

EL SÍNDROME «BIG SCIENCE» Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO DE MADURACIÓN DE LA FÍSICA MEXICANA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES

M.^a Elena Luna Morales*, Francisco Collazo Reyes**

Resumen: Identificamos la influencia de las circunstancias internacionales sobre la evolución de la física de partículas elementales en el proceso de maduración de la disciplina en el ámbito local mexicano, a través de un estudio bibliométrico de la producción e impacto científicos y los recursos humanos de la física mexicana de partículas elementales (FMPE). El estudio se apoya en tres fuentes de información: (1) un sistema internacional de información especializado en el área de física de altas energías (SLAC-SPIRES-HEP); (2) Los Catálogos Latinoamericanos de Programas y Recursos Humanos en Física 1985-2001; (3) una base de datos desarrollada localmente sobre la producción e impacto de la Física mexicana en el área, durante el periodo 1971-2000. Encontramos que la influencia «big science» ha dado lugar a una nueva estructura organizacional de la FMPE y a una nueva dinámica de crecimiento de recursos y productos. Esta dinámica se encuentra cuantificada en este trabajo en forma de indicadores bibliométricos de entrada (crecimiento de los recursos humanos, programas y grupos de investigación) y de salida (incrementos en la producción e impacto científicos).

Palabras clave: gran ciencia, Física, México, colaboración científica multi-institucional, Bibliometría.

Abstract: The influence of the international circumstances on the evolution and the process of research maturation in elementary particle physics in Mexico is identified. For this purpose a bibliometric study of the scientific production and impact, as well as the human resources involved have been employed. The study is conformed in the following three information sources: (1) an international information system specialized in the area of High Energy Physic (SLAC-SPIRES-HEP); (2) the Latin American Catalogs of Programs and Human Resources in Physics 1985-2001; and (3) a database locally developed about the production and impact of Physics in Mexico, during the period 1971-2000. Big science research has given place to a new organizational structure of the FMPE and a new dynamic of growing resources and products. This was quantified in the present work in terms of input and output bibliometric indicators, mainly to the increase of human resources, research programs and groups; and in the increment of the production and scientific output.

Keywords: big science, Physics, Mexico, scientific collaboration multi-institutional, Bibliometrics.

* Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Departamento de Servicios Bibliográficos. México. Correo-e: elena@csb.cinvestav.mx.

** Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Biblioteca de Ciencias Exactas. México. Correo-e: collazo@linux.bfm.cinvestav.mx.

1 Introducción

La investigación científica y tecnológica ha seguido procesos de evolución cada vez más complejos que implican la coordinación de grandes grupos de investigación, como consecuencia a la solución de grandes problemas. Con frecuencia es cada vez más evidente la colaboración entre científicos: desde hace más de medio siglo la idea del científico aislado va quedando como recuerdo de imágenes borrosas, (1) para dar lugar a las conocidas redes sociales de colaboración científica (2). El tamaño del grupo en una colaboración, o «colaboratorio» está en función del área de investigación de que se trate y no representa otra cosa que la integración de esfuerzos para desarrollar y aplicar investigación a un área científica (3). Actualmente estos «colaboratorios» son punta de lanza (4) en varios campos de la investigación científica, particularmente en la biología molecular y en la física de altas energías, desarrollando los proyectos de investigación a mayor escala y los más representativos dentro del fenómeno de la gran ciencia («big science»).

El síndrome «big science» como señala Moravcsik (5) se ha extendido a diferentes disciplinas, agregando nuevas modalidades y mecanismos efectivos de consolidación a la cultura de la colaboración, compartiendo laboratorios, instrumentos, datos, tecnologías y la información a través de bibliotecas digitales (3) con la participación de distintos países, instituciones y universidades, no sólo para hacer frente a problemas, sino porque el mismo implica la integración de recursos en distintos niveles (6) desde el esfuerzo físico y mental del científico hasta la participación económica, tecnológica y cultural de los participantes.

