

Desarrollo de las nanociencias en México: una visión a partir de las publicaciones científicas

E. Robles-Belmont^{1,*}, D. Vinck¹, R. de Gortari Rabiola²

¹ Universidad Pierre Mendès France, Grenoble, Francia

² Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, México

* Eduardo Robles Belmont; e-mail: roblesbelmont@yahoo.fr

Palabras clave: Nanociencia, cientometría, desarrollo científico en México.

Resumen.

El presente trabajo presenta un mapeo del desarrollo de las nanociencias en México, se trata de un panorama construido a partir de las publicaciones científicas. La base de datos consultada para este estudio fue la *Science Scitation Index Expanded* (versión *Web of Science*). En los resultados se reportan indicadores sobre la productividad científica y su dinamismo, así como sobre las entidades y las disciplinas implicadas en el desarrollo de estas nuevas ciencias. Finalmente se hace una comparación de la productividad mexicana en las nanociencias con la de países emergentes.

1. Introducción

La emergencia de las nanociencias y nanotecnologías (NCT) trae consigo promesas de avances científicos y tecnológicos, que tendrán importantes impactos económicos (Lux Research, 2006), así como controversias sobre su alcance social (Foladori e Invernizzi, 2005).

A pesar de que el desarrollo de estas nuevas ciencias y tecnologías requiere de cuantiosas inversiones en infraestructura, la progresión de estas ciencias emergentes no es sólo exclusiva de los países desarrollados, ya que también países en desarrollo han fijado su atención hacia las nanociencias y nanotecnologías con el fin de sobrepasar el subdesarrollo. Esto se refleja en las iniciativas emprendidas en estos países, tales como el Programa Nacional de Brasil y de Argentina para la nanotecnología. En México, a pesar de que no se cuenta con una verdadera iniciativa de desarrollo, vemos también que proyectos de investigación en el campo de las NCT ven la luz del día (Delgado, 2007; Foladori y Zayago, 2007).

Es en este contexto de emergencia de nuevas ciencias y tecnologías que nuestra investigación se interesa en el caso de México intentando responder a las siguientes

preguntas: ¿Cómo se comporta el crecimiento de este nuevo campo científico en México? ¿Cuáles son los centros de investigación que desarrollan nanociencias? ¿Con quién colaboran? ¿En qué disciplinas de la ciencia se investigan nanociencias? ¿Cuál es el lugar de México frente a sus principales competidores? ¿Se pueden distinguir las áreas más fuertes?

Esta investigación esta basada en el conteo de artículos científicos en el campo de las nanociencias en el periodo de 1995 al 2007. El conteo de artículos es una de las diversas herramientas de la cientometría utilizadas en los estudios de ciencias y tecnologías emergentes. En la literatura académica de la cientometría se han publicado estudios encaminados a calificar globalmente el desarrollo de las nanociencias (Hullmann et Meyer, 2003; Kostoff *et al.*, 2007), donde los análisis se centran principalmente en países desarrollados. En estos estudios se ha reportado que el crecimiento de estas ciencias emergentes presenta un aumento importante a partir de la primera parte de la década de los 90 hasta hoy en día. Además, estos estudios han evidenciado que los países que más aportan a este desarrollo son Estados Unidos, Japón y los países de Europa, y también resaltan la importancia de países en desarrollo como China y Corea del Sur.

Por otra parte, también se han publicado estudios sobre países emergentes que igualmente están centrando esfuerzos hacia las nanociencias como China (Guan et Ma, 2007), Corea del Sur (Kostoff *et al.*, 2008) y, en menor medida, Sudáfrica (Pouris, 2007). Cabe señalar que, hasta nuestro conocimiento, no ha habido estudios de este tipo sobre países de Latinoamérica.

En fin, el objetivo de este estudio no es solo presentar un panorama de las nanociencias en México sino que pretende ser la base de otras preguntas sobre la comprensión de la construcción social de la dinámica de las nanociencias en México.

En la siguiente sección detallamos la metodología empleada en nuestro estudio y enseguida exponemos los resultados de nuestro análisis.

