
FÍSICA MEXICANA DE PARTÍCULAS ELEMENTALES: ORGANIZACIÓN, PRODUCCIÓN CIÉNTIFICA Y CRECIMIENTO

FRANCISCO COLLAZO-REYES
y MARÍA ELENA LUNA-MORALES

La física de partículas elementales tiene como único objetivo entender las bases de las leyes que gobiernan la conducta de los constituyentes fundamentales de la materia (Fernández y Zepeda, 1997). Considerada en principio como parte de la física nuclear, es ahora uno de los campos más importantes de investigación básica de las ciencias físicas designada como "Física de campos y partículas elementales" (FPE) en los principales esquemas de clasificación, con fines temáticos, como el *Physics and Astronomy Classification System* (PACS) y con propósitos bibliométricos, como el *Journal Citation Reports* (JCR). La historia de su desarrollo comprende la segunda mitad del siglo pasado y los descubrimientos del meson π en 1947 marcan en muchos sentidos el inicio de la física de partículas elementales como área temática de investigación (Foster y Fowler, 1987). Así mismo, los trabajos realizados por los estudiosos de la evolución de la disciplina se refieren a períodos y eventos ocurridos no más allá de 1950 (Koestel *et al.*, 1982; Martin e Irvine, 1984a, 1984b; Moravcsik, 1977; Pickering, 1984; Pickering y Trower, 1985)

Disciplina "big science"

El desarrollo de la FPE forma parte del fenómeno de la ciencia de

la posguerra identificado como un proceso de transición de la pequeña a la gran ciencia (Weinberg, 1961; Price, 1963), caracterizado así por su efecto multiplicador de los recursos humanos, infraestructura, el tamaño y costos de equipos e instalaciones; intensificado en las décadas de los años 60 y 70, donde algunas disciplinas como la FPE han servido como un importante ejemplo para operacionalizar el concepto de disciplina de tipo "big science" por los estudiosos del área (Moravcsik, 1989; Pickering, 1984; Rescher, 1978).

En las décadas de los años 80 y 90 la comunidad científica de la FPE intensificó su tradición por la colaboración en torno a los grandes centros tradicionales de altas energías como el *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN), *German Deutsches Elektronen Synchrotron* (DESY), *Stanford Linear Accelerator Centre* (SLAC), *Fermi National Accelerator Laboratory* (FERMILAB) y el *Brookhaven National Laboratory* (BNL), consolidando una cultura de compromisos en torno a la colaboración multi-institucional como base de un nuevo modelo de organización internacional del trabajo científico, para enfrentar los altos costos y requerimientos del trabajo experimental en las disciplinas "big science". El sistema está soportado por un complejo tejido de compromisos a

distintos niveles: local, regional e internacional al que hacen referencia diferentes trabajos (Fraser *et al.*, 1997; Loew, 1997; Rosen, 1997; Trilling, 1997), incluyendo un exitoso sistema electrónico de comunicación de resultados de investigación científica disponible permanentemente en texto completo y de libre acceso en el ámbito internacional, desarrollado por Ginsparg (1998) y un importante sistema de monitoreo del área basado en información bibliográfica y bibliométrica desarrollado en el *Stanford Linear Accelerator Centre* (SLAC) y complementado con el sistema administrador y recuperador de información, *Stanford Physics Information REtrieval System* (SPIRES) en el área de física de partículas elementales (HEP), denominado por sus siglas en inglés SLAC-SPIRES-HEP (<http://www.spires.slac.stanford.edu/FIND/spires>), administrado y actualizado en colaboración por la propia comunidad.

Este sistema incluye además de los trabajos publicados como libros, capítulos o artículos en revistas, la literatura no publicada comercialmente como preprints, reportes, conferencias y tesis, así como las citas hechas a todos estos trabajos. Estos aspectos lo convierten en el sistema más completo del área y con mayores facilidades de acceso y recuperación de información, en compa-

PALABRAS CLAVE / Bibliometría / Física Mexicana / Partículas Elementales / Producción Científica /

Recibido: 15/10/2001. Modificado: 20/05/2002. Aceptado: 03/06/2002

Francisco Collazo-Reyes. Licenciado en Bibliotecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Coordinador de la Biblioteca de Ciencias Exactas, CINVESTAV-IPN. Profesor, Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía. Dirección: Biblioteca de Ciencias Exactas, Av. IPN #2508, Col. San Pedro Zacatenco, México D.F. C.P. 07360. e-mail: collazo@linux.bfm.cinvestav.mx

María Elena Luna-Morales. Licenciada en Bibliotecología y Pasante de Maestría (UNAM). Responsable de la Sección Sistemas de Información Bibliográfica, Departamento de Servicios Bibliográficos, CINVESTAV. e-mail: elena@csb.cinvestav.mx

ración con otros índices como son *Physics Abstracts*, *Inspec*, o del tipo multidisciplinario como el *Science Citation Index*.

Para las próximas décadas los nuevos proyectos de investigación en el área: el *Neutrino Factory and Muon Collider Collaboration*, Orion - SLAC, el *Worldwide Electron-Positron* y el *Global Accelerator Network* (Tigner, 2001), que dependen de requerimientos costosos en equipos, instalaciones, mantenimiento y grandes grupos de trabajo, implican un concepto más amplio de colaboración (Brown, 1994). De una cultura de compromisos para compartir costos, responsabilidades y créditos en el desarrollo, construcción y operación de los nuevos proyectos, así como de consensos en la comunidad científica para definir prioridades a escala internacional. Esta forma de organización transnacional que para Rosen (1997) representa el *sine qua non* para soportar y mantener los proyectos futuros en el área conocidos como “mega proyectos”, empieza a ser interpretada como signos de una transición de la disciplina tipo “big science” a una de tipo “mega science”.

