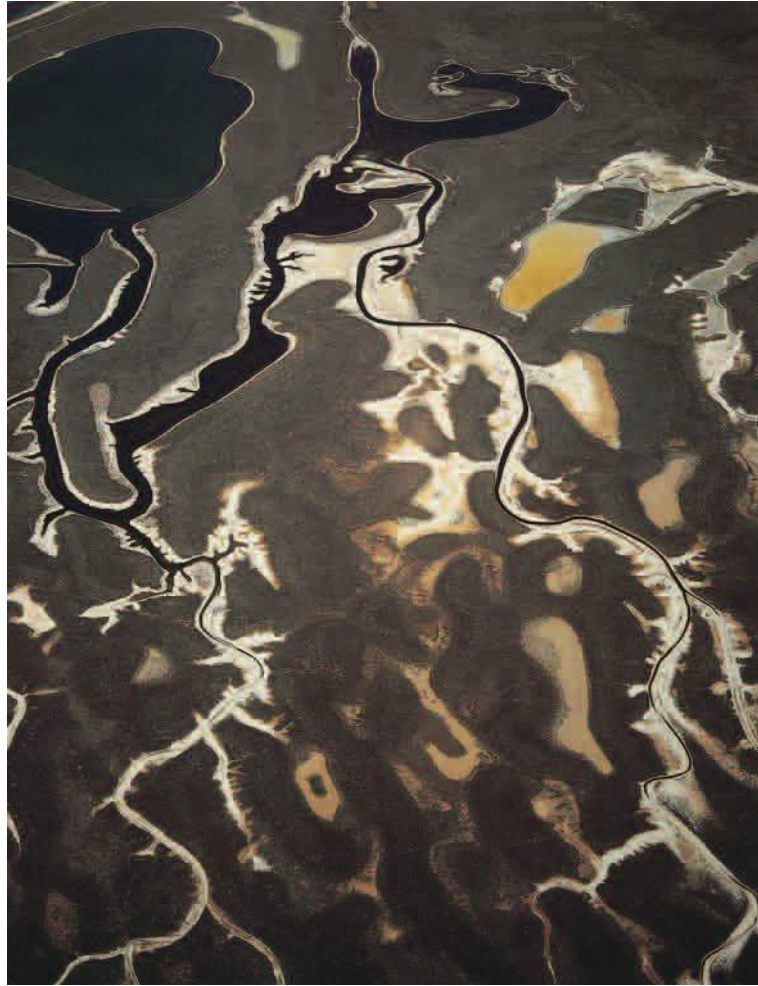


CURVAS DE LA NATURALEZA



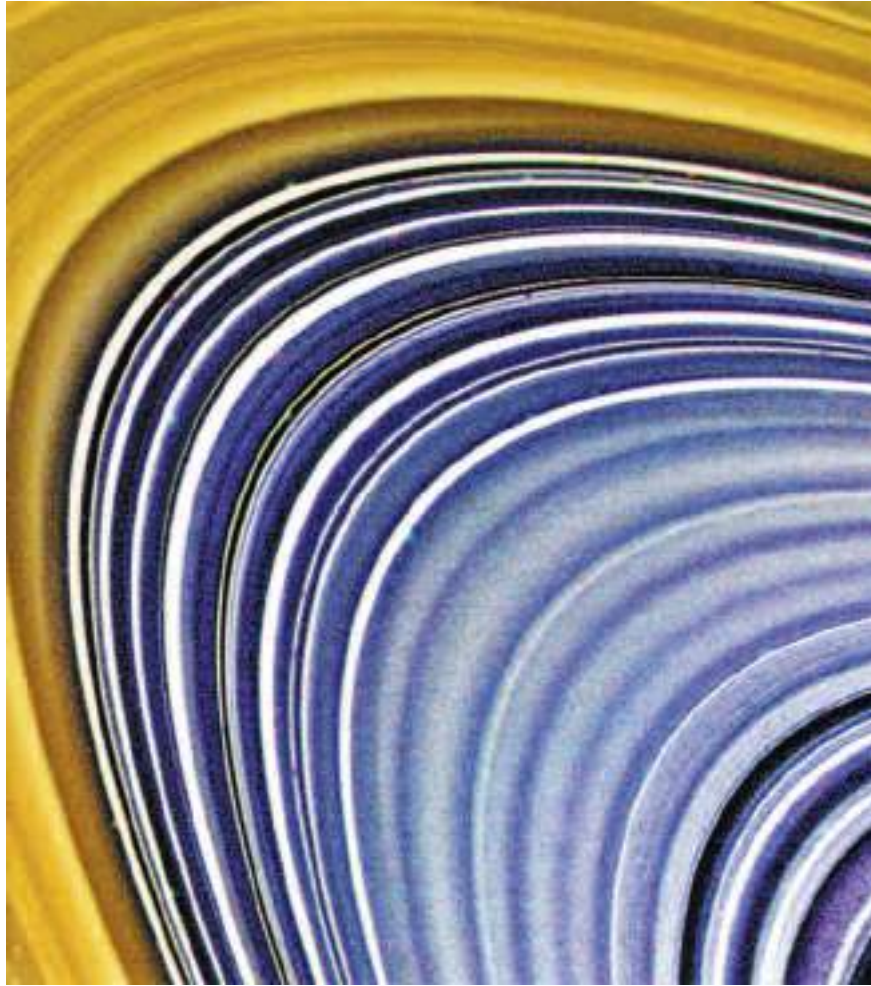
El misterio de la mente humana se encumbra muy alto en la lista de los problemas fundamentales de la ciencia, y es muy probable que allí siga situado indefinidamente. Percepción, aprendizaje, memoria, conciencia. Cuando sondeamos nuestras mentes con nuestras mentes la confusión merodea en cada esquina, pero hacia 1900 se dieron dos pasos decisivos para revelar detalles sobre la estructura fina del cerebro humano. En España, Ramón y Cajal produjo exquisitos estudios anatómicos sobre varias regiones cerebrales, descubriendo su estructura como una red de neuronas. En el Reino Unido, las investigaciones fisiológicas de Sherrington sobre los actos reflejos llevaron a entender el funcionamiento de la sinapsis, la unión entre neuronas. En su publicación "Cálculo Lógico de las Ideas Inmanentes en la Actividad Nerviosa", McCulloch y Pitts ofrecieron en 1943 un modelo formal de la neurona como unidad lógica con niveles de activación, empleando la notación de la lógica matemática de Whitehead, Russel y Carnap. La máquina de Turing fue quizá el último gran impulso a la fisiología computable antes de la segunda guerra mundial.

Ramón y Cajal: dibujos de células de calamar.



El meandro se presenta siempre como una ondulación en el desarrollo aguas abajo del río. En su radio interior (lóbulo) la energía es baja, produciendo una convexidad en la ondulación por la aportación de sedimentos. En su radio superior (vértice), la energía es mucho mayor, provocando la concavidad del meandro por la inercia del movimiento del agua.

Lagos salados de la llanura semidesértica del Carrizo. California. Estados Unidos.  
Los diferentes tonos se deben a las bacterias que se alimentan de sal.



La prueba de persecución individual en pista consiste en dos corredores enfrentados sobre una distancia determinada. Toman la salida en dos puntos opuestos de la pista. Será declarado vencedor el corredor que alcance al adversario. A un lado, Febo. Al otro, Titán. Tres, dos, uno...ya.

Los anillos de Saturno: formados por partículas de agua congelada ordenada por tamaños, desde minúsculas partículas de polvo hasta pedruscos de 10 metros de diámetro.



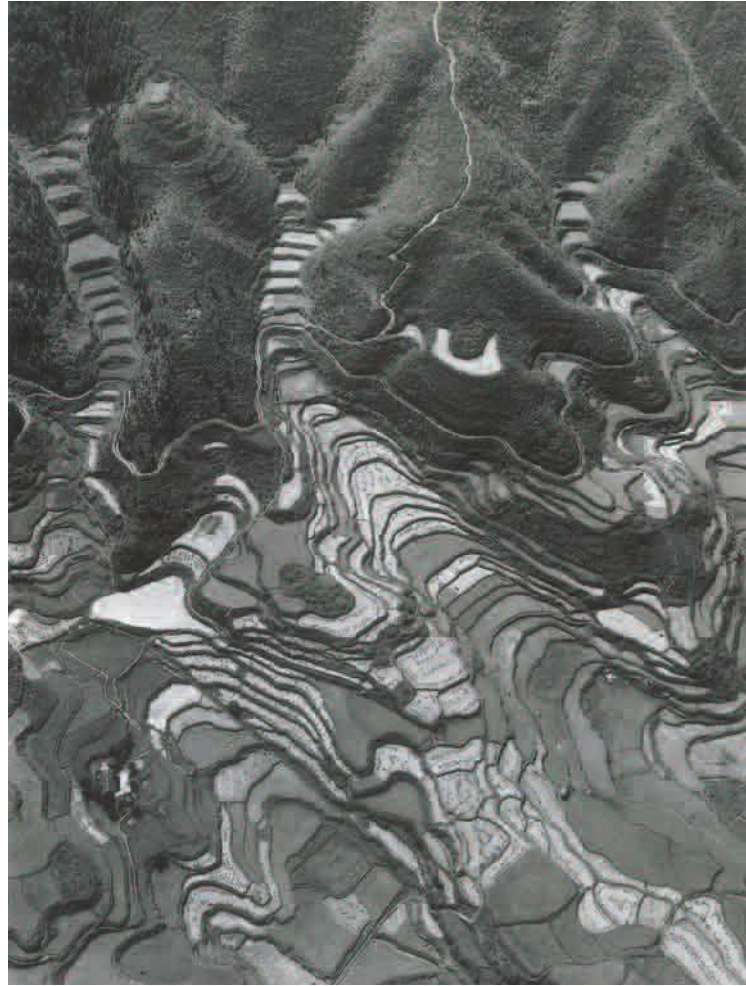
(1) Lo conocería Stendahl al escribir "Rojo y Negro"?

(2) La luz se refracta y refleja las longitudes de onda del espectro visible en infinitas pulverizaciones de agua a espaldas del espectador, o lo que es lo mismo: charcos, los pies mojados, el semáforo en rojo, levantas la cabeza... et voilà! ¡Magia!



El aliento de Dios produce hielo, y las anchas aguas se tornan heladas” Libro de Job, 37:10.

Polvo volcánico depositado en las fisuras del glaciar Sidujökull (Islandia), ramal del glaciar más grande de Europa, con mil metros de grosor y 8.300 kilómetros cuadrados.

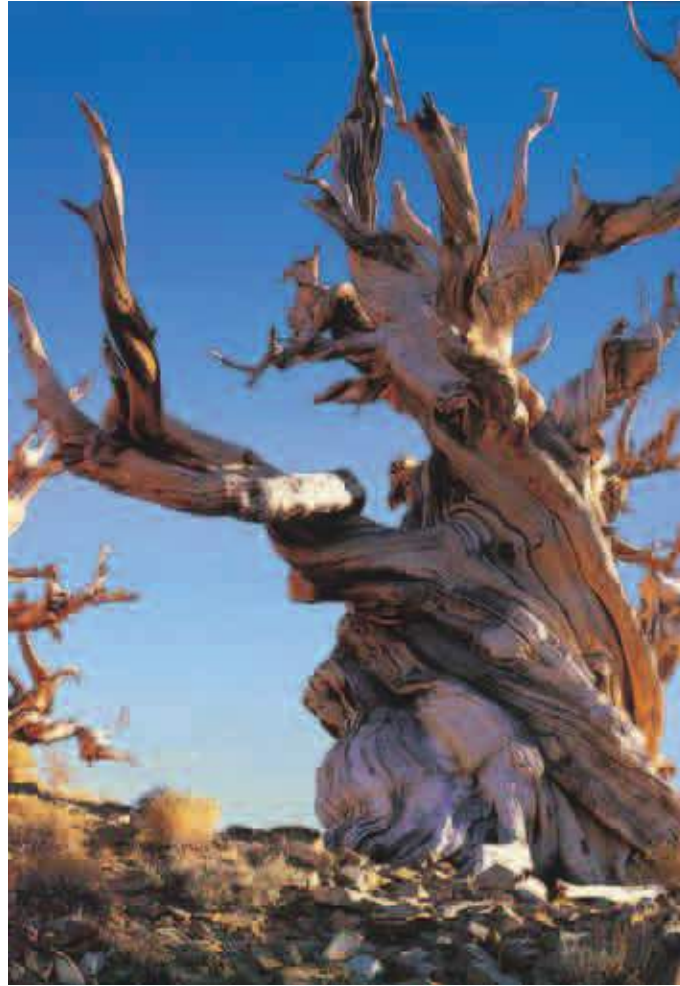


Los cultivos forman curvas extenuadas e imprevisibles como los meandros de un río. Pero bajo esta amable apariencia rige la ley inexorable de la gravedad. En contraste con la abrupta geografía, las líneas representan curvas de nivel perfectamente tendidas. Son barreras que impiden que el agua escape de una terraza a otra, que la erosión lo arrastre todo. No existe azar ni capricho en estas formas. Son el perfecto resultado de seccionar la montaña en planos horizontales y equidistantes entre si. Es imposible extraer más superficie cultivable y más jugo de estos escarpados paisajes.

Pero estas curvas también tienen una dimensión humana: China, provincia de Guizhou, 36 millones de habitantes, 12 millones de agricultores y 270 días de lluvia al año. Geografía de altas montañas y profundos valles, rincón del mundo en el que un tercio de los pueblos se encuentra aislado; sin comunicaciones y sin carreteras. Curvas y superficies forjadas con la mano del hombre. Tierra robada a las montañas que para ser labrada ha tenido que ser creada. Azada tras azada a lo largo del tiempo.

Terrazas para el cultivo. Provincia de Guizhou. China.





Para los principiantes, esta vía ascendente es comparable a un árbol; así es como dicen las Escrituras que Zaqueo se subió al sicomoro. En realidad es un símbolo conyugal, abierto sobre una perspectiva escatológica que esboza la unidad antes de ser perfectamente realizada. En él se unen lo externo y lo interno de tal suerte que ya no existe distancia entre lo carnal y lo espiritual, lo terrestre y lo celeste. Así es, o parece, la Naturaleza muerta.

*Pinus longaeva*: los árboles más viejos del mundo a 3.000 metros de altitud en las White Mountains de California



Una formación geológica, incluso de dimensión reducida, debe obedecer al dictado de una lógica específica. Los partidarios de la lógica dinámica distinguen entre aproximaciones exógenas y endógenas, que no se diferencian tanto en la consideración del factor temporal como en los conceptos que cada modelo tiene embebidos sobre inducción estructural y composición geomórfica. Propositiones abstractas sobre si la Naturaleza actúa mediante un proceso modal o algorítmico aún afloran de tiempo en tiempo. Pero las diatribas sintácticas no parecen haber permeado el tono vital de esta ciencia, por eso Sir Charles Lyell, aunque falleció en 1875, aún tiene vara alta por la aceptación generalizada de sus principios sobre estratigrafía y uniformismo, poniendo fin a las ideas catastrofistas sobre la evolución geofísica del planeta.

Las duras capas de caliza se erosionan más lentamente que los estratos de piedra margosa intercalados entre ellas, provocando que las laderas de los valles formen terrazas. Estas estructuras se formaron hace más de 600 millones de años.



En el Laberinto de Alicia la dirección del tiempo provoca situaciones particulares en las que los vectores invitados pierden el sentido.  
Alicia, ¿hacia dónde va el Conejo Blanco?

Un cañón de más de 300 metros de altura rodea el sinuoso lazo que forma el río San Juan en el paisaje de arenisca rosada del sureste de Utah

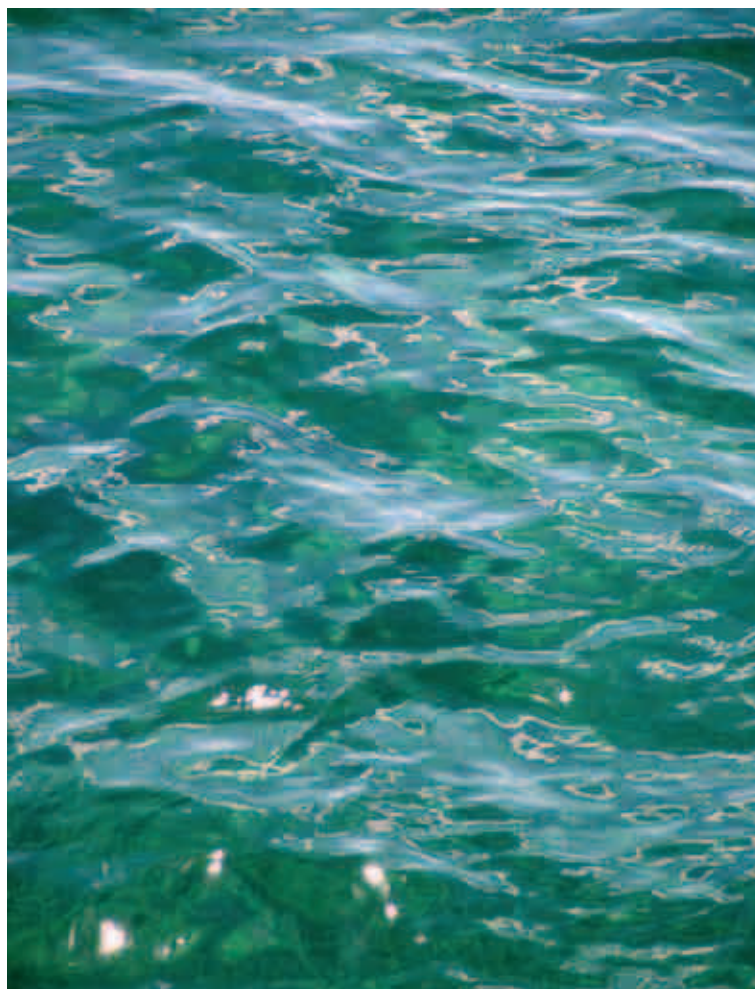


Una hoja produce 0.21 litros de oxígeno diarios.

Una hoja es atravesada diariamente por 9 gramos de savia.

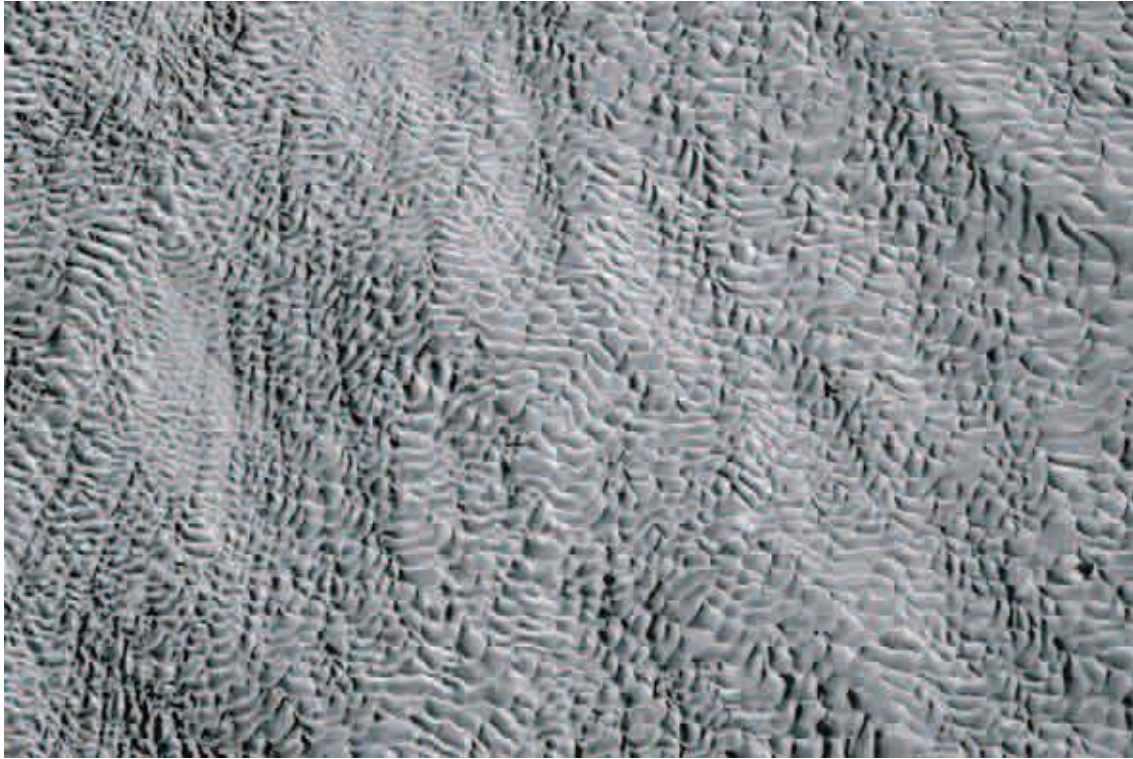
Las hojas fijan  $1,55 \times 10^{11}$  toneladas de carbono anualmente en el mundo.

Una hoja es una central de intercambio químico y energético en miniatura.



[...] la naturaleza posee una perfección propia sorprendente, que es el resultado de una suma de límites. La naturaleza es perfecta porque no es infinita. Si uno comprende los límites, comprende cómo funciona el mecanismo. Todo consiste en comprender los límites. [...]

[...] De este modo he llegado al mar. El mar. [...] lo difícil es aislar la idea, o sea, resumir kilómetros y kilómetros de acantilados, orillas, playas, en una única imagen, en un concepto que sea *el final del mar*, algo que se pueda escribir en pocas líneas, que pueda estar en una enciclopedia, para que después la gente, al leerla, pueda comprender que el mar acaba, y cómo, independientemente de todo lo que pueda suceder a su alrededor, independientemente de... [...] Alessandro Baricco. "Océano mar"



El participio latino desertus proviene de de-serere, desunir, separar; no es extraño que los parajes desiertos digan más acerca del abandono que de la soledad. Los desiertos modernos tienen dos caras, según que la presencia humana de la que estás desprovistos se quiera entender como desolación, una figura de la nada, o al contrario como naturaleza preservada, vida secreta y reino mineral. El desierto como símbolo no es representable por ninguna geometría, ni siquiera en los espacios infinitos y silenciosos de Pascal.



“El pensamiento no es más que un relámpago entre dos noches, pero este relámpago lo es todo.”  
Henri Poincaré.

Manta alimentándose en la noche. Kona Coast. Hawai. Estados Unidos. 1994



(1) Si no puedes hacer de tus pensamientos objetos externos, entonces haz de los objetos externos pensamiento, dice Novalis

(2) Una mariposa tiene 500 escamas en cada milímetro cuadrado de sus alas, más de un millón de escamas en total.

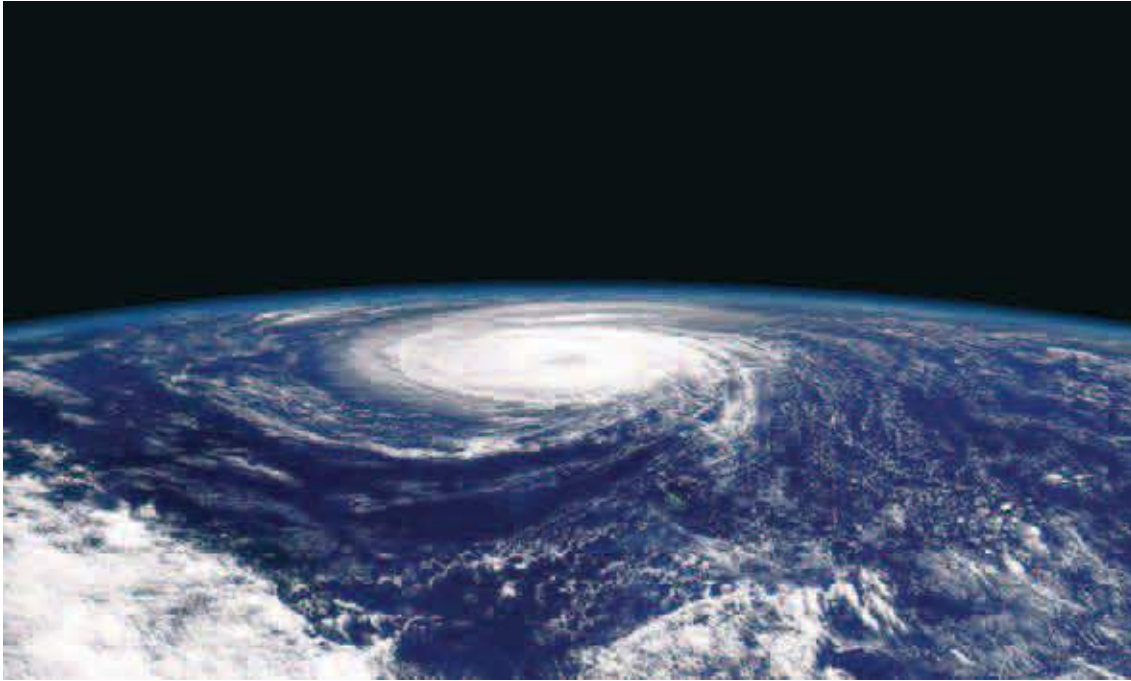
Una mariposa vive de dos a catorce días.

Una mariposa mueve sus alas al volar 20 veces por segundo, 72.000 veces por hora, 3.456.000 veces por día.

Una mariposa mueve sus alas unos 20 millones de veces en su vida.

Una mariposa vive cuatro mil doscientas veces más rápido que un ser humano.





Hacia fines de verano comienza la temporada de huracanes en el Atlántico norte, donde media docena de tormentas tropicales vienen a alcanzar anualmente esa categoría. Su ojo, entre 30 y 60 km de radio, a menudo con el cielo despejado, sufre pocos vientos. A su alrededor, fuertes vientos antihorarios, acompañados de precipitaciones intensas y persistentes, se extienden sobre cientos de kilómetros. A pesar de lo llamativo del viento, generalmente son las precipitaciones e inundaciones asociadas las que causan mayor daño, tanto en vidas como en bienes. Las tormentas tropicales se bautizan alfabéticamente, alternando nombres masculinos y femeninos, siguiendo listas preestablecidas que se repiten cada 6 años y de las que se suprimen los nombres de las que resultaron especialmente dañinas. Hay poca duda de que el nombre Katrina no se repetirá en 2011.

El Huracán Alberto (4 Agosto-23 Agosto 2000) presentó una de las trayectorias más largas y la tercera en duración de toda la historia después de "Ginger" en 1971 y de "Carrie" en 1957.



Desde tiempos inmemoriales los profetas anuncian el inmediato o muy próximo fin del mundo, generalmente para reforzar el control sobre su grey bajo el pretexto de estar mejor preparados para el último y definitivo de los grandes cataclismos en nuestra ¿querida? Tierra. Sin embargo la predicción no es totalmente falsa. Según los cosmólogos llegará un momento en que el Sol, una vez consumida su reserva de hidrógeno, estallará convirtiéndose en una gigante roja y engullirá su sistema planetario. Pero la hoguera final tardará aún cinco millones de años en encenderse (si no la prendemos nosotros mismos antes, claro). Y después, ¿qué?



(1) "Hay peregrinos de la eternidad, cuya nave va errante de acá para allá, y que nunca echarán el ancla."  
Lord Byron.

(2) Tapa tus ojos

Piensa en un espacio como una pluma que erosione tu piel al tocarla.

Constrúyelo hasta quedarte sin piel en los dedos.

(...hazlo al despertar, hazlo muchas veces seguidas, hazlo ahora mismo, hazlo siempre que quieras, deja de hacerlo, pide a alguien que lo haga contigo, hazlo para alguien, hazlo solo cuando te cabrees, pide que te miren mientras lo haces, no lo hagas nunca más, vuelve a hacerlo, repítelo tantas veces como sea necesario y compulsivamente, hazlo sólo si te lo piden, graba tu cara mientras lo haces, mastica chicle sonoramente, aguanta la respiración mientras lo haces...)

Los dibujos son como las manos de un ciego.

Plumas de perdiz



La sombra del tiempo convierte finos fractales en sólidas ondas de azúcar.  
Brillo de mármol con frío sabor a descanso

Ondulaciones sobre la nieve en el Parque Nacional de Aigüestortes. Lérida

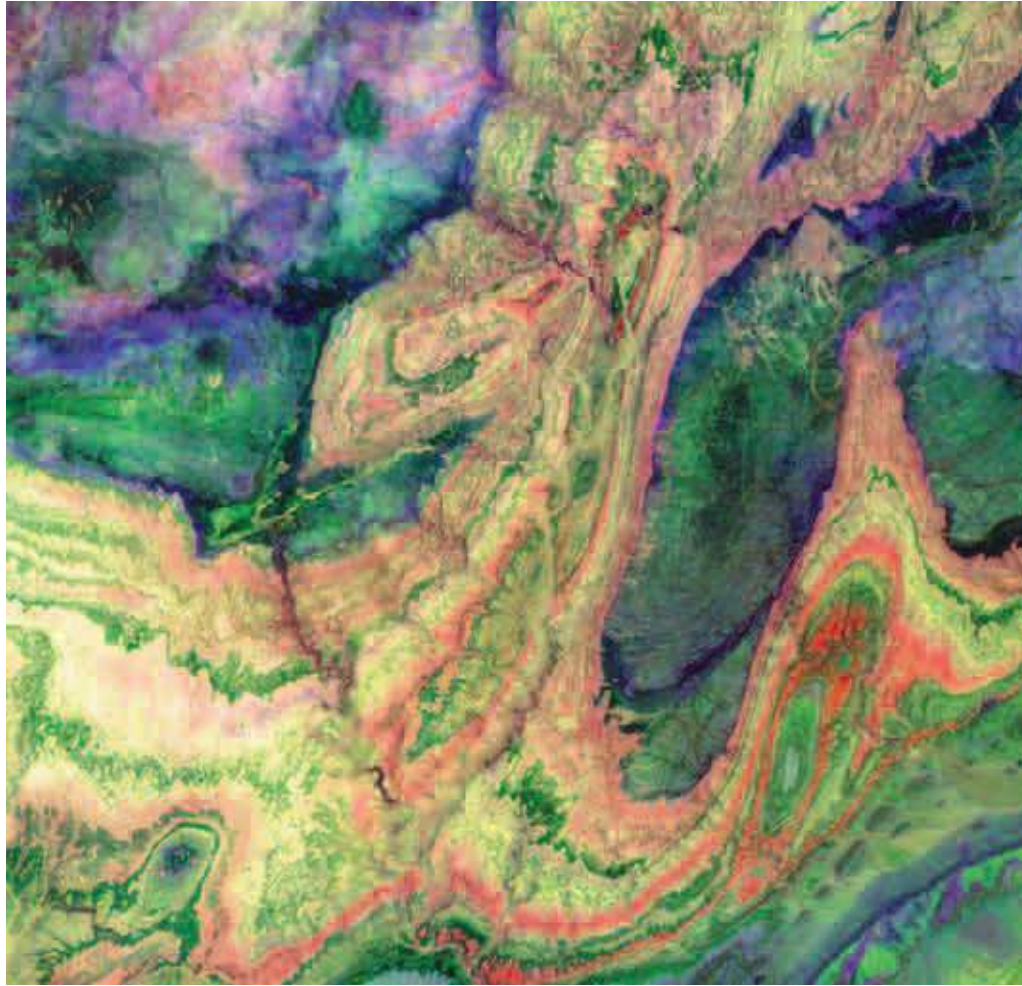


Fredí (pez)

Postura adoptada por un fredí (*Thalassoma pavo*), nadador incansable. La curva es típica de una eficiente forma de nadar llamada carangiforme. Durante el avance se genera una estela de remolinos que giran en direcciones opuestas a los de la estela de von Karman.