La física de partículas elementales es un área de investigación relativamente joven (7, 8), su progreso está asociado al desarrollo de los grandes aceleradores de partículas, dando origen a uno de los desarrollos más espectaculares en el campo de la física y generando la incorporación de una nueva área de estudio dirigida al sondeo de la materia nuclear, asociada a la evolución generacional de los aceleradores dependientes de los estados del arte de la tecnología y una secuenciación de descubrimientos importantes correspondientes a cada una de estas generaciones (9).

A mitad de los años 60 la colaboración en esta área de investigación fue de grupos pequeños no mayores de 10 participantes, para los años 70 se incrementaron a 50 integrantes; actualmente estas colaboraciones involucran a 200 y 400 científicos (9), principalmente si se trata de colaboraciones realizadas en los grandes centros experimentales localizados en Estados Unidos y Europa. Estas actividades han dado a la investigación una circunstancia sociológica distinta y no es una actividad exclusiva del campo de la física, también ocurre en el ámbito de la biología molecular, principalmente en el proyecto sobre el genoma humano (8).

El concepto «big science» acuñado por Weimberg (10) y Price (11) se refiere a la ciencia de los laboratorios a gran escala como parte de un fenómeno de transición de la pequeña a la gran ciencia. La acepción del concepto «big science» como «síndrome» usada en este trabajo, tiene que ver con la interpretación de Moravcsik (5), del concepto como un fenómeno que expande sus síntomas a nuevas disciplinas, aplicado en este caso a revisar la presencia del fenómeno «big science» representado por los esfuerzos en torno al desarrollo de trabajo experimental en la Física de Partículas Elementales (FPE), aspectos altamente dependientes de los países de incubación del fenómeno.

En México, la FPE presenta sus primeros antecedentes a partir de 1961, impulsada particularmente por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (12). En la década de los años 70 se incorporó el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) a través del Departamento de Física, convirtiéndose con el tiempo en pionero en la formación de recursos humanos en el área. En este mismo periodo se sumó la Escuela Superior de Física-Matemáticas del IPN (ESFM-IPN).

Para los años 80 se incorporaron la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad de Guanajuato (UGto.), la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y la Universidad Autónoma de Puebla (UAP), entre otras, sumando en la actualidad 10 dependencias de instituciones mexicanas dedicadas a la formación e investigación en FPE.

Los esfuerzos para crear viabilidad a la investigación experimental en la FMPE, comenzaron a principios de los años 80 con la visita a México del entonces director del Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB), Leon Lederman, quien con la idea de promover la física de partículas en América Latina, respaldó la participación de mexicanos en el primer proyecto de colaboración, denominado E766 (13) y la formación de físicos experimentales en el área en la misma institución donde éste era líder.

En 1989, Clicerio Avilez, físico experimental en el área, creó el primer grupo orientado a la investigación experimental en el Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato. Por su parte el CINVESTAV, a través de su Departamento de Física, negoció programas de colaboración con FERMILAB y otros laboratorios para la formación de recursos humanos que incluyen cursos de verano, estancias de trabajo, formación de estudiantes de Maestría, Doctorado y Posdoctorado, en los principales centros internacionales de experimentación como son: Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN), Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) y FERMILAB. Actualmente la Universidad de Guanajuato y el CINVESTAV ofrecen la especialización en el área (12).

La base de datos sobre FMPE desarrollada en la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV, reporta la participación de investigadores adscritos a instituciones mexicanas en 15 proyectos de investigación (tabla I), cada uno de éstos en distintas etapas de desarrollo y con funciones muy específicas y distintas en cada proyecto, incluyendo aspectos que tienen que ver con la planeación y construcción de detectores, con sede en FERMILAB, CERN y DESY. La participación en la Colaboración Pierre Auger, representa para México la representación más grande en recursos humanos e instituciones y la primera participación en la modalidad de astro partículas.

Ante este panorama analizamos la influencia de las circunstancias internacionales de evolución de la disciplina en el proceso local de maduración de la FMPE, a través del estudio bibliométrico de los siguientes aspectos: 1) los escalamientos en la formación de recursos humanos que representan los esfuerzos orientados a la institucionalización y profesionalización de la actividad científica en el área, 2) la dinámica de crecimiento de la literatura, y 3) la producción e impacto científicos.