Ante esta perspectiva se indagó cómo repercute esta cultura en los patrones de organización y crecimiento de la producción científica, de las comunidades pequeñas de investigación, con recursos ordinarios y periféricos a los grandes centros mundiales de experimentación, como es el caso de la física mexicana de partículas elementales (FMPE). Para ello se abordaron los aspectos de organización, producción y crecimiento, estratificados a partir de las instituciones mexicanas registradas como entidades de adscripción, por lo menos una vez, en los trabajos seleccionados por el sistema SLAC-SPIRES-HEP, durante el período que cubre este sistema. Se encontró que el desarrollo de la FMPE ha seguido un proceso exitoso de maduración en el ámbito local, identificado a partir de dos generaciones de esfuerzos: la primera orientada al desarrollo de trabajo teórico y la segunda dirigida al experimental, esta última fuertemente influenciada por las circunstancias propias de la cultura organizacional de la disciplina a nivel internacional.

Metodología

Fuentes de datos

Se utilizó como herramienta principal el sistema SLAC-SPIRES-HEP, un conjunto de bases de datos desarrolladas en colaboración en el área de partículas elementales y de altas ener-

TABLA I
ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL DE LA FMPE

Instituciones	Trabajos	%
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	1273	32,9
Instituto de Física	237	8,8
Instituto de Ciencias Nucleares	471	17,6
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y Sistemas	64	2,4
Instituto de Astronomía	46	1,7
Eneq Cuautitlán	21	0,8
Laboratorio de Cuernavaca, Instituto de Física	14	0,5
Instituto de Matemáticas, Unidad Cuernavaca	10	0,4
Facultad de Ciencias	7	0,3
Otras	10	0,4
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	164	6,1
Unidad Iztapalapa	121	4,5
Unidad Azcapotzalco	43	1,6
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	103	3,9
Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM)	102	3,8
UPIICSA	3	0,1
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV)	873	32,6
Departamento de Física	823	30,7
Unidad Mérida	48	1,8
Departamento de Matemáticas	2	0,1
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMO)	26	0,8
Universidad de Guanajuato (UG), Instituto de Física	237	8,8
Universidad de Guadalajara (U de G)	18	0,7
Universidad Autónoma de Puebla (UAP)	178	6,6
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)	65	2,4
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)	15	0,6
Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS)	9	0,3
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	10	0,4
Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)	87	3,2
Otras Instituciones*	18	0,7

Fuente: SLAC-SPIRES-HEP

* Otras Instituciones: Centro Internacional de Ciencias, S.C. (CIC); Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE); Universidad Autónoma de Baja California (UABC); Universidad Autónoma de Sonora (UNISON); Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMe); Universidad del Bajío (UBajío); Universidad de las Américas (UDLA); Universidad Autónoma de Quintana Roo (UAQROO).

gías administradas desde 1974 en la biblioteca del SLAC. La información de las instituciones mexicanas se complementó con el Catálogo Latinoamericano de Programas y Recursos Humanos en Física elaborado periódicamente por la Sociedad Mexicana de Física (SMF) y la Federación Latinoamericana de Sociedades de Física (FLSF) y los acervos de la Biblioteca Ciencias Exactas del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV).

Recuperación de la información

En primer lugar se recuperó toda la información existente bajo el descriptor ‘México’ como país en el sistema mencionado, que incluye artículos pu-

blicados en revistas, preprints, tesis y memorias de congresos o conferencias.

Base de datos

Se desarrolló una base de datos local apoyados en un programa de interfase que permite organizar la información por campos, a partir de los archivos creados directamente de las búsquedas realizadas en el sistema SLAC-SPIRES-HEP y manipularla con las herramientas de Microsoft en forma de tablas de texto, columnas y tablas relacionales. Finalmente la información quedó estructurada, como primera etapa, en una base de datos Access, con tablas de autores, títulos, fuentes de publicación, tipo de trabajo y año de publicación.

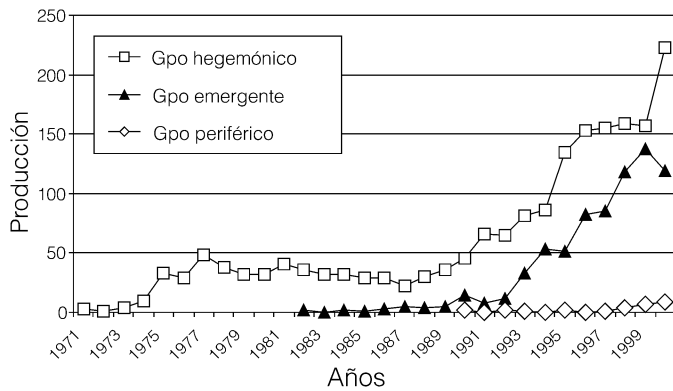


Figura 1. Organización de la producción en la FMPE por grupos de instituciones estratificadas de acuerdo a sus niveles y periodos de aportación.

Tratamiento estadístico

Se realizó un análisis bibliométrico de la organización, producción y crecimiento de la literatura con apoyo en el modelo de regresión lineal, para determinar el nivel de relación entre variables y el ajuste a curvas de tendencia exponencial, polinomial, lineal y comportamientos de medias móviles, como mecanismo para determinar las regularidades en la producción, el crecimiento y sus tendencias.