Este especie es la única representante en el mar Mediterráneo de un género muy diversificado en los mares tropicales. En las costas del Mediterráneo español es cada vez más abundante debido al progresivo calentamiento de la temperatura del agua.

*Thalassoma Pavo* macho

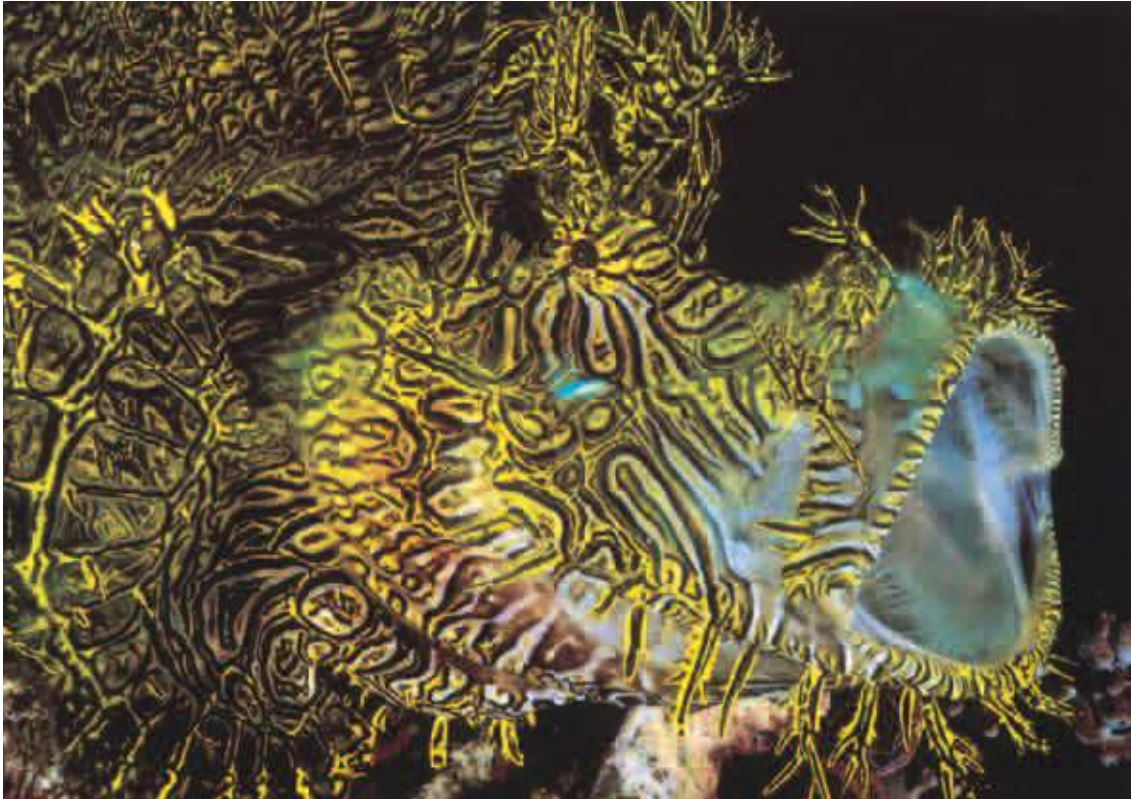


La imagen de un fractal se parece a la naturaleza. Observar la naturaleza desde un punto de vista inesperado recuerda la geometría de fractales. La repetición de un motivo infinitas veces con mínimas diferencias configura una imagen hermosa y sin escala. Si ampliamos la fotografía de estas montañas se nos mostrarían reales, tal y como estamos acostumbrados a verlas. En un aumento de una imagen fractal reaparece de nuevo una forma similar. Esa es la diferencia. Si de nuevo se tomara una ampliación de la cordillera, hasta la escala de un microscopio, estaríamos ante una nueva imagen "fractalizada" de la naturaleza; abstracta y matemática a la vez.

Como en los cielos nublados se puede jugar a buscar formas, figuras y emociones en el interior de la fotografía. En la esquina inferior derecha, bajo una cresta, parece esconderse el rostro del grito de Munch.

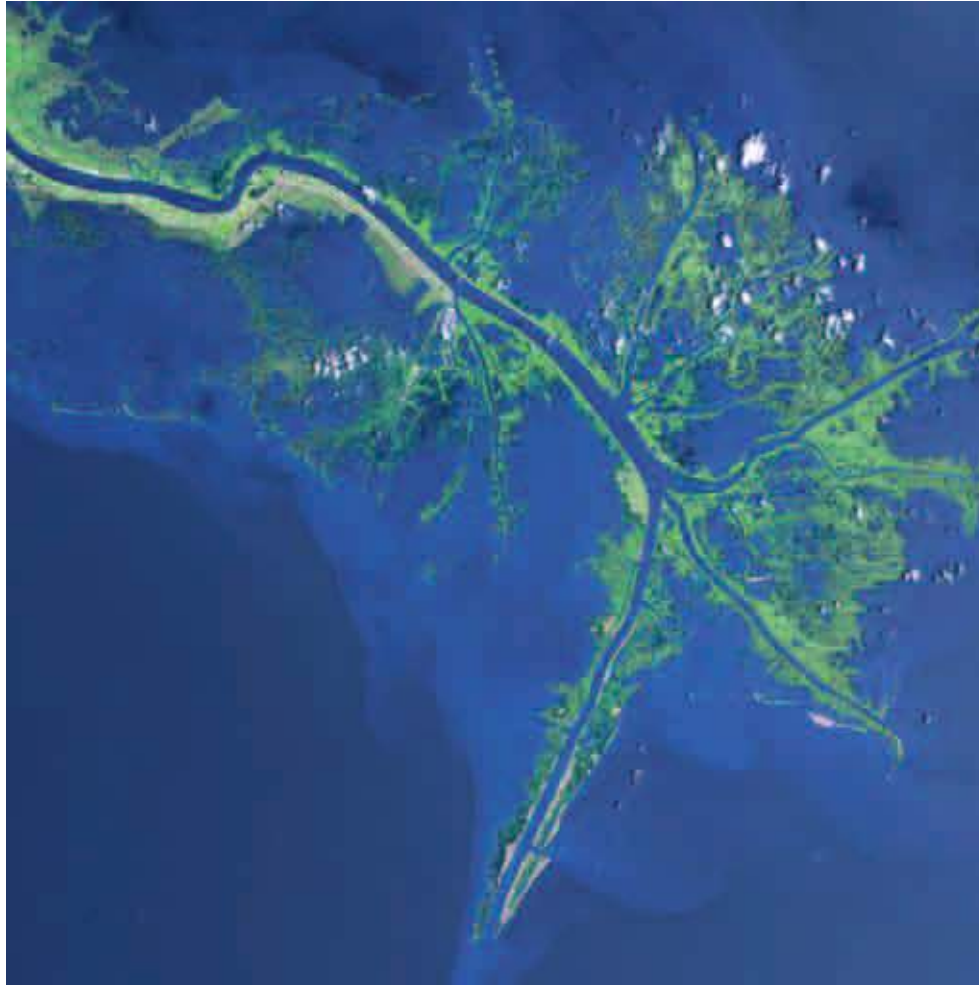
Son montañas de Marruecos. Formadas hace 80 millones de años. Un fenómeno geológico de esta época consiste en la formación de la arruga pirenaica. Comienza el choque del continente africano contra el euroasiático que dará lugar al levantamiento de las principales cordilleras 50 millones de años después.

Montañas de Marruecos. Formadas hace 80 millones de años. Área de la foto 28,7 por 29,4 km.



(1) “Ten cuidado con tus sueños; son las sirenas de las almas. Ellas canta, nos llaman, las seguimos y jamás retornamos.”  
Gustave Flaubert.

(2) Un bostezo es un ciclo respiratorio paroxístico, con una duración comprendida entre 5 y 10 segundos, periodo en el que los movimientos se suceden siempre con la misma cronología: una inspiración amplia, lenta y muy profunda, con la boca muy abierta (la expansión de la laringe puede cuadruplicar su diámetro respecto a la situación en reposo), una breve parada de los flujos ventilatorios con el tórax lleno, a menudo asociado a movimientos de estiramiento de las extremidades, finalizando con una espiración pasiva. Todo ello se puede acompañar de ruidos de intensidad variables, modulados a voluntad... ¡Cuidado, puede ser contagioso!



(1) Veo esta imagen; primero me asombro y después me río.

Missisipi -Mark Twain- Es mejor tener la boca cerrada y parecer estúpido que abrirla y disipar la duda.

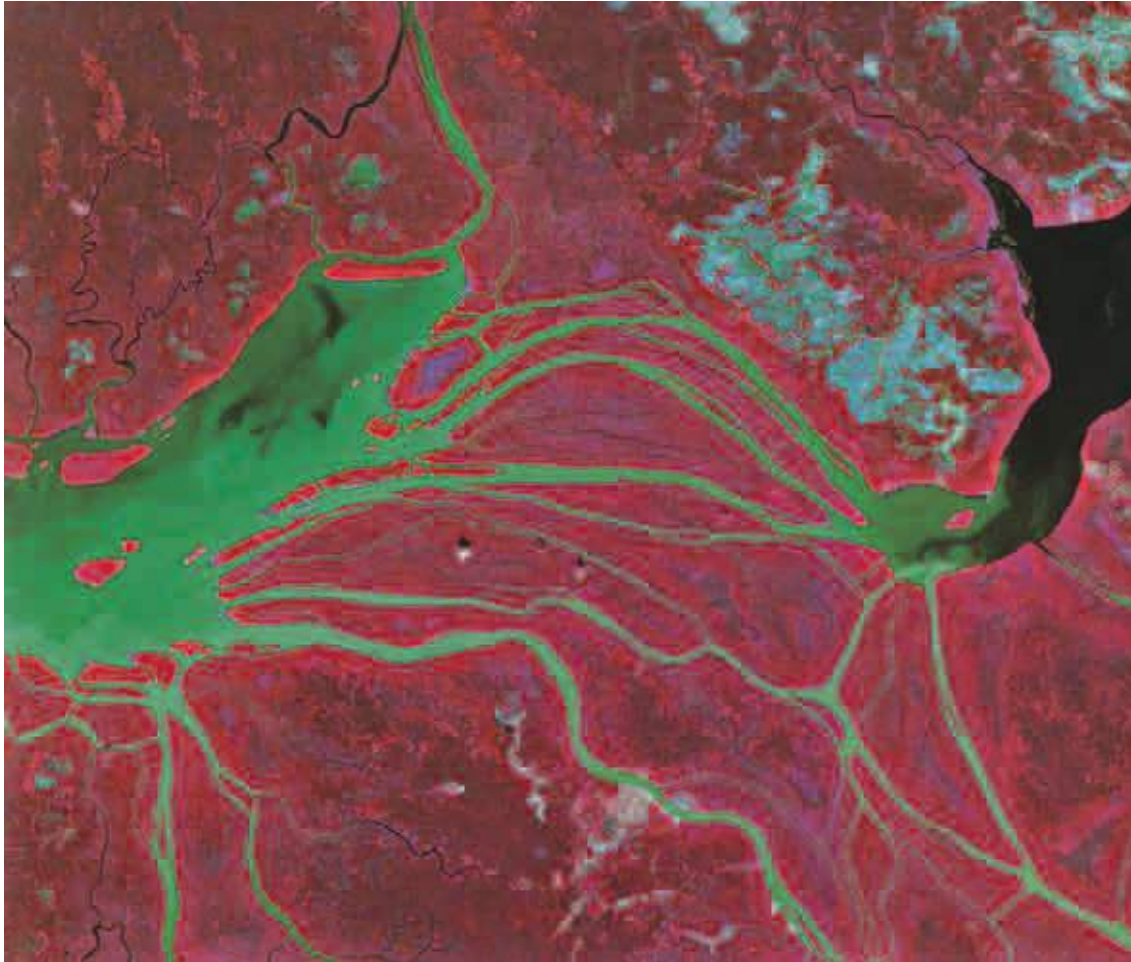
(2) Las pequeñas imperfecciones de la vida convierten en imprevisible el trazado de las curvas que definen la evolución de la existencia. Casi todo es inestable y, aparentemente, el devenir es aleatorio. Hay quien dice que somos hijos del caos y nuestro mañana no está dibujado, ni siquiera se dibuja cada día.

Sin embargo, visto con perspectiva, ojeado a la escala adecuada, el aparente desorden ofrece una sorprendente armonía: cada pequeña línea caótica, hija del azar, se une con otras de su misma naturaleza, generando una figura arborescente absolutamente idéntica a la de fenómenos naturales ajenos.

¿Estamos contemplando un río, la radiografía de la hoja de una planta o una arteria animal? Si el caos acaba obedeciendo humilde a un orden superior que conduce las aguas a su cauce ¿podrá ser real la pscohistoria de Asimov?

Las aguas turbias que llegan al Golfo de México depositan sus sedimentos formando el delta del río Mississippi





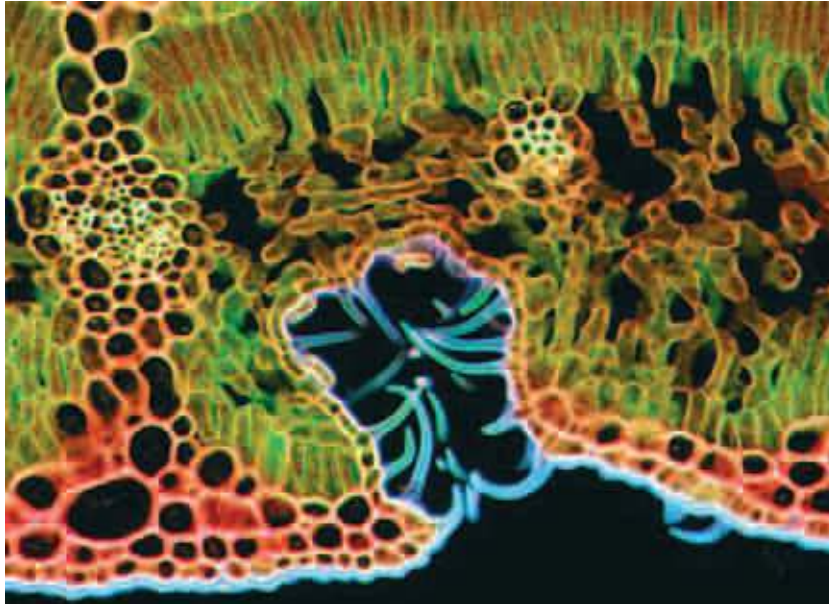
La naturaleza es conscientemente hostil. Quiere que las especies evolucionen perfeccionándose para que solo sobrevivan los más aptos. En busca del progreso de la vida no utiliza el vector único, al contrario, emplea miles, millones de especímenes diferentes, cada uno con su propia curva existencial, que irán sucumbiendo ante la adversidad para dejar solo a los más fuertes y más capacitados.

El mecanismo de prueba y error traza mil posibles curvas, trayectorias vitales, que sustituyen eficazmente a la solución única para concluir en la solución óptima.

El río, al igual que la humanidad, busca su mañana y tantea diversos caminos, cada uno de los cuales se cree en posesión de la verdad y desprecia a los otros, en pos del que se figura destino cierto. Al final, aquel que mejor se defiende de la hostilidad ambiental acabará convertido en el gran cauce.

Después, cuando se creía haber alcanzado el final, se volverá a empezar. La Naturaleza debe seguir vigilante y hostil trazando siempre mil curvas posibles. Porque la amabilidad, la atractiva línea única y el pensamiento único supondrían la decadencia. Es decir: la muerte.

Cuando el río Amazonas, de 6300 km de longitud, llega al mar se desmenuza en una multitud de canales formando el delta del Amazonas



El ensamblaje molecular representa un principio esencial en la organización biológica porque es el primer estadio en el camino que lleva desde las moléculas a las células. Pero no es suficiente para asegurar que así se lleguen a formar estructuras celulares satisfactorias y ese fallo es significativo por dos razones. En primer lugar contradice la idea muy asumida de que nada esencial se pierde cuando el material celular se mezcla y por ello podemos predecir desde el conocimiento molecular la manera en que las células se articulan y cómo funcionan. Además, y esto es quizá más profundo en el orden científico, los límites de la autoorganización se asientan sobre el sentido del genoma. Las instrucciones que emanan de los genes son locales, no globales. Los genes especifican el qué, la célula en su totalidad ordena el dónde y el cuándo, pero aún nunca hemos tenido una idea muy clara sobre el porqué.



Prueba de carga para la estrategia de la araña

Gotas de rocío sobre tela de araña



"El sueño del sol en su pared produce ojos"

Sombras provocadas por un eclipse total de sol. 03 Octubre 2005. Madrid



El 22 de octubre de 1996, el papa Juan Pablo II se dirigió a la Academia Pontificia de Ciencias, declarando solemnemente que “la teoría de la evolución es más que una hipótesis”. Viniendo de una institución que tardó más de tres siglos en rehabilitar a Galileo y que hace no mucho más de cincuenta años aún se oponía a hacer públicos los intentos del jesuita francés Pierre Teilhard de Chardin para reconciliar evolución y religión, tal declaración subraya mejor que cualquier argumento científico el carácter inevitable de las pruebas de la evolución biológica.

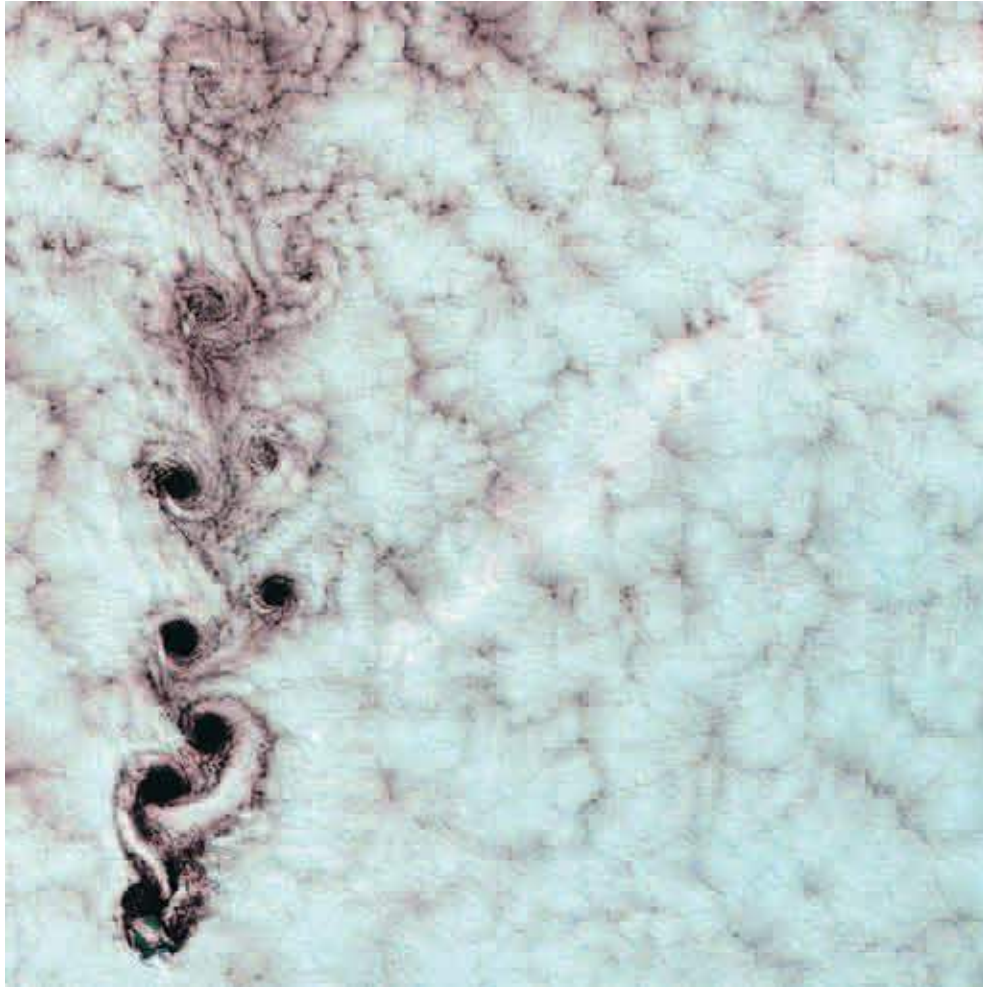
Anuncio de medias de mitad de los ochenta.



Pulpo en actitud defensiva. Los brazos adoptan una posición en forma de espiral. Las espirales son formas ubicuitas en la Naturaleza. Las observamos en el mundo infinitamente pequeño; las trayectorias de partículas cargadas en presencia de campos magnéticos. A escala humana; en las conchas de los moluscos o en la filotaxis de las plantas. Y, también, en el otro extremo de lo infinitamente grande; en la estructura de algunas galaxias.



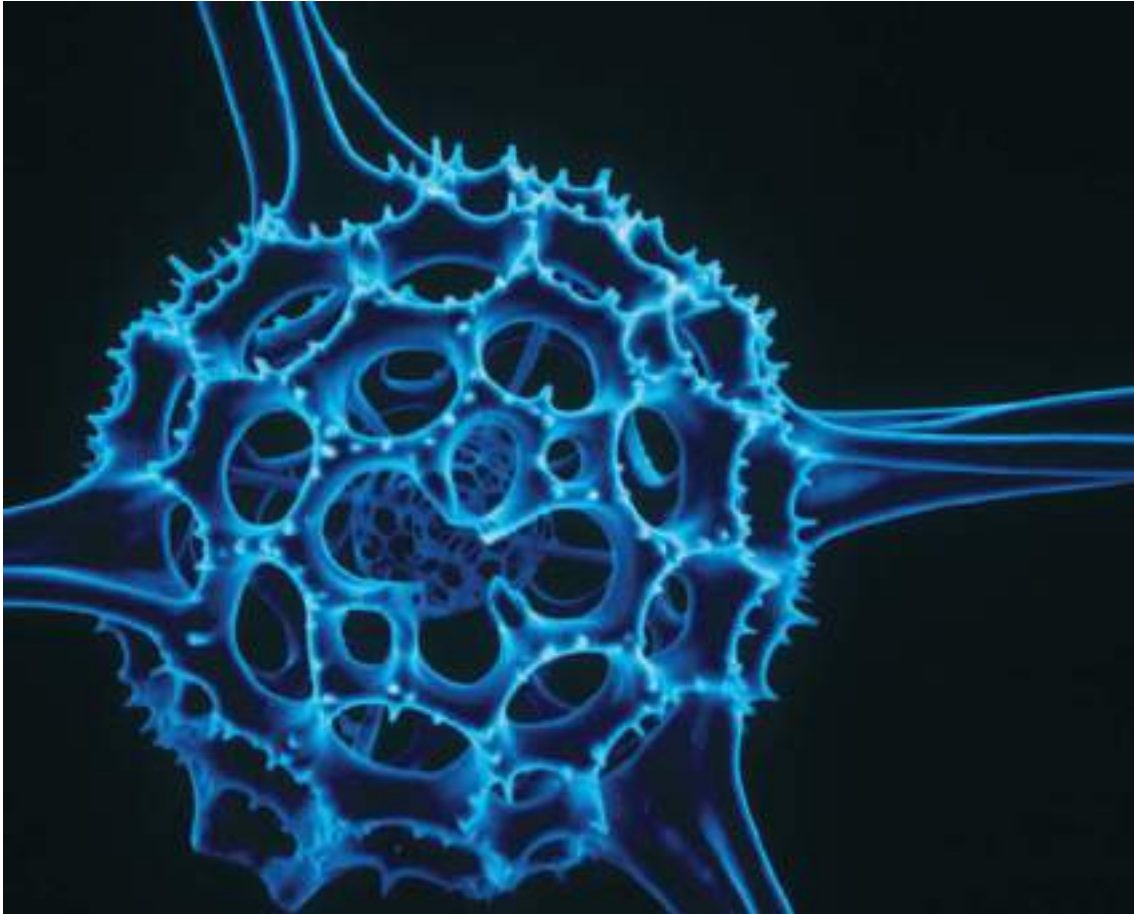
El flujo puede ser una mera traslación uniforme, el obstáculo simétrico, incluso suave y circular. La naturaleza impone su albedrío, rompe la simétrica y desprende remolinos periódicos, alternando su sentido de giro. Lo vemos cuando ondea una bandera, lo oímos cuando silban las jarcias en el viento, lo usamos para medir la velocidad del fluido. Pero nos cuesta intuir el porqué de ese capricho de la naturaleza, capaz de originar complejidad hasta en un contexto de apariencia abrumadoramente simple.



El marino escocés Alexander Selkirk pasó cuatro años y cuatro meses, desde el verano de 1704 hasta 1708, en una isla del Pacífico que luego sería bautizada con su nombre. El capitán del Cinque Ports, Straliding, lo abandonó en esta isla al negarse Selkirk a seguir con él, ya que pensaba que llevaría la expedición al fracaso. Selkirk pasó todo ese tiempo escondiéndose de los barcos españoles que fondeaban cerca de la isla por miedo a que lo mataran o lo hicieran preso. Por fin fue rescatado por un navío inglés en 1708 y su historia inspiró a Daniel Defoe a escribir su novela Robinson Crusoe. Parece que aunque hayan pasado los años el espíritu del joven marino sigue lanzando señales para que algún navío lo rescate.

El punto más alto de la Isla de Alexander Selkirk en el Océano Pacífico se encuentra a 1600 metros sobre el nivel del mar y cuando las nubes dirigidas por el viento se encuentran con este obstáculo lo rodean formando esta estela de von Karman.





Si observas algo lo suficientemente cerca aprendes que está formado por elementos reconocibles y discretos y que su forma tiene que ver íntimamente con su sistema de agregación. La separación pedagógica entre física y química no existe, no es más que una cuestión de escala de observación.

Esqueleto de radiolario: microorganismo marino compuesto por pequeñas espigas de sílice.

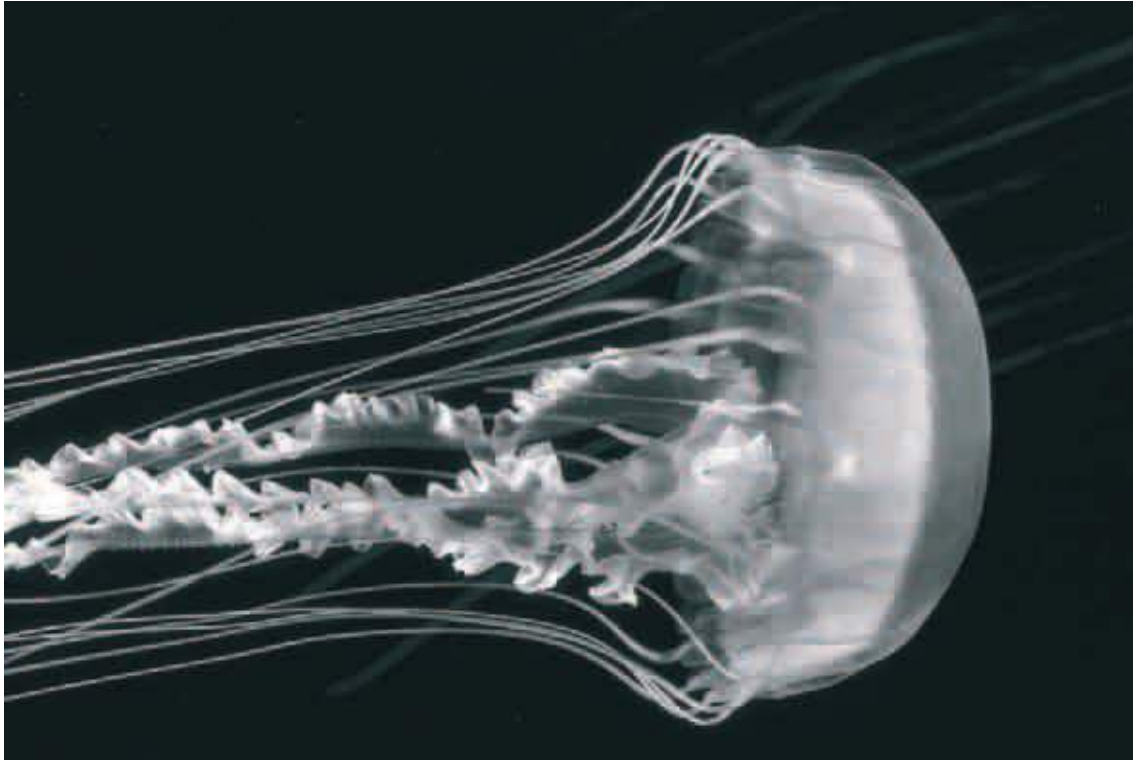


Colonia de zooides independientes (*Clavelina lepadiformes*), muy próximos entre sí, unidos por estolones rastreros. La forma de este empaquetamiento compacto es similar a la de una piña de piñones o a una mazorca de maíz. Hasta hace poco se creía que el empaquetamiento más compacto se conseguía mediante un poliedro de 14 caras, propuesto en 1887 por Lord Kelvin, pero recientemente, en 1993, Dennis Weaire y R. Phelan han propuesto una estructura celular cuya área es un 0,3% inferior a la del poliedro de Kelvin. La estructura está formada por ocho celdas, seis con 14 caras y dos con 12.