2. Metodología

Como ya lo mencionamos, el presente estudio se apoya en el conteo de artículos científicos, que es una de las herramientas de la cientometría que comúnmente son

utilizadas en los estudios sociales de las ciencias y de las tecnologías¹. Para el caso del estudio de las ciencias, esta disciplina se enfoca en los artículos científicos ya que se trata de “conocimiento certificado” en el sentido de que un artículo científico publicado en una revista indexada ha sido sometido a la crítica de colegas y ha resistido a sus objeciones (Callon et al, 1993). El conteo de artículos científicos es una de estas herramientas que nos proporciona indicadores sobre la productividad de los investigadores de una disciplina o un área del conocimiento específico y sobre su dinamismo. Los resultados obtenidos del conteo de artículos nos aportan entonces datos sobre las disciplinas, las temáticas de investigación y los actores involucrados (instituciones e investigadores).

Para llevar a cabo nuestro estudio, un primer paso consistió en consultar la base de datos de la *Science Citation Index* (SCI) en su versión *Web of Science*, donde sólo consideramos la base de datos *SCI-Expanded* (excluyendo los datos de la *Social Science Citation Index* y de la *Arts & Humanities Citation Index*). Nuestra consulta se basó en el método propuesto por Glänzel y *al.* (2003). La ecuación de búsqueda de este método está constituida por el prefijo “nano” más dos grupos de palabras clave; el primero es una serie de palabras representativas del campo de las nanociencias, las cuales tienen la función de incluir documentos correspondientes a las nanociencias. El segundo grupo está formado por palabras clave que contienen el prefijo “nano” pero que no son representativas del campo de las nanociencias, esto para excluir aquellos documentos que no son considerados como parte de la producción de las nanociencias. Finalmente para extraer sólo los documentos que conciernen a México, hemos agregado a la ecuación de búsqueda la palabra « México » en el campo *Country* (CU). En la tabla siguiente se muestra la ecuación final empleada para la consulta:

Prefijo “nano”	TS=((NANO*
Palabras representativas del campo de las nanociencias	OR QUANTUM DOT* OR QUANTUM WIRE* OR MOLECULAR BEAM EPITAXY OR MBE OR CARBON TUB* OR CARBONTUB* OR BUCKYTUB* OR FULLERENE TUB* OR SELF ASSEMBLED MONOLAYER* OR SELF ASSEMBL* DOT* OR SINGLE ELECTRON* OR SINGLE MOLECUL* OR ATOMIC FORCE MICROSCOP* OR CHEMICAL FORCE MICROSCOP*)
Palabras clave para excluir	NOT (NANO2 OR NANO3 OR NANO4 OR NANO5 OR

¹ El análisis de citas es otra herramienta de la ciencimetría comúnmente recurrida en el marco de estudios de la ciencia y la tecnología. Para el caso de las nanociencias y nanotecnologías ver Leydesdorff y Zhou, 2007 y Bassecouard *et al.*, 2007.

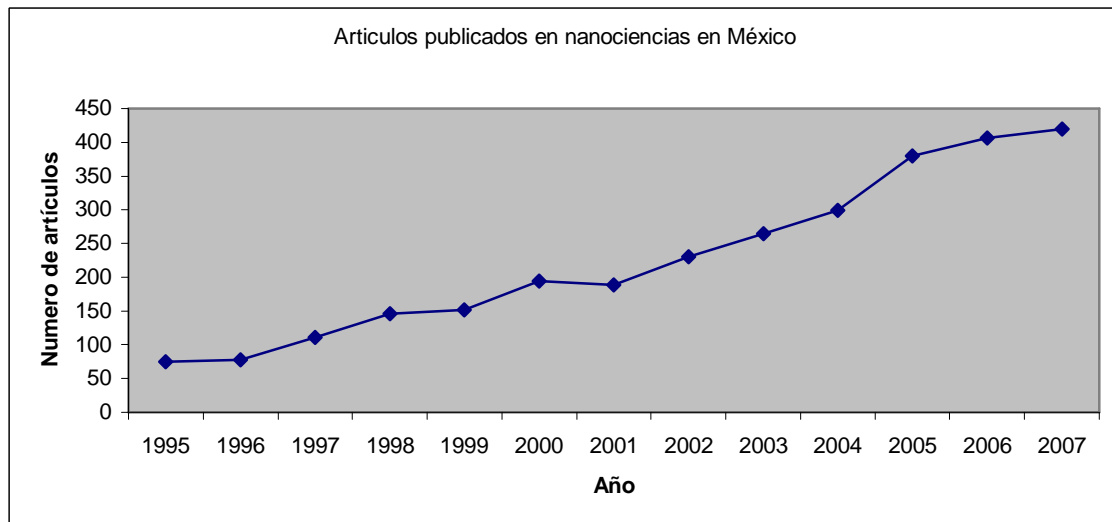
documentos fuera de las nanociencias	NANOSECON* OR NANO SECON* OR NANO GRAM* OR NANOGRAM* OR NANOMOL* OR NANOPHTALM* OR NANOMELI* OR NANOGETEROTROPH* OR NANOPLANKTON* OR NANOKELVIN* OR NANOCURIE OR NANO CURIE OR NANOS OR NANOS1 OR NANOPROTO* OR NANOPHYTO* OR NANOFLAGELLATE* OR NANOLITER)) AND CU=(MEXICO)
--------------------------------------	---

