

Producción Científica Cubana sobre Nanociencias y Nanotecnología

Jorge Dayán Aguiar
Ricardo Arencibia Jorge
Juan A. Araujo Ruiz
Deysi Alba Labaut

El presente trabajo se centra en el estudio de la producción científica cubana especializada en un dominio del conocimiento emergente: las Nanociencias y la Nanotecnología. Se hace un análisis del conjunto de artículos de investigación nacionales publicados durante los últimos 20 años, con el objetivo de determinar la productividad de las instituciones nacionales dedicadas a las Nanociencias y la Nanotecnología. Se calcula el impacto internacional de estas instituciones a partir del análisis de las citas recibidas por los artículos. Se estudia la colaboración internacional a partir de la identificación de los países con los que Cuba se asocia para investigar en las temáticas abordadas. Se presentan los autores más productivos, y se observan una serie de aspectos tradicionalmente estudiados en el campo de la Bibliometría. Fue utilizada como fuente de información primaria la base de datos Scopus, desarrollada por Elsevier, la cual constituye el mayor índice de citas de literatura científica y académica a nivel internacional; los datos presentados en este trabajo son el resultado de la evaluación y monitoreo de esta base de datos.

Palabras clave: Nanociencias, Nanotecnología, Producción científica, Cuba, Bibliometría, Indicadores bibliométricos.

RESUMEN

ABSTRACT

The present work centers on the study of the Cuban scientific production specializing in an emerging field of knowledge: the Nanosciences and the Nanotechnology. An analysis of the national research articles published during the last 20 years is done. The aforementioned analysis is aimed at determining the productivity of national institutions engaged in Nanosciences and Nanotechnology. The international impact of these institutions is calculated from the analysis of citations received by these articles. The international cooperation is studied stemming from the identification of the countries working jointly with Cuba in order to research the topics addressed. The most productive authors are presented, and a series of aspects traditionally studied in the field of the bibliometry are analyzed. Scopus database, developed by Elsevier Publishing House, was used as the primary information source. This data base constitutes the largest citation index of scientific and academic literature on a global scale; the information presented in this work is the result of the assessment and monitoring of this database.

Keywords: Nanosciences, Nanotechnology, scientific Production, Cuba, Bibliometry, Bibliometric indicators

Introducción

Las Nanociencias y la Nanotecnología constituyen un dominio del conocimiento científico que ha emergido durante los últimos 20 años, ocupando un papel protagónico en las Políticas Nacionales de Ciencia, Tecnología

e Innovación (Braun, Schubert & Zsindely, 1997; Kostoff, 2009; Meyer, 2007; Mogoutov & Kahane, 2007). La inversión en Nanociencias y Nanotecnología aumenta cada vez más su proporción en los presupuestos nacionales para la I+D, tanto en países desarrollados como

en naciones en vías de desarrollo (Científica, L.T.D, 2011). Son muchos los aportes y soluciones tecnológicas que han revolucionado la Ciencia a partir de los avances de la investigación científica a escala nanométrica. Dada su naturaleza multi

e interdisciplinar, no son pocos los estudios que, desde la perspectiva bibliométrica, han tratado de caracterizar la producción científica del dominio (Arencibia *et al.*, 2005; Avenel *et al.*, 2007; Bonaccorsi & Thoma, 2007; Calero *et al.*, 2006; Hullmann, 2003 y 2007; Leydesdorff & Zhou, 2007; Meyer & Persson, 1998; Meyer, 2000 y 2006; Pilkington *et al.*, 2009; Schummer, 2004; Zitt & Bassecouard, 2006). Algunos de estos trabajos constituyen caracterizaciones o perfiles de la investigación científica en diversos países (Kostoff, 2008; Guan & Ma, 2007), pero son pocos los que de alguna forma incluyen el impacto o rendimiento de la investigación nacional entre los aspectos analizados.

La presente investigación se propuso identificar el conjunto de trabajos publicados por autores cubanos en el área de las Nanociencias y la Nanotecnología: determinar la productividad de las instituciones nacionales dedicadas a este dominio del conocimiento científico, calcular su impacto internacional a partir del análisis de las citas recibidas por los trabajos, analizar la colaboración internacional a partir de la identificación de los países con los que Cuba se asocia para investigar en el dominio, presentar los autores más productivos y observar una serie de aspectos tradicionalmente estudiados en el campo de los Estudios Métricos de la Información.

Los datos presentados son el resultado de la evaluación y monitoreo de la base de datos Scopus. La utilización de los mismos con fines evaluativos para el análisis de instituciones o autores, debe tener en cuenta las limitaciones y el margen de error existente en este tipo de bases de datos, particularmente en el caso de la identificación de la afiliación institucional y el nombre de los autores. Aunque el proceso de normalización fue exhaustivo, los autores recomiendan su utilización para estos fines sólo si se emplea como un instrumento complementario a los tradicionales ejercicios de valoración por expertos desarrollados para la evaluación de la investigación científica.