2 Fuentes de información y metodología

Fuentes de información:

- Bases de datos del Stanford Linear Accelerator Centre (SLAC) complementado con el sistema administrador y recuperador de información, Stanford Physics Information REtrieval System (SPIRES) en física de altas energías (HEP), 1971-2000.
- Base de datos local sobre FMPE, 1971-2000 (Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN).
- Catálogos Latinoamericanos de Programas y Recursos Humanos en Física (CLPRHF) 1985-2001.

Tratamiento de la información

Se identificaron en el sistema SLAC-SPIRES las citas correspondientes a los trabajos existentes en la base de datos de la FMPE y se adicionaron como un nuevo módulo de la misma. De igual manera se localizaron y organizaron los recursos humanos correspondientes al área de la FMPE en los CLPRHF.

Tratamiento estadístico

Se realizó un análisis de las series de datos correspondientes a los recursos humanos, producción e impacto científicos, basado en el modelo de regresión lineal y en el ajuste de diferentes líneas de tendencia para determinar el patrón de crecimiento de las variables mencionadas.

Se determinaron las dinámicas de crecimiento de las variables correspondientes a recursos humanos, producción e impacto, a partir del uso de medidas de tendencia central como datos divisores base de las series de cada variable.

3 Resultados

3.1 Recursos humanos

La tabla I presenta el crecimiento por décadas en recursos humanos para la FMPE. Estos recursos fueron formados en cinco instituciones nacionales y quince extranjeras localizadas en diez países diferentes. La misma tabla muestra que la responsabilidad y los lugares de formación de los recursos humanos se han diversificado hacia nuevas instituciones y países entre una década y otra.

De los 67 especialistas del área, 50 (75%) están dedicados fundamentalmente al trabajo de tipo teórico y 17 (25%) al experimental (tabla II), que también muestra que los esfuerzos en la formación de físicos experimentales tiene un periodo de apenas 16 años (1984-2000), en el cual se han formado 17 doctores, la mayoría incorporados en distintos grupos de investigación establecidos en diferentes instituciones del país, par-

Tabla I
Recursos humanos en FMPE

<i>Años</i>	<i>Rec. humanos por década</i>	<i>Grado otorgado por</i>	<i>País</i>	<i>Instituciones Adscripción</i>
1971-1980	10	Cinvestav ESFM-IPN UNAM Univ. Católica de Lovaina Univ. de California Univ. de Chicago Univ. de Varsovia Univ. Trieste	México Polonia EUA Italia Bélgica	CINVESTAV ESFM-IPN UNAM
1981-1990	19	Cinvestav ESFM-IPN UNAM Univ. Cat. de Lovaina Univ. de Florida Univ. de Oxford Univ. de Texas Univ. Estatal de Michigan	México EUA Inglaterra Bélgica	CINVESTAV-UM ESFM-IPN UNAM UAM UAP UGto UMSNH UAEMo UAS
1991-2000	37	Cinvestav ESFM-IPN UNAM UGto. UAP Univ. de Dortmund Univ. de Durham Univ. de Minnesota Univ. de Utkal Univ. Heidelberg Univ. Nal. de la Plata Univ. Oxford Univ. Texas A&M	México Argentina EUA India Inglaterra Alemania Rusia	CINVESTAV CINVESTAV-UM ESFM-IPN FCFM-UAP UNAM UAM UASLP UGto UMSNH UAEMo UAS UAZ UNISON UGuadalajara
Subtotal	67		10	14

Fuente. Catálogo Latinoamérica de Programas y Recursos Humanos en Física. Base de datos de la Sociedad Mexicana de Física.

ticularmente CINVESTAV-Zacatenco, CINVESTAV-UM, UGto, UASLP, UAP, UMSNH. La formación de estos recursos está asociada a la física experimental de altas energías desarrollada con aceleradores de partículas, establecidos en los principales centros internacionales como son: FERMILAB, CERN y DESY.