Tabla 1: Ecuación de búsqueda

El periodo considerado en nuestra consulta fue de 1995 hasta el 2007. Una vez obtenidas las referencias de los artículos publicados en este periodo, el paso siguiente fue tratar los datos con la ayuda de programa Access. Esto con el fin de corregir errores de indexación (nombrar de diferentes formas una misma institución, por ejemplo) y poder clasificar y ordenar las referencias obtenidas por año, institución, datos de los autores y disciplina.

3. Resultados

Nuestra consulta arrojó un total de 3054 referencias de documentos, de los cuales solo consideraremos 2944 que corresponden a artículos publicados. La gráfica 1 muestra la dinámica de la producción de los artículos en nanociencias publicados entre 1995 y 2007. En la curva de la gráfica podemos apreciar que en el periodo analizado la producción en nanociencias se ha quintuplicado. Ciertamente que la curva no ha dejado de aumentar (a excepción del año 2001), pero si la comparamos con la curva de otros países emergentes la aceleración de la producción mexicana en nanociencias no es tan importante como la de sus competidores. De hecho, la aceleración del crecimiento de la curva de la gráfica 1 no es constante; en los años 1997 y 1998 se observan los crecimientos más importantes con 42% y 31% respectivamente (en comparación con los años precedentes). Posteriormente los crecimientos más significativos fueron en el 2000 y 2005, con un poco más del 27% cada año. En el 2001 la curva presenta una descenso del 2.5% (5 artículos) y en los dos últimos años del periodo analizado el porcentaje de crecimiento ha descendido considerablemente (6.8% en el 2006 y 3.4% en el 2007).



Gráfica 1: Producción mexicana de artículos científicos en las nanociencias en el periodo 1995-2007.

Sobre el análisis de las entidades que participan en el desarrollo de las nanociencias en México, se han identificado 96 entidades mexicanas, entre las cuales podemos encontrar universidades, institutos y centros de investigación que desarrollan proyectos ó líneas de investigación en el área de las nanociencias.

La primera columna de la tabla 2 muestra las 20 entidades más productivas en el campo de las nanociencias, la segunda columna muestra el número de publicaciones por entidad y la tercera columna muestra el porcentaje de la producción nacional por cada entidad analizada. Esta tabla revela que la investigación en nanociencias se encuentra fuertemente concentrada en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En efecto, la UNAM produce el 40% de los artículos indexados y, analizando las referencias de esta universidad, hemos identificado que la UNAM cuenta con 24 facultades, institutos ó centros de investigación que desarrollan líneas de investigación en el campo de las nanociencias. Otro indicador remarcable es la distancia, en término de número de publicaciones, que separa a la UNAM de las otras entidades analizadas; la segunda entidad más productiva es el CINVESTAV con el 16,44% de la producción nacional. La participación en la producción nacional del resto de las entidades no supera el 9%.