Crisol tectónico inundado y fértil.  
Estrecho que converge y diverge.  
Divergencia que separa y atempera.  
Atemperamiento que deposita y asomera.  
Asomeramiento que ramifica y trenza.  
Trenzamiento que estrangula y retiene.  
Retención que colmata y progresa.  
Progreso que estrangula y muere.  
El ciclo de la vida, la curva de la muerte.

Bombetoka Bay, Madagascar. Área de la foto: 29 por 30,4 Km



"... La medusa viva tiene simetría geométrica tan nítida y regular que hace pensar en un elemento físico o mecánico en la construcción y en el crecimiento de estas pequeñas criaturas. Tiene para empezar, su campana o sombrilla de tipo vórtice, con su asa simétrica. La campana está atravesada por canales radiales, cuatro o múltiplo de cuatro, su borde tiene en derredor tentáculos, lisos o a menudo granulados, a intervalos regulares o de tamaños en graduación, y ciertas estructuras sensoriales, incluyendo concreciones sólidas (u otolitos) que se hallan también simétricamente distribuidas..."



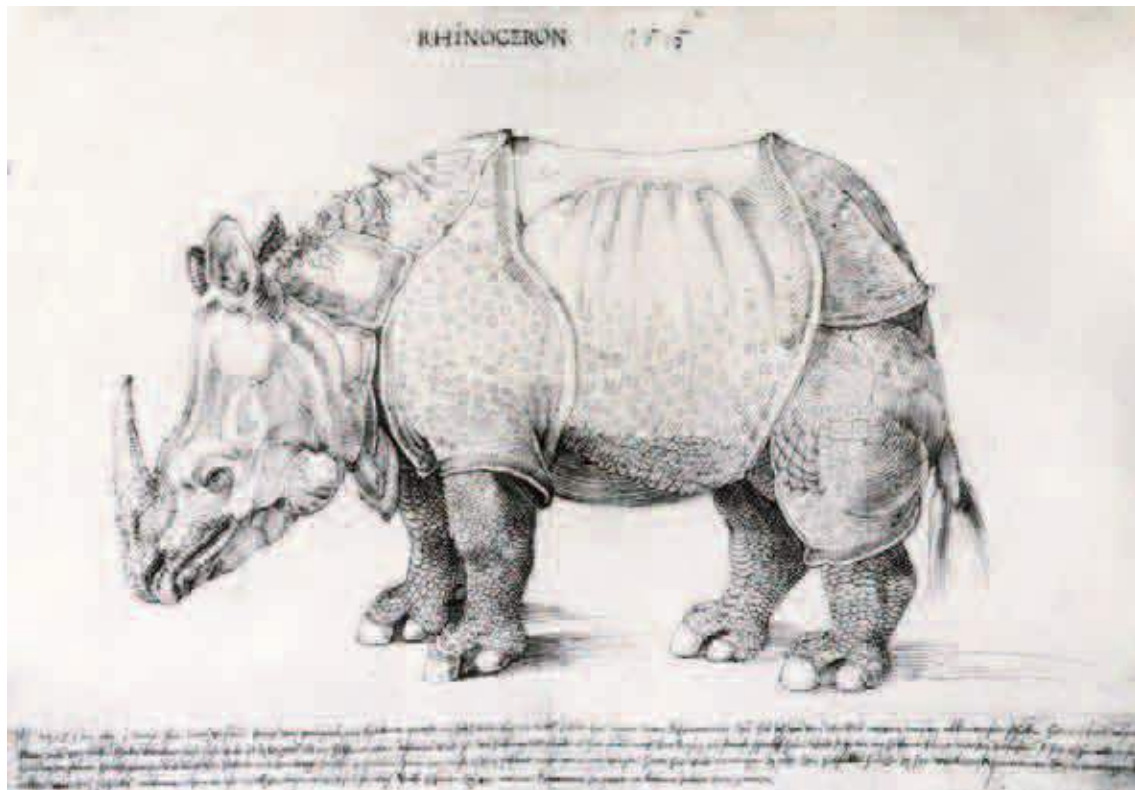
(1) "No se confíe al mar quien tema al viento"  
Pietro Metastasio.

(2) "Crecía un poco por todas partes, como a mano viene; si a eso le llamáis simetría radiada, quiere decir que tiene simetría radiada, pero en realidad nunca le presté atención."  
La espiral. Italo Calvino.



Quizá la naturaleza tenga sentido del humor, mordaz. En el contexto más simple es capaz de crear complejidad, a la vez que nos desconcierta ordenando en ocasiones lo errático. Quién hubiera podido suponer que unos procesos variables y esencialmente caóticos como los erosivos, responsables de una infinita arbitrariedad de formas, hubieran podido dar lugar a la simetría de máximo orden, a la simetría circular. La naturaleza será menos apasionante si un día deja de sorprendernos.

Desierto del Sahara. Mauritania. 50 Km de diámetro.  
Inicialmente interpretado como el impacto de un meteorito, es consecuencia de la erosión del terreno.



“Creo que he encontrado el eslabón perdido entre los animales y el “homo sapiens”: nosotros.”  
Konrad Lorenz

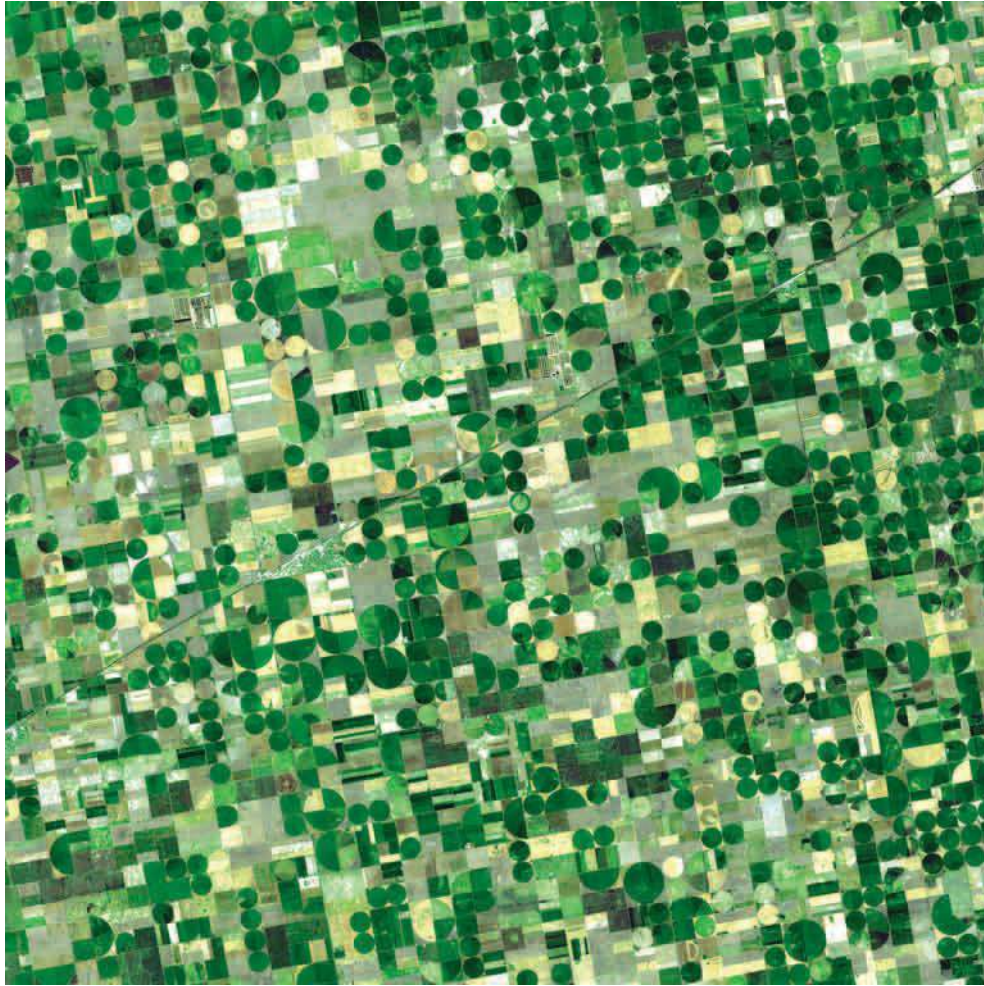
Durero nunca vio un rinoceronte. Este estudio está basado en un croquis que fue enviado como presente al papa León X.



“La fuerza no es sino una causalidad nacida de la debilidad de los otros.”  
Joseph Conrad

¿Se trata realmente de fisuras en un metal frágil?





No hay duda de que el porcentaje de terreno regado aumentaría con un reparto hexagonal de la propiedad, aunque la informatización del catastro quizás resultara más compleja.

Finney County, Kansas. Área de la foto: 37,2 por 39,9 km.



Todo en esta vida requiere de unas válvulas de escape para no reventar, sólo que algunas son más grandes que otras. Todo depende del tamaño de la máquina.

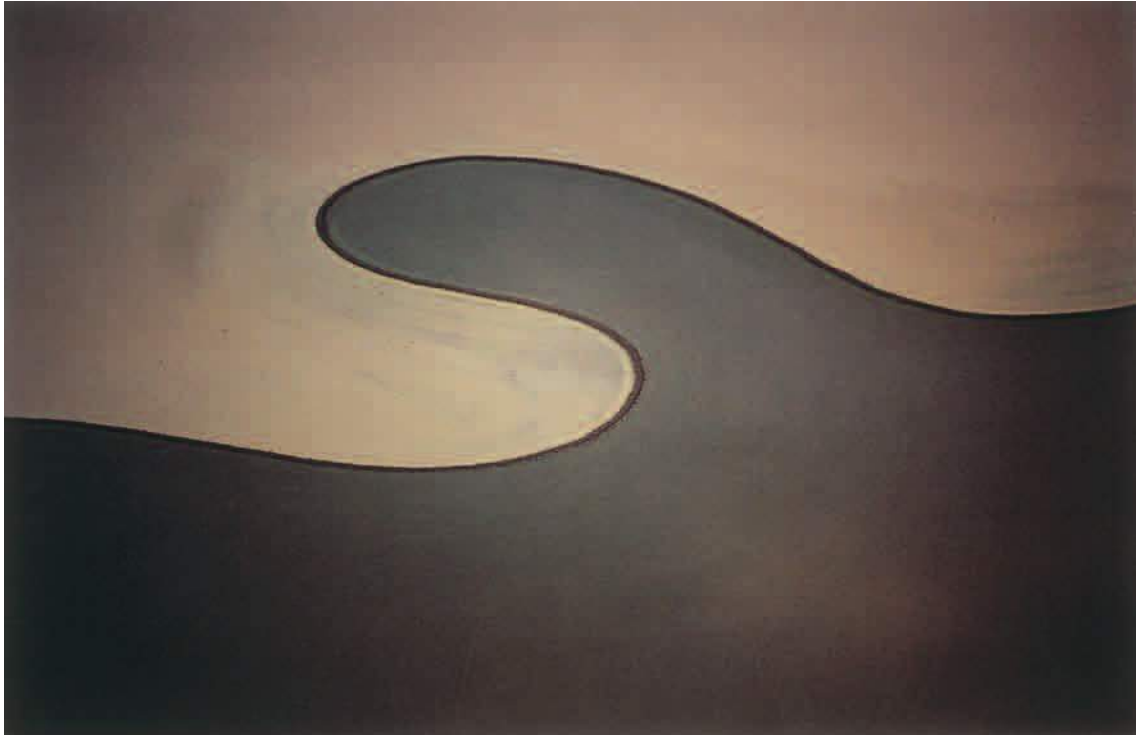


“La cerca de piedra culebreaba mucho al subir y bajar por las lomas, y ellos, la Perra y los Cuatro, iban también culebreando como si fueran con los pies trabados.”  
Juan Rulfo: El Llano en llamas.



### Taquimétrico artesanal

Las franjas de rotación de cultivos siguen el contorno natural del terreno. Illinois, USA

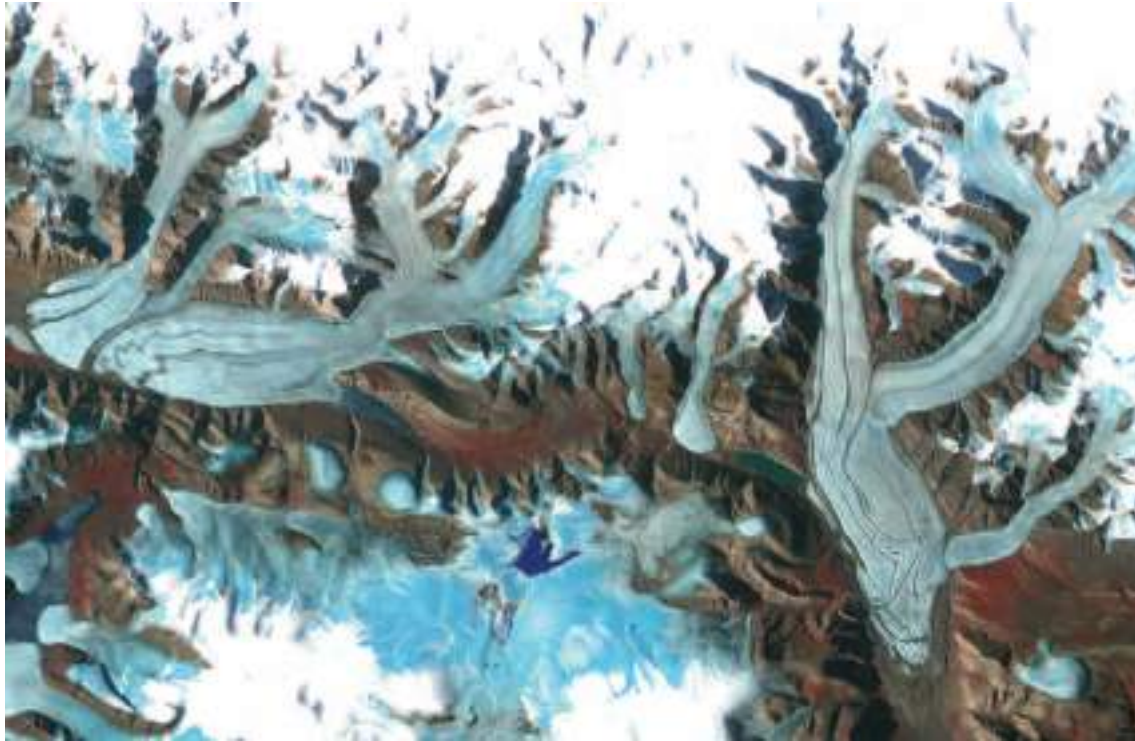


El arte abstracto es el que más concretamente invita a la naturaleza.

Arrozal en forma de Yin y Yang. Suroeste del estado de Luisiana, USA



Hay lugares en los que los movimientos de las personas piden ser curvas. Ser curvas y dejar la huella precisa y arbitraria de curva. Sobre hielo...¿A quien le podrías exigir una línea recta?



Dos gigantes abrazados en una eterna lucha, el joven se desliza por los surcos del anciano, quien a su vez recuerda cómo en el inicio de los tiempos él también fue dúctil y veloz.

Glaciar Chapman. Canadá. Área de la foto: 31,7 por 55,5 km.



A siete años de un suceso, el suceso ya es otro, dice Camilo J. Cela, pero tal vez hace 1.000 millones de años las cosas no eran así.

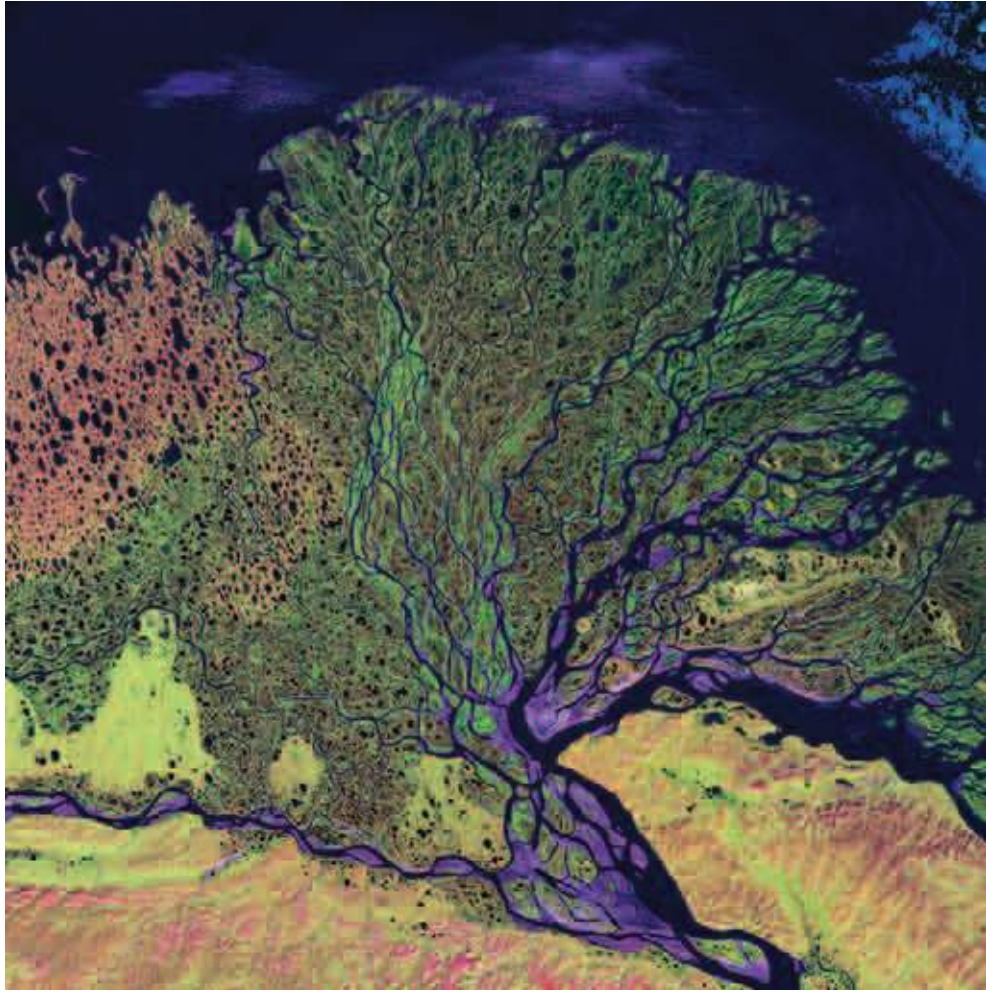
Cráter de impacto Shoemaker. Impacto producido entre 1000 y 600 millones de años atrás. 44,2 por 45,5 km.





Esta es una de esas situaciones en las que la masa se sublima lentamente.  
El borde sinuoso choca, se enfrenta y se diluye hasta cambiar de estado.

El Río Ganges forma un gran delta al desembocar en la Bahía de Bengala.  
El delta está cubierto por un bosque tropical llamado el Sunderbans, donde habita el Tigre de Bengala.



MADRE (*con las manos en la cabeza*): eh, Hielo! Detenga esas curvas.

El Río Lena, de 4400 km de longitud, es uno de los ríos más largos del mundo y la Reserva del Delta del Río Lena es el área protegida salvaje más extensa de Rusia.



CURVAS DE LA MÚSICA



Lira de pedales. Brodmann. Viena 1812. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Trompeta en do. Naumburg 1646. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Guitarra. Giuseppe Ferrari. Nápoles 1813. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Zarrabete. Francia 1730. Museo de la Música. París  
Arpa con gancho y pedal mecánico. 1800. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín



Amati, Stradivarius o Guarneri? El perímetro de un violín, viola o cello, no es más ni menos que el juego intersectado de varias curvas epicicloidales elípticas, en partes excéntricas al cuerpo del instrumento. Sus segmentos, no siempre regulares, se guarnecen con molduras que realzan la ondulación y fijan su forma como si se tratase de un arabesco de estilo rococó. El violín recuerda mucho, por su forma plena de interrupciones y cambios de rumbo, a detalles de estilo en las ventanas de ciertos edificios del barroco; incluso a diseños de la planta, como el del Palazzo Abbaziale de Loreto, en Avellino, que proyectó a principios del siglo XVIII el polémico Vaccaro.



“El alma del artista está eternamente sedienta.”

Emanuel Geibel

¿Se bebe la música o se escucha? En cualquier caso debe calmar la sed.

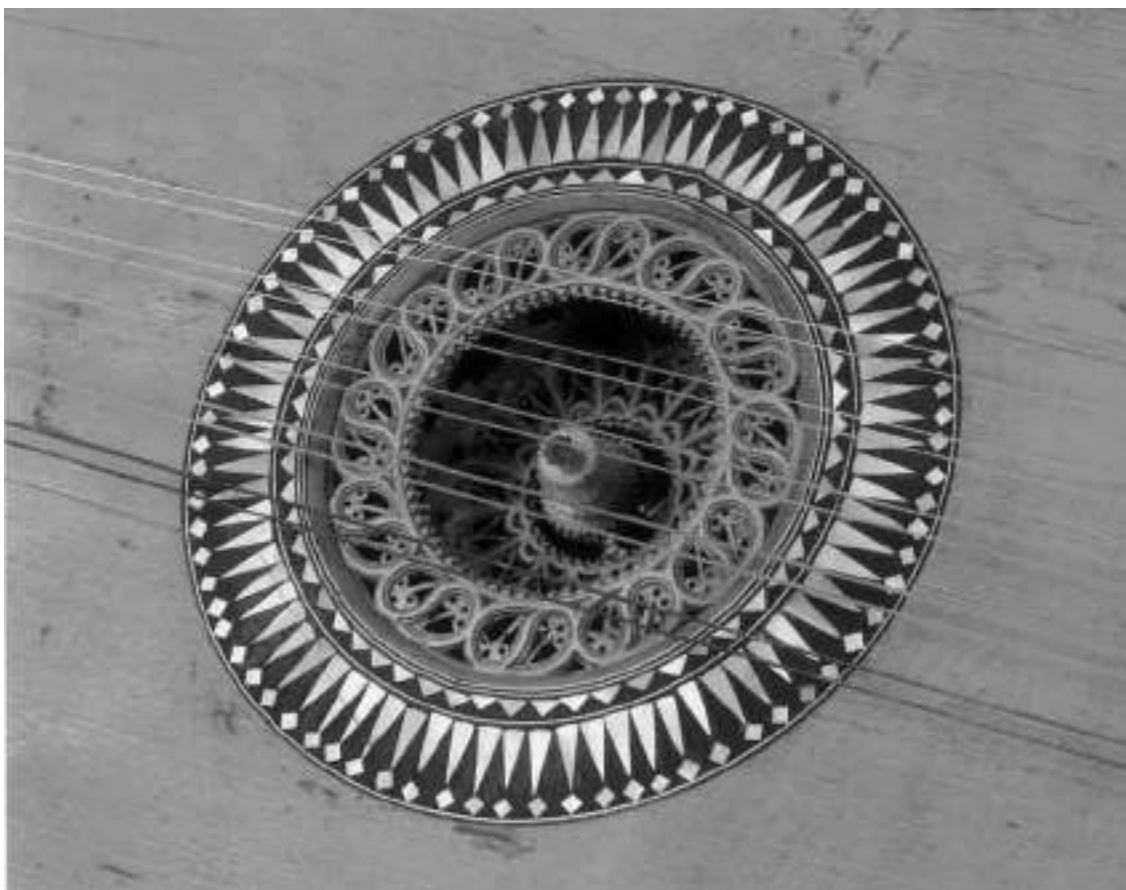


Los intentos para desarrollar el sentido del humor y ver las cosas bajo una luz optimista son un truco que aprendemos mientras dominamos el arte de vivir, incluso en situaciones de sufrimiento. El dolor humano es como el gas, tiende a ocupar todo el volumen del alma y de la conciencia, pero al mismo tiempo su tamaño es relativo, de lo que se deduce que la cosa más nimia puede originar las mayores alegrías. En el mejor de los tiempos y en el peor de los tiempos, lo poseemos todo pero no tenemos nada





Sería interesante saber si es que hay relación discernible entre la función instrumental y la extensión de las composiciones musicales, es decir si la variabilidad física de los instrumentos, su materialidad formal y pesante, afecta o no al tiempo-duración de la música escrita. En el arte de rango más abierto, el jazz, hay quien reniega del hábito compositivo, pero la verdad es que hay obras que jamás se alcanzarían improvisando. Dicen los entendidos que el truco está en generar ámbitos que dan lugar a equilibrios entre libertad y forma; debe ser por eso que el jazz no admite –thanks God- sillitas en que apoyar el trasero.



Los cuatro humores, los cuatro elementos, las estaciones, los puntos cardinales. Todos ellos afinados por cuartas perfectas. Además de estos cuatro órdenes un quinto, rojo como la sangre, que representa al alma y simboliza a la vida. Con él la extensión del laúd crece. De esta forma el laúd cura las enfermedades, equilibra el temperamento, da aliento a los guerreros en la batalla y procura placer en tiempos pacíficos. Shamsiyya (pequeño sol en árabe) es el marco en donde todos actúan. Es la boca, es el canto y la palabra. La palabra y el ritmo nos conducen por legado del Islam en nuestra música.



Como en un barco, en el que del diseño del casco, mástiles y velas depende su dinámica, en la Viola da Gamba de la precisión geométrica de cada una de sus curvas depende la belleza de sus sonidos. El moño o cabeza es quizá la única excepción que, como el *mascarón* del barco, libre de función, libre para el ornato y libre para la ensoñación, marca la personalidad del instrumento haciéndolo único, como el *mascarón* lo hace con su barco.



Si pudiéramos escuchar el sonido de esta imagen nos extrañaría que no fuera Jazz, caliente y agitado Jazz. Y como no podría ser de otra manera, si el Jazz empezó siendo una música para el pecado lo normal es que saliera de una retorcida serpiente.



Corneta de pistones. París. Museo de la Música. París



Trompeta en si. Friedrich Wilhelm. Karlsruhe 1818. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín



Para los antiguos egipcios el símbolo de la precisión era una pluma que servía de pesa en el platillo de la balanza donde se pesaban las almas. La pluma se llamaba Maat, diosa de la balanza. Su jeroglífico indicaba la medida de longitud, los 33 centímetros del ladrillo unitario, y también el tono fundamental de la flauta. Armonía, precisión, claridad... ¡clarinete!



La inmortalidad del compositor se pone de manifiesto en esa partitura cuyas notas discretas fluyen atemperadas por la curvatura y difuminadas por el instrumento hasta convertirse en un flujo continuo que, tras repetidas rotaciones en tubos que se curvan para respetarse mutuamente, producen ese sonido exclusivo que provoca sensaciones, genera emociones y evoca sentimientos.