Metodología

Fue utilizada como fuente de información primaria la base de datos Scopus (<http://www.scopus.com/home.url>), desarrollada por la especializada editorial *Elsevier V.B.*, la cual constituye el mayor índice de citas de literatura científica y académica a nivel internacional.

Se realizó la descarga directa de la base de datos Scopus de todo el volumen de artículos publicados por autores pertenecientes a instituciones cubanas, utilizando como estrategia de búsqueda la identificación de la palabra «Cuba» en los campos «Affiliation» y «Affiliation country», y el término truncado «Nano*» en el resto de los campos de los registros de la base de datos. La recuperación se realizó el 2 de noviembre de 2010, por lo que se asume que los datos relativos al año 2010 no contemplaron la producción total del año en el momento en que se realizó el estudio. Los registros fueron descargados en un fichero «.cgi», de lectura automática para programas gestores de referencias bibliográficas. El fichero recuperado fue importado hacia una base de datos creada en el programa gestor de referencias bibliográficas EndNote 10.0 (<http://www.endnote.com/>), desarrollado por *Thomson Reuters*.

Se eliminaron los duplicados utilizando las prestaciones del programa, obteniéndose una cifra inicial de 642 registros. Posteriormente, dado el volumen relativamente pequeño de artículos a procesar, se optó por la revisión manual (tomando en cuenta el criterio de expertos) de los registros, para eliminar aquellos que, por la descripción del trabajo realizado en la investigación, no correspondían específicamente a la temática Nanociencia y Nanotecnología, obteniéndose una cifra final de 435 registros. Estos 435 registros fueron organizados de acuerdo con la clasificación multidisciplinar desarrollada por el Círculo de Innovación de Microsistemas y Nanotecnología (CIMN) de España (Sánchez, 2009), denominada «Nanoindex», la cual se adaptó para distribuir los trabajos en cuatro bloques temáticos:

- Nanociencia y aspectos fundamentales de la Nanotecnología (6 trabajos).
- Nanotecnología para aplicaciones estructurales, nanoestructuras y nanoelementos (298 trabajos).
- Nanomedicina, nanobiotecnología y agroalimentación (103 trabajos).
- Nanosensores y nanoactuadores (28 trabajos).

Una vez distribuidos los trabajos en estos cuatro bloques, se procedió al proceso de normalización, con vistas a homogenizar la afiliación institucional de los artículos, el país de las instituciones colaboradoras, el nombre de los autores, la clasificación temática de los artículos, así como la

determinación del impacto de las revistas donde se publicaron los artículos.

Una vez normalizados los registros, se definió un conjunto de indicadores cuantitativos validados internacionalmente para la caracterización de la muestra (Arencibia, 2010):

Indicadores para la Dimensión Cuantitativa de la Producción Científica

A: Indicador que señala el número total de documentos de cualquier tipo que se estudian, sea cual fuere el nivel de agregación o la variable analizada. Mide el volumen de documentos publicados, y en cada nivel de agregación, corresponderá al número total de documentos de cada uno de los ítems estudiados (instituciones, revistas, autores):

$$A = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

Utiliza el conteo completo como medida de asignación.

% A: Porcentaje de trabajos respecto al total de documentos diferentes del nivel señalado. Estima el grado de participación de una institución, campo temático o cualquier otro nivel de agregación, en el conjunto de la producción que se considere.

$$\%A_{(i)} = (A_{(i)} / A) \times 100$$

Indicadores para la dimensión cualitativa de la Producción Científica

Como medida de impacto esperado de los trabajos, se decidió escoger el SCImago Journal Rank (SJR), desarrollado por el grupo SCImago (González Pereira, Guerrero Bote & Moya Anegón, 2010). Este indicador es utilizado para medir el impacto de las revistas indizadas por la base de datos Scopus, y funciona de la misma manera que el conocido Factor de Impacto (FI) para las revistas indizadas por la Web of Science (WoS, <http://www.isiknowledge.com/>), tradicional base de datos utilizada a nivel internacional en las evaluaciones cuantitativas. Se utilizó este indicador para definir la visibilidad de las revistas donde publicaron los investigadores, las cuales van a pertenecer, de acuerdo con el valor de este indicador, a un conjunto de cuartiles (C1, C2, C3 y C4). De esta forma, en el primer cuartil (C1) se encontrarán las revistas con mayor visibilidad, mientras que en el cuarto cuartil (C4), estarán las menos

visibles. Los trabajos publicados en actas de congresos (Conference Proceedings, cp) no se incluyen en ninguno de estos cuartiles.

Como medida del impacto real de los trabajos, se utilizaron los siguientes indicadores:

Número total de documentos citados (AC): Indicador que señala el número de documentos de cualquier tipo que recibieron al menos una cita durante el periodo. Mide el volumen de la producción científica que ha alcanzado el impacto mínimo esperado.

$$AC = ac_1 + ac_2 + \dots + ac_n$$

Proporción de documentos citados (% AC): Porcentaje de trabajos citados respecto al total de documentos diferentes del nivel señalado. Estima el grado de visibilidad alcanzado por las instituciones, autores, o cualquier otro nivel de agregación, en el conjunto de la producción que se considere.

$$\% AC = (AC / A) \times 100$$

Número total de citas recibidas (C): Indicador que señala la cantidad de citas recibidas por las instituciones, autores, o cualquier otro nivel de agregación. No es más que la sumatoria de las citas recibidas por cada artículo citado.

$$C = c_1 + c_2 + \dots + c_n$$

Promedio de citas por documento (C/A): Media de citas recibidas por el conjunto de la producción científica de las instituciones, autores, o cualquier otro nivel de agregación. Indica de forma directa el impacto o visibilidad alcanzada por un grupo de artículos.

$$C/A = C / A$$

Determina el impacto del conjunto de la producción científica sea cual fuere el nivel de agregación, aunque en él influyen los hábitos de citación que se manifiestan dentro del área de investigación a la que pertenece la misma.

Índice H: Básicamente, el índice h es una medida sencilla y única realmente que combina artículos (cantidad) y citas (calidad o impacto). Para su cálculo se toman cada uno de los trabajos de un autor, y se ordenan en forma descendente en función de las citas recibidas. Cada trabajo, además del número de citas recibidas, tiene entonces un número de orden en el ranking. Ese número de orden

se convertirá en el índice H de un investigador, sólo cuando sea el último en el que el número de citas recibidas por el trabajo en cuestión sea igual o superior al número de orden (SCImago Research Group, 2006). De esta forma, H es el valor atribuido al rendimiento de un investigador que tiene H trabajos, los cuales han sido citados al menos H veces (Imperial y Rodríguez Navarro, 2007). Un Índice H = X, significa que hay X artículos con X o más citas, pero no X + 1 que tengan X + 1 o más citas. El índice H fue pensado y elaborado para la evaluación individual de los investigadores, aunque ha sido utilizado también para la determinación del rendimiento de instituciones y revistas.

Resultados y Discusión

Caracterización de la producción nacional en la base de datos Scopus

La producción científica mundial sobre Nanociencias y Nanotecnología ha manifestado un crecimiento exponencial durante los últimos 20 años, lo cual concuerda con el desarrollo alcanzado por este dominio a nivel internacional (Figura 1).

Aunque inicialmente tuvo un crecimiento acelerado, la tendencia del crecimiento de la producción nacional durante el siglo XXI ha sido relativamente similar a la mundial a escala logarítmica (Figura 2).

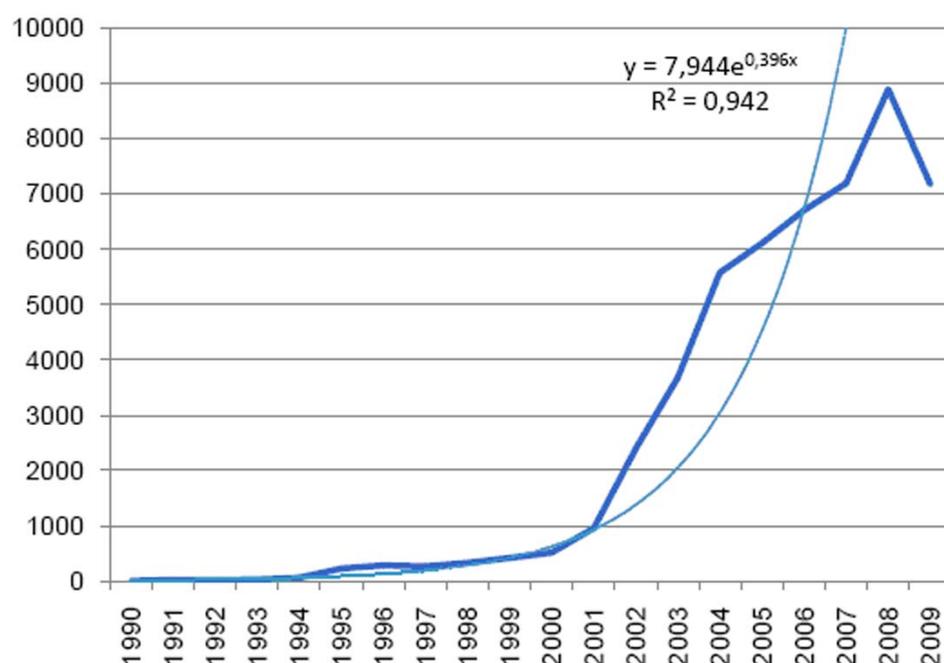


Figura 1. Producción científica mundial sobre Nanociencia y Nanotecnologías 1990-2009 en Scopus.

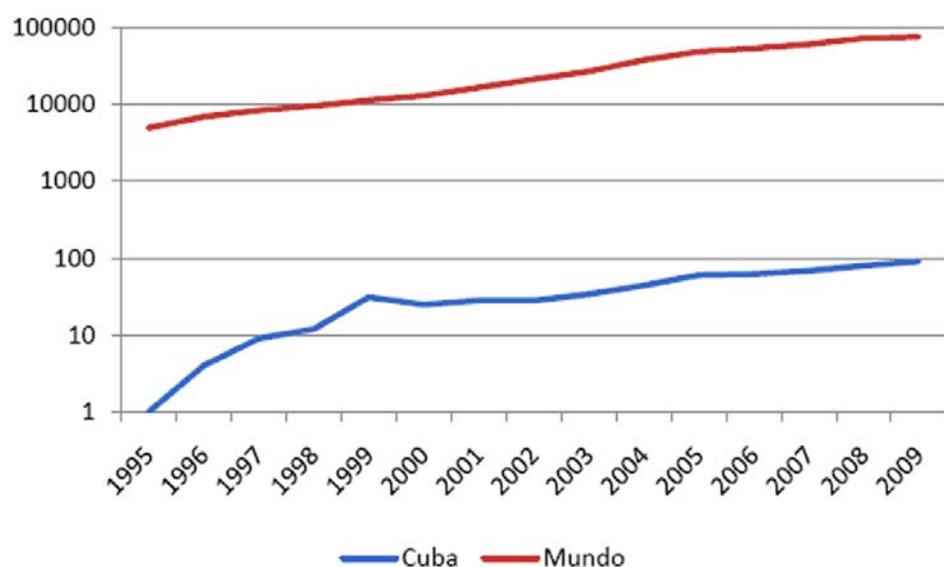


Figura 2. Producción científica mundial y nacional sobre Nanociencia y Nanotecnologías a escala logarítmica 1995-2009.

Sin embargo, la estrategias de búsqueda «Nano*» y «Nano* AND Cuba» no necesariamente ofrecen datos suficientemente confiables.

A partir de la estrategia de búsqueda «Nano* AND Cuba», se recuperaron en Scopus un total de 642 registros de artículos compilados por la base de datos. De ellos, 447 fueron citados al menos en una ocasión (69,6 %), recibiendo un total de 4 012 citas para una media de citas por artículo de 6,25. El índice H de esta producción fue de 27 (27 artículos con 27 o más citas). En cuanto al idioma, fueron 3 los que se identificaron en la muestra: 604 artículos escritos en inglés (94,1 %), 36 en español (5,6 %), y solo 2 en portugués.

Una vez terminado el proceso de normalización y clasificación de los trabajos recuperados, la cifra total de artículos disminuyó hasta 435 artículos, de los cuales 310 (71,3 %) fueron citados en al menos una ocasión. La cantidad real de citas recibidas fue de 2 962, lo que significó un aumento del promedio de citas por artículo hasta 6,81. El índice H solo disminuyó en dos artículos (25). Sin embargo, la proporción de trabajos escritos en lengua inglesa fue superior (419 artículos, 96,3 %), a partir de la disminución considerable de la producción científica escrita en español (15 artículos) y en portugués (solo un artículo).

Por tanto, aunque la estrategia «Nano* AND Cuba» pudiera emplearse como estrategia de búsqueda en estudios prospectivos o informes generales, los resultados demuestran que resulta inevitable el análisis documental de los trabajos para poder obtener resultados precisos, de cara a los procesos de evaluación de la actividad científica (Figura 3).

La producción científica nacional, desde esta perspectiva, ha manifestado una tendencia lineal de crecimiento durante el período comprendido entre 1995 y 2009 (Figura 4). La evolución durante los últimos años de la primera década del milenio, dan fe de una producción estable sobre los 40 artículos anuales, que anuncia un incipiente desarrollo de la investigación nacional en el dominio estudiado.

Principales revistas donde se publican los artículos nacionales

Los 435 artículos fueron publicados en un total de 196 publicaciones seriadas, de las