Resultados

Organización institucional

La historia de la literatura de la FMPE registrada en el sistema SLAC-SPIRES-HEP (Tabla I) muestra una comunidad científica mexicana estructurada por 21 instituciones que han colaborado por lo menos con un trabajo. Según la producción y consistencia de sus aportaciones, los grupos de investigación de mayor tradición se encuentran sólo en 10 instituciones (UNAM, CINVESTAV, UGTO,

de investigación en física, las demás pertenecen al sector de educación pública superior y forman parte de las instituciones mexicanas con programas de postgrado o investigación registradas en el Catálogo de Recursos y Programas en Física de la SMF.

Organización de la FMPE por grupos

De acuerdo a sus niveles y periodos de aportación se identificaron tres grupos de instituciones cada uno con distintos roles en la organización, producción y crecimiento de la literatura del área (Figura 1). El grupo hegemónico o tradicional está centralizado en el Distrito Federal e integrado por la UNAM, CINVESTAV e IPN. Como se aprecia en la gráfica, ha mantenido su hegemonía sobre la organización y producción de la disciplina durante las 3 décadas analizadas. El grupo emergente está conformado por UAM, ININ, UGTO, UMSNH, UAP, UAZ, UdeG, UAMo, UAS, y la UASLP, incorporadas a finales de la década de los 80 y principios de los 90. Finalmente el grupo periférico está integrado por instituciones con aportaciones esporádicas, principalmente a nivel de colaboración, con instituciones de los grupos anteriores, y conformado por el CIC, INAOE, UABC, UNISON, UAEME, UBajío, UDLA y UAQROO.

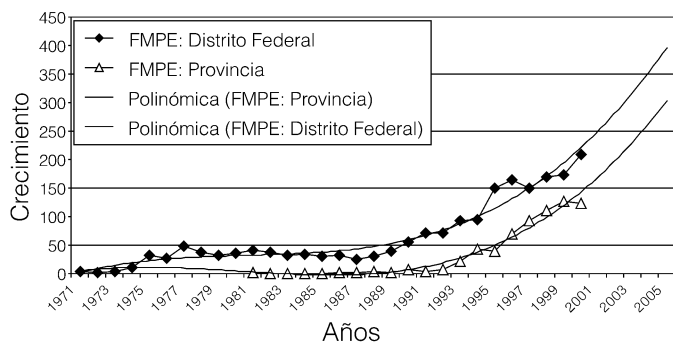


Figura 2. Evolución y predicción del proceso de descentralización de la investigación en FMPE.

IPN, UAM, UAP, UAZ, UMSNH, UAEMo y UASLP), que juntos concentran más del 93% de la literatura científica generada en el área. El resto de las instituciones sólo participan al nivel de colaboraciones esporádicas.

Con excepción del CIC, registrado como asociación civil, la Ubajío y UDLA como universidades privadas y la UAQROO, que no cuenta con programa

instituciones concentradas en el Distrito Federal (UNAM, CINVESTAV, UAM e IPN) y la desarrollada por grupos adscritos a las universidades de distintos estados de la provincia mexicana (Guanajuato, Puebla, Zacatecas, Michoacán, Morelos, Jalisco, Estado de México, Sinaloa y San Luis Potosí) incluyendo en este grupo a las dependencias de la UNAM y CINVESTAV que desarrollan investigación en el área, ubicadas en Cuernavaca, Morelos y en Mérida, Yucatán, respectivamente.

Existe un fenómeno claro de desconcentración de la investigación que ha modificado el esquema de organización tradicionalmente concentrada, durante las primeras décadas, en 3 instituciones del Distrito Federal, hacia un nuevo tejido organizacional y una nueva distribución geográfica en la última década que abarca 10 estados de la República. En esta nueva composición la aportación de las instituciones de provincia a la producción científica del área representa ya una tercera parte, misma proporción que seguramente se mantendrá para los siguientes años de acuerdo a la predicción mostrada en la Figura 2.

Producción científica

La columna 'b' de la Tabla II muestra un total de 2301 trabajos publicados por la comunidad científica de la FMPE en un periodo de 30 años, lo que representa un promedio aritmético acumulado de 77 trabajos por año. La columna 'c' se refiere a los incrementos y decrementos de la producción entre años consecutivos, que da como resultado una tasa de crecimiento de 9,7 trabajos por año, equivalente a un incremento de 3,3% por año. La columna 'd' muestra el crecimiento de la producción en forma acumulada, a partir de la cual se identificaron las cantidades de la columna 'e' que representan valores que duplican la producción científica en 8 ocasiones, con periodos promedio de duplicación de 4 años. Finalmente la columna 'f' muestra en forma porcentual acumulada que mientras el 25% de la producción está dispersa en un periodo de 20 años (1971-1990), el 75% está concentrada en el periodo de los últimos 10 años (1991-2000).