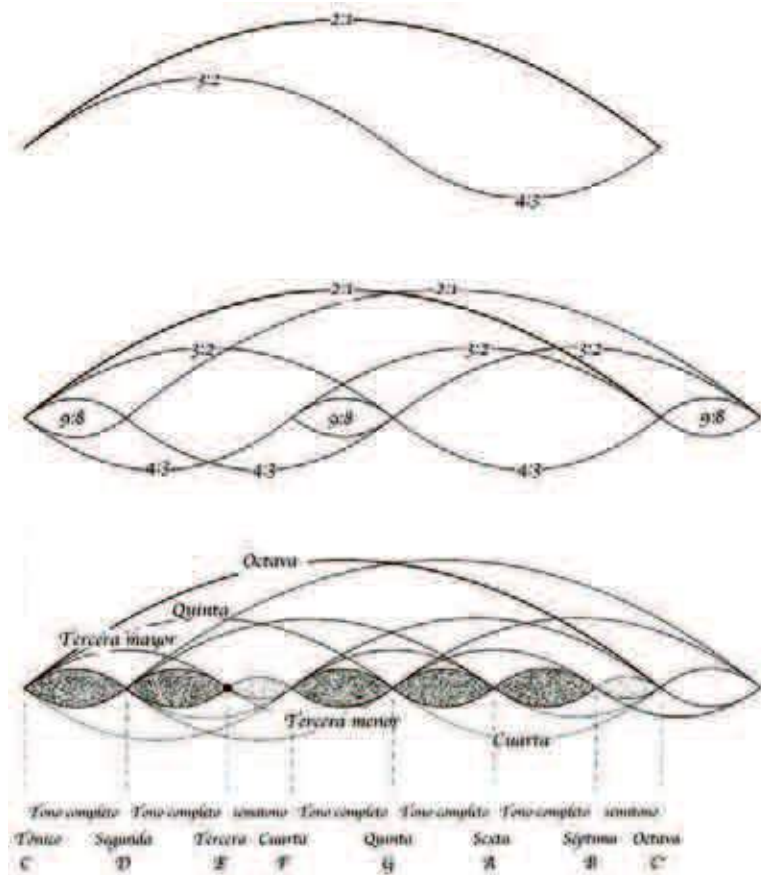




Piezas de trompas de caza en Fa. Johann Gottfried Moritz. Berlín 1835. Museo de Instrumentos Musicales. Berlín

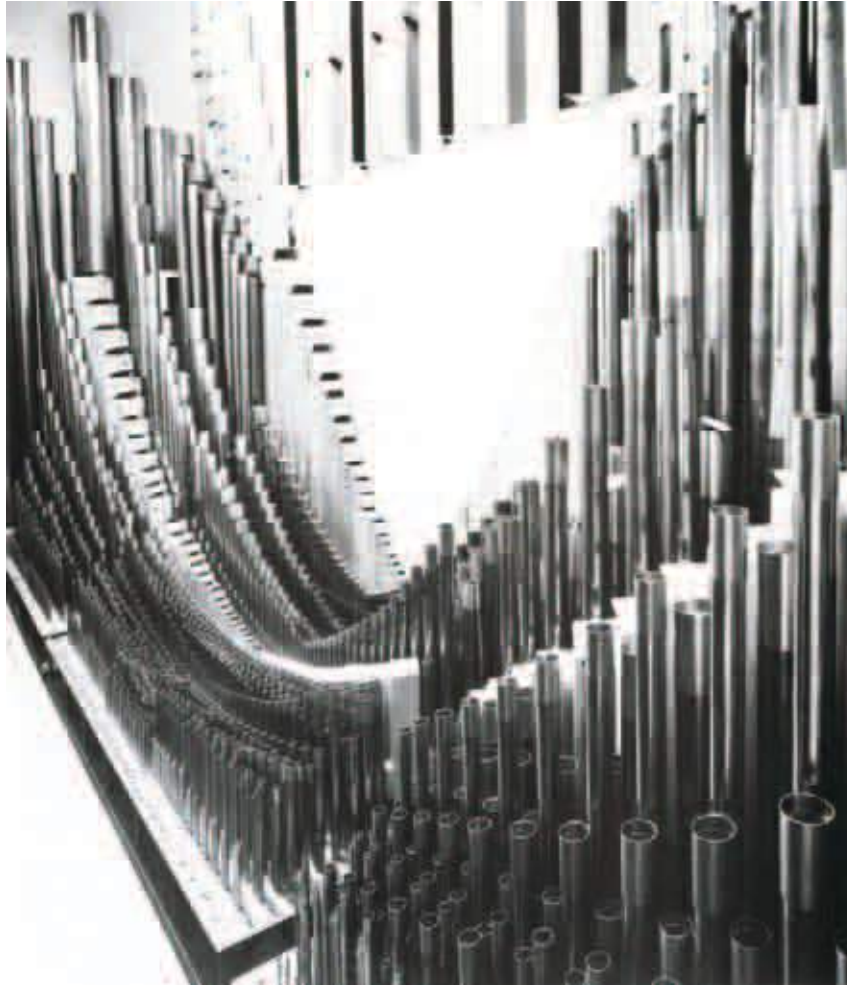


Pero...¿QUIÉN DISPARÓ AL PIANISTA?-preguntó el director parando el ensallo.  
¡Seguro que fué el del trombón!-gritó al unísono el resto de los músicos.

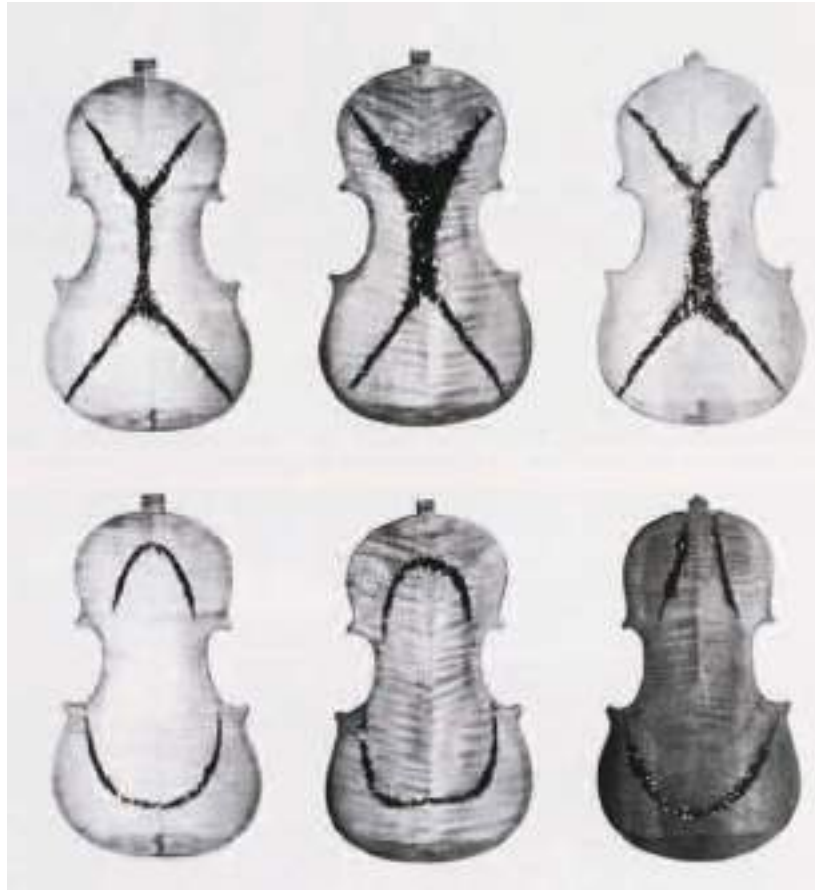


Hace 2500 años los griegos concibieron la escala "natural": las frecuencias de los intervalos en que se divide la octava corresponden a cocientes racionales entre números sencillos, como  $3/2$ ,  $4/3$ , etc. El problema es que un instrumento afinado con ese criterio esencialmente sólo puede tocar en un tono. Para solucionarlo, a fines del siglo XVI Vincenzo Galilei (padre de Galileo Galilei), Chu Tsai-Yu y otros propusieron la escala temperada, que recibió su espaldarazo definitivo con los preludios y fugas de El Clave Bien Temperado de J.S. Bach, los primeros 24 terminados en 1722 y los otros 24 en 1740. La escala temperada divide la octava en 12 semitonos de frecuencias equiespaciadas geométricamente; ajusta con gran precisión los intervalos básicos de la escala natural (los errores de la cuarta justa y la dominante son del 0,1%) y muy aceptablemente los demás (el pésimo es la quinta disminuida con un 1% de error)

La manifestación básica de la escala: la escala pitagórica

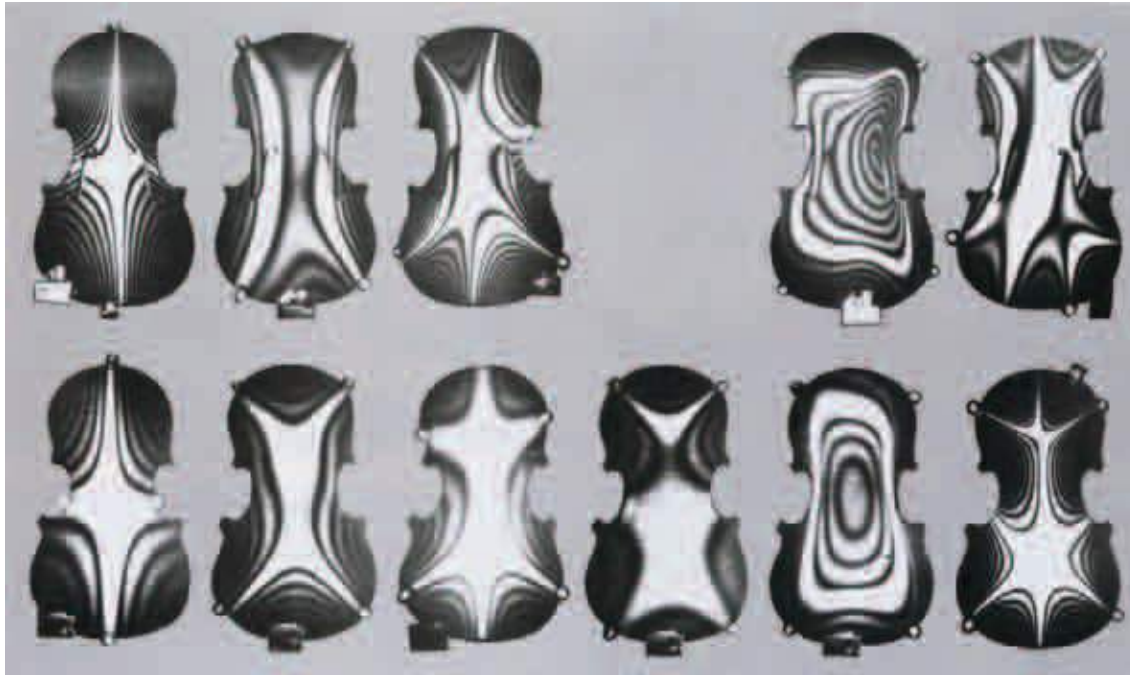


La longitud de la parte sonora de cada tubo se duplica cada doce tubos. El diámetro del tubo lo hace cada dieciséis tubos. Gracias a su larga experiencia, los organeros han llegado a definir empíricamente las proporciones necesarias para obtener una calidad tonal compensada.

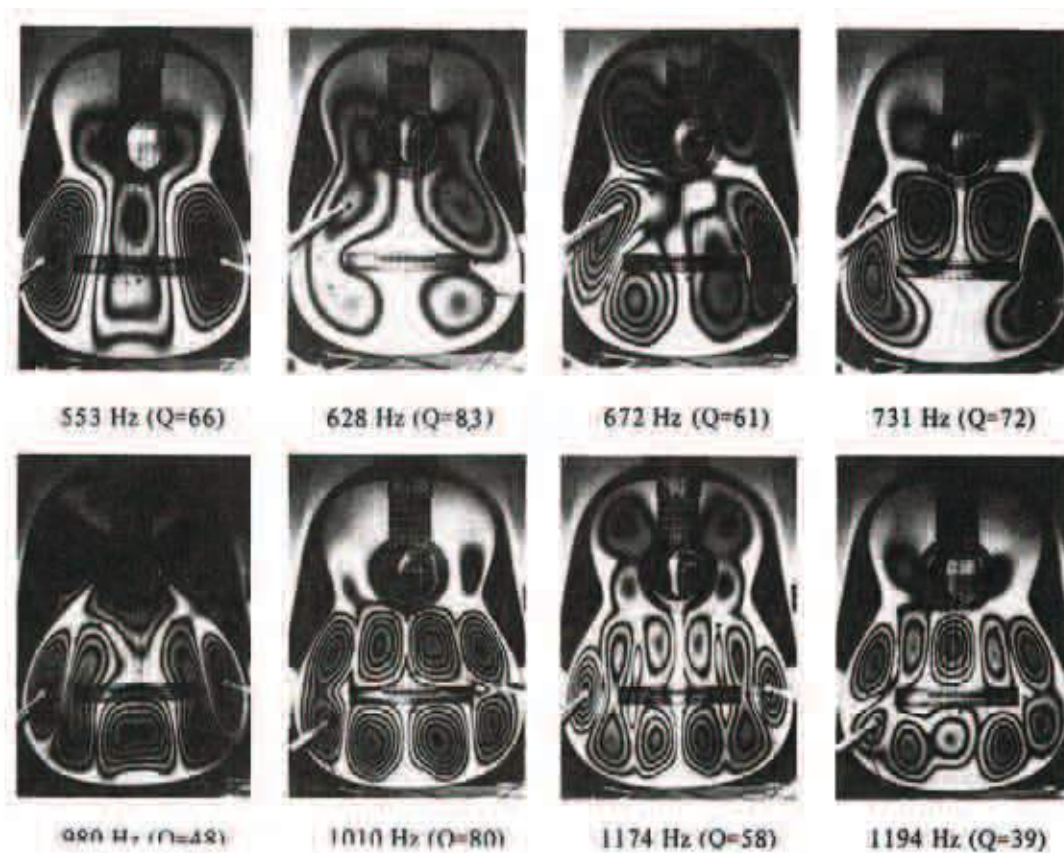


Las figuras de Chladni son fáciles de generar: basta distribuir polvo fino sobre una placa y excitar uno de sus modos de vibración. El polvo huirá naturalmente desde las zonas agitadas a aquéllas que en ese modo de vibración no tienen movimiento, las líneas nodales, una ayuda inestimable para los fabricantes de múltiples instrumentos. Ernst Chladni (1756-1827) también inventó y daba conciertos de eufonio, un conjunto de barras de vidrio y metal cuya vibración excitaba al rozarlas con un dedo húmedo; y propuso que los meteoritos, hasta entonces considerados de origen volcánico, eran de procedencia extraterrestre.

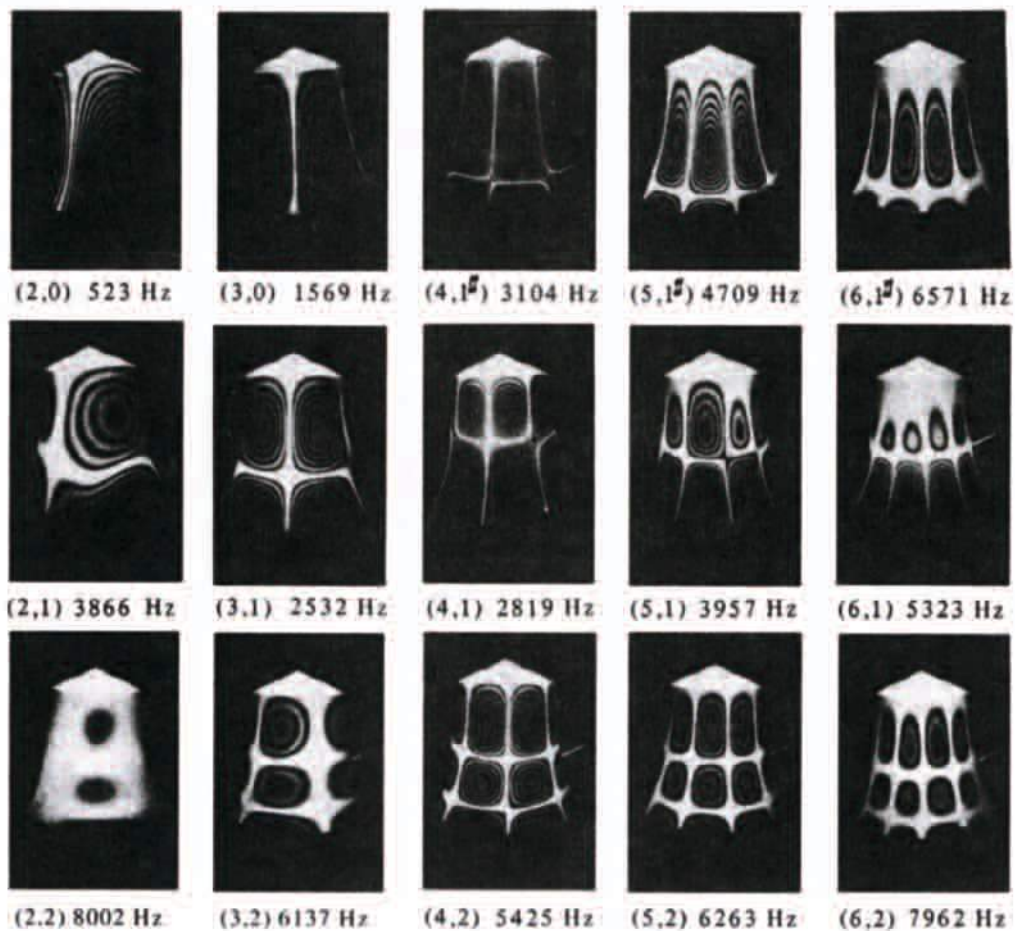
Para saber si una tabla está bien afinada se recurre al método de Chladni



Uno de los grandes misterios de la historia de la música es el de la habilidad de los maestros luthiers de antaño. Sin más bagaje científico que un conocimiento empírico de la física y de la acústica de su instrumento, esos artesanos construían violines que todavía hoy apreciamos por la nitidez y la belleza de su sonido.



La guitarra no queda indiferente entre las ondas que con ella interfieren. Ella quiere ser mariposa cuando la acarician. La guitarra nos revela su íntima topografía sonora, reverbera por todo su cuerpo la excitación de sus cuerdas. La diversidad morfológica de sus vibrantes montañas ante cada una de las frecuencias del espectro, nos demuestra su abstracto desnudo multicolor.



Modos y frecuencias de vibración de una campana, a medida que aumentan las longitudes de onda contenidas en su perímetro y su longitud. Cuando el badajo golpee, será la frecuencia más baja la que interpretemos como su tono; las proporciones de energía con que se exciten los demás modos caracterizarán el timbre del instrumento. Frente a una cuerda o columna de aire en vibración, una campana no genera naturalmente un sonido "limpio". Cuántos fundidores ajenos a la simulación numérica de problemas en derivadas parciales se habrán frustrado antes de lograr los maravillosos carillones que heredamos.





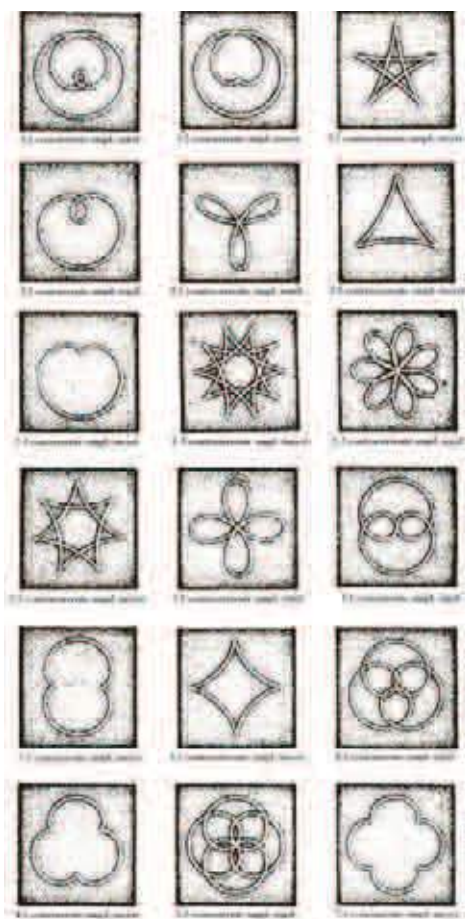
Invitación al desconcierto de Aranjuez.

Piscina con forma de guitarra en un motel temático. Orlando, Florida

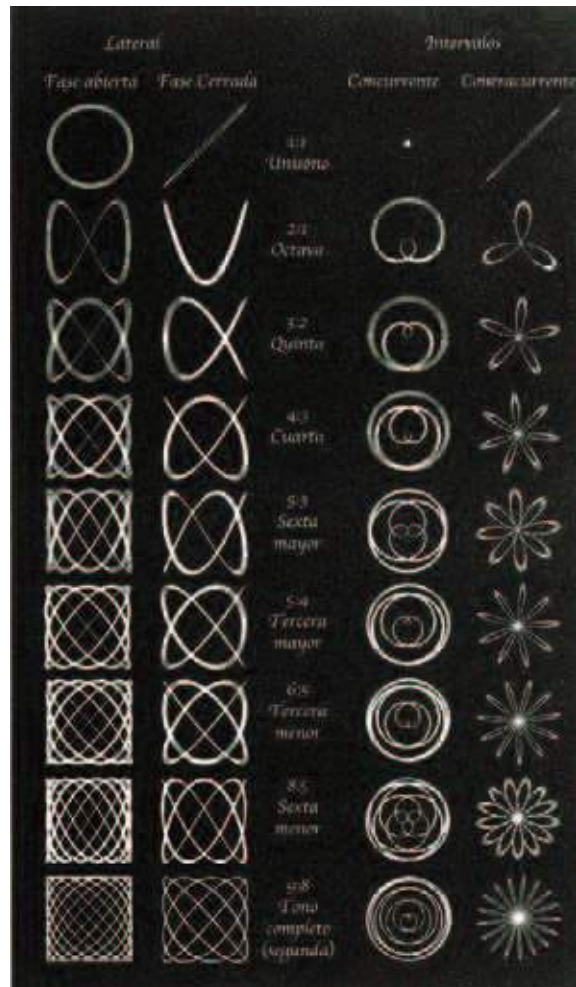


Invitación al desconcierto del Emperador.

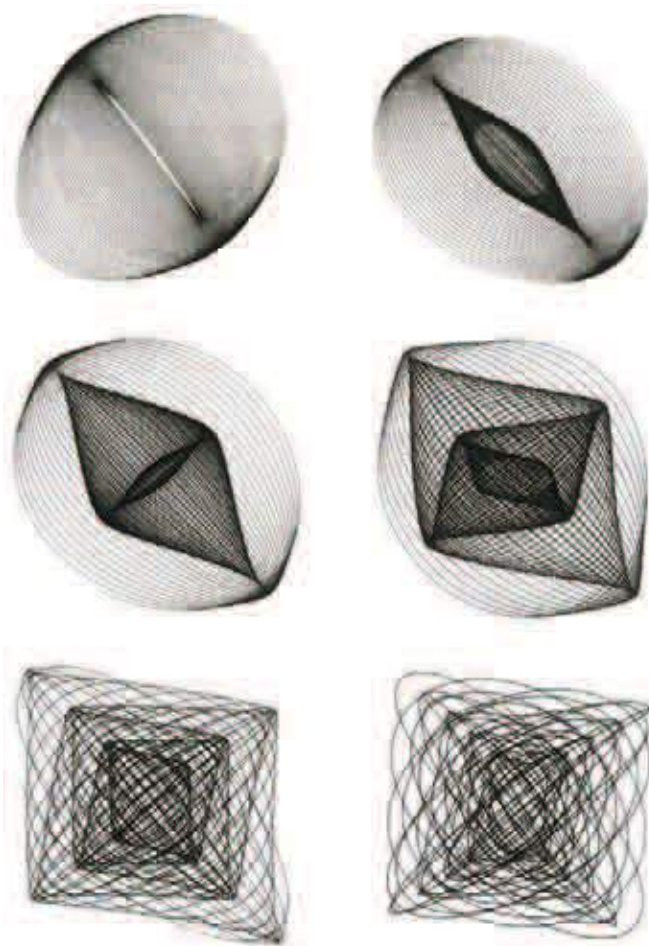
Piscina con forma de piano en un motel temático. Orlando, Florida



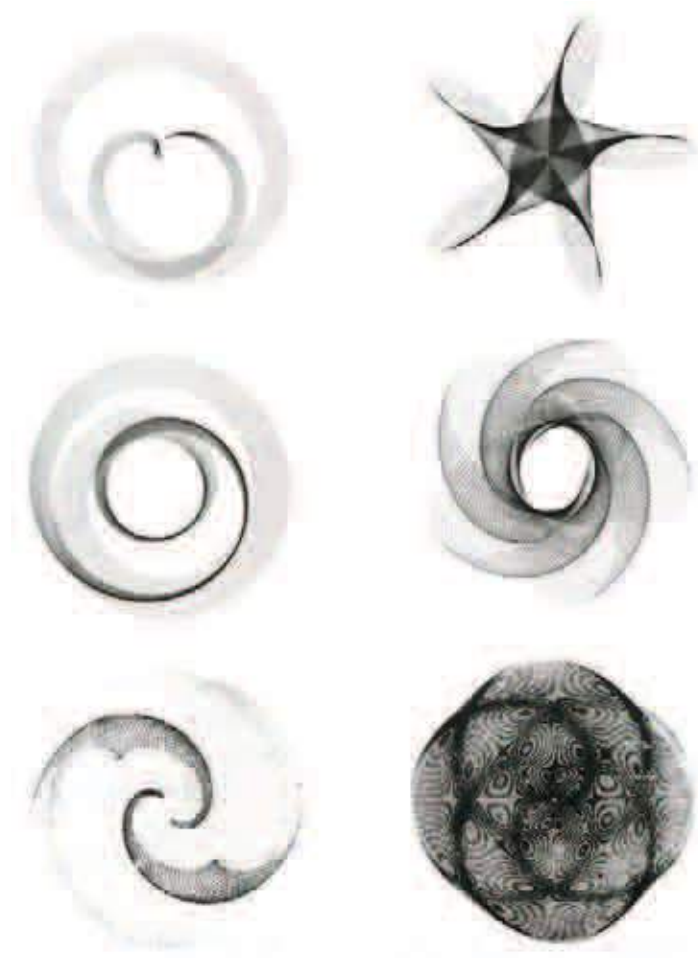
“La música es la aritmética de los sonidos, como la óptica es la geometría de la luz.”  
Claude Debussy



“Nuestros oídos y nuestros ojos son contadores de frecuencias”.



Cuando se producen pequeñas desviaciones de la armonía perfecta el armonógrafo traza dibujos variados y hermosos. Los pequeños desaciertos poseen un encanto especial. Este principio es común a la naturaleza y al trabajo de muchos artistas.



3:2. La primera relación armónica después de la trivial 2:1. Los antiguos confiaban al senario (las relaciones entre los seis primeros números naturales) su criterio estético en armonía musical. Tras el esoterismo y misticismo de esta concepción de la música se manifiestan algunos rasgos del pensamiento moderno. Lo simple (sin connotaciones negativas) se revela como generador de patrones bellos, útiles y eficaces.



El baile es la mejor forma de traducir música al lenguaje visual.

Coreografía: Ofrenda de sombras. Compañía Nacional de Danza. Bailarines: Iratxe Ansa y Nicolás Maire.



Nacho Duato: El placer de la danza.





Pobreza y abandono no constituyen obstáculo alguno a que el ser humano, mediante la combinación inteligente de curvas y rectas, produzcan la variedad y la especificidad de sonidos que caracterizan inconfundiblemente al instrumento y manifieste lo más profundo de su ser mediante esa desconocida y misteriosa expresión musical.



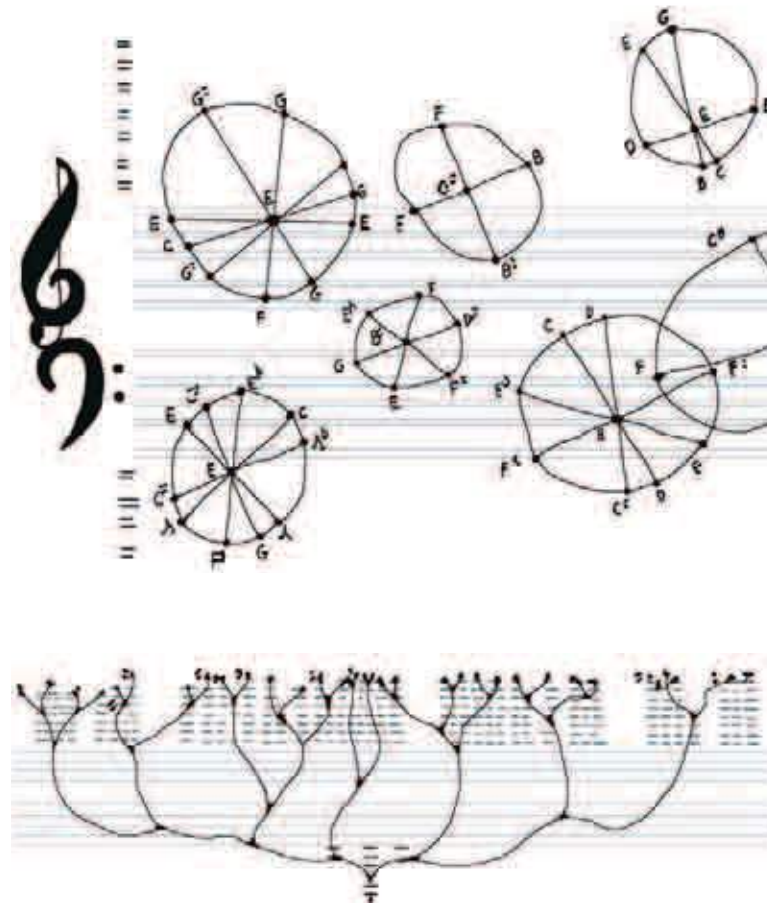
Violín de bolsillo. Antonio Stradivari. 1717. Museo de la Música. París



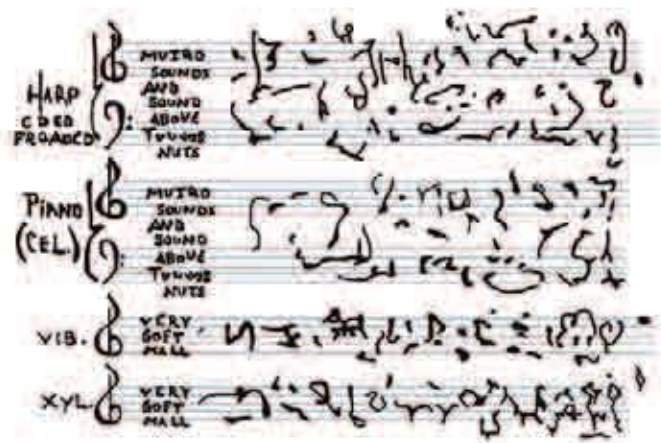
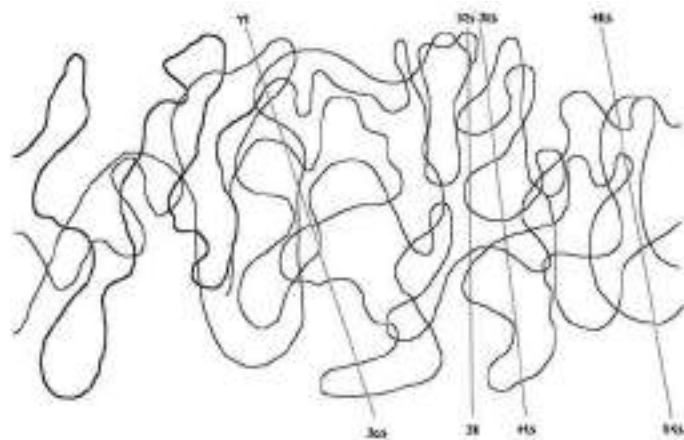
Clavicorn. Lyon S XIX. Museo de la Música. París



Para producir una gama amplia de sonidos en el viento metal se precisan diferentes longitudes de tubo, que serán las notas fundamentales sobre las que suenan los armónicos, seleccionados por el intérprete mediante su soplido. La imaginación y habilidad de los constructores de estas trompas y cornetas pre-llaves nos ha dejado formas tan curiosas como las que se ven. El intérprete contaba con 8 posiciones básicas que se seleccionaban introduciendo la boquilla en el hueco pertinente.