La incorporación de estos nuevos perfiles experimentales a las instituciones mencionadas, representa un cambio novedoso en la organización de las plantillas del personal académico de la FMPE, compuestos tradicionalmente sólo con perfiles teóricos.

Tabla II
Formación de recursos humanos experimentales en FMPE

Formación		Recursos formados N.º científicos	Laboratorio y/o Universidad	Adscripción actual
Año inicio	Año fin			
1984	1989 1992	Científico 1 Científico 2	FERMILAB FERMILAB	IF-UGto. IF-UASLP
1985 1987	1990 1992	Científico 3 Científico 4	FERMILAB HEIDELBERG	U Puerto Rico IF-UASLP
1988	1991	Científico 5 Científico 6 Científico 7	CERN FERMILAB CERN	CINVESTAV-DF CINVESTAV-DF IF-UGto.
1991	1992	Científico 8	FERMILAB	FCFM-UAP
1993 1997 1997	1994	Científico 9 Científico 10 Científico 11	CERN DESY FERMILAB	IF-UGto. CINVESTAV-M Tecnológico-Morelia
1996 1994 1998	1998	Científico 12 Científico 13 Científico 14	FERMILAB FERMILAB FERMILAB	IF-UGto. UVeracruzana IF-UMSNH
1995 1996	1997 2000	Científico 15 Científico 16 Científico 17	FERMILAB FERMILAB FERMILAB	CINVESTAV-DF CINVESTAV-DF ICN-UNAM

Fuente. Catálogo Latinoamericano de Programas y Recursos Humanos en Física, 1987-

3.2 Producción e impacto científicos

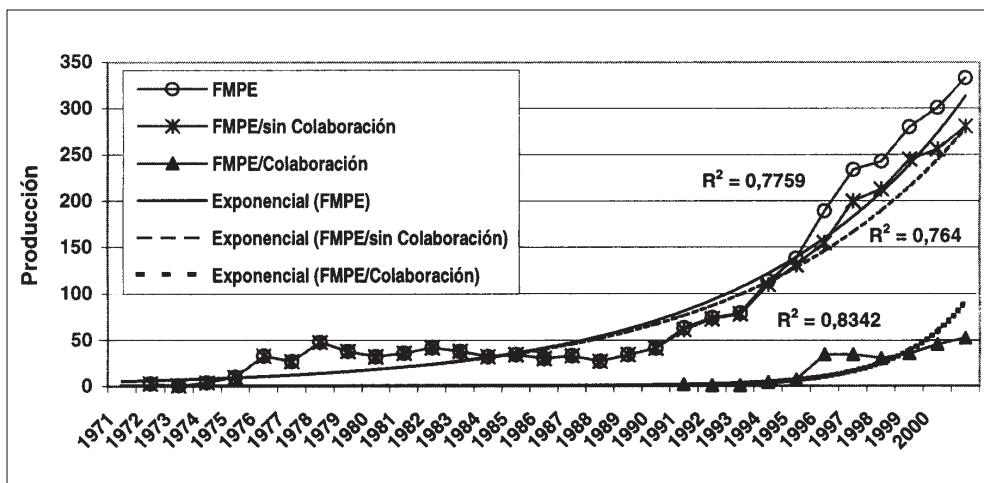
Producción

La FMPE ha generado 2.301 trabajos publicados en el periodo 1971-2000, dispersos en distintos tipos de fuentes que incluyen artículos en revistas, libros, congresos, tesis, pre-prints, experimentos y reportes técnicos.

La figura 1 muestra los crecimientos de la producción científica del área, representados por tres líneas: la primera se refiere a la producción general; la segunda a la producción sin los trabajos realizados en colaboración y la tercera a los trabajos producidos en colaboración internacional.

El cambio en el ritmo de crecimiento manifestado por la FMPE a principios de la década de los 90, muestra crecimientos ajustados a líneas de tendencia exponencial muy similares, con valores de $R^2 = 0,7759$, para el primer caso, $R^2 = 0,7640$ para el segundo y $R^2 = 0,8342$ para el tercero. Lo anterior permite interpretar que la FMPE mantiene esfuerzos paralelos de maduración con dinámicas propias entre los grupos teóricos y experimentales.