La Figura 3 muestra la producción de la FMPE por décadas, ajustada cada una a trazos de tendencia lineal, resultando valores de las pendientes 'y' de 4,3; 0,6 y 24,1 para el primero, segundo y tercer caso, respectivamente, representando periodos con dinámicas de producción muy distintas, con diferencias proporcionales de 40 a 1 entre el periodo más alto y el más bajo, y con coeficien-

Descentralización de la investigación

En la Figura 2 se muestra la producción de la FMPE dividida geográficamente por las

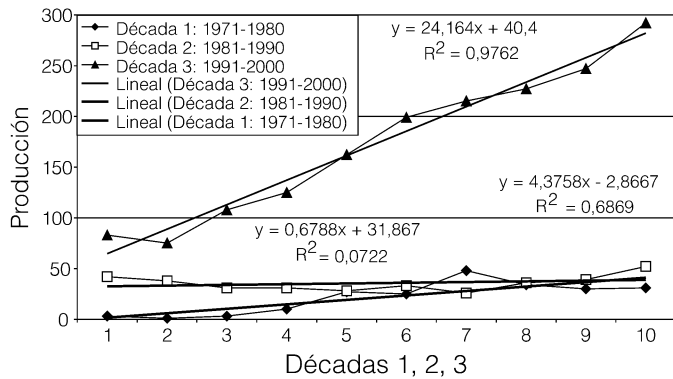


Figura 3. Dinámica de la producción de la FMPE por décadas.

tes de correlación (R^2) de 0,68 para el primero, 0,07 en el segundo y de 0,97 para el tercero, que representan una relación muy desigual entre el crecimiento de la producción como variable dependiente y las series de tiempo de cada periodo, como variable independiente.

La primer etapa (1971-1980) es un período de producción con una tasa de crecimiento promedio de 3 trabajos por año y la suma de los trabajos acumulados representan 10% del total. El segundo periodo (1981-1990) presenta la tasa de crecimiento más baja de los tres períodos, apenas de 2 trabajos promedio por año, a pesar de que el número de instituciones se duplicó con respecto al primer periodo. Los trabajos acumulados en esta etapa representan el 16% del total. El tercer periodo (1991-2000) muestra una aceleración en el crecimiento de la producción con las siguientes características: una tasa de crecimiento promedio de 24 trabajos por año, una cantidad de 1733 trabajos acumulados que representan una concentración de 74% de la producción total, con un crecimiento acumulado de 173 trabajos por año. Otra diferencia notable es que en los primeros veinte años (1971-1990) la producción se mantuvo por abajo de los 50 trabajos y en el período 1991-2000 ésta misma cantidad se duplicó en 5 ocasiones.

Crecimiento

La FMPE se encuentra en el período de crecimiento más importante de su historia y el año 2000 representa la escala más alta en el recorrido de la ruta analizada.

La Figura 4 muestra el nivel de ajuste del gráfico correspondiente a la producción de la FMPE a dos tendencias estadísticas de crecimiento: el coeficiente de correlación $R^2=0,77$ se refiere al ajuste de la producción a una curva de crecimiento exponencial, representada por la línea punteada re-

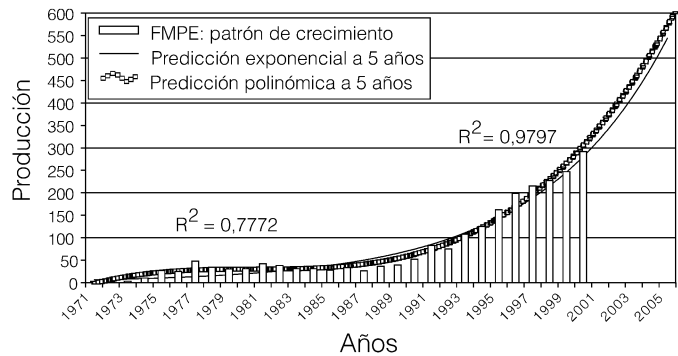


Figura 4. Ajuste del crecimiento de la producción científica de la FMPE a líneas de tendencias exponencial y polinomial.

presenta una curva de tendencia polinomial de tercer orden, con un coeficiente de correlación de $R^2=0,97$, que resultó ser la tendencia que mejor asocia el

crecimiento de la producción con la variable de series de tiempo y que utiliza- mos más adelante para la predicción del crecimiento en los siguientes años.

TABLA II
PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DE LA FMPE

Años	b	c	d	e	f	g
1971	2	2	2	2	0,08	0,68
1972	1	-1	3		0,13	-0,34
1973	3	2	6	6	0,26	0,68
1974	10	7	16	16	0,69	2,39
1975	27	17	43	43	1,86	5,82
1976	25	-2	68		2,95	-0,68
1977	48	23	116	116	5,04	7,87
1978	34	-14	150		6,52	-4,79
1979	30	-4	180		7,82	-1,36
1980	31	1	211		9,17	0,34
1981	42	11	253	253	11	3,76
1982	38	-4	291		12,65	-1,36
1983	31	-7	322		14	-2,39
1984	31	0	353		15,34	0
1985	28	-3	381		16,56	-1,02
1986	33	5	414		18	1,71
1987	26	-7	440		19,13	-2,39
1988	36	10	476		20,69	3,42
1989	39	3	515	514	22,39	1,027
1990	52	13	567		24,65	4,45
1991	83	31	650		28,26	10,61
1992	75	-8	725		31,52	-2,73
1993	108	33	833		36,21	11,3
1994	125	17	958	958	41,65	5,82
1995	162	37	1120		48,69	12,67
1996	199	37	1319		57,34	12,67
1997	215	16	1534		66,69	5,47
1998	227	12	1761		76,56	4,10
1999	247	20	2008	2008	87,3	6,84
2000	292	45	2300		100	15,41
Total	2300					100

Fuente: SLAC-SPIRES-HEP

b: número de trabajos publicados por año; c: incrementos y decrementos por año; d: valores acumulados por año; e: periodos de duplicación de la producción en cantidades aproximadas; f: crecimiento porcentual acumulado por año; g: incrementos/decrementos porcentuales por año.