Entidad	Producción 95-07	% de la producción nacional
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	1200	40,76

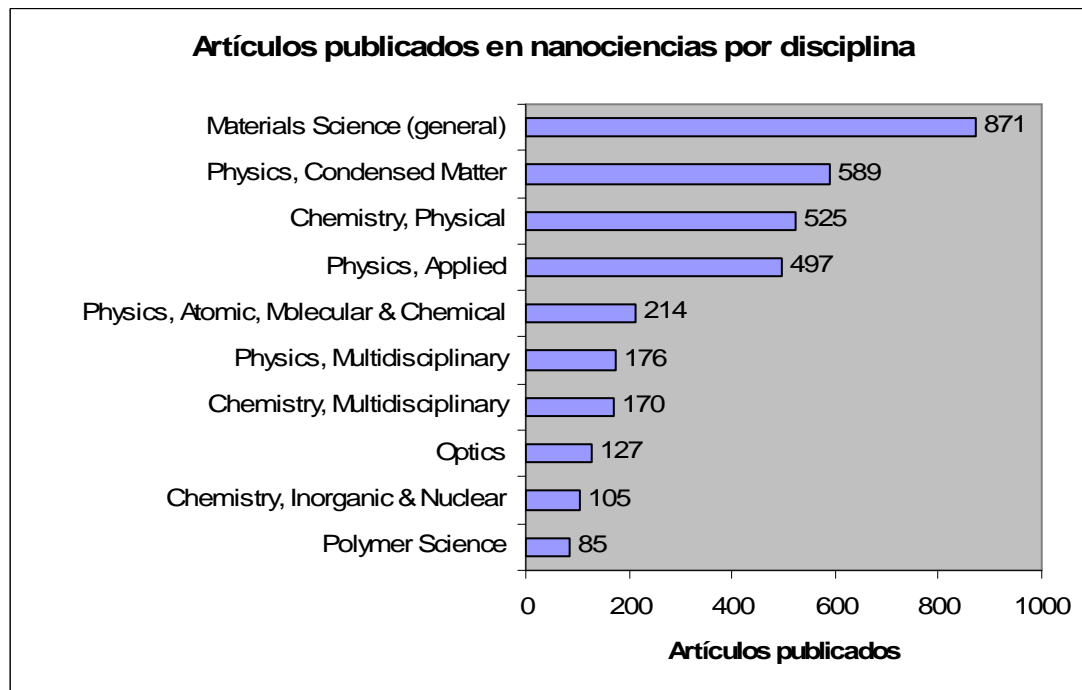
Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV)	484	16,44
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	242	8,22
Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	233	7,91
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	210	7,13
Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)	199	6,76
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)	161	5,47
Instituto Potosino de Investigación, Ciencia y Tecnología (IPICYT)	134	4,55
Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor)	88	2,99
Universida de Sonora (UNISON)	84	2,85
Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)	83	2,82
Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados (CIMAV)	76	2,58
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ)	76	2,58
Universidad de Guadalajara (UdeG)	66	2,24
Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo (UMSNH)	52	1,77
Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	50	1,70
Centro de Investigaciones en Química Avanzada (CIQA)	49	1,66
Centro de Investigación Científica y Estudios Superiores de Ensenada (CICESE)	43	1,46
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)	34	1,15
Universidad de Guanajuato (UdeGto)	30	1,02

Tabla 2: 20 entidades mexicanas más productivas en el campo de las nanociencias.

Por otra parte, en los resultados obtenidos también identificamos la presencia de 13 empresas que en colaboración con universidades, institutos ó centros de investigación participan en el desarrollo de las nanociencias. De estas 13 empresas, 8 son de capital mexicano y 5 de capital extranjero, de las cuales 3 tienen sus instalaciones en México.

Sobre las disciplinas implicadas en el desarrollo de las nanociencias, la gráfica 2 muestra las diez primeras disciplinas (top ten) donde se publica el mayor número de artículos. La clasificación de los artículos es la utilizada por la *SCI*, en la cual un artículo puede ser clasificado en más de una disciplina. La disciplina donde más artículos se han publicado es ciencia de materiales con 871 artículos, las tres siguientes disciplinas más significativas son materia condensada, químico-física y física aplicada

con 589, 525 y 497 artículos publicados respectivamente. Las últimas seis disciplinas son: física atómica, molecular y química; física; química; óptica; química inorgánica y nuclear; y ciencia de polímeros.



Gráfica 2: Artículos publicados en nanociencias por disciplina.

Otro punto considerado en nuestro estudio es aquel sobre las colaboraciones internacionales en el campo de las nanociencias. Sobre este punto hemos extraído de la base de datos los países co-autores de los artículos analizados. Esto con el fin de identificar cuales son los principales países con quienes México colabora en el desarrollo de las nanociencias.