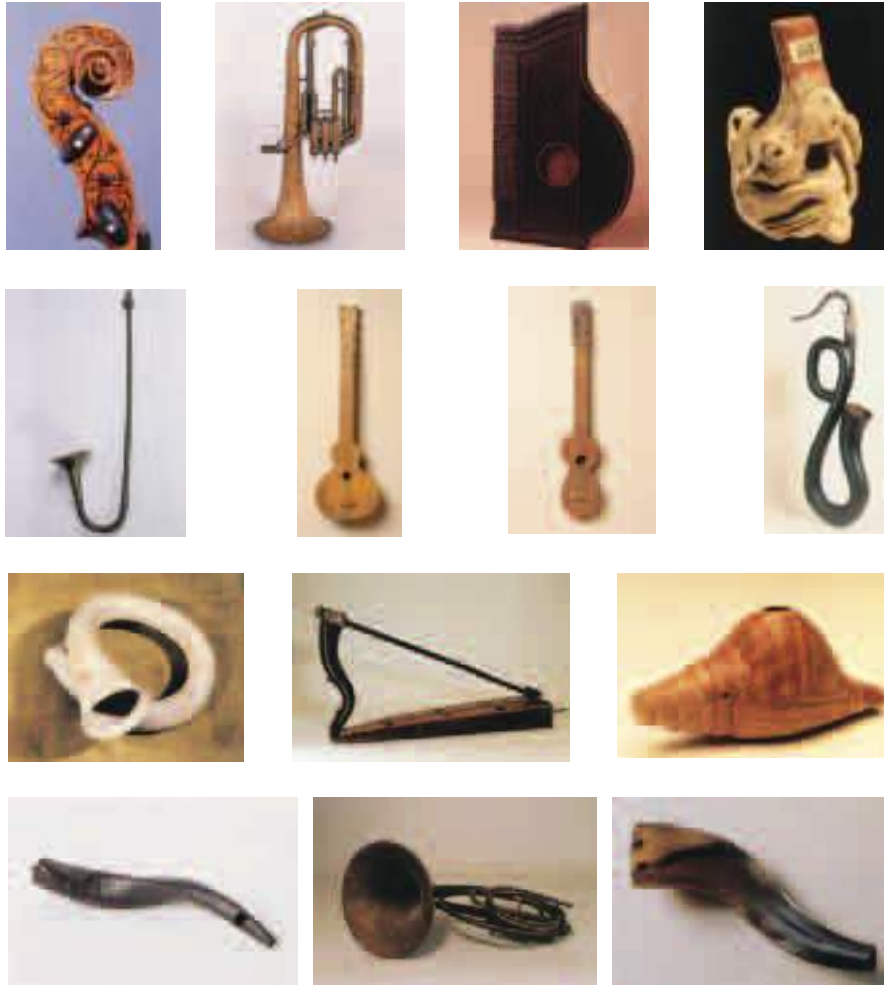
*Pitch class set.* El concepto de globo o célula reaparece en esta búsqueda de sinestesia imagen-música. Cada porción surge como una manera de empaquetar una parte de la realidad frente al exterior. El conjunto de los *pitch* encerrados por cada línea constituye un elemento reductor de incertidumbre. La incertidumbre de lo completamente aleatorio. Como en las burbujas o en los planetas, el círculo articula el espacio sonoro originando una división musical alejada de la fisicalidad implacable de la equivalencia de las octavas. Los nuevos acordes vivos deambulan por nuestro oído con su propio impulso e identidad.



*Figuras biomórficas* tratadas como temas, atravesadas por líneas serpenteantes tratadas como ideas (relevantes para dichos temas, si quedan dentro, o irrelevantes, si quedan fuera) y finalmente rectas que, como líneas de un cuaderno taquigráfico, indican al intérprete el orden (o más bien, las instrucciones) que ha de seguir. Vemos así, uno de los modos que Cage usa para convertir al azar en paradigma y generador de su música entendida como *bosque a la intemperie*.



“Quién sabe quién fue a decirle a los músicos que tocan algo, lo cierto es que se soltaron tocando el Himno Nacional con todas sus fuerzas, hasta que casi se le reventaba el cachete al del trombón de lo recio que pitaba; pero aquello siguió igual”  
Juan Rulfo: El día del derrumbe.



Instrumentos musicales de colecciones españolas.





El quiebro de tu cadera  
curva la falda  
que traza líneas, ligera  
bajo la espalda.  
Haz de curvas, contoneo  
que curva vientos  
a golpe de un taconeo  
hecho por tientos.  
Hay curvas que nadie enfoca,  
las de tu cara.  
¡Ay!, cómo será tu boca...  
¡Quién la besara!

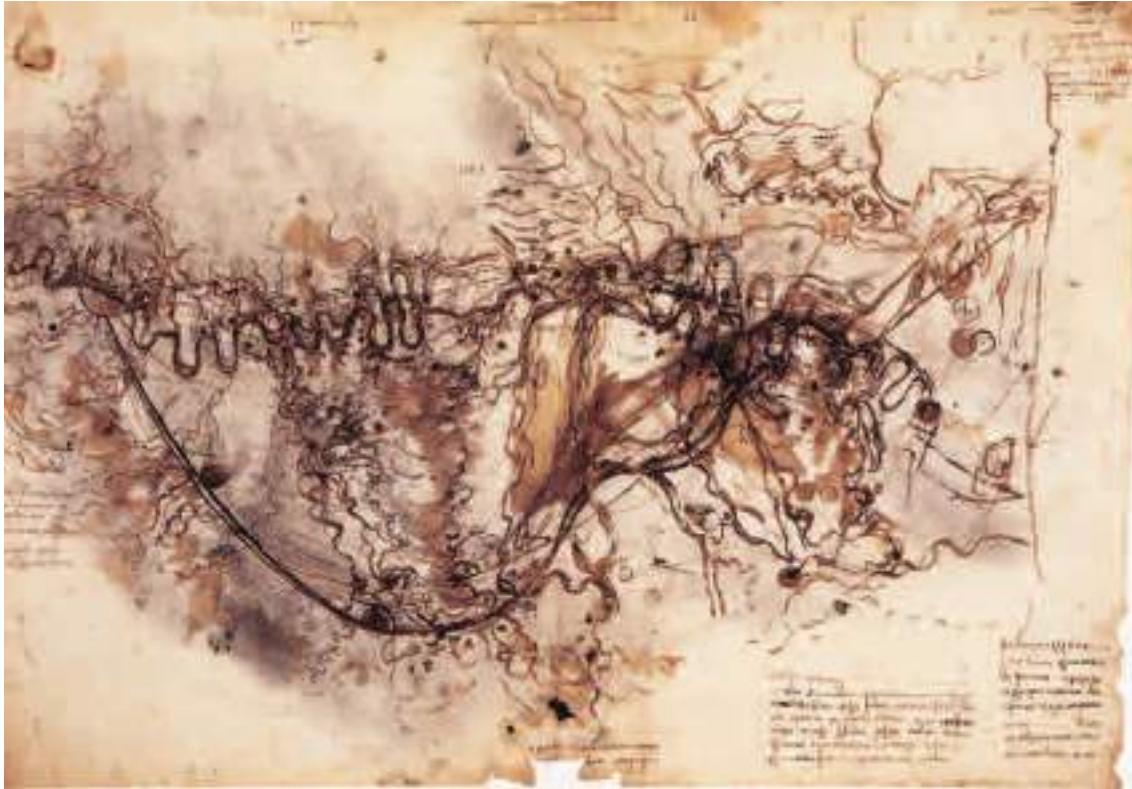
Bailaora. Curvas flamencas



¿Te la digo, resalá? Cuando bailas se te sube el alma a las manos y tus entrañas no tienen secretos para la buenaventura.  
¡Déjame que te diga lo que veo en sus rayas...!  
¡Qué larga tienes la curva de la vida...! Vas a vivir mucho. Tanto que, si quisieras, podrías olvidarme.  
La curva del amor la tienes quebrada ¡Mujer de un solo hombre! Pero cuánto te hago sufrir...  
De la curva del dinero, qué te voy a contar yo... Plana y sin esperanza ¡Qué más te da, si te sobra el arte!  
¿Y el quiebro de tus dedos...? Dibuja a tu capricho las curvas del duende. Grita que estás en trance, mientras callas el aire como solo lo haría una reina...  
Y lo sabes.



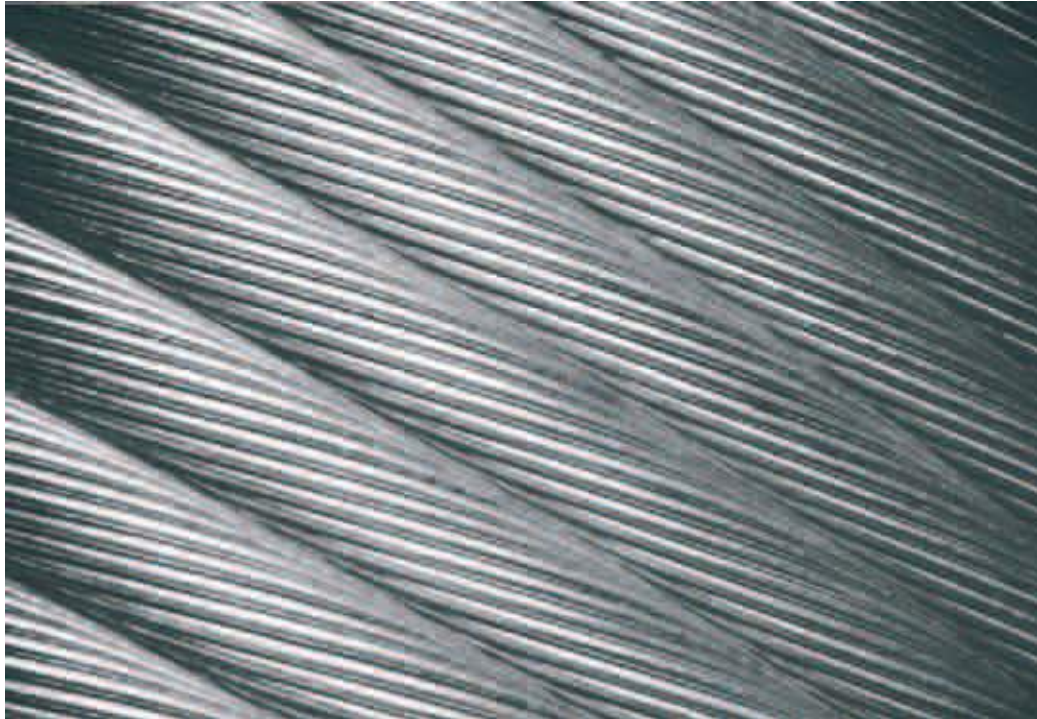
CURVAS DE LA INGENIERÍA



“El gran Leonardo tuvo cosas de niño durante toda su vida; suele decirse que todos los grandes hombres deben conservar algo de su infancia. Siguió jugando aun siendo adulto, por lo que en ocasiones para sus contemporáneos era un hombre inquietante e incomprensible”  
Sigmund Freud



¿Puede cansarse una curva? ¿Cabe pensar en un antifunicular decepcionado? ¿Tiene alma la geometría de la resistencia? Pensemos por un momento en el orgullo de la directriz del arco esbelto que resiste airosa el empuje del agua. Se siente protagonista del ingenio del hombre que utiliza la curva para prevenir la sequía y apagar la sed de pueblos enteros. Siente la presión hidráulica en los riñones y la brutal reacción de la roca, pero no le importa porque se sabe útil y capaz. E imaginemos después su desconcierto al sentir sobre sí una nueva e insoportable presión. La sorpresa al saberse contestada, acusada de agresión mientras detecta el deseo colectivo de verla destruida. El peso de la sinrazón, el fanatismo idólatra del medioevo es una carga demasiado fuerte para la levedad de una curva concebida en un siglo que se creía de las luces. Solo la admiración de los que creen en el prodigio de su tarea le dará fuerzas para mantenerse en pie y seguir cumpliendo su imprescindible misión.



(1) Pueden ser uno solo o muchos. Se curvan buscando la intensidad del esfuerzo, todos en el mismo sentido y dirección. Saben que la unión hace la fuerza.

(2) La fragilidad de las cadenas con las que se construyeron los primeros puentes colgantes decimonónicos: “we are as strong as our weakest link”...



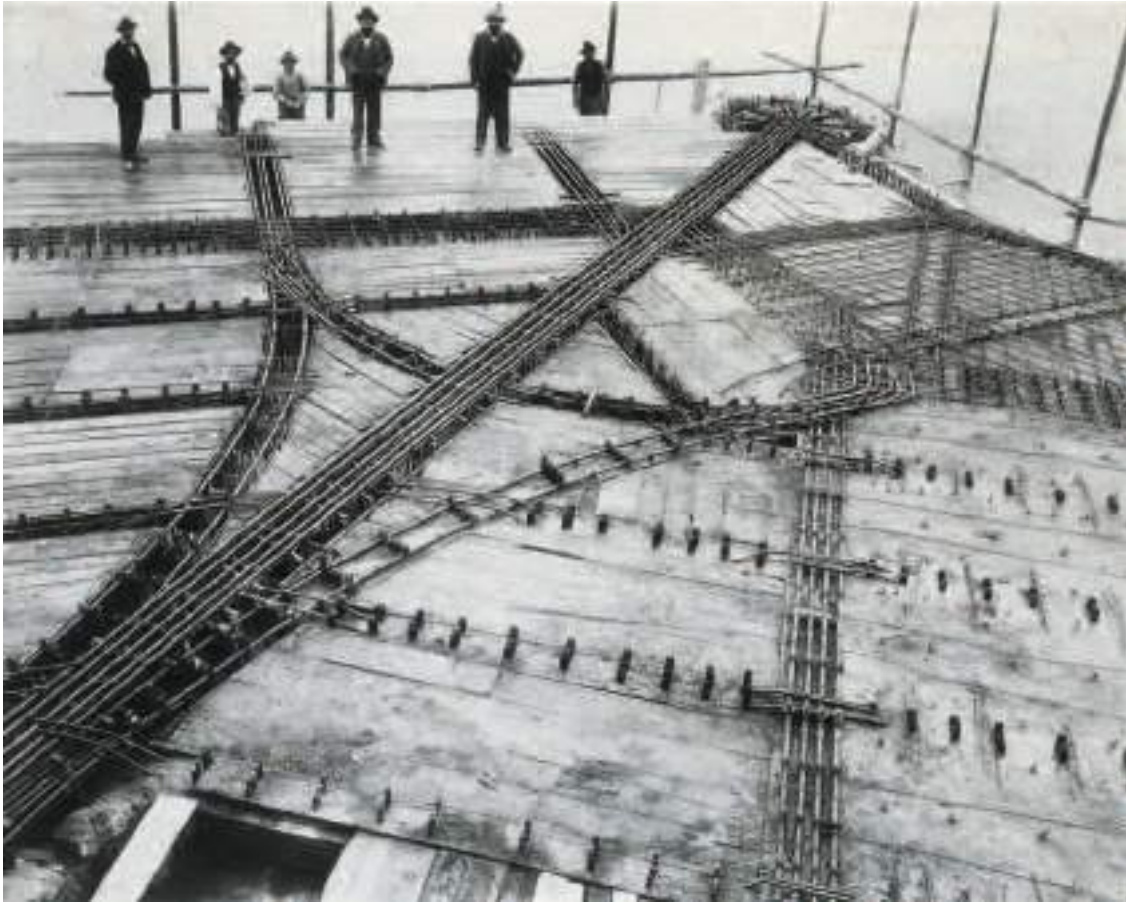
“Antes había una capacidad para la alegría y los juegos que, hasta cierto punto, ha sido inhibida por el culto a la eficiencia. El hombre moderno piensa que todo debería hacerse por alguna razón determinada, y nunca por sí mismo.”  
Bertrand Russell: Elogio de la ociosidad

Los obreros trabajan la madera. (Obrero: palabra indecible en estos tiempos de desconocer las palabras. Pero, ay, amo tanto las palabras...) La arte-sanía ha muerto. ¡Cuántos días! ¡Cuántas manos! Y miles de puntas... Pero, ¿y la economía? ¿Qué cabezas de ingenieros ha pensado esta forma? ¿Que oros, acaso, cubrirá? Entonces... la Razón es mía. Veneremos el único culto moderno. El Único.





“Si me preguntasen lo que escogería ser ahora, diría: “ser el creador de nuevos cuentos de hadas”. Es del sentido de lo increíble de donde procede todo el deseo humano de crear e instaurar.”  
Louis I. Khan

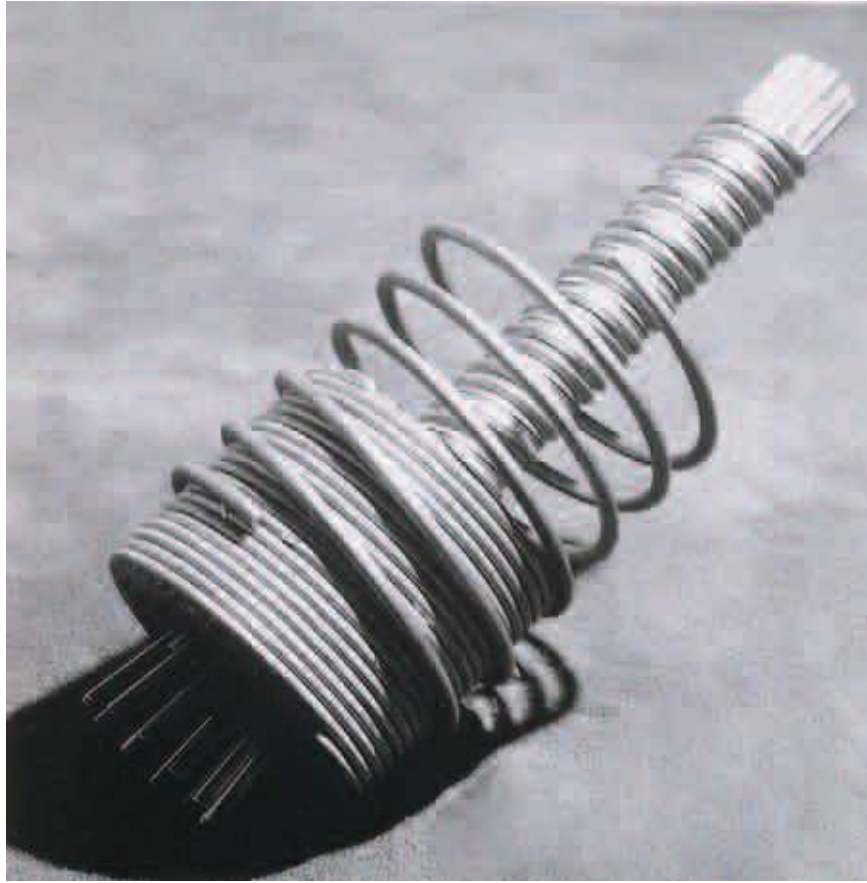


Ellos (esos señores) midieron las fuerzas. Ellas (esas curvas) las van a absorber.  
Ellos están satisfechos. Ellas se sienten seguras. Nadie las volverá a ver.  
Pronto pasarán a ser... el alma del hormigón y cumplirán su deber.  
Sin ruido, sin presunción. Curvas de fuerza y tensión.  
Arcos de círculo, hipérbolas... Todas conscientes de ser  
funiculares de cargas, ordenadas armaduras  
que llevarán sus esfuerzos hasta la curva más pura,  
la insobornable, la reina, la que no sabe de dudas,  
La más perfecta:  
La Recta.

Villa Figari. Genes, 1903. Encofrado y ferrallado parcial de una losa de hormigón armado.



Todo verdadero sentimiento es en realidad intraducible; expresarlo es traicionarlo, pero traducirlo es disimularlo. La expresión verdadera oculta lo que manifiesta, opone el espíritu al vacío real de la Naturaleza y crea como reacción una especie de lleno en el pensamiento. Todo sentimiento poderoso produce en nosotros la idea del vacío, por eso la belleza nos hiere directamente. El sol poniente es hermoso por todo lo que nos hace perder. Parfraseando a Artaud con mucho gusto, naturalmente.

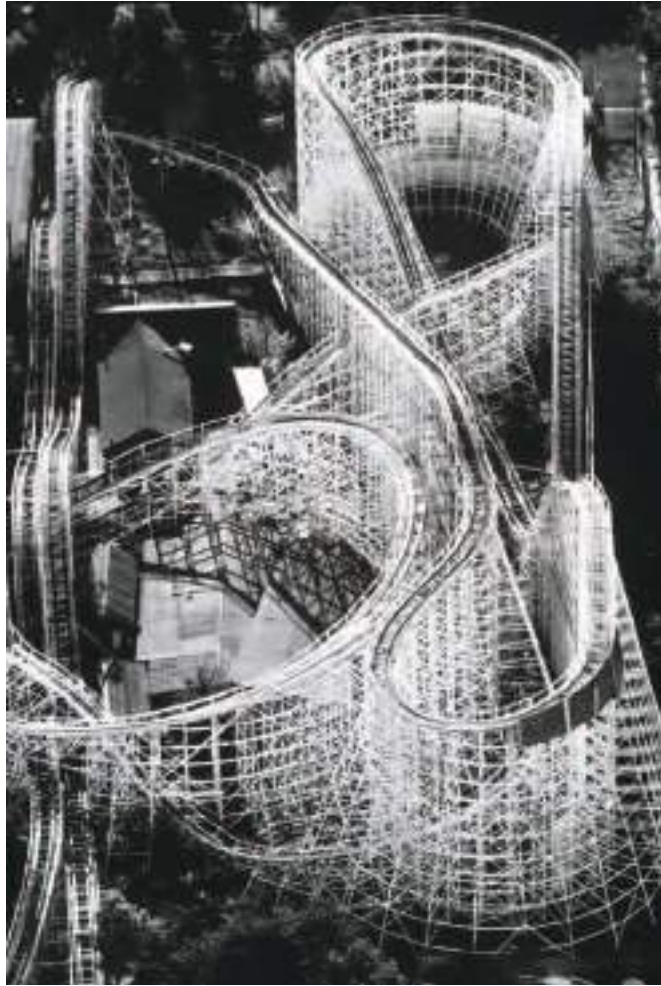


(1) Anclaje, seguridad. Anclaje... estabilidad. Curva espiral, sin sorpresas, regular.  
Espiral tras espiral. Espiral sobre espiral en colaboración tenaz.  
En su interior vibra un drama, un drama de enormes fuerzas;  
en la envoltura de acero se vive una tensa paz...  
Con su aspecto inofensivo, con su imagen singular,  
Pienso que tanta quietud... ¡puede llegar a inquietar!

(2) “El pretensado es un concepto sutil, de honda sencillez, como todo lo esencial, pero con un potencial revolucionario que cambia la forma de pensar del ingeniero, enriqueciéndola porque exige un pensamiento activo. Terapia imprescindible contra comodidades y anquilosamientos intelectuales. Humaniza la estructura y permite al ingeniero ser como el sabio sensible que, comprendiendo al ser humano, sabe dónde aplicarle sus manos para liberar tensiones, para tonificar músculos, relajar y preparar el trabajo de las articulaciones. Así el ingeniero puede aplicar su inteligencia, con el instrumento de las armaduras activas, para comprimir y deformar allí donde la estructura más lo necesita. El arte de armar se completa con la ciencia del sentir la estructura. Por lo que se paga un precio. El que cuesta acumular saberes y comunicarlos”.



Tobogán viene del francés 'tabaganne'. A su vez es una palabra originaria de la lengua de una tribu de indios canadienses, el micmac. Quizás esta tribu la usara para referirse a un objeto para cazar, o remontar un río o, por qué no, para un juguete para sus niños.



“Pero, sea lo que fuere, no cabe duda de que la expresión de un fenómeno resistente, intrínseca y aparentemente imposible, es algo siempre antiestético para el observador que así lo comprende.”

Eduardo Torroja, *Razón y ser de los tipos estructurales*

Qué duras se hacen las curvas. Cuando son muchas. Y muy curvas. ¿Quién dice que el arte es curvo? ¡Qué geometría desquiciada! Y esa estructura que sufre la locura o el arte, ¿acaso se acuerda nadie de ella?, ¿acaso nadie se apiada? Qué cosas, qué cosas... La Verdad, de suyo, detesta lo curvo. ¿Y la ingeniería? Quién sabe, quién sabe...

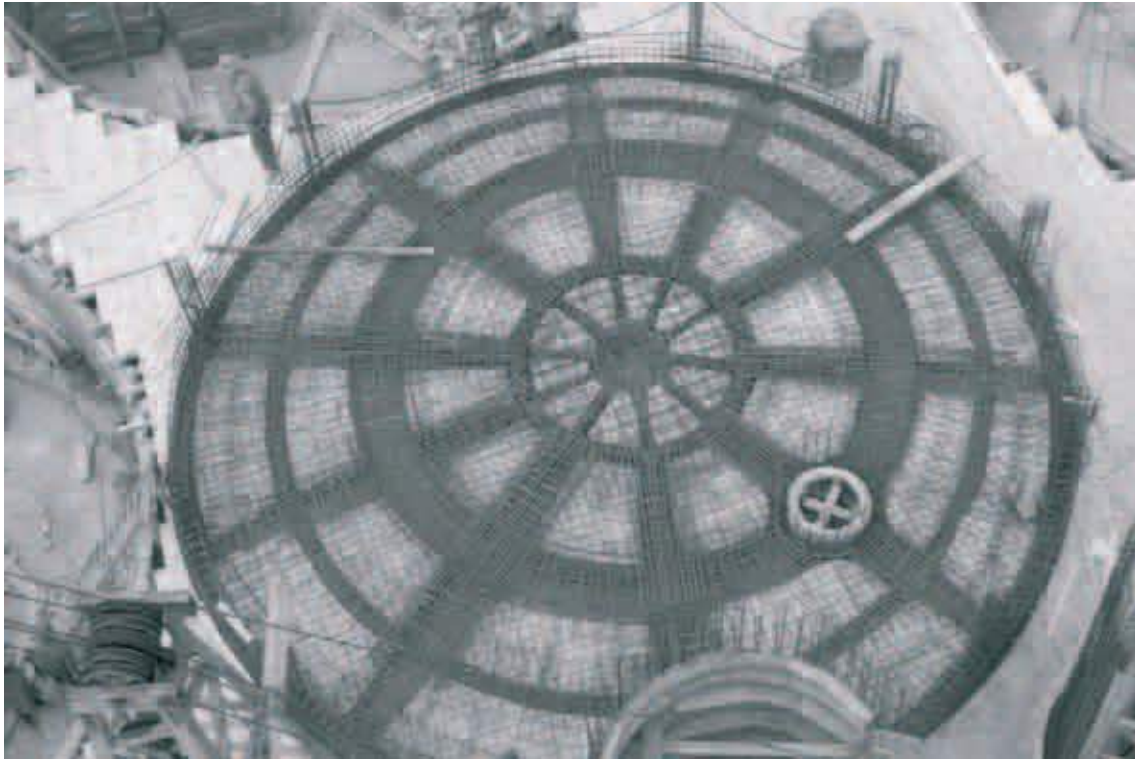


A pesar de que se trata de un concepto natural, envolvente convexo es un polítopo que posee un gran número de aplicaciones y una rica teoría matemática de soporte. La construcción del envolvente convexo de un conjunto de puntos sobre  $\mathbb{R}^n$  es uno de los temas centrales de la geometría computacional, sobre todo porque es preciso acotar el límite inferior de la complejidad algorítmica del problema. Desde que Shamos y Hoey introdujeron los diagramas de Voronoi en la ciencia de la computación, se han realizado muchos esfuerzos para encontrar algoritmos eficientes para construir y resolver esa estructura.

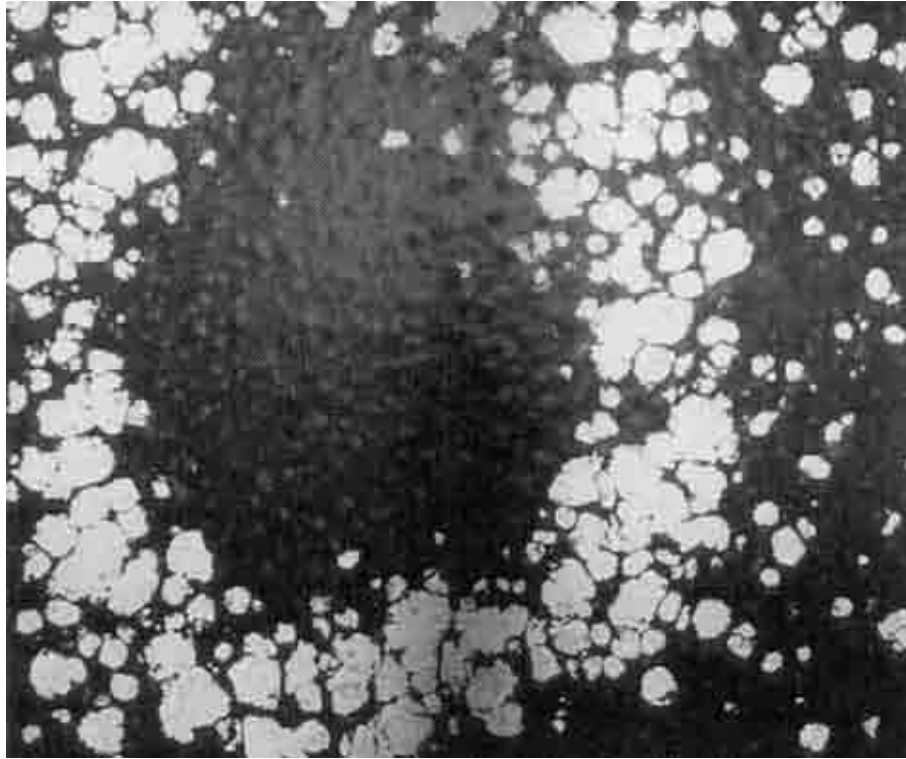


...Piranesi nunca imaginó que los caminos hacia la guerra fueran círculos concéntricos.