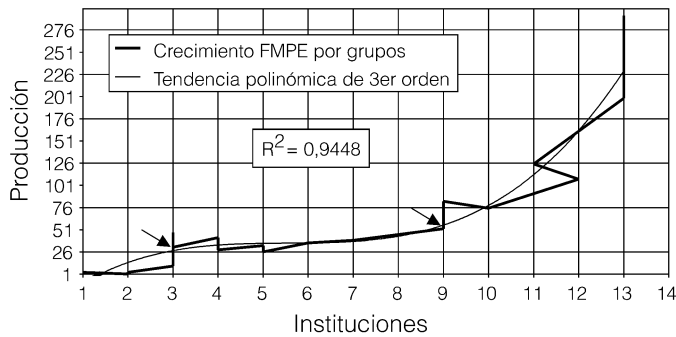


Figura 5. Relación entre los crecimientos de la producción como variable dependiente y las instituciones como variable independiente. Las flechas indican los momentos de menor asociación entre ambas variables.

Correlación entre el crecimiento de los grupos de investigación y la producción

Por otro lado, el gráfico resultante (Figura 5) de relacionar los crecimientos de producción con el de los grupos de investigación, con un coeficiente de correlación de $R^2=0,94$, indica que ha existido en términos generales una relación de dependencia de la producción científica hacia los procesos de acumulación de condiciones y escalamientos de recursos manifestada en el crecimiento de los grupos de investigación del área, aunque esta dependencia muestra distintos momentos, señalados en la gráfica con flechas. Por ejemplo en los años 70, aunque el número de instituciones se estabilizó en 3, la producción mostró incrementos mínimos, mientras que el crecimiento de 3 a 9 instituciones no manifestó crecimiento en la década de los 80. Contrastando con esto, el periodo de los 90 muestra dos comportamientos distintos: en la primera mitad de la década se muestra la asociación más clara del crecimiento de instituciones y la producción, y en la segunda mitad, el número de instituciones se estabiliza en trece sin afectar la tendencia ascendente de la producción durante los últimos 5 años.

Estratificación del crecimiento por grupos generacionales de instituciones

La Figura 6 muestra una tendencia polinómica en el crecimiento de la producción de las instituciones, estratificadas en 3 grupos generacionales, resultando una composición de esfuerzos con una proporción geométrica aproximada de 3 a 1 entre la producción científica de las instituciones de la primera, segunda y tercera generación. Los 212 trabajos (8%) generados por las instituciones del tercer grupo (UAZ, CINVESTAV-Mérida, UdeG, UAEMo, UAS y UASLP) repre-

sentan la tercera parte de los 611 (24%) publicados por las instituciones de la segunda generación (ININ, UAM, UGTO, UAP y UMSNH) y aproximadamente la novena parte de los 1768 (68%) de la primera generación (UNAM, CINVESTAV e IPN). También entre la producción de la primera (1768) y la segunda generación (611), se da una proporción aproximada de 3 a 1. En este mismo orden, la aportación de una cuarta generación de instituciones se estima en una producción de 70 trabajos.

Colaboración multi-institucional

En un trabajo paralelo (Luna-Morales y Collazo-Reyes, 2002) identificamos los trabajos experimentales desarrollados en proyectos de colaboración en la modalidad multi-institucional. De acuerdo a la anterior estratificación de las instituciones por generaciones y para efectos de nuestro análisis final, esta producción aparece como la aportación de una cuarta generación de instituciones.

La producción científica correspondiente a los proyectos de colaboración multi-institucional (Figura 7) ha ocurrido en el mismo periodo y con un desarrollo muy parecido a la producción de las 6 instituciones agrupadas en la tercera generación (UAZ, UASLP, UA-Mo, Ude G, UAS y CINVESTAV-Mérida), con promedios anuales de 24 trabajos, que representan una aportación del 14% a la producción global de la década de los 90.

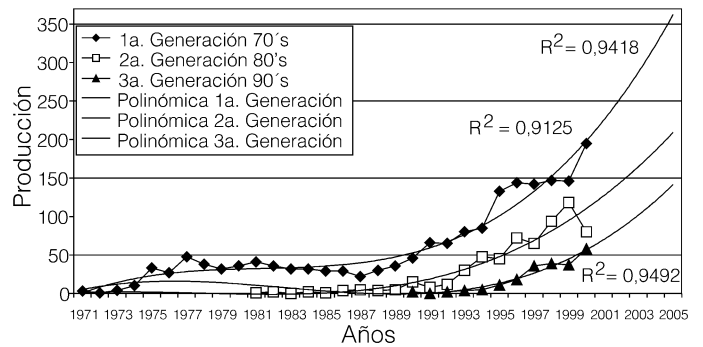


Figura 6. Predicción del crecimiento de la producción de la FMPE en un periodo de cinco años.

Predicción

De continuar la misma tendencia polinomial (Figura 5) para el año 2005 la FMPE podría alcanzar una producción anual de 600 trabajos, cantidad que duplicaría, en sólo 5 años, la producción anual de 292 trabajos correspondiente al último año del estudio, que tardó 30 años en escalar.