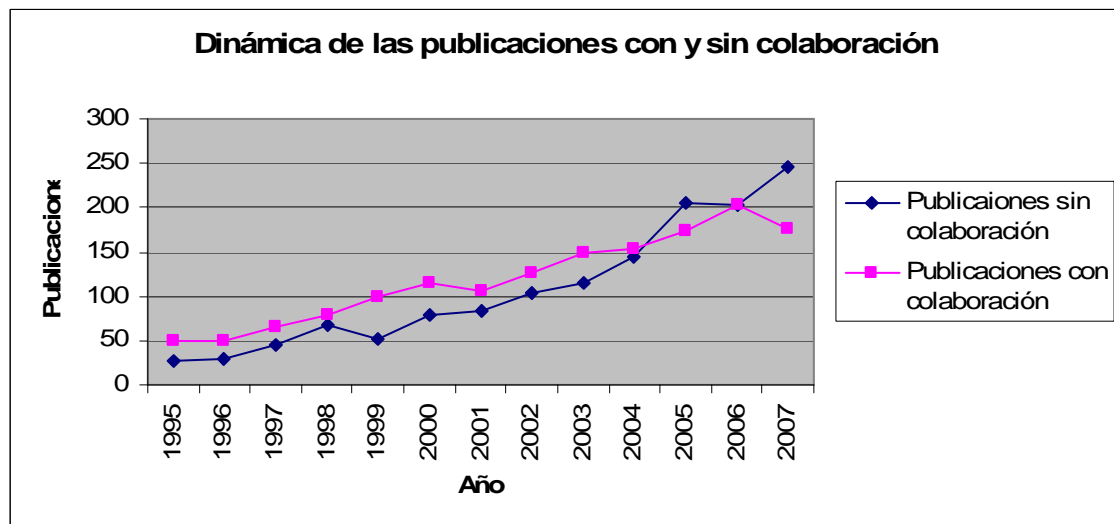
En la tabla 3 se exponen los 10 principales países con quien los investigadores mexicanos han mantenido relaciones de colaboración en las nanociencias. El país más importante es Estados Unidos con 545 colaboraciones. España, Alemania, Francia e Inglaterra siguen con 186, 156, 149 y 139 colaboraciones respectivamente. Si es cierto que las relaciones científicas con Estados Unidos son las que tienen más peso (35,3 % del total de las colaboraciones con el extranjero), cabe recalcar la importancia de éstas con los países europeos (49,1% del total).

País	Colaboraciones	% del total de las colaboraciones
------	----------------	-----------------------------------

USA	544	35,3
ESPAÑA	185	12,0
ALMANIA	156	10,1
FRANCIA	149	9,7
INGLATERRA	139	9,0
JAPON	110	7,1
RUSIA	72	4,7
CUBA	70	4,5
ITALIA	59	3,8
UCRANIA	51	3,3
CHINA	48	3,1
BRASIL	41	2,7
BELGICA	40	2,6
ARGENTINA	39	2,5
CANADA	38	2,5
COLOMBIA	30	1,9
AUSTRALIA	27	1,7
POLONIA	27	1,7
INDIA	22	1,4
SUECIA	21	1,4
CHILE	20	1,3
SUIZA	19	1,2
ISRAEL	18	1,2
DINAMARCA	17	1,1
COREA DEL SUR	14	0,9
REPUBLICA CHECA	14	0,9
VENEZUELA	12	0,8
AUSTRIA	11	0,7
HOLANDA	10	0,6

Tabla 3: Principales países colaboradores con México en la nanociencias

Por otra parte, la gráfica 3 muestra la dinámica de las publicaciones en colaboración con el exterior y sin colaboración durante el periodo 1995-2007. Las curvas revelan que las colaboraciones con el exterior en el campo de las nanociencias han predominado sobre las publicaciones sin colaboración con el exterior hasta el año 2005. Además, en otro estudio hemos reportado que la formación de redes de colaboración es parte de la estrategia de los investigadores mexicanos para acceder a los instrumentos científicos, los cuales son altamente costosos y por lo tanto escasos en los laboratorios de investigación (Robles-Belmont, 2008).



Gráfica 3: Dinámica de las publicaciones con y sin colaboración con el extranjero.