Figura 1
Patrón de producción de la FMPE: 1971-2000

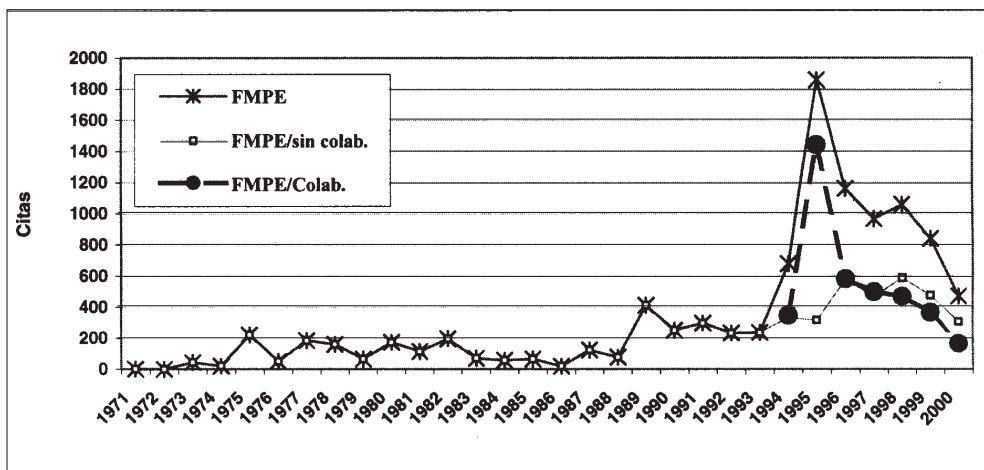


Fuente. Base de datos de la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN.

Impacto

El impacto de la FMPE constituye una auténtica red de citación que involucra 10.170 citas, con ligas a cientos de nodos representados por fuentes de publicación, categorías temáticas, autores e instituciones de adscripción. La figura 2 muestra en forma gráfica la evolución del impacto relacionada con series anuales de tiempo, apoyados en tres trazos referentes a: 1) el impacto global de la FMPE, 2) el impacto de los

Figura 2
Dinámica del Impacto reportado en la FMPE: 1971-2000



Fuente: Base de datos de la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN.

trabajos desarrollados por los grupos teóricos, y 3) el impacto de los trabajos desarrollados por los grupos experimentales en proyectos «big science». De acuerdo con estos datos y a diferencia del caso de la producción, las citas hechas a los trabajos en colaboración sí determinan la dinámica de crecimiento del impacto de la FMPE en la década de los años 90, situación que se puede ver en el gráfico a través de la línea correspondiente al impacto sin la colaboración.

El crecimiento de las citas, a partir de la influencia de los trabajos en colaboración, resulta completamente atípico con relación a la tendencia de las décadas anteriores y está fuertemente determinado por el impacto logrado por los trabajos publicados en 1995 y que tienen que ver con la participación del grupo de investigación del CINVESTAV en el hallazgo más importante realizado en el proyecto de colaboración D0, titulado «Observations of the Top Quark» publicado en la revista *Physics Review Letters* y que hasta el 2001 tiene reportadas 816 citas hechas principalmente en los dos años siguientes a su publicación. Lo que también explica el decremento en las citas de los años posteriores.

3.3 Colaboración en Big Science

De acuerdo con el sistema SLAC-SPIRES-HEP y nuestra base de datos local, México inicia la participación en proyectos de colaboración en «big science» a partir de 1990, a través del proyecto EMPACT del que se originaron los dos primeros trabajos mostrados en la tabla III, misma que señala los 15 proyectos con participación de mexicanos. Estos proyectos han generado un total 245 trabajos que representan 14% de la producción del área en la década de los años 90.

El proceso de acercamiento a los grandes centros experimentales como estrategia para la formación de recursos, ha traído como consecuencia el arraigo de algunos investigadores a los proyectos y el reconocimiento de varios liderazgos (tabla IV) jugando un rol importante en la coordinación y formación de recursos humanos en el área.