Discusión

De acuerdo con la Figura 5 la incorporación o ausencia de nuevos grupos de investigación a la literatura del área no han tenido el mismo efecto entre una década y otra, como se observa en los resultados de los promedios aritméticos, porcentuales y tasas de crecimiento, de manera que el desarrollo de la producción de la FMPE no se puede explicar únicamente a partir del crecimiento de los grupos de investigación. Es claro que existen otros factores (internos y externos) que han promovido o inhibido el desarrollo de la disciplina y

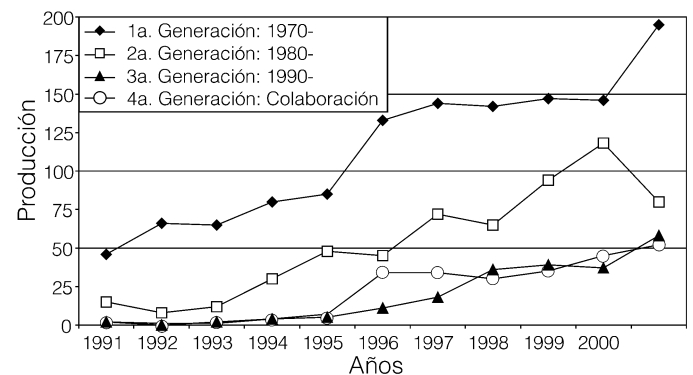


Figura 7. Comparación de la producción científica realizada en la modalidad de colaboración multi-institucional con la de los grupos de instituciones estratificadas por generaciones, en el periodo 1991-2000.

que estos factores han cambiado con el tiempo, modificando las condiciones del trabajo de investigación entre una década y otra.

El periodo de producción 1970-1979 tiene como referentes, a nivel nacional, la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la incorporación de los grupos de investigación del CINVESTAV y de la Escuela Superior de Física Matemáticas del IPN. En el ámbito internacional, el período de mayor crecimiento de la literatura científica se inicia después de la Segunda Guerra Mundial, interpretado como una consecuencia del uso de aceleradores de partículas en la investigación científica del área (Herrera Corral, 1996).

En el segundo periodo (1980-1989), a pesar de la incorporación de la UAM, ININ, UGTO, UMSNH y UAP, así como la creación de los primeros programas de especialización en física experimental de altas energías implementados en el CINVESTAV y en la UGTO (Herrera Corral, 1993a; b), la producción no sólo no creció en esta misma proporción sino que se estabilizó por debajo de los 50 trabajos por año durante la década, que representa la etapa más crítica en la producción científica tanto en términos globales del área como para cada una de las instituciones. Este periodo se corresponde a nivel local con un fenómeno social de crisis económicas sucesivas durante la década y a nivel internacional con una crisis de resultados experimentales importantes (Schweber, 1993), denominada “década dramática” (CERN, 1990) y la consolidación de una concepción teórica dominante (Perl, 1986) para entender los constituyentes básicos de toda la materia y sus interacciones, conocido en la literatura del área como el “modelo estándar” (Burchat, 1993).

El tercer periodo coincide con la etapa más productiva y, dentro de ésta, con la escala más alta de su recorrido ascendente de 3 décadas. Según la interpretación sobre el progreso de la ciencia (Rescher, 1978), esta última etapa se identifica como la manifestación más importante del esfuerzo en el desarrollo de la disciplina en el ámbito local, que generalmente es resultado de una etapa previa de escalamientos también de orden exponencial en la asignación de recursos materiales, formación de recursos humanos y de acceso a tecnologías, que en el caso de la FMPE tiene que ver con una combinación doble de escalamientos. Uno que tiene su origen en los esfuerzos y recursos locales y que representa las condiciones de plataforma

para el segundo, que está basado en un esfuerzo paralelo por complementar el trabajo básicamente teórico de la FMPE con investigaciones experimentales altamente dependientes de factores externos propios de la dinámica internacional de la disciplina.

El primer escalamiento tiene que ver desde el punto de vista de especialistas en historia de la ciencia mexicana (Saldaña y Azuela, 1994), con la construcción social de las condiciones o infraestructura local base que hicieron posible la profesionalización, institucionalización y arraigo de los primeros grupos de investigación desarrollados en la UNAM, CINVESTAV e IPN, instituciones históricamente responsables del proceso de domiciliación del estudio teórico de la FPE en forma profesional y continuada en México, como lo muestran los resultados en términos de la publicación de resultados y el incremento de los grupos de investigación.

Los esfuerzos locales del área se iniciaron en la UNAM en 1961 (Zepeda, 1998), y se requirieron 30 años (1961-1990) de escalamientos de esfuerzos para la atracción de talento, formación de recursos, establecimiento de posgrados, grupos de investigación e infraestructuras de trabajo, para lograr el primer periodo de crecimiento sostenido con tendencia exponencial de la última década (1991-2000). El ejemplo del crecimiento de los insumos, mostrado en la Figura 5, con base al incremento de los grupos de investigación de 2 a 13, es parte de una tendencia generalizada en el área de la física mexicana, que se encuentra registrada en forma anual, a partir de 1985, en los “Catálogos de Programas y Recursos Humanos en Física” elaborados por la SMF y por la FLSF, y su crecimiento exponencial ha sido documentado de manera sistemática (Pérez y Torres, 1994; 1998), en términos del incremento de los programas de postgrado, la matrícula, los grupos de investigación y el número de investigadores con doctorado. Estos mismos autores identificaron el periodo 1986-1996 como el decenio de consolidación de los programas mexicanos de formación de profesores-investigadores en física, que como fuente natural de abastecimiento de recursos humanos para los programas de investigación, representa uno de los factores más importantes para el escalamiento de la física a la primera posición en la producción de la literatura científica nacional por áreas en la década de los años 90.