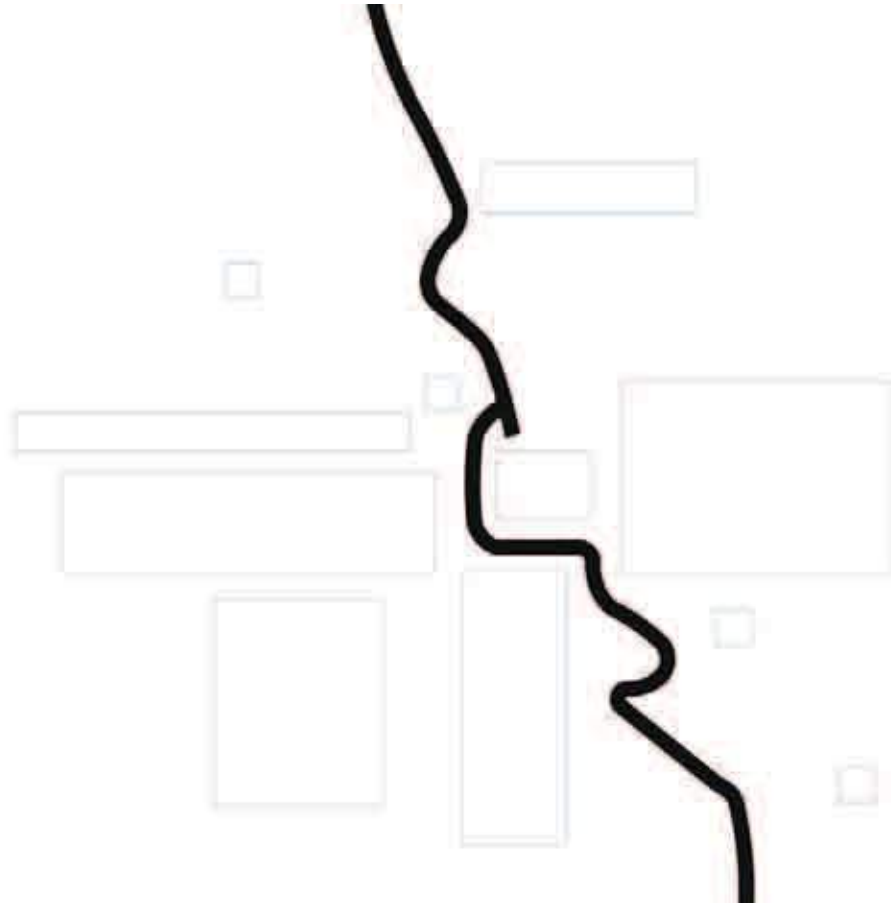




Hermosas y sabias torres grises que están siendo ocultadas tras intrascendentes escenografías millonarias.



La clave del origen del módulo elástico en una emulsión es la dependencia de su estabilidad en relación con la fracción volumétrica, y por tanto de la presión osmótica. Sin embargo esta relación intrínseca no está todavía bien entendida. Cuando la emulsión se asemeja a una espuma seca, la elasticidad proviene enteramente del estiramiento de las interfaces, pero para fracciones más bajas la polidispersión mantiene la estructura desordenada, y la geometría de Couette degenera en cilindros deformados donde la resistencia viscoelástica al cortante sólo puede medirse aplicando una deformación oscilatoria. Diciéndolo en términos claros para el pueblo.



El *Berlin Wall* as architecture de Koolhaas versa sobre la posibilidad de entender el muro como arquitectura no desde su aspecto funcional, como elemento divisor y político sino como elemento formal, como si fuera una obra artística al mejor estilo Land Art.

La táctica para realizar este análisis es utilizar analogías formales con los elementos que determinan la conformación del conjunto del muro. En territorio comunista existía una zona reservada a rutas de control a minas antipersonales y antitanques, que para él formarían un paisaje urbano sin igual. Compara así la faja de arena bajo la cual se esconden las minas a un jardín japonés, y las cruces antitanques a las estructuras de Sol Le Witt.

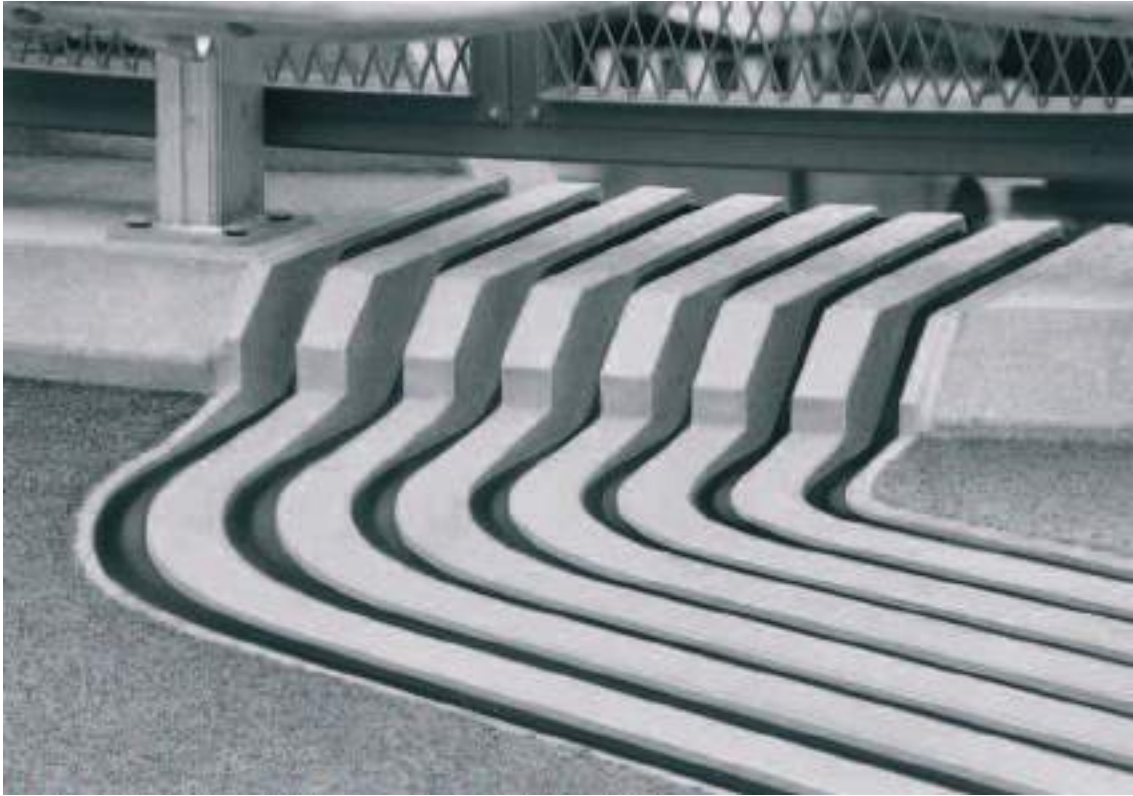
Para Koolhaas este tipo de lectura del Muro de Berlín es lo que lo transforma en una de las obras más emblemáticas de la arquitectura.

Termina su escrito diciendo que el muro es una narrativa arquitectónica y que no debe ser visto a partir de la idea de un objeto y sí de un "borrón", de un apagón, una fresca ausencia creada. Para concluir diciendo que es el primer intento con capacidad de vacío de función.

Andrés Martín Passaro, *El Berlín de Koolhaas*



La Muralla en Gubeikou, en la provincia de Hebei, donde se instaló una unidad militar durante la dinastía Ming para vigilar una docena de pasos. La Gran Muralla era vista por los chinos como un dragón cuya cabeza bebe del mar Bo Hai.



La movilidad de un largo tablero y la inmovilidad del estribo adyacente en un puente con gran esviaje, demanda una sofisticada junta de dilatación de peines que se retuercen y alzan al llegar a la acera de servicio.

Junta de dilatación.



¡Oh ingenios humanos al filo del abismo!  
Quejumbrosos totems de testa giratoria,  
pilonos energéticos rastreando la utopía,  
conchas estériles en el inmenso mar de Túnez;  
ayer, orgullo mecánico; hoy, herrumbre desamparada;  
mañana, árbol caído, puñal en las entrañas.

¡Oh sendero humano de quiméricas bifurcaciones!  
Polvorientas cicatrices sobre la desdeñada corteza,  
apócrifo puente entre riberas de aire y tierra,  
camino fulero del ayer y el hoy, yunta azabachada,  
marchando incrédulo y abatido hacia el mañana.

Tierra que nos ciñes tierra,  
aire que nos arrullas aire,  
agua que nos alivias agua.

¡Oh dioses! si colmais tantas carencias  
¿por qué profanamos vuestros templos?  
Quién fuera piedra en el seno del dios tierra,  
y susurro del dios aire que suspira y venta,  
y lágrima saciada del dios de la alfaguara.  
¡Basta ya humano zaíno, penélope hozador  
de asíntotas errátiles a un ilusorio cielo!



Euler como matemático contribuyó a la ciencia de las estructuras principalmente a través del estudio geométrico de la forma de las curvas elásticas, es decir de las deformadas. Para ello aceptó sin mucha discusión la teoría de Jacob Bernoulli de que la curvatura de una viga elástica depende del momento flector en cada uno de sus puntos. El cálculo variacional que el suizo aplicó por vez primera a los problemas de esta índole es un método de causas finales, es decir de energía potencial y fuerzas gravitatorias que llevan al equilibrio elástico como satisfacción de una condición de mínimos. El último gigante de la elasticidad quizá haya sido Prandtl, quien desde el estudio de la mecánica estructural (especialmente los problemas de torsión) dio el salto a la dinámica de fluidos, teorizando sobre el concepto de capa límite que tanta importancia tiene hoy día para la estabilidad aerodinámica de los puentes y otras estructuras de grandes dimensiones, sometidas a esfuerzos de viento. Los puentes, por lo que se ve, vuelan pero no despegan.

Puente de Richmond-San Rafael. California



Sé de donde vengo, creo saber a dónde voy y es todo cuanto deseo saber.





Enlace de una autopista sobre un pantano. Kenner, Louisiana.



Empantanado enlace...

Enlace de una autopista sobre un pantano. Kenner, Louisiana.



### Rectacurva Peregrina

La linealidad parece trazada en los límites que permite la aceleración del tiempo, para explorar los paisajes de la “terrae incognitae”. Su geometría, está plagada de retornos y partidas, y en nuestro deambular cotidiano intuimos, a veces, nuevas miradas de la percepción del mundo.

La belleza de su trazado se difumina en los rituales colectivos de la espera desolada del acceso a la gran ciudad, norte, sur, este, oeste; es la ofrenda que los peregrinos del motor deben rendir a la virtud del tiempo, “deux ex machina”.

Soporte en negro por donde transita la máquina del eterno presente, que nos depara emociones y sobre-saltos, al transitar por estas pistas de tangencias simultáneas, circunvalaciones, secantes, radiales reiterativas, periféricos sin límite que nos enlazan y devuelven a la pleamar del tráfico.

Rectacurva peregrina, transformada en forzado laberinto mecánico, por donde discurre el interrogante que nos muestra el arbitrario holocausto de la muerte. Su verdadera estructura se manifiesta y des-vela bajo su enigmática y espectacular superficie, que recorre cañadas y valles y perfora cerros testigos.

La virtud del tiempo fue su ingeniero, esperando la tarde de un fin de semana.

La ciudad no es una jungla de hormigón es un zoo humano, dice Desmond Morris. Tal vez Los Angeles sea ambas cosas, aunque tal vez no sea una ciudad.

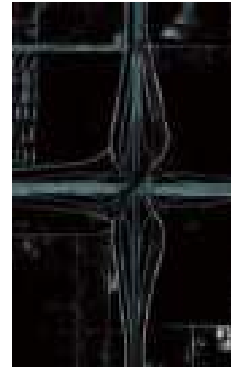


La ciudad no es una jungla de hormigón es un zoo humano, dice Desmond Morris. Tal vez Los Ángeles sea ambas cosas, aunque tal vez no sea una ciudad.



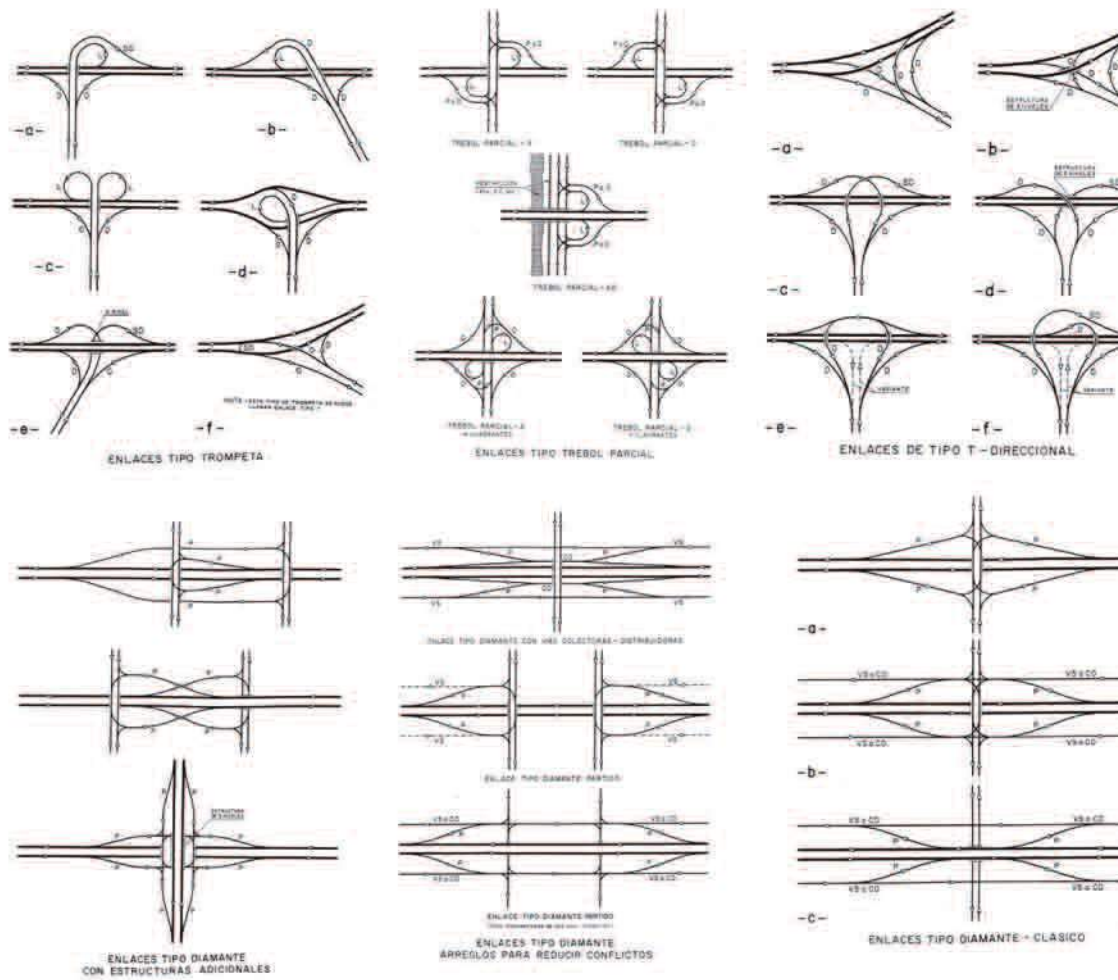
The first law of traffic: whatever is done to smooth the flow is certain to have unexpected consequences...

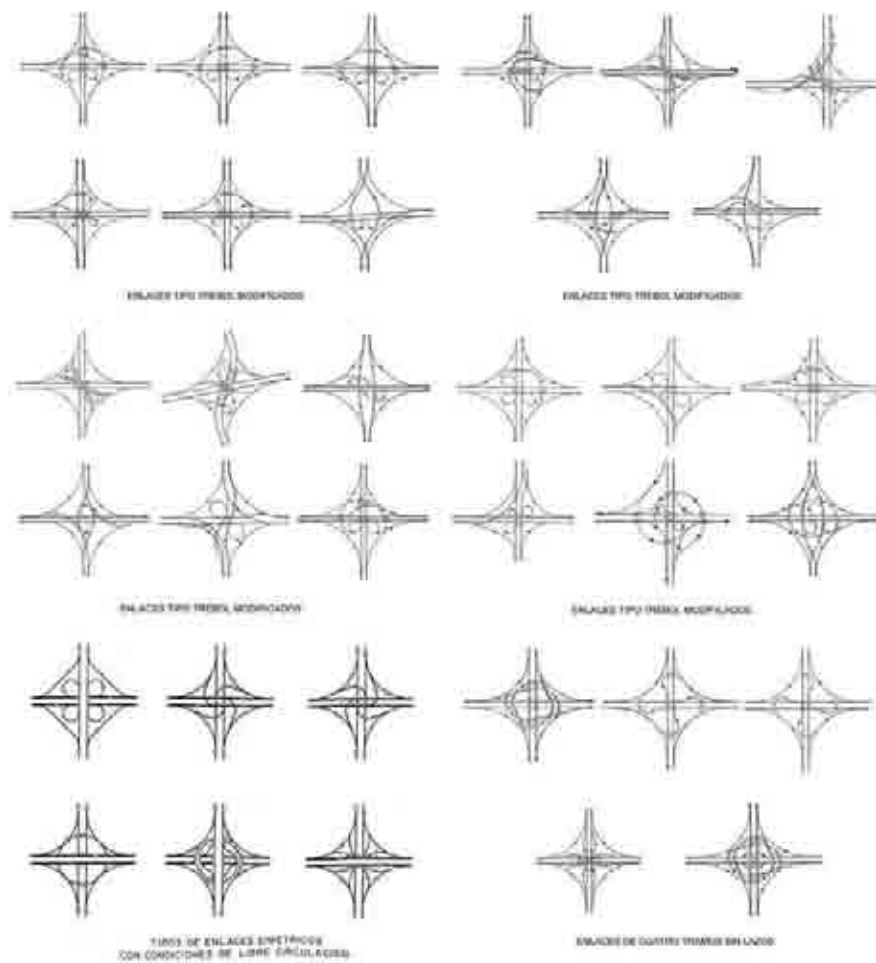
Enlace de la Trinidad. Barcelona



Desenlaces.

Enlaces

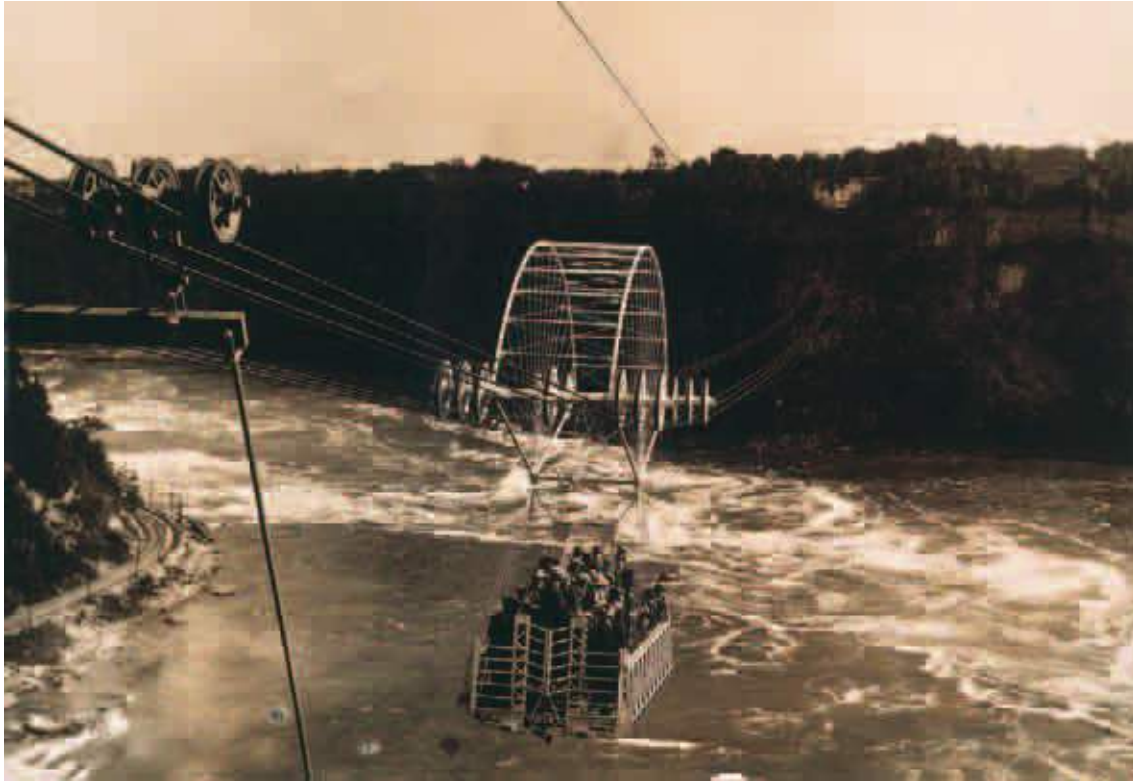




Caminante ¡Ya hay camino!  
 Hay camino. ¡De verdad!  
 Este que pisas ahora y ese que vas a cruzar.  
 Pero antes de llegar,  
 observas que en derredor  
 hay mil senderos en curva, cien curvas de carreteras.  
 Que hay salidas, hay entradas, bordillos, postes, barreras.  
 ¡Que lío! –piensas- ¡Que horror!

Pero al fin te tranquilizas al ver un indicador...  
 Y siguiéndolo compruebas  
 que en esas curvas sin tino,  
 por esa curva asfaltada,  
 sin riesgos y sin frenada,  
 puedes dejar tu calzada  
 y enfilarse otro camino.





“La civilización es, simplemente, una serie de victorias sobre la naturaleza.”  
William Harvey

Leonardo Torres Quevedo. Transbordador sobre el río Niágara. 1916



(1) ¿Qué pasa si desaparecen los hombres de la cubierta del Planetario de Jena? Sin ellos lo que pasa es que no pasa nada. Con ellos se hace evidente el hecho del resistir. Es la eficacia de la forma, el mejor ejemplo del resistir. Producen vértigo.

(2) La semiesfera del planetario cubría veinticinco metros con un espesor de sólo 6cm. La estructura de barras de acero se cubrió con una malla de alambre sobre la que se aplicó hormigón por el sistema torkret.



... arquitecturas plásticas expresionistas que fusionan arte e ingeniería.

Vaquero Palacios. Central Eléctrica en Grandas de Salime. Oviedo, 1955



“Je vous écris d’un pays autrefois clair. Nous vivons depuis des années, nous vivons sur la Tour de pavillon en berme. Et depuis c’est toujours le même jour, le jour au souvenir incrusté...”

Henri Michaux: *La lettre*

Cruzar el río. Cuántos esfuerzos, cuanta ingeniería. Cuántos, cuántos. Un retrato para la posteridad (¿o sólo para nuestra prosperidad; nosotros, algunos ingenieros también de nuestros propios caminos?). Las ideas no se atan, que no se abrigan, huyen, vuelan, se pierden. Ya nadie viste sombrero. Qué días incrustados, qué noches tan modernas. ¿Y la luz? ¿Y los vientos? También ahora se cruzan los ríos. Pero qué recuerdos verdaderos... La ingeniería: un cadáver. (Sin sombrero.)

“¡Bienaventurado y dichoso aquel que, sabedor de todo lo que acabo de decir sobre estos días, trabaja, libre de culpa ante los inmortales, inquiriendo auspicios y evitando transgresiones.” Hesiodo: *Los trabajos y los días*



Se debe utilizar un método rápido y sencillo para el cálculo, si por sencillo se entiende resolver un sistema de ecuaciones diferenciales a partir de unos límites previamente seleccionados. El caparazón debe ser estable y con una forma que permita trabajar fácilmente. Ser lo más sencillo posible para simplificar su comportamiento.  
Félix Candela



Infraestructuras del transporte como elementos de transformaciones urbanas trascendentes.  
Construcción que escolta las riberas del cauce de la Ría, acerca el mar a la ciudad y facilita la colonización urbana de sus márgenes fluviales.

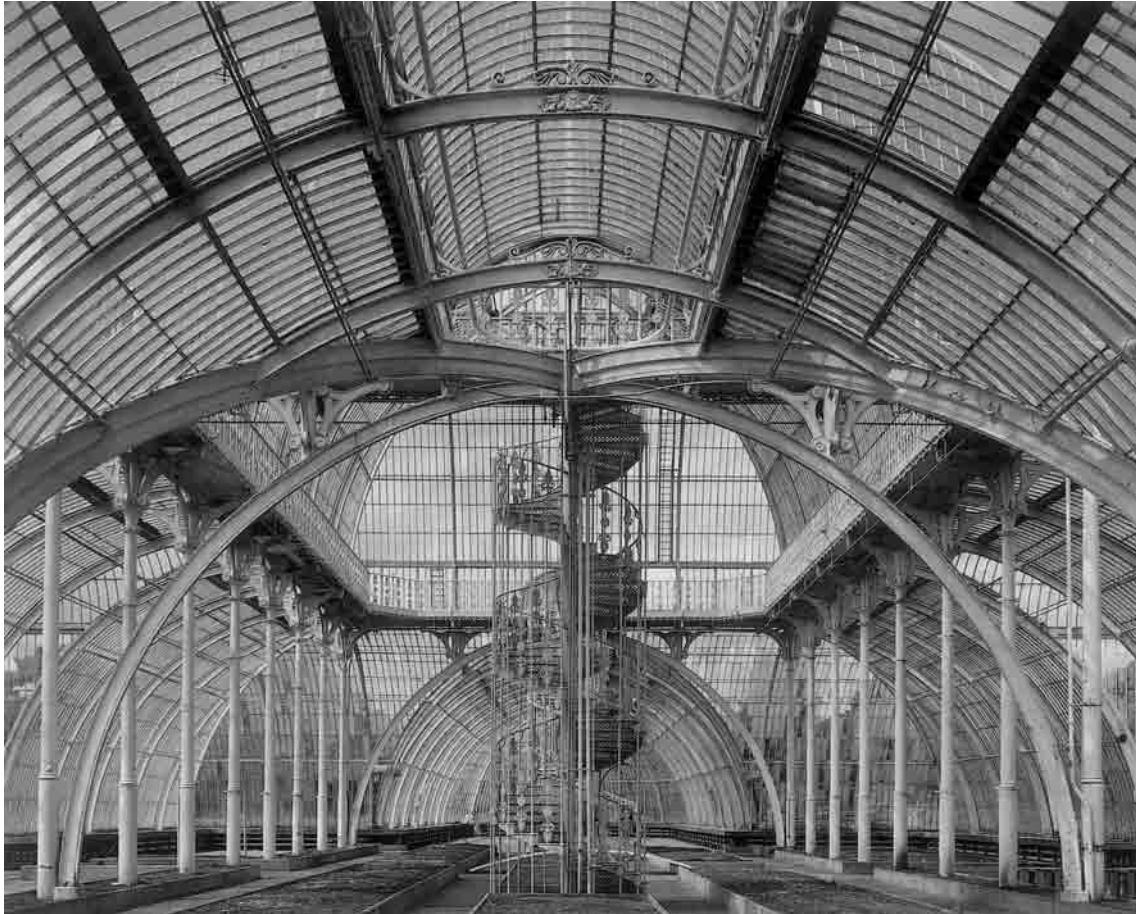


“A project must be manifestly important and nearly impossible”



Construido en 1944 en el *Cleveland's Glenn Research Center*, simulaba altitudes de entre mil y treinta mil pies con velocidades de hasta 425 millas por hora. Era el único túnel de viento específicamente diseñado para probar motores de aviones en tales condiciones.





Casa de las Palmeras. Jardín Botánico de Kew. Burton y Turner. 1848

Las líneas curvas que el jardín invernadero de Kew aporta al Libro de las Curvas no son en sí mismas demasiado espectaculares: simples arcos de círculo repetidos creando ritmo, que actúan como generatrices de una superficie cilíndrica, que no es otra que la que el cristal, delgado y transparente, viene a materializar. Esa superficie cilíndrica se convierte en tórica en cuanto la directriz pasa de recta a circular. De ese modo cabe imaginar y erigir una cubierta de planta oblonga como la del Jardín de Kew, con superficies acristaladas que definen líneas de nivel cerradas en sí mismas. A través de sendos ejes de simetría, es posible plantear una planta en i latina, con dos naves en crucero y un espacio central de planta cuadrada que, mediante una doble altura, se erige en pabellón visualmente dominante y ordenador del conjunto. Pabellón que cubre la función de cierre que la cúpula desempeña en las iglesias y que se resuelve aquí con cuatro superficies cilíndricas de alzado triangular.

Al final, se habrá conseguido un palacio de cristal que es pura geometría euclídea y que, con sus faldones curvos, transmite al observador de afuera una impresión intermedia entre globo aerostático y dirigible volador.

La construcción de este edificio se halla a tres cuartos de siglo de la del Iron Bridge de Coalbrookdale, que compuso la primera aplicación de la fundición a la construcción de puentes, y a más corta distancia histórica de la serie de puentes inolvidables, arcos, colgantes y grandes dinteles, desarrollados básicamente por Telford, Brunel y Stephenson. En el XIX, Gran Bretaña pilotaba la revolución industrial, ensanchaba el canal del progreso y se enriquecía, incluso en términos de paisaje, con las aportaciones de sus ingenieros más creativos.

Si pensamos que esos puentes ingravidos venían a reemplazar a las viejas bóvedas de piedra, cuyo gran problema eran las cimbras que esos sillares precisaban para sostenerse hasta que el cierre en clave los hacía funcionar como arcos, comprenderemos la lógica aplastante de los palacios de cristal, que son suma de hierro y vidrio, cuya ligereza obligadamente tenía que impresionar a la gente, como promesas de un mundo más desarrollado, lleno de nuevas posibilidades que vendrían, como así ha ocurrido, a solucionar muchos problemas y a mejorar la calidad de la vida cotidiana. Por supuesto que su nacimiento y desarrollo vino de la mano de la siderurgia y de la producción en serie de piezas de hierro, cuyas formas están garantizadas como consecuencia de su fusión en moldes.