Otro punto de interés de este trabajo es saber cómo se posiciona México en la escena internacional en el campo de las nanociencias. Comúnmente cuando nos hacemos este tipo de interrogación la tendencia es de comparar los indicadores del país en cuestión con los de los países industrializados. Para el caso de las nanociencias sabemos bien que la producción mexicana se encuentra muy por debajo de la producción de los países que llevan la cabeza en este campo científico, por ejemplo, en unos de los pocos reportes sobre el tema donde figura México, en términos de inversión en las nanociencias y nanotecnologías para el 2004 México ocupa la posición 24 con una inversión pública estimada en 10 millones de euros (Hullmann, 2007). Pensamos que una comparación así sería como la de comparar peras con manzanas, algo que tiene poco sentido. Por lo tanto, encontramos más relevante hacer una comparación de México con sus principales competidores económicos: las economías emergentes. En esta parte del texto comparamos entonces la producción mexicana en nanociencia con la de China, India, Corea del Sur, Brasil, Argentina y Turquía.

Los datos utilizados también fueron extraídos de las SCI utilizando el mismo criterio metodológico empleado para México.

La tabla 4 muestra entonces la producción científica en nanociencias de los seis países emergentes y la de México durante dos periodos: 2000-2003 y 2004-2007. En la segunda y tercera columna de la tabla mostramos la producción en nanociencias de ambos periodos, del total de ambas columnas podemos apreciar que China, Corea del Sur e India son los tres países que llevan la delantera con 49780, 15535 y 9430 artículos publicados respectivamente entre 2000 y 2007. Brasil es el cuarto país con 5133

publicaciones y México ocupa la quinta posición con 2383 publicaciones. La cuarta columna de esta tabla muestra el crecimiento de las publicaciones en las nanociencias del segundo periodo con respecto al primero, aquí podemos apreciar que China es el país que más ha avanzado con un crecimiento de 186,8% en un periodo de 4 años. Seguido esta India, Corea del Sur y Turquía con crecimientos de 155,6%, 142,8% y 129,2% respectivamente. Dentro de la región de América latina, los países analizados quedan atrás con un crecimiento de al menos la mitad del crecimiento de los primeros cuatro países, donde México es el país de la región latinoamericana con más crecimiento en las nanociencias con el 71,6%, después están Brasil y Argentina con el 66% y 47,9% respectivamente.

País	Periodo 2000-2003	Periodo 2004-2007	Crecimiento (%)
China	12870	36910	186,8
India	2652	6778	155,6
Corea del Sur	4532	11003	142,8
Turquía	541	1240	129,2
México	877	1505	71,6
Brasil	1930	3203	66,0
Argentina	607	898	47,9

Tabla 4: Producción y crecimiento en nanociencias de los países en comparación.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta un panorama de las investigaciones en nanociencias en México. Los datos presentados en esta investigación nos dan elementos para comprender como se comporta la dinámica de la emergencia de estas nuevas ciencias en México. También nos proporcionan información sobre los principales actores institucionales (universidades, centros e instituciones de investigación), las disciplinas donde se publican las investigaciones y los principales socios en las actividades de investigación.

Los resultados confirman que a pesar de que México carece de una verdadera iniciativa nacional para el desarrollo de las nanociencias, la producción científica en este campo es importante. Esto ya que la curva sobre la dinámica de las nanociencias en México no ha cesado de aumentar. Sin embargo, si comparamos los resultados sobre México con los resultados de los países emergentes, vemos que el crecimiento de este campo científico en México pierde fuerza frente a sus competidores económicos.

La concentración de las actividades científicas en el campo de las nanociencias sugiere que el desarrollo de estas nuevas ciencias en México es el resultado de iniciativas institucionales.

Por otra parte, el peso importante de las colaboraciones con países desarrollados y la baja asociación con países de la región latinoamericana nos llevan a pensar que existe una dependencia científica de los grupos mexicanos de investigación con sus homólogos de los países desarrollados. Esto se refuerza si se tratan de colaboraciones donde los instrumentos científicos ocupan un lugar clave en la construcción de redes científicas.

Sobre las disciplinas implicadas en el desarrollo de las nanociencias en México, vemos que la más representada es Ciencia de Materiales. Si observamos de cerca las entidades identificadas en este estudio, comprenderemos la importancia de esta disciplina ya que el número de laboratorios y grupos de investigación que trabajan en nuevos materiales y/o materiales avanzados es importante.