La tabla V reporta 3.845 citas para los trabajos en colaboración, que representan el 47% del impacto logrado en el ámbito nacional en la década de los años 90. Destacan las citas obtenidas a los trabajos de colaboración D0 y E791, 3.024 citas para el primero y 604 para el segundo, con aportación del 44% con respecto al impacto global de la FMPE durante el mismo periodo. En tanto que su aportación en el ámbito de la colaboración es de 78% (D0) y 15% (E791), sumando entre ambos el 93% de las citas acumuladas.

4 Discusión

Los resultados bibliométricos presentados en este trabajo, muestran en términos cuantitativos una disciplina en el momento de mayor crecimiento, producto de un estado dinamizado por un doble escalamiento de esfuerzos realizados en torno al proceso de complementación entre el desarrollo tradicional de los grupos teóricos y la aparición, en este entorno local, de los primeros grupos de investigación experimental, desarrollados en condiciones altamente dependientes de las circunstancias internacionales del fenómeno «big science».

Tabla III
Participación de instituciones mexicanas en colaboraciones Big Science

Número	Nombre proyecto	Tra- bajos	Año pub.	Instituciones participantes	Institución sede	País sede
1	E791	156	1993	CINVESTAV-DF	FERMILAB	EUA
2	E791	31	1996	CINVESTAVDF IF-UAP	FERMILAB	EUA
3	H1	23	1999	CINVESTAV-UM CINVESTAV-DF	DESY	Alemania
4	SELEX-E781	10	1999	IF-UASLP	FERMILAB	EUA
5	FOCUS/ E831	5	2000	CINVESTAV-DF IF-UAP	FERMILAB	EUA
6	ALICE	5	1996	CINVESTAV-DF IF-UAP	CERN	Europa
7	E690 (E766)	4	1998	UGTO	FERMILAB	EUA
8	E766	3	1994	UGTO	BROOKHAVEN	EUA
9	GEM	2	1991	CINVESTAV-DF UGTO		
10	EMPACT	2	1990	UGTO	FERMILAB	EUA
11	E789	1	1993	CINVESTAV-DF	FERMILAB	EUA
12	E756	1	1999	CINVESTAV-DF	FERMILAB	EUA
13	E687	1	1992	CINVESTAV-DF	FERMILAB	EUA
14	Auger	1	1996	CINVESTAV-DF, UNAM, IF-UAP, UMNH INAOE	FERMILAB	EUA y Arg.
15	BTeV	1	1998	CINVESTAV-DF	FERMILAB	EUA

Fuente. Base de datos de la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN.

Tabla IV
Líderes mexicanos en colaboraciones Big Science

Líder de proyecto	Proyecto y/o experimento	Laboratorio	Año proyecto	Adscripción de líder
Científico 1	E766/BNL766	BROOKHAVEN	1986	IFUGto.
Científico 1	FNAL690	FERMILAB	1988	IFUGto.
Científico 2	D0	FERMILAB	1996	CINVESTAV-DF
Científico 3	Pierre Auger Collaboration	FERMILAB, CERN	1996	CINVESTAV-DF
Científico 4	H1	DESY	2000	CINVESTAV-UM
Científico 5	Selex	FERMILAB	1985	IF-UASLP
Científico 6	ALICE	CERN	2000	CINVESTAV

Fuente. Base de datos de la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN.

El crecimiento de los grupos experimentales determinado en este estudio, es parte de un proceso reciente de expansión de la disciplina hacia la región latinoamericana, promovido y regulado desde los países sede de los grandes centros experimentales, pero con un importante impacto en los aspectos locales de la producción e impacto

Tabla V
Impacto de la FMPE en colaboraciones Big Science

<i>Años</i>	<i>Experimento citado por año</i>	<i>Citas a experimentos por año</i>	<i>Citas acumuladas a cada experimento</i>	<i>Porcentaje por experimento</i>
1994	D0	347	347	0,78
1995	“	1.441	1.788	
1996	“	441	2.229	
1997	“	407	2.636	
1998	“	343	2.979	
1999	“	45	3.024	
1998	Btev	1	1	0
1997	E756	1	1	0
1996	E791	247	247	0,15
1997	“	91	338	
1998	“	161	499	
1999	“	100	599	
2000	“	5	604	
2000	FOCUS	12	12	
1999	H1	100	100	0,052
2000	“	103	203	