Hasta el siglo XIX la Humanidad no había dispuesto para construir estructuras más que de piedra y madera. Con una estructura pétreo, pesada por esencia, no es lógico plantear superficies transparentes. Con la madera, material natural, tampoco es posible conseguir las pautas de repetitividad y precisión geométrica que el hierro sí garantiza.

El sorprendente clima que la envolvente de Kew engendra y transmite a quienes la hayan visitado tiene algo de esperanzador, de ensueño y hasta de palacio de hadas. Es la alegría de las formas, es su ligereza y limpieza geométrica y es la luminosidad que se cuele a borbotones por esas láminas de vidrio tendidas sobre el papel pautado que crean los arcos de hierro. Los soportes verticales que dan apoyo a los arcos que, en segunda planta, materializan la cubierta del pabellón central, son líneas tan importantes, tan sugerentes y tan ligeras como los arcos. Y ello por causa de la perfecta adecuación de su forma a su función: soportes de sección cilíndrica, con diámetro creciente hacia la base y dotados de capiteles de hierro concebidos para dar apoyo vertical a los arcos que cubren el pabellón central.

Como ocurre con los muebles que dilatan el ambiente de una habitación, esas columnas internas aumentan la profundidad del espacio percibido por los visitantes y facilitan la comprensión del invernadero. La riqueza arquitectónica que se deriva de esa superposición de arcos circulares y de soportes verticales es fácil de captar.

Digamos, para terminar, que pese a la absoluta diferencia de sus masas y de la luminosidad resultante, el espacio que cierra y organiza la cristalera de Kew se puede poner en perspectiva comparándolo con los espacios que, hacia un milenio, habían resultado en los templos románicos y góticos. Los arcos de hierro, a pesar de su masa inexistente, algo tienen que ver con las bóvedas de medio punto y con sus arcos fajones. Las cristaleras góticas nacieron de la búsqueda de luminosidad en las catedrales y se hicieron posibles gracias a la estructuración de los grandes pilares polilobulados que al llegar a las bóvedas de cubierta se abren, como fuegos de artificio, en nervios de piedra. Incluso cabe entender a los arcos de la planta baja del módulo central del invernadero como arbotantes de hierro que toman la componente horizontal del empuje oblicuo de los arcos superiores y la transportan al suelo de cimentación. Para acabar, los cilindros de cristal que cubren el pabellón central vienen a subrayar, como lo hacen las cúpulas en las iglesias, la planta de crucero.

En ese sentido, y por forzada que parezca la comparación, los palacios de cristal no aparecen como construcciones del todo rompedoras con lo existente, sino que componen el límite de la evolución arquitectónica de los grandes espacios en el siglo XIX.



CURVAS DE LA ARQUITECTURA



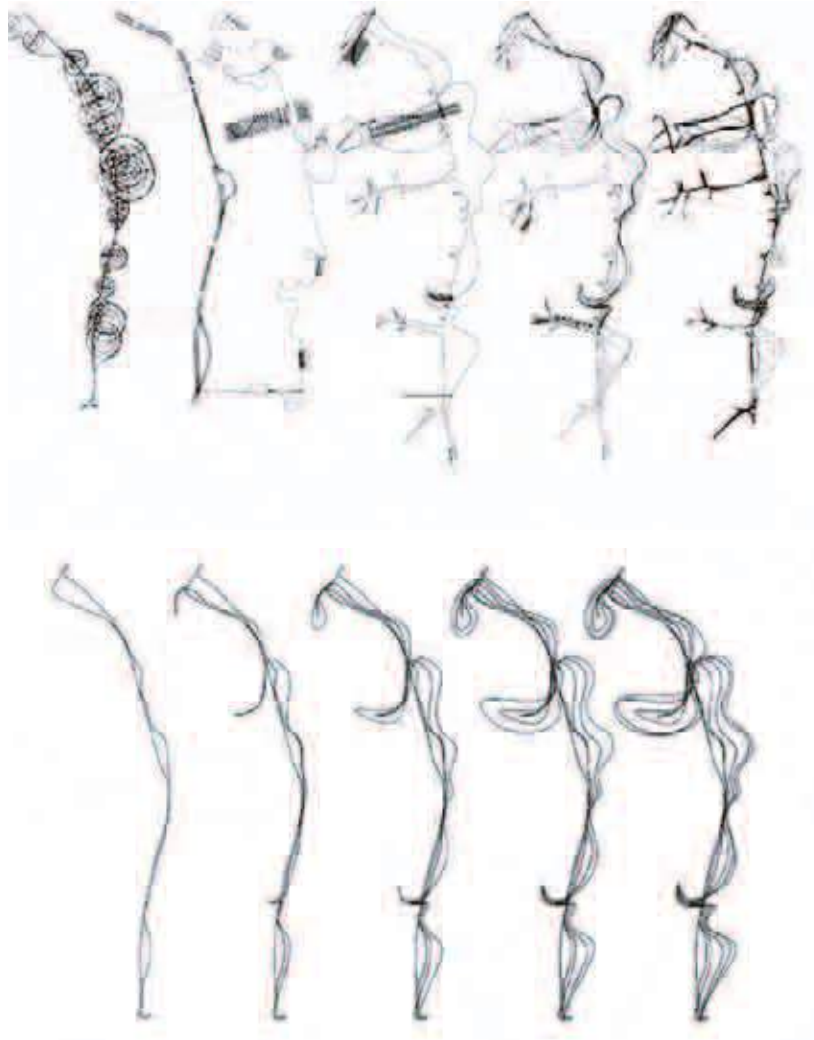
“Para mí la arquitectura de Aalto confirma la relevancia, poética y racionalidad de trabajar con el lugar y la cultura. Aalto traslada la riqueza de la naturaleza a todos los elementos de su trabajo.”  
Glenn Murcut



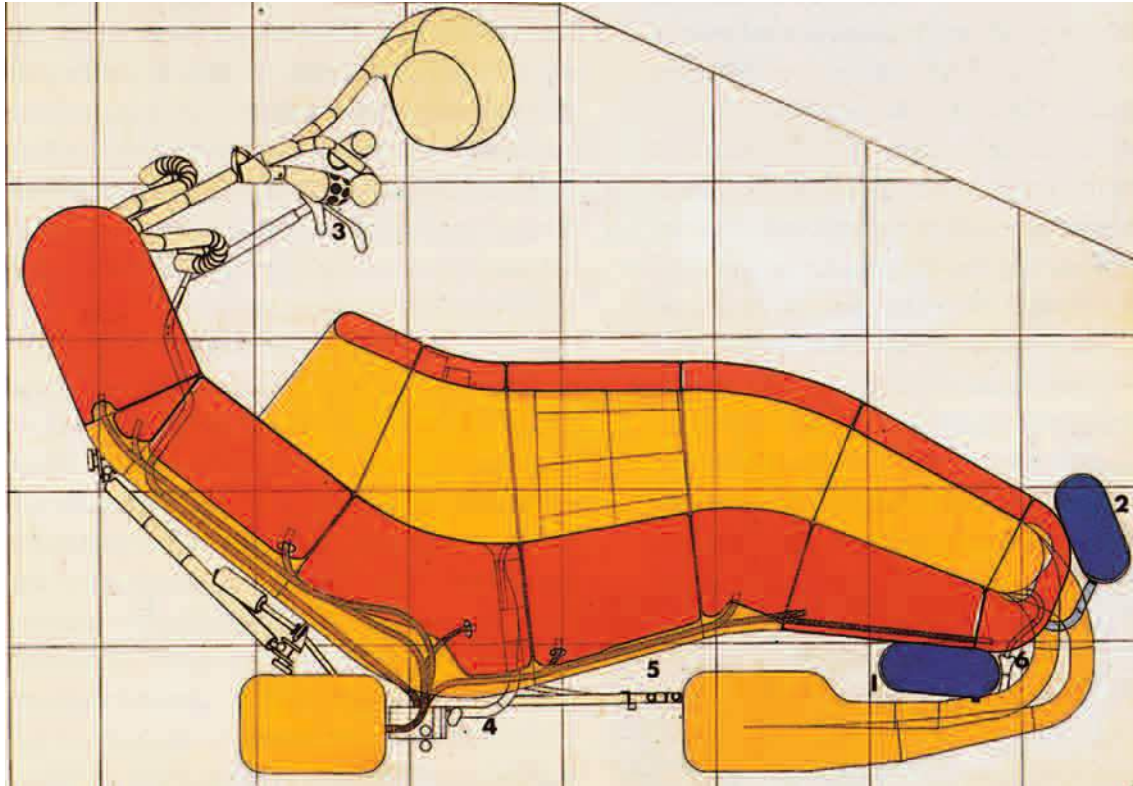
José Antonio Fernández Ordoñez consideraba, con evidente fundamento, que los hangares de Orly de Freyssinet y la cubierta del Frontón Recoletos de Eduardo Torroja eran las obras cumbres de la Arquitectura del siglo XX.

“En el juego de acciones y reacciones, que es lo estructural, el arco aspira a la tensión de compresión pura; es decir, proporciona su masa para que se verifique la anulación mutua de esfuerzos por enfrentamiento directo de acciones y reacciones a través de cualquier sección. Cada trozo de arco se opone a ser penetrado por el inmediato; la anulación de tensiones contrarias se verifica sin estiramiento ni desgarramiento del material. El arco realiza la esencia mecánica de la convexidad. En imagen dinámica, hay que obtener una transmisión de tensiones sin remansos ni remolinos de isostáticas, o sea, la materia en plena actividad, realizando lo que dice un proverbio indio: el arco nunca duerme.”

Carlos Fernández Casado.



Existen determinadas disciplinas tangenciales a la arquitectura, puente entre lo natural y lo artificial. La naturaleza alterada al servicio del hombre, donde los trazos generadores están basados en las condiciones del territorio y/o en flujos e intensidades de movimiento, como pueden ser el paisajismo a gran escala, el urbanismo y el land-art.



“De todos los asuntos en los que participamos, con mayor o menor interés, la búsqueda a tientas de una nueva manera de vivir es la única cuestión que sigue siendo apasionante.”  
Guy Debord





“Entierran a sus muertos cabeza abajo porque tienen la teoría de que resucitarán dentro de once mil lunas, término en que la Tierra se dará la vuelta y, por este medio, el momento de la resurrección los encontrará preparados y en pie”.  
Swift, en *Los viajes de Gulliver*



“Es la claridad lo que hace la vida actual completamente vulgar. Suprimir los problemas es muy cómodo. Pero luego no queda nada. Ya es imposible encontrar rincones poéticos al final de caminos tortuosos, ya no hay sorpresas.”  
Pío Baroja, *El árbol de la ciencia*



Entre todos los planetarios el más famoso en Arquitectura es posiblemente el proyectado por Etienne-Louis Boullée para el cenotafio de Sir Isaac Newton. Ese monumento nunca construido sería una gran esfera hueca de mampostería sobre un pedestal anular circundado por hileras de cipreses, como en las tumbas nobles del helenismo y de la civilización romana. La esfera, que contendría no sólo los restos de Newton sino también una esfera armilar, pretendía homenajear al genio inglés "envolviéndolo en su propio descubrimiento", una alegoría de las leyes de la mecánica celeste. Hay casos como este en que la intencionalidad simbólica produce mistificaciones y representaciones falseadas. La circularidad de las órbitas planetarias de la esfera de Boullée es pre-Newtoniana y muestra nociones arcaicas de astronomía que fueron totalmente reemplazadas por las leyes de Newton, cuyas trayectorias son elípticas. Un diseño posterior del cenotafio en el que se había sustituido la esfera por una oblonga más realista, un elipsoide, es mucho menos conocido y poco o nada admirado.



(1) Boceto para la cúpula del Bundestag. Conflicto Foster-Calatrava.

(2) En el diccionario de la RAE, la tercera acepción de la palabra *umbral* se refiere al “valor mínimo de una magnitud a partir del cual se produce un efecto determinado”.



Espacio: una colección de objetos con una estructura especificada que les otorga coherencia, en el sentido de que puede discernirse cuáles de ellos son próximos o no, y cuáles poseen una relación entre sí que podríamos denominar, en sentido laxo, continua. De hecho los espacios creados por la Arquitectura se definen mejor en términos topológicos que geométricos, incluso aunque sean metrizable. La ventaja en este caso es que las abstracciones de la topología permiten una mayor riqueza de correspondencias y alojan mucho mejor lo que tiene de inasible y subjetivo el factor humano.



(...) “Un viejo y famoso arquitecto americano le decía a otro más joven que le pedía consejo: Abre bien los ojos, mira, es mucho más sencillo de lo que te imaginas. También le decía: Detrás de un edificio que ves hay un hombre que no ves. Un hombre, no decía siquiera un arquitecto.” (...)

(...) “Necesitamos que miles y miles de arquitectos que andan por el mundo piensen menos en Arquitectura, con mayúscula, en dinero o en las ciudades del año 2000, y más en su oficio de arquitecto.”  
José Antonio Coderch



(1) En determinadas formas arquitectónicas podemos encontrar, como en las curvas matemáticas, sencillez y exactitud. Seguid la esencia misma del cartesianismo.

(2) “Esas largas cadenas de razonamiento, tan simples y fáciles, de que los geómetras tienen la costumbre de servirse para llegar a sus demostraciones más difíciles, me habían dado la ocasión de imaginar que todas las cosas que pueden caer bajo el conocimiento de los hombres unas se siguen de otras de igual manera...”  
René Descartes



(1) Boullée aligerado...

(2) Tan sólo en arquitectos de la talla de Labrouste nace en el s XIX un ideal artístico, contrario a la monumentalidad sublime, que se aleja del formalismo imperante y se afana en la definición de una nueva expresión tectónica para concretar la arquitectura. En sus construcciones, fascinado por la técnica, Labrouste sustituye la forma por el ensamblaje y el sistema constructivo hasta reconocerse en ellas otra característica intrínseca de la futura modernidad: la pérdida de la solidez y del afán de eternidad.

Comienza así una arquitectura presidida por la disolución de la forma y junto a ella una nueva estética de la evanescencia.

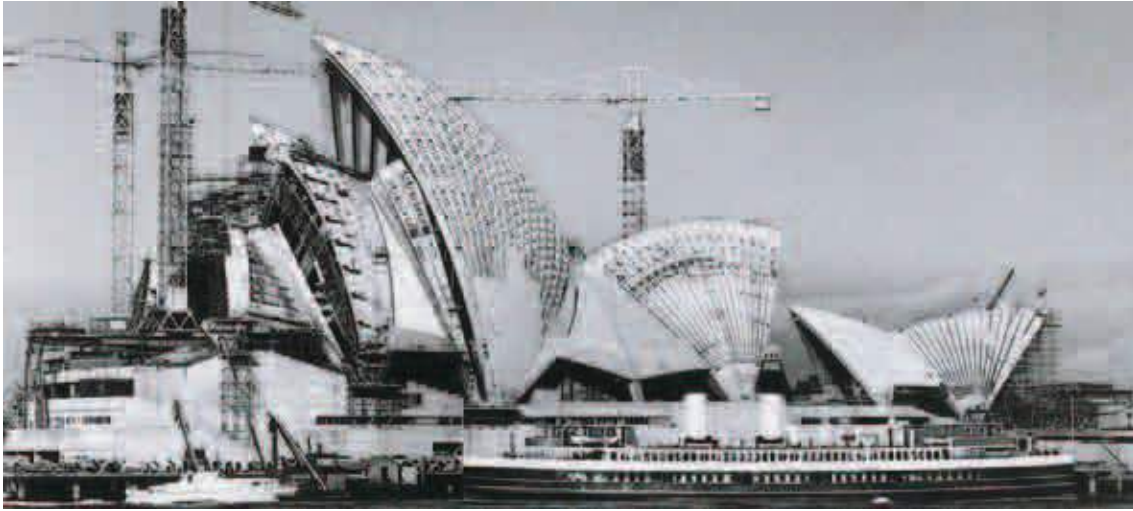




La percepción de la Arquitectura depende mucho de la luz. Consideremos, para fijar ideas, la difusión de un haz de rayos de luz monocromática a través de una red de formas paralelas. La observación cuantitativa del fenómeno puede hacerse de diversas maneras, por ejemplo a través de una pantalla o por una placa fotográfica que se revela tras un cierto tiempo de exposición. La absorción de la luz muestra que el efecto es cuantificable, cada fotón que penetra excita una forma sensible y deja una mancha variablemente negra. En condiciones normales el número de fotones recibidos es muy grande y la distribución cuasi-continua de los impactos arroja una forma similar a las figuras de interferencia previstas por la teoría ondulatoria. Debe ser que la dualidad física también fundamenta la tectónica.



Almacén de agua.



“En el trabajo mediante formas curvas en la Ópera, he desarrollado un gran deseo de ir más lejos con las formas arquitectónicas libres, pero a través de controlar la forma libre con una geometría. Soy absolutamente consciente del peligro de las formas curvas en contraste a la seguridad de las formas rectilíneas. Pero el mundo de la forma curva puede dar algo que no se puede alcanzar siempre por medio de arquitectura rectangular. Los cascos de naves, cuevas y la escultura lo demuestran.”  
Jorn Utzon

Jorn Utzon. Ópera de Sydney durante la construcción.



(1) La forma curva de las infraestructuras moldea el borde indefinido de la ciudad. La continuidad de un paisaje constante a ambos lados, demanda el empleo de una variedad controlada que ritma esta secuencia, como en un vals.

(2) Con tres geometrías coercitivas tuvo que lidiar el genio creativo de Olmsted. La más potente es la recta que gobierna el diseño especulativo de la ciudad, trasladada con absoluta rotundidad a su frente marítimo y al orden de los edificios construidos. Otra es funcional y procede de la hipnótica ondulación de la autopista, aprisionada entre los estrechos márgenes concedidos a lo público y generada por medio de curvas de precisa definición matemática. La tercera tiene raíces culturales y se introduce en el diseño por vía de la simetría, obligado recurso para introducir monumentalidad hasta el santo advenimiento del movimiento moderno.

Encerrado entre las rectas, su diseño trata de sacar partido a las curvas para generar unos espacios de disfrute público. Acepta las sugerencias e insiste en lo geométrico con nuevas curvas instaladas en los intersticios, que son apoyadas por masas de árboles para definir los ámbitos buscados. Aunque se pueda disfrutar a pie, pídale a un taxista el recorrido completo.



“La curva es la línea de los dioses”.  
A. Gaudí

Antonio Gaudí. Parque Güell. Barcelona. 1914



“La arquitectura es el juego magistral de masas reunidas en torno a la luz”.  
Le Corbusier



“El destino último de toda fortaleza es el de ser tomada”  
Sébastien Le Prestre, Señor de Vauban, ingeniero militar.

El búnker es la abstracción máxima de la fortaleza y del poder que la crea. Lo es en sus formas puras y en su carga simbólica. Es la torre de una gran muralla imaginaria. Nodos que organizan una fortificación que es un territorio entero, un ideal. La costa como barrera inexpugnable que se alza frente al Canal de la Mancha. Inútil esfuerzo el de estas construcciones que no resistieron el vacío del mar, el enemigo inesperado a las puertas del desierto, el ansia de paz y libertad. Y sin embargo son profundamente bellas y solemnes. Últimos ejemplos perfectos de una estirpe, la arquitectura fortificada, que ha dejado de existir. En el siglo XXI, los nodos son de silicio y los símbolos imágenes retransmitidas. Para Paul Virilio los bunkers eran “como enigmas, especie de estatuas de la Isla de Pascua que interrogan el horizonte marino”. Hoy, a punto de desaparecer, son “como la calavera que ríe con tres dientes”.



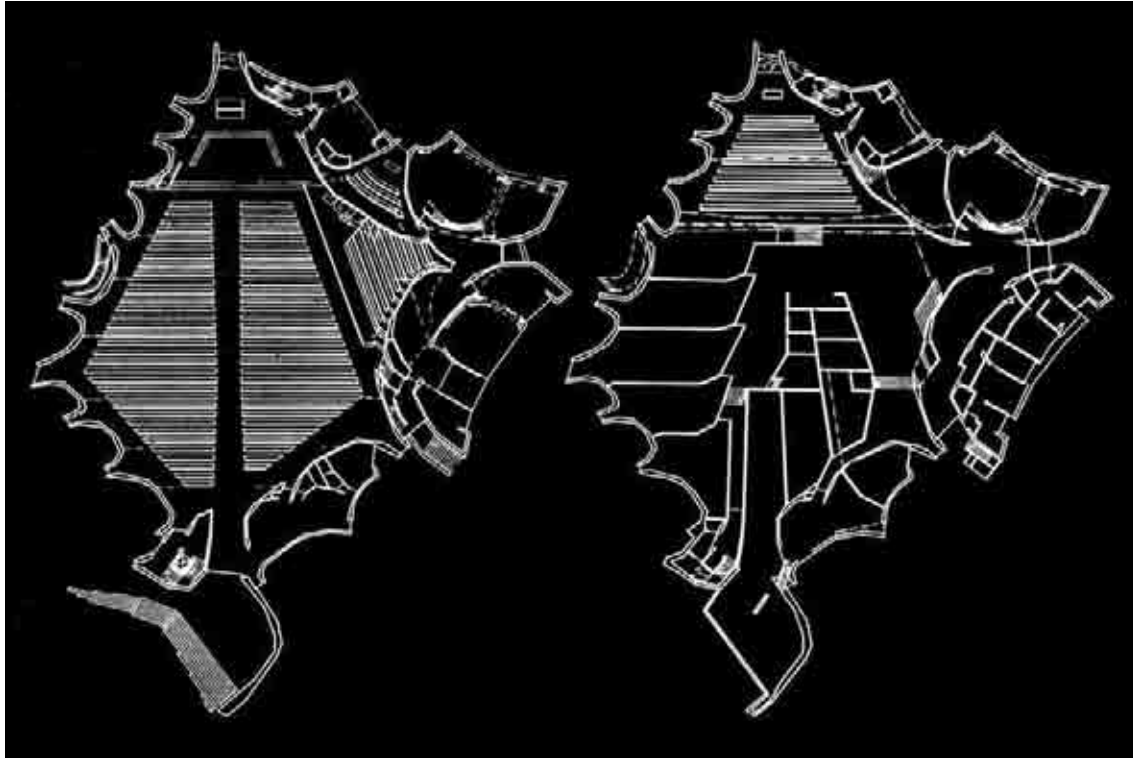
(1) ¿Por qué la sustentación debe ser evidente? La geometría de la gravedad no responde a la grafía de la intención. Formas deconstruidas, complejas, sin referencias. Y ¿por qué se enhebran los tubos de dos en dos? Para aumentar la rigidez del conjunto, sí...pero no. Para acentuar la importancia del resorte que sostiene, sí...pero no. Están ahí porque sí, ni más ni menos.

(2) [...] La hermana de David Hockney, según dice el propio Hockney, cree que Dios es el aire, el espacio entre las cosas. De este modo, todo está enraizado o moviéndose en Dios. Es una idea muy cercana a la percepción de los pintores, ¿no te parece? No porque los pintores sean necesariamente creyentes, sino porque el espacio invisible es el que siempre están intentando pintar. Sólo el espacio puede dar unidad a sus trazos y manchas. [...] John Berger. "Espacio (de una carta a Sven Blomberg)".





“La arquitectura moderna es un todo aglomerado, un campo donde todavía se pueden descubrir territorios inexplorados, zonas límite y caminos paralelos”.  
Daniel Libeskind.



Determinados países poseen tradicionalmente una cultura de respeto, protección y conservación de la naturaleza. Esto en parte se debe a un mayor conocimiento de la misma potenciado por un contacto constante con el medio. Desarrollan una intuición, mezcla de herencia cultural e instinto natural, casi genético. Este es el caso de los países nórdicos, escuela de grandes arquitectos 'orgánicos': Aalto, Saarinen, Pietilä, Utzon...



Defiendo la riqueza de significados en vez de la claridad de significados; la función implícita a la vez que la explícita. Prefiero `esto y lo otro´ a `o esto o lo otro´, el blanco y el negro, y algunas veces el gris, al negro o al blanco. Una arquitectura válida evoca muchos niveles de significados y se centra en muchos puntos: su espacio y sus elementos se leen y funcionan de varias maneras a la vez.

Robert Venturi, *Complejidad y contradicción en la arquitectura*.



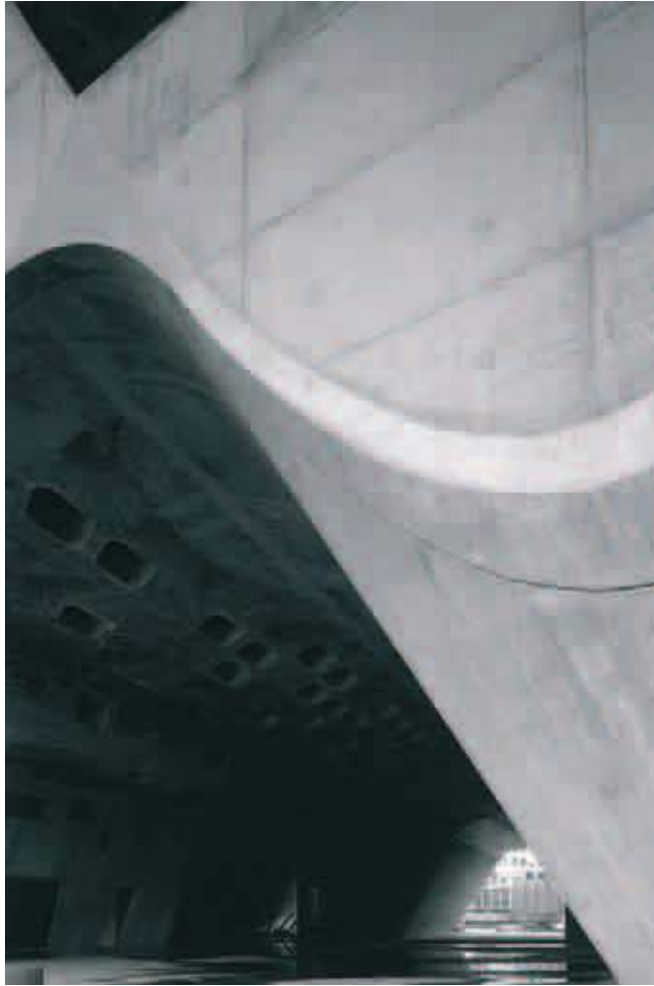
(1) “Las imágenes que contemplamos de construcciones monumentales del pasado no pueden vivir nuevamente con la misma intensidad y el mismo significado. Su duplicación fiel es inconcebible. Pero nos atrevemos a desechar las lecciones que esos edificios nos enseñan, pues tienen las características comunes de esa grandeza sobre la que deben basarse, en un sentido u otro, los edificios de nuestro futuro.” (Louis I. Khan)

(2) [...] Por encima, es un espacio amplio del que no puede retenerse la forma; puesto que la semiesfera tiene ese encanto de sustraerse a la medida. [...]

[...] Casi cada tarde destacan el ultramar de sus siluetas grandiosas. [...]



El movimiento continuo de los pelotaris en la cancha se transmite desde el suelo con mucha intensidad, controlados por las paredes –cómplices de sus movimientos- que les lleva a lo más alto. Curvas mágicas que les contienen y les iluminan, todo ello con la naturalidad de la continuidad de la forma llevada a su más alto grado de perfección y pureza. Movimiento alegre, juego alegre, jai-alai.



...un objeto misterioso que fomenta la curiosidad y la capacidad de descubrir.



En 1925, Mélnikov, volviendo de unas vacaciones en San Juan de Luz, propuso al ayuntamiento de París construir un nudo de rampas, de pendiente constante, para recoger por las noches los taxis de la ciudad.

“¿Cuántos barcos e ideas más conserva el museo del abismo pérfido del Golfo de Vizcaya?. De sus profundidades sacan perlas, y la mía emergió de las profundidades de mi alma. Mírala, qué fina y elegante vuela la perla sobre París, sobre sus calles, barrios y bulevares, sobre los puentes del Sena aristocrático. No hay nada igual a ella en el mundo de los constructivistas renombrados.”

K. Mélnikov, Architektura mojej zizni.

Como la transmisión de las ondas en la superficie del agua o las olas en el Golfo de Vizcaya, Mélnikov propone una coreografía de movimientos regulares. Una arquitectura para el desplazamiento continuo y fluido de nuevos ciudadanos que ruedan en lugar de caminar.