Cabe mencionar que este estudio solo abarca el análisis de las nanociencias dejando de lado el análisis de la nanotecnología. Por lo tanto, sería conveniente complementar este trabajo con un estudio sobre la nanotecnología, para lo cual el análisis del conteo de patentes ayudaría a comprender de la emergencia de estas tecnologías. En la literatura de la bibliometría han sido publicados diversos trabajos sobre otros países que pueden ser la base para un estudio detallado sobre la nanotecnología en México (Meyer, 2007; Glänzel *et al.*, 2003).

Finalmente, uno de los límites de este estudio es que solo nos da una imagen de la emergencia de las nanociencias sin darnos más elementos para ayudarnos a comprender la construcción social de éstas. Sin embargo, uno de los intereses de un tal estudio radica en hacer preguntas sobre los cambios significativos en la curva de la dinámica de las nanociencias, por ejemplo: ¿A qué se debe el aumento de la aceleración del crecimiento en el 2005? ¿A qué se debe el descenso de la producción en el 2001? También sería interesante efectuar un trabajo empírico para comprender el cambio en las colaboraciones con el exterior que se refleja el cruce de las dos curvas de la gráfica 3.

Agradecimientos. Agradecemos al Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM por el acceso a la base de datos de la *SCI*, acceso sin el cual esta investigación no hubiera podido ser posible.

Referencias

The Nanotech Report, 4th edition, Lux Research, 2006.

Foladori G. & Invernizzi N., "Nanotechnology in its Socio-economic Context", *Science Studies*, Vol. 18, No.2, 67–73 (2005).

Delgado Ramos, G.C., "Nanotecnología, paradigma tecnológico de vanguardia" en *Contribuciones a la Economía*, (2007). Texto completo en <http://www.eumed.net/ce/> (consultado el 05/01/07).

Foladori, G. & Zayago, E., Tracking Nanotechnology in Mexico. *Nanotechnology Law & Business Journal*, 4(2), 211-222, (2007). <http://estudiosdeldesarrollo.net/relans/documentos/Tracking-nano-in-MEXesp.pdf> (versión en español, consultada el 08/10/07).

Callon M., Courtial JP., Penan H., *La scientométrie*, PUF, 1993.

Hullmann, A., y Meyer, M., Publications and patents in nanotechnology: An overview of previous studies and the state of the art, *Scientometrics*, Vol. 58, No. 3, pp 507-527, 2003.

Hullmann, A., Measuring and assessing the development of nanotechnology, *Scientometrics*, vol.70, No. 3, pp 739-758, 2007

Kostoff, R. N., Koytecheff, R. G., Lau C. G. Y., Global nanotechnology research metrics, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 565-601, (2007).

Guan, J., Ma, N., China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology, *Research Policy* (2007), doi:10.1016/j.respol.2007.02.004

Kostoff, R. N., Barth R. B., Lau C. G. Y., Relation of seminal nanotechnology document production to total nanotechnology document production – South Korea, *Scientometrics*, Vol. 76, No. 1, pp 43-67, (2008).

Pouris, A., Nanoscale research in South Africa: A mapping exercise based on scientometrics, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 541-553, (2007).

Glänzel, W., Meyer, M., Du Plessis, M., Thijs, B., Magerman, T., Schlemmer, B., Rebackere, K., Veugelers, R., Nanotechnology : analysis of an Emerging of Scientific and Technological Endeavour, Report: Steunpunt O&O Statistieken, www.steunpuntoos.be, 2003.

Robles-Belmont, E., *Las redes científicas como respuesta a la emergencia de las nanociencias y nanotecnologías*, VII Jornadas Latinoamericanas de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología - ESOCITE, Rio de Janeiro, Mayo 2008.

Meyer, M., What do we know about innovation in nanotechnology? Some propositions about an emerging field between hype and path-dependency, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 779-810, 2007.

Bassecoulard, E., Lelu, A. y Zitt, M., Mapping nanoscience by citation flows: A preliminary analysis, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 859-880, 2007.

Leydesdorff, L., y Zhou, P., Nanotechnology as a field of science: Its delineation in terms of journals and patents, *Scientometrics*, Vol. 70, No. 3, pp 693-713, 2007.