Fuente. Base de datos de la Biblioteca de Ciencias Exactas del CINVESTAV-IPN.

científicos, la formación y crecimiento de los recursos humanos y grupos de investigación, el crecimiento de los roles de los investigadores y de las instituciones en los proyectos de colaboración. Todos estos escalamientos de esfuerzos forman parte de los aspectos internos del ámbito académico-científico de la disciplina y, de acuerdo con los historiadores de la ciencia (14, 15, 16) y los especialistas en política científica (17, 18, 19), estas influencias corresponden a las etapas de institucionalización y profesionalización del proceso de maduración de las disciplinas científicas a las condiciones locales de países con menor tradición científica.

Los estudiosos del proceso de evolución de las disciplinas «big science» (20, 21, 22, 23), recomiendan no confundir los aspectos de crecimiento cuantitativo con elementos propios de una tercera etapa del proceso de maduración de las ciencias, que se refiere a la industrialización o endogenización como un desarrollo largo y complejo de lograr que tiene que ver con la repercusión del quehacer científico en la sociedad (18, 24), efectos que sólo pueden ser identificados y evaluados en los países de incubación de la disciplina. En tanto que la influencia «big science» en el ámbito local mexicano ocurre únicamente dentro de los límites de la actividad científico-académica.

La reciente integración de laboratorios en la UGto., UASLP y en CINVESTAV, el nacimiento de la primera colaboración con países de la región México-Brasil (25), la presentación de resultados a partir de la instalación de un detector de superficie (prototipo) instalado en la Universidad de Puebla, como parte del proyecto de colaboración Auger (26), generan expectativas en torno a la posibilidad de desarrollar trabajo experimental en el ámbito local.

5 Conclusiones

El síndrome «big science» se ha extendido a la comunidad científica mexicana de partículas elementales influyendo en las primeras etapas del proceso de maduración local (institucionalización y profesionalización), desarrollado principalmente en torno a los grupos de investigación teórica. La influencia «big science» ha dado lugar a una nueva estructura organizacional de la FMPE y a una nueva dinámica de crecimiento de sus recursos y productos. Esta dinámica se encuentra cuantificada en este trabajo en forma de indicadores bibliométricos de entrada (crecimiento de los recursos humanos, programas y grupos de investigación) y de salida (incrementos en la producción e impacto científicos).

6 Agradecimientos

A los Drs. Miguel Angel Pérez Angón por la revisión del trabajo, y a Alberto Sánchez por su colaboración en la integración de la base de datos local sobre Física Mexicana de Campos y Partículas Elementales.

El presente trabajo fue apoyado parcialmente con recursos del proyecto CONACYT-G28102-E.

7 Bibliografía

1. GÓMEZ ROMERO, P. ¿Se acabó la ciencia en el garaje? *El País*, 2000, sep. 6.
2. NEWMAN, M. E. Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamentals results. *Physical Review*, 2001, vol. 64, p. 016131-1016131-8.
3. GLASNER, P. From community to 'collaboratory'? The Human Genome Mapping Project and the changing culture of science. *Science and Public Policy*, 1996, vol. 23(2), p. 109-116.
4. RUSSELL, J. M. Scientific communication at the beginning of the twenty-first century. *International Social Science Journal*, 2001 vol. 168 (june), p. 273-282.
5. MORAVCSIK, M. J. The contemporaneous assessment of a big science discipline. En *The Evaluation of scientific research*. Chichester, London: Wiley; Ciba Foundation Conference, 1989, p. 188-200.
6. PICKERING, A. R. y TROWER, W. P. Sociological problems of high-energy physics. *Nature*, 1985, vol. 318(21), p. 243-245.
7. TIGNER, M. Does accelerator-Based particle physics have a future? *Physics Today*, 2001 (January), p. 36-40.
8. TRILLING, G. U.S. Collaboration on the LHC program. *Beam Line*, 1997 (winter), p. 20-26.
9. ROSEN, S. P. The march toward higher energies. En NECIA GRAND y GEOFFREY B. (editor). *Particle physics*. New York: Cambridge Press, 1988, p. 150-155.
10. WEINBERG, A. M. Impact of large-scale science on the United States. *Science*, 1961, vol. 134 (Julio), p. 164-168.
11. PRICE, DJ DE SOLLA. *Little science, big science*. New York: Columbia University Press, 1963.
12. ZEPEDA, A. La Física de partículas elementales en México. *Foros: diagnóstico de la física en México. México; Academia Mexicana de Ciencias: Presidencia de la República; CONACYT*, 1998, p. 118-124.