La segunda etapa de escalamientos, asociados con el periodo de crecimiento de la literatura científica

de la FMPE, está orientada a generar condiciones para el desarrollo de trabajo experimental que es altamente dependiente de infraestructuras tecnológicas costosas, largamente acumuladas en forma centralizada en los países con mayor tradición de investigación en el área. Por lo mismo, los esfuerzos han estado orientados a conseguir los apoyos y acuerdos para acceder al instrumental científico-tecnológico de los centros experimentales y lograr, por un lado, la formación de recursos humanos y, por otro lado, participar en proyectos de investigación multi-institucionales. El segundo escalamiento se inició de acuerdo a distintos especialistas del área (Félix y Moreno, 2000; Flores, 2000; Herrera Corral, 2000), en el marco del *First Latinamerican Symposium on High-Energy Physics and Technology* realizado en Cocoyoc, Morelos, en 1981 y el interés de Leon Lederman, Director de FERMILAB entre 1979 y 1989, por impulsar el desarrollo de la disciplina en América Latina, a través de apoyos para la formación de los primeros grupos de investigadores experimentales en física de altas energías en la región latinoamericana.

Durante 15 años estos esfuerzos se han mantenido y ampliado hacia otros centros experimentales como CERN, DESY, a otras modalidades de acceso y a 15 proyectos de colaboración multi-institucionales: D0, E791, H1, SELEX, FOCUS, ALICE, E690, BNL766, GEM, EMPACT, E789, E756, E687, Auger, BTeV. Cada uno de ellos representa importantes fuentes de oportunidades para la formación de recursos, adquisición de conocimientos, publicación de trabajos, desarrollo de habilidades en el manejo de instrumental científico tecnológico, desarrollo de liderazgos, participación en distintos aspectos y líneas de trabajo del proyecto, atracción de talento a los grupos y equipo a los laboratorios locales. Todos estos aspectos representan importantes vías de escalamientos en la construcción de las condiciones y capacidades de la FMPE para el desarrollo de trabajo experimental y valiosas piezas documentales para ilustrar las circunstancias de su acercamiento e incorporación al escenario internacional de la disciplina y las formas de participar en la organización multi-institucional de la investigación científica, considerada (AIP, 1989) como un nuevo concepto de institución de modalidad “temporal” dado que similarmente a las organizaciones formales requieren de una organización, administración y operación, generando una producción científica y una memoria documental propia.

La participación del CINVESTAV (CONACYT) en colaboraciones multi-institucionales ha modificado su nivel de aportación y su rol en el proceso de maduración de la disciplina en la última década y representa a nivel nacional la estrategia más exitosa de incursión y aprovechamiento de la cultura de colaboración internacional de la disciplina, en términos del número de proyectos firmados, la influencia en el crecimiento de la producción científica, la formación de recursos humanos en el ámbito experimental y la posible influencia del trabajo experimental en el incremento de la producción científica de trabajos de tipo teórico, asunto que se aborda en un trabajo por separado (Collazo-Reyes, 2002) que analiza las circunstancias del proceso de domiciliación de la física de campos y partículas en el CINVESTAV.

Para la historiografía de la ciencia latinoamericana (Saldaña, 1994) el análisis de la organización, producción y crecimiento de la FMPE, presentado en este trabajo, exhibe aspectos claros de un fenómeno de maduración exitoso de esta disciplina al ámbito local. No solamente por su etapa sobresaliente de crecimiento, sino atendiendo a todo el proceso de escalamiento de esfuerzos que lo hizo posible, incluyendo la década de los 80, que en términos cuantitativos o productivistas aparece como un periodo perdido, pero que desde el punto de vista historiográfico, representa uno de los momentos catalíticos de transformación más importante de la disciplina, de una dinámica local dedicada únicamente al estudio de aspectos teóricos a un estado más complementario, apoyado en factores externos, que permite incorporar el desarrollo de trabajo experimental.

En este sentido, creemos que el reto de la FMPE para la siguientes décadas es alcanzar el estado de salud recomendado para el desarrollo ideal de las disciplinas, que tiene que ver con lograr una influencia simbiótica entre los trabajos de tipo teórico y experimental desarrollados por la comunidad científica local.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Miguel Angel Pérez Angón y a Gerardo Herrera Corral por la revisión y comentarios al trabajo, y a Alberto Sánchez Hernández por su apoyo al desarrollo de la base de datos de la FMPE. Este trabajo fue desarrollado con apoyo parcial del proyecto W35792-E del Departamento de Física del CINVESTAV.