K. Mélnikov, Garaje para 1000 autos (2ª versión). París-San Juan de Luz, 1925

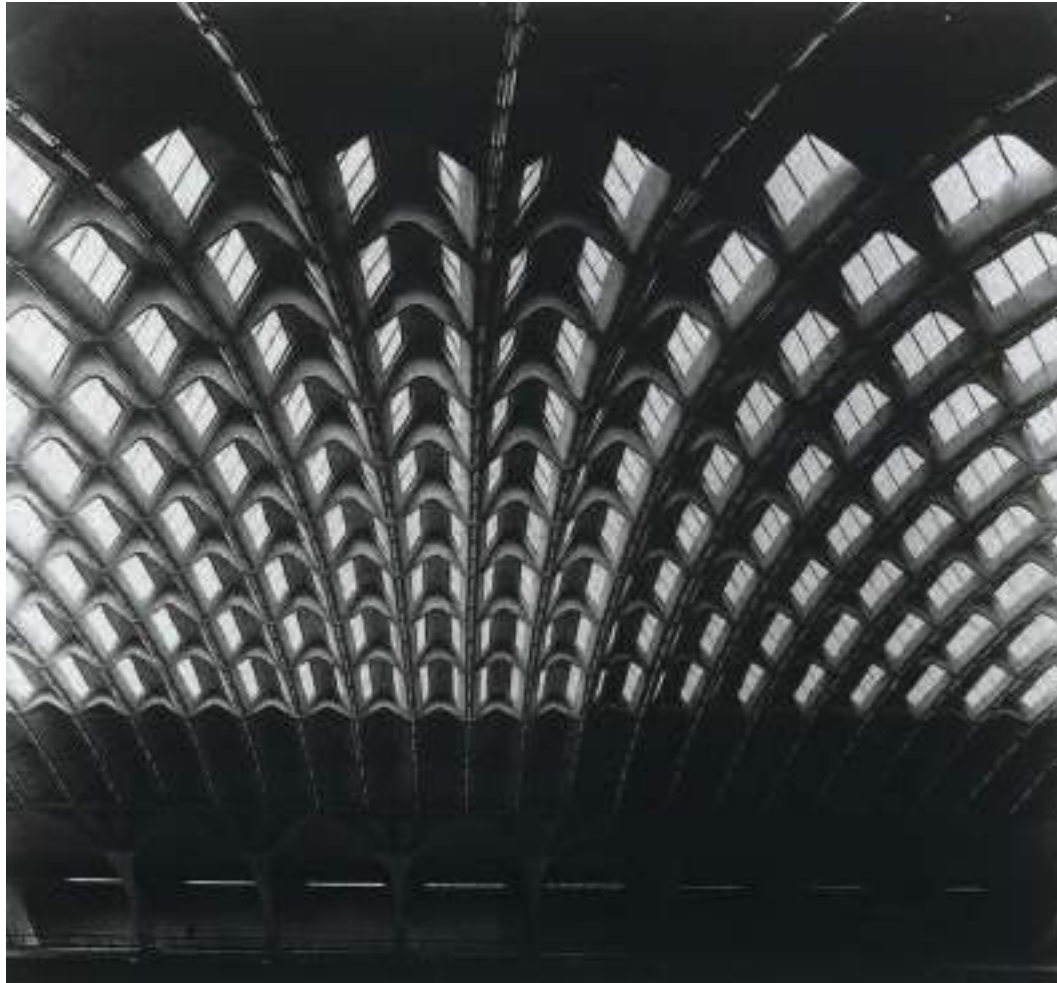


La hélice, círculo en libertad, sacacorchos del cielo.





“Una catedral gótica; basta compararse un paraguas y pensar que es lo que ellos querían hacer”.  
Alejandro de la Sota



Ritmo musical y ritmo arquitectónico son similares. El silencio equivale al vacío, la ausencia provoca presencia, genera música, crea espacio. Desocupación activa del espacio, nos decía Oteiza.



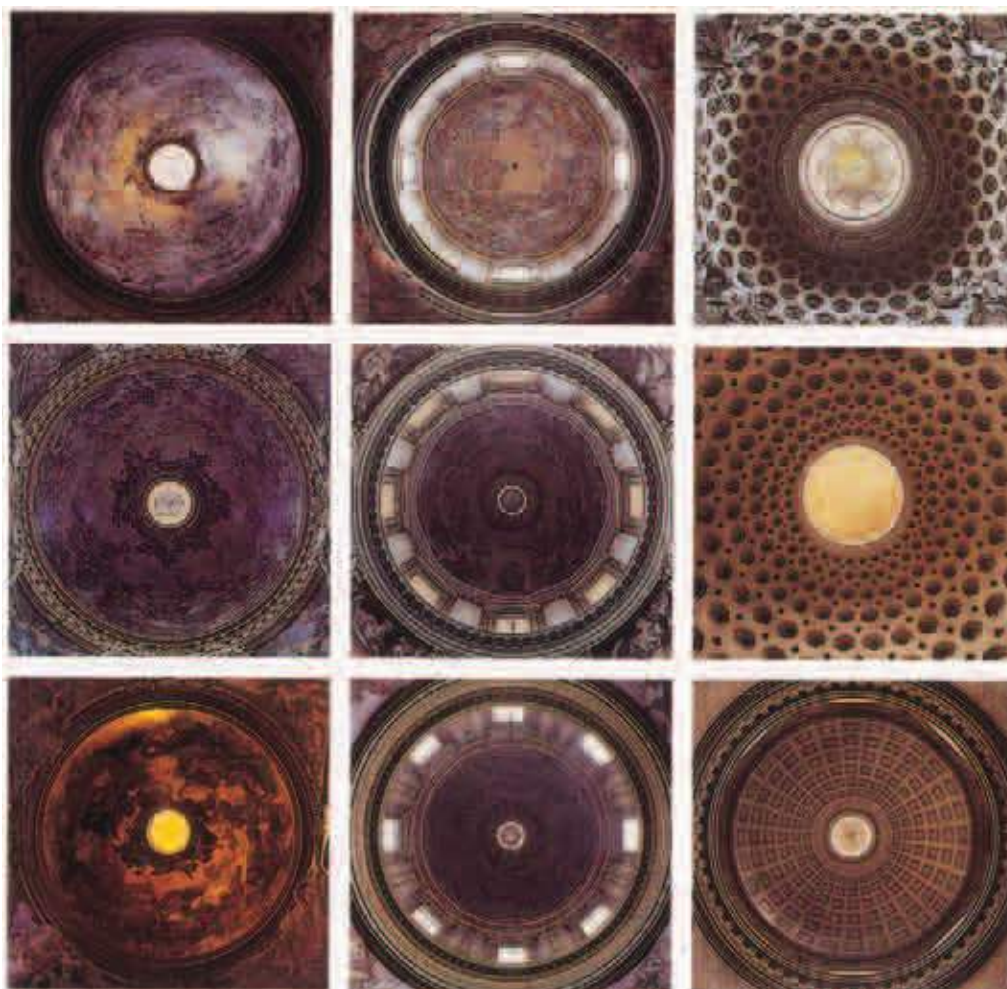
El deseo del individuo de construir algo no debería ser impedido! Todo el mundo debería ser capaz y tener que construir las cuatro paredes en las que vive y así ser verdaderamente responsable de ellas. Y uno debería tomar el riesgo, incluido en este trato, de que tal estructura fantástica pueda derrumbarse un día, y uno no debería y no tiene que retroceder ante el sacrificio humano que este nuevo modo de construcción exige, o puede que exija. Debemos por fin poner fin a que las personas tengan que mudarse a sus alojamientos como pollos y conejos a sus gallineros o conejeras.

F. Hundertwasser. Manifiesto del Moldeado frente al Racionalismo en Arquitectura.



Orden sin voluptuosidad..

Brøndbyvester. Copenhagen. Dinamarca

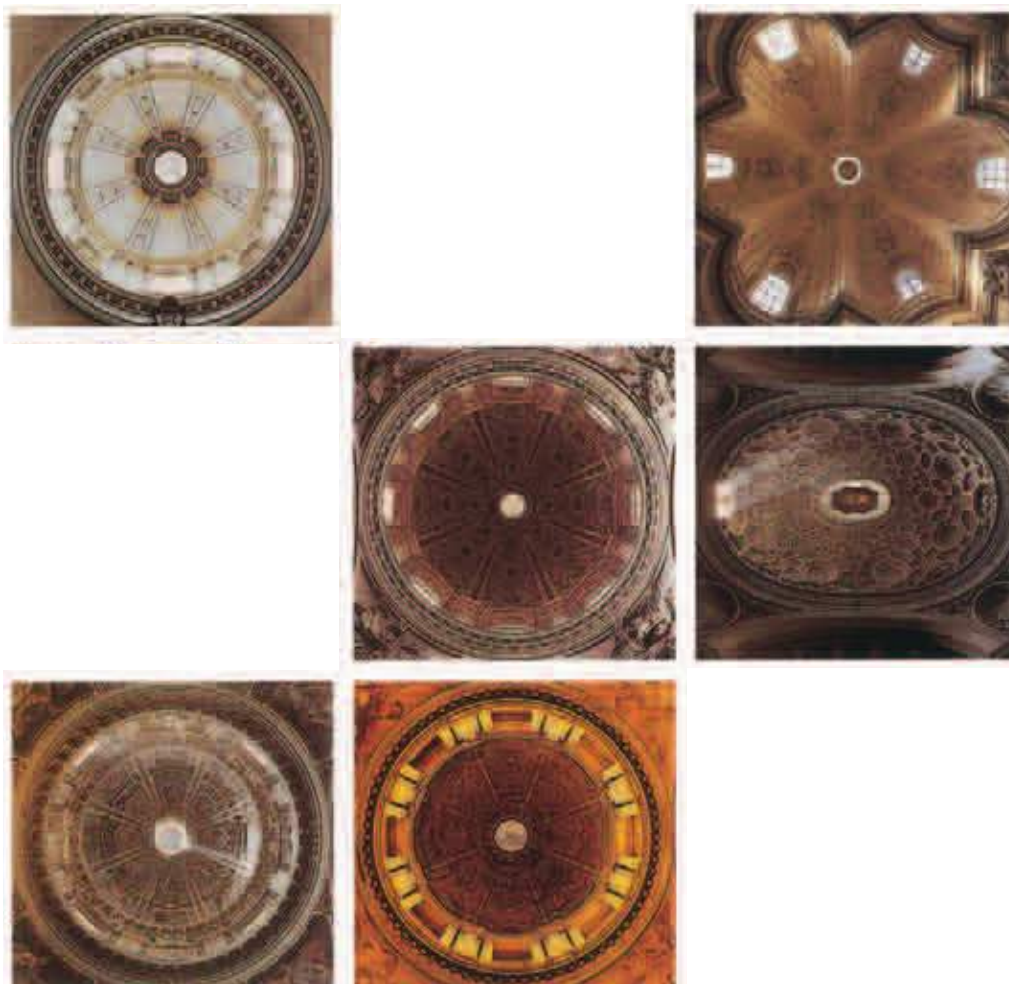


Todas iguales, todas diferentes.

San Nicola da Tolentino, 1670  
 Santa Maria Maggiore, 1699  
 Sant'Agnese in Agone, 1653

San't Andrea delle Fratte, 1653  
 Santa Maria Maggiore, 1699  
 Sant'Agnese in Agone, 1653

San Luigi dei Francesi, 1580  
 San Bernardo alle Terme, 1598  
 Santa Maria in Campitelli, 1657



“El arte es la expresión de los más profundos pensamientos por el camino más sencillo”.  
 Albert Einstein

San Giovanni dei Fiorentini, 1559  
 Madonna dei Monti, 1664

Santi Luca e Martina, 1634  
 Santi Ambrogio e Carlo al Corso, 1668

San't Ivo alla Sapienza, 1660  
 San Carlo alle Quattro Fontane, 1641



Cuando en junio de 1943 Wright recibió el encargo de un museo para el antiguo arte moderno, nadie imaginó que el recorrido que acabaría construyendo sería simétrico al que seis siglos antes, Dante, en su comedia, había acuñado como descenso a los infiernos.

Sorprende que la cultura permita emparejar arte y castigo eterno en un complejo juego de piezas secretas



“...¿un recorrido intersticial por el tubo digestivo, la medula espinal o la traquea del mismo animal que presta sus huesos para sostener cubiertas y andenes?, ¿Anatomía, polígono funicular o cita de un arquitecto admirado?”  
Josep Quetglas





Las obras del hombre revelan su naturaleza.  
El tiempo de una obra mantiene su propia validez,  
De la que puede extraerse el sentido de la verdad  
Para inspirar una obra de otro tiempo.  
Myron Goldfinger



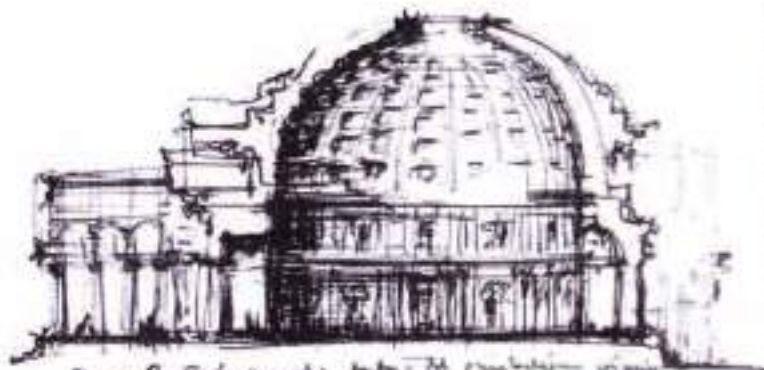
“La ambigüedad y la tensión están en cualquier parte en una arquitectura de la complejidad y la contradicción. La arquitectura es forma y substancia –abstracta y concreta-, y su significado procede de sus características internas y de un determinado contexto. Un elemento arquitectónico se percibe como forma y estructura, textura y material. Esas relaciones oscilantes, complejas y contradictorias son la fuente de ambigüedad y tensión características de la arquitectura”.

Robert Venturi, *Complejidad y contradicción en la arquitectura*.

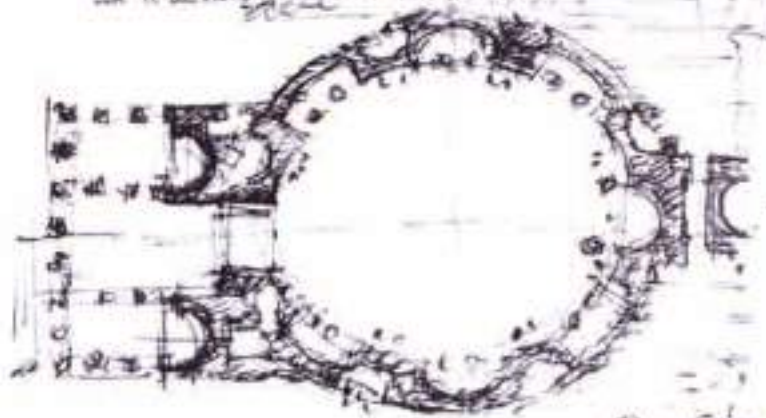


EPÍLOGO

Plan de l'édifice principal de l'Agripa



Plan de l'édifice principal de l'Agripa  
de Rome, les dimensions de l'édifice sont  
de 137 m de diamètre et de 48 m de hauteur.



Pantheon de Rome

Les dimensions de l'édifice sont de 137 m de diamètre et de 48 m de hauteur.

Le Pantheon de Rome est un temple romain dédié à tous les dieux romains. Il a été construit par l'empereur Agripa en 27 av. J.-C. et a été reconstruit par le pape Sixte V en 1586. L'édifice est caractérisé par sa coupole massive, qui est la plus grande coupole en béton armé au monde. Elle est surmontée d'un oculus, une ouverture circulaire qui permet à la lumière d'entrer dans l'édifice. Le Pantheon est considéré comme l'un des plus beaux exemples d'architecture romaine et est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO.

## ¿COINCIDENCIAS CÓSMICAS?

Releyendo escritos del Julio Cano Lasso<sup>1</sup>, en relación con el espacio arquitectónico, rescatamos una afirmación. Se refiere a que “no se puede llegar a una determinación científica del espacio arquitectónico reduciendo a términos científicos lo que es esencialmente artístico [...] Los aspectos que caracterizan esencialmente la calidad del espacio arquitectónico son de naturaleza no cuantificable.”

Cano Lasso basa sus razonamientos en que “a medida que se ensancha el campo de los fenómenos cuantificables y avanza su frontera, no pierde importancia, ni se reduce, el mundo infinito de lo subjetivo del arte.”

Aún no sintiéndonos muy seguros, claro está, con la idea de lo infinito y de lo subjetivo, hay que dar la razón a Cano Lasso cuando dice que “sería ingenuo creer que a un mayor grado de tecnicismo corresponde indefectiblemente mayor calidad del espacio arquitectónico, porque la experiencia histórica demuestra lo contrario.” Pone, entre otros, el ejemplo del Panteón de Agripa y escribe junto a su dibujo de planta y sección: “En el Panteón no cabe duda del simbolismo cósmico del diseño. La composición se basa en complejas asociaciones de módulos y relaciones geométricas.”

Si hemos de hablar de curvas, nos centraremos en esta condición de simbolismo cósmico que es percibida y experimentada en el propio espacio del Panteón por quien en él se introduzca. Tiene, esta experiencia, un fundamento que trataremos de explicar. Si comparamos la curva de la bóveda con la curva del planeta que habitamos, observamos coherentes analogías. ¿Coincidencias cósmicas? Conviene recordar<sup>2</sup>, primero, que la tierra, al poco de formarse, recibió un intenso bombardeo de meteoritos que fundieron su masa, lo que permitió que los elementos más pesados, como el hierro y el níquel fueran al interior mientras que en la corteza se quedaran los más ligeros, como el carbono, el calcio o el silíceo, elementos fundamentales para los compuestos orgánicos. Gracias a ello y a sabias compensaciones cósmicas, el núcleo de la tierra, al girar, proporciona un intenso campo magnético que protege de una excesiva radiación proveniente del espacio exterior.

La curva superficial de la tierra, la litosfera, es una corteza que se rige con leyes especiales. En los continentes es más gruesa, pero allí los materiales son más ligeros, mientras que en los océanos sucede lo contrario; es más delgada y está formada por materiales más pesados. La resultante es que en toda la superficie de la curva el peso está equilibrado y existe gran estabilidad. Al mismo tiempo, la delgadez de la corteza hace posible una propiedad que diferencia a la tierra de otros planetas conocidos: la tectónica de placas. Tres grandes placas se mueven en distintas direcciones sobre el material fundido del núcleo interior, produciendo fracturas y profundos relieves.

Es evidente que sucede lo mismo en el Panteón. Hay un “simbolismo cósmico en su diseño”. La tectónica que cubre el espacio tiene relieves profundos y una gran cantidad de nichos, huecos y hornacinas, que aligeran la masa (allí donde no es necesaria) sin restar estabilidad al conjunto ni resistencia al empuje de la bóveda. El material empleado altera su densidad, peso y resistencia a medida que ascienden las fábricas y cambian de función estructural. Este adelgazamiento paulatino alcanza el óculo, de ocho metros abierto en su cénit, donde desaparece totalmente la materia para quedar formado por el elemento más pesado especialmente: el aire. La resultante es que en toda la superficie de la curva, al igual que sucede con la curva terrestre, el peso está equilibrado y la estabilidad garantizada.

La curva de la bóveda encierra un inmenso vacío. Lo pesado es el aire que queda dentro; ese es el espacio, el núcleo denso. Espacio que gira produciendo ese misterioso campo de fuerzas en acción por el cual recibe, en proporción adecuada, la radiación exterior en forma de luz o de lluvia.

¿Hay coincidencias cósmicas en esas curvas?

<sup>1</sup>Cano Lasso, Julio; *El espacio arquitectónico*, Xarait Ediciones, 1980, pag.15.

<sup>2</sup>Moreno Luquero, Ricardo (Profesor de Astronomía); *Coincidencias cósmicas*. [www.retamar.com](http://www.retamar.com)

## CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

CURVAS DE LAS  
MATEMÁTICAS



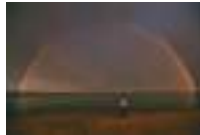
Archivo Esteyco



Georg Gerster



NASA  
Texto: C.R.



Antonio Real  
Texto: (1)J.M.  
(2)R.G.G. y E.C.V.



Bernhard Edmaier  
Texto: C.L.



NASA  
Texto: D.M.



Ricardo Vila  
Texto: E.G.G. y C.D.M.



Bibiana Fierro  
Texto: A.E./A.M.



NASA  
Texto: J.M.



NASA  
Texto: C.L.



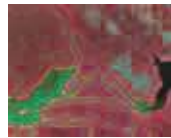
Ricardo Vila  
Texto: (1)M.O.  
(2)E.G.G. y C.D.M.



David Doubilet  
Texto: (1)M.O. (2)P.S.V.



NASA  
Texto: (1)M.O. (2)J.L.M.



Spot Image  
Texto: J.L.M.



Guía completa de la publicidad  
Texto: C.L.



Manuel Elices  
Texto: M.E.



S. Taneda  
Texto: J.M.

CURVAS DE LA  
NATURALEZA



Fundación Santiago Ramón y Cajal  
Texto: C.L.



Bernhard Edmaier  
Texto: C.R.



Georg Gerster  
Texto: G.M.



Thomas Pakenham  
Texto: C.L.



Bernhard Edmaier  
Texto: C.L.



Archivo Olalquiaga  
Texto: C.L.



David Doubilet  
Texto: M.O.



Paul Starosta  
Papillons. Éditions du Chêne  
Texto: (1)M.O. (2)E.G.G. y C.D.M.



Alfredo Renau Larios  
Texto: D.M.M.



Manuel Elices  
Texto: M.E.



NASA  
Texto: G.M.



Nikon  
Texto: C.L.



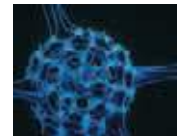
Ricardo Vila  
Texto: M.O.



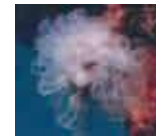
Archivo Olalquiaga  
Texto: M.L.



NASA  
Texto: A.O./P.O.



Firofoto S.L.  
Texto: J.M.L.



Manuel Elices  
Texto: M.E.





NASA  
Texto: M.A.L.



Firofoto S.L  
Texto: L.C.



NASA  
Texto: (1)M.O. (2)C.R



NASA  
Texto: J.M.



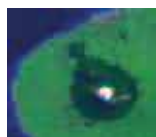
British Museum  
Texto: M.O.



D. Mizer  
Texto: M.O.



NASA  
Texto: J.M.



NASA  
Texto: R.G.G. y E.C.V.



Fundación Juan Rulfo  
Texto: A.O./P.O.



Alex S. Maclean  
Texto: M.O.



Alex S. Maclean  
Texto: M.O.



Alex S. Maclean  
Texto: V.N.



NASA  
Texto: D.M.M.



NASA  
Texto: M.O.



NASA  
Texto: D.M.



NASA  
Texto: M.L.

## CURVAS DE LA MÚSICA



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Museo de la Música. París



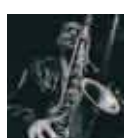
Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Texto: C.L.



Gerardo Cañellas  
Texto: M.O.



Paul Almasy  
Texto: C.L.



Gerardo Cañellas  
Texto: C.L.



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



Gerardo Cañellas  
Texto: V.N.



Museo de la Música. París



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Texto: D.M.



Éric Myer  
Texto: E.C.



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín



Museo de Instrumentos Musicales. Berlín  
Texto: P.S.V.



Anthony Ashton



Investigación y ciencia  
Texto: A.O./P.O.



Investigación y ciencia  
Texto: J.M.



The science of sound



The science of sound  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



The science of sound  
Texto: J.M.



Alex S. Maclean  
Texto: M.O.



Alex S. Maclean  
Texto: M.O.



Anthony Ashton  
Texto: M.O.



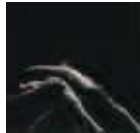
Anthony Ashton  
Texto: J.M.



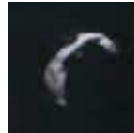
Anthony Ashton  
Texto: A.A.



Anthony Ashton  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



Michael Slobodian  
Texto: M.O.



Michael Slobodian



Museo de la Música. París  
Texto: E.C.



Museo de la Música. París



Museo de la Música. París



Museo de la Música.  
París  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



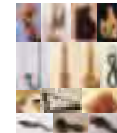
John Cage  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



John Cage/ Earle Brown  
Texto: J.G.G. y A.G.P.



Fundación Juan Rulfo  
Texto: A.O./P.O.



Instrumentos de colecciones  
españolas



Paco Sánchez  
Texto: J.L.M.



Paco Sánchez  
Texto: J.L.M.

## CURVAS DE LA INGENIERÍA



Castillo de Windsor, Biblioteca  
Texto: A.O./P.O..



Anónimo  
Ingeniería de Presas  
Texto: J.L.M.



Anónimo  
Ingeniería de Presas  
Texto: J.L.M.



Anónimo  
Bridon  
Texto: (1) R.O.S. - (2),(3) J. R.W.



Anónimo  
Light Structures  
Texto: A.O./P.O..



Anónimo  
Inst. Francés de Arquitectura  
Texto: FMN.



Collard  
Texto: C.L.



Anónimo  
L'art de l'ingénieur  
Texto: F.M.N.



Jason Hawkes  
Texto: J.M.L.



Georg Gerster  
Texto: J.M.A.



Anónimo.  
Arquitect. del siglo XX  
Texto: C.L.



Georges Fessy  
Texto: D.M.



Archivo Esteyco  
Texto: J.R.W.



Archivo Esteyco  
Texto: C.L.



Texto: A.E./A.M..



Georg Gerster  
Texto: A.O./P.O..



Anónimo  
Texto: J.R.W.



Alex S. MacLean  
Texto: M.A.L.



Anónimo.  
Revista Civil Engineering, Mayo 2002  
Texto: C.L.



Alex S. MacLean  
Texto: J.R.W.



Alex S. MacLean



Alex S. MacLean  
Texto: J.R.W.



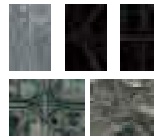
Anónimo  
Texto: A.F.A.



Anónimo  
Texto: M.O.



Archivo Esteyco  
Texto: J.R.W.



Archivo Esteyco  
Texto: J.R.W.



Texto: F.M.N..



Fotografía Oscar A. Simon  
Arch. familiar Torres Quevedo  
Texto: M.O.



Archivo Dyckerhoff +  
Widmann AG  
Texto: (1) J.M.- (2) A.O./P.O.



Stefan Koppelkamm  
Texto: A.O./P.O.



Société Technique du Batiment  
et des Travaux Publics  
Texto: J.M.A.



Archivo de la Sra. Dorothy Candela  
Texto: A.O./P.O..



Metro de Bilbao  
Texto: J.R.W.



Anónimo.  
De la revista Civil Engineer  
International, June 1999.  
Texto: J.R.W.



NASA  
Texto: A.O. O./P.O.



Stefan Koppelkamm  
Texto: J.L.A..



## CURVAS DE LA ARQUITECTURA



Archivo Olalquiaga  
Texto: A.O./P.O.



Bernard Chevojon  
Texto: J.R.W.



Texto: A.O./P.O.



Texto: A.E./A.M.



Archivo Olalquiaga  
Texto: C.L.



Anónimo.  
De la revista Arquitectura 282  
Texto: A.O./P.O.



Texto: C.L.



Anónimo  
De Cuatro Libros de Arquitectura  
Francisco de Asís Cabrero  
Texto: (1) M.O. - (2) A.E./A.M.



Marcel Gautherot  
Texto: C.L.



José Hevia  
Texto: A.O./P.O..



Archivo Olalquiaga  
Texto: A.O./P.O..



Archivo Esteyco  
Texto: (1) A.O./P.O. -  
(2) A.E./A.M.



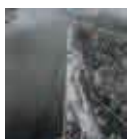
Erwin Hauer  
Texto: C.L.



Cortesía del Museo de Cáceres  
Casa de las Veletas  
Texto: J.R.W.



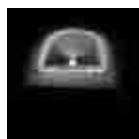
Verlag Bau + Technic  
 Texto: A.O./P.O.



Skyviews. Archivo Fotográfico  
 New York City Parks  
 Texto: (1)S.C.- (2)M.A.



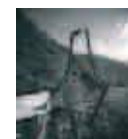
François René Roland  
 Texto: A.O./P.O.



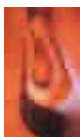
Archivo Olalquiaga  
 Texto: A.O./P.O.



Paul Virilio  
 Texto: G.M.



Hisao Suzuki  
 Texto: (1)J.M. - (2)A.E./A.M.



Christian Richters  
 Texto: A.O./P.O.



Texto: A.O./P.O.



Ezra Stoller/Esto  
 Texto: A.O./P.O.



Archivo de A. Turizm Yayinlari  
 Texto: (1) A.O./P.O. (2)A.E./A.M.



Archivo Fotográfico del Instituto de  
 Ciencias de la Construcción  
 "Eduardo Torroja" del CSIC  
 Texto: R.O.S.



Hélene Binet  
 Texto: A.O./P.O.



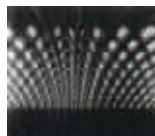
Miguel de Guzmán  
 Texto: A.J.



Georg Gerster  
 Texto: J.R.W.



Firfoto, S.L.  
 Texto: A.O./P.O.



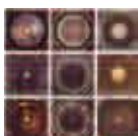
Universita degli Studi di Parma,  
 sezione fotografia.  
 Texto: A.O./P.O.



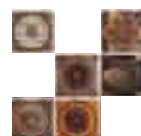
Georg Gerster  
 Texto: A.E./A.M.



Georg Gerster  
 Texto: J.R.W.



Anónimo  
 Texto: J.R.W.



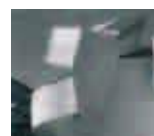
Anónimo  
 Texto: M.O.



Nigel Young  
 Texto: A.O./P.O.



Anónimo.  
 Texto: A.O./P.O.



R. Bryant  
 Texto: A.O./P.O.



J. Cano Lasso  
 Texto: E. C. L.



LA PRESENTE PUBLICACIÓN HA SIDO REALIZADA POR LA FUNDACIÓN ESTEYCO  
BAJO LA COORDINACIÓN EDITORIAL DE PILAR CARRIZOSA.  
EL DISEÑO GRÁFICO HA SIDO REALIZADO POR ALFONSO Y PABLO OLALQUIAGA

LA FUNDACIÓN ESTEYCO QUIERE AGRADECER SU PARTICIPACIÓN A LOS  
FOTÓGRAFOS: GERARDO CAÑELLAS, MANUEL ELICES, BIBIANA FIERRO, MIGUEL DE GUZMÁN,  
ALFREDO RENAU LARIOS, ANTONIO REAL, PAUL STAROSTA Y RICARDO VILA.  
Y A LOS COLABORADORES: ANA ECHAGÜE, JESÚS IRIBARREN, JULIO MAYORGA,  
ELENA, JUAN Y MIGUEL OLALQUIAGA, ALEJANDRO RAMÍREZ, MARÍA SEPÚLVEDA, ANA SUÁREZ  
Y AL ARCHIVO FOTOGRÁFICO DEL I.C.C. EDUARDO TORROJA.

LA FOTOCOMPOSICIÓN, FOTOMECÁNICA E IMPRESIÓN GRÁFICA  
HA SIDO REALIZADA EN EUROCOLOR, S.A. MADRID.





FUNDACION  
ESTEYCO