13. HERRERA CORRAL, G. Leon M. Lederman and the High Energy Physics in Mexico. En AYALA, A., CONTRERAS, G. y HERRERA, G. (editores). *Particles and Fields. Seventh Mexican Workshop (Nov. 10-17: Mérida, Yucatán, 1999)*. New York: AIP, 2000, p. 250-251.
14. SALDAÑA, J.J. El perfil de la ciencia en América. *XI Congreso Interamericano de Filosofía*, 1986, Guadalajara, Jal., p. 57-80.
15. SALDAÑA, J. J. y AZUELA, L. F. De amateurs a profesionales: las sociedades científicas Mexicanas en el siglo XIX. *Quipu*, 1994, vol. 11(2), p. 135-172.
16. POLANCO, X. La ciencia como ficción. Historia y contexto. *XI Congreso Interamericano de Filosofía. 1986*, Guadalajara, Jal., p. 41-56.
17. VESSURI, H. Los papeles culturales de la ciencia en los países subdesarrollados. *XI Congreso Interamericano de Filosofía*. 1986, Guadalajara, Jal., p. 7-30.
18. LEITE LOPEZ, J. Science and the making of contemporary civilization. En MALEK, A., BLUE, G. y PECUJLIC, M. (editores). *Science and Technology in the transformation of the world*. Japan: United Nations University, 1982, p. 1-11.
19. SALOMON, J. J. Modern science and technology. En SALOMON, J. J., SAGASTI, F. y SACHS, C. (editores). *The Uncertain quest: science, technology, and development*. New York: United Nations University, 1994, p. 46-79.
20. MORAVCSIK, M. J. The crisis in particles physics. *Research Policy*, 1977, vol. 6, p.78-107.
21. IRVINE, J. y MARTÍN, B .R. CERN: Past performance and future prospects. I. CERN's position in world high-energy physics. *Research Policy*, 1984, vol. 13, p. 183-210.
22. IRVINE, J. y MARTÍN, B. R. CERN: Past performance and future prospects. II. The scientific performance of the CRN accelerators. *Research Policy*, 1984, vol. 13, p. 247-284.
23. IRVINE, J. y MARTÍN, B. R. CERN: Past performance and future prospects. III. CERN and the future of world high-energy physics. *Research Policy*, 1984, vol. 13, p.311-342.
24. SALOMON, J. J.; SAGASTI, F. R. y SACHS JEANTET, C. Introduction : from tradition to modernity. En SALOMON, J. J., SAGASTI, F. y SACHS, C. (editors). *The Uncertain quest: science, technology, and development*. New York; United Nations University, 1994, p. 15-43.
25. ANJOS, J. C. y CUAUTLE, E. Recent results on charm physics from Fermilab. En AYALA, A., CONTRERAS, G. y HERRERA, G. (editores). *Particles and Fields. Seventh Mexican Workshop (Nov. 10-17: Mérida, yucatán, 1999)*. New York; AIP, 2000, p. 172-198.
26. COTTI, U. y ZEPEDA, A. EL Proyecto Pierre Auger: astropartículas y rayos cósmicos ultraenergéticos. *Avance y Perspectiva*, 1998, vol. 17, p.131-135.