REFERENCIAS

- API (1989) *AIP of multi-institutional collaborations phase 1: High energy physics*. Center for History of Physics HEP. American Institute of Physics. 20 pp.
- Brown GE (1994) Big science and international cooperation. *Beam Line* 27: 3-11.
- Burchat P (1993) A people's guide to the standard model. A non-technical introduction to the dominant theory of particle physics. *Beam Line* 23(2): 1-7
- CERN (1990) The 1980's – diary of a dramatic decade. Editorial *Cern Courier* 30(1): 1-4
- Collazo-Reyes F (2002) La participación del CINVESTAV en disciplinas "big science". Física de campos y partículas. *Avance y Perspectiva*. (Julio-Agosto)
- De León Mustre J (1998) Física experimental como usuario externo en los laboratorios extranjeros. En *Foros: diagnóstico de la física en México*. Academia Mexicana de Ciencias. México. pp. 143-145.
- Fernández A, Zepeda A (1997) Perspectives in high-energy physics. En Herrera Corral G; Sosa Aquino M (Eds) *Instrumentation in elementary particle physics*. VII ICFA School. AIP Conference Proceedings. pp. 422. 428.
- Félix J, Moreno G (2000) Leon Lederman, the big boss. En *Particles and fields (Seventh Mexican Workshop)*. Mérida, Yucatán. México. American Institute of Physics. Melville. pp. 259-262
- Flores J (2000) Origins of experimental high-energy physics at UNAM. En *Particles and fields (Seventh Mexican Workshop)*. Mérida, Yucatán. México. American Institute of Physics. Melville. pp. 252-254.
- Foster B, Fowler HP (1987) Preface. En Foster B, Fowler PH (Eds) *International Conference to Celebrate the 40th Anniversary of the Discoveries of the Pi- and V-particles*. Adam Hilger. Bristol. pp. xi-xii.
- Fraser G, Sugawara H, Skrinsky AN, Guang-Zhao Z (1997) Retrospective on international collaboration. *Beam Line* 27(4): 12-19.
- Ginsparg P (1998) Citation patterns to traditional and electronic preprints in the published literature. *College & Research Libraries*. pp. 448-455.
- Herrera Corral G (1993a) Física experimental de altas energías. Presentación. *Avance y Perspectiva* 12: 811-815.
- Herrera Corral G (1993b) E791, un experimento para observar la transformación de materia en Antimateria. *Avance y Perspectiva* 12: 105-112.
- Herrera Corral G (1996) Cien años de descubrimientos en física de partículas elementales. *Avance y Perspectiva* 15: 191-197.
- Herrera Corral G (2000) Lederman and the high energy physics in México. En *Particles and fields (Seventh Mexican Workshop)*. Mérida, Yucatán. México. American Institute of Physics. Melville. pp. 250-251.
- Koestel D, Sullivan D, White DH (1982) Theory selection in particle physics: A quantitative case study of the evolution of weak-electromagnetism unification theory. *Social Study of Science* 12: 73-100.
- Loew G (1997) International collaboration on linear collider research and development. *Beam Line* 27(4): 35-54.
- Luna-Morales ME, Collazo-Reyes F (2002) El Síndrome "Big Science" y su Influencia en el Proceso de Maduración de la Física Mexicana de Campos y Partículas Elementales. En *Seminario Internacional Sobre Estudios Cuantitativos y Cualitativos de la Ciencia y la Tecnología*. La Habana, Cuba.
- Martin BR, Irvine J (1984a) CERN: past performance and future prospects. I. CERN position in world high-energy physics. *Research Policy* 13: 183-210.
- Martin BR, Irvine J (1984b) CERN: past performance and future prospects. III. CERN and the future of world high-energy physics. *Research Policy* 13: 311-342.
- Moravcsik MJ (1977) The Crisis in particle physics. *Research Policy* 6: 78-107.
- Moravcsik MJ (1989) The contemporaneous assessment of a big science discipline. En *The Evaluation of scientific research*. Ciba Foundation Conference, Chichester. Wiley. London. pp. 188-200.
- Perl ML (1986) Popular and unpopular ideas in particle physics. *Physics Today*. December. pp. 24-30.
- Pérez MA, Torres G (1994) Retos y perspectivas de la física mexicana. *Boletín de la Sociedad Mexicana de Física* 8: 119-130.
- Pérez MA, Torres G (1998) La física mexicana en perspectiva: 1986-1996. *Interiencia* 23: 163-175.
- Pickering A (1984) *Constructing quarks. A sociological history of particle physics*. University Press. Edinburgh. 468 pp.
- Pickering A, Trower WP (1985) Sociological problems of high-energy physics. *Nature* 318(21): 243-245.
- Price DJ de Solla (1963) *The little science to big science*. Columbia University Press. New York. 215 pp.
- Rescher N (1978) *Scientific progress: a philosophical essay on the economics of research in natural sciences*. Blackwell. Great Britain, Basel. 278 pp.
- Robinson AL (1978) The new physics: quarks, leptons, and quantum field theories. *Science* 202: 734-737.
- Rosen PS (1997) International Cooperation: the sine qua non for the future of high-energy physics. *Beam Line* 27(4): 4-11.
- Saldaña JJ, Azuela LF (1994) De amateurs a profesionales. Las sociedades científicas Mexicanas en el siglo XIX. *Quiju* 11: 135-172.
- Saldaña JJ (1994) El sector externo y la ciencia nacional: el conservacionismo en México (1934-1952). *Quiju* 11: 195-218.
- Schweber SS (1993) Physics, community and the crisis in physical theory. *Physics Today*. November. pp. 34-40.
- Tigner M (2001) Does accelerator-based particle physics have future? *Physics Today*. January. pp. 36-40.
- Trilling G (1997) U.S. Collaboration on the LHC Project. *Beam Line* 27(4): 20-26.
- Weinberg AM (1961) Impact of large-scale science on the United States. *Science* 134: 164-166.
- Zepeda A (1998) La física de partículas elementales en México. En *Foros: diagnóstico de la física en México*. Academia Mexicana de Ciencias. México. pp. 118-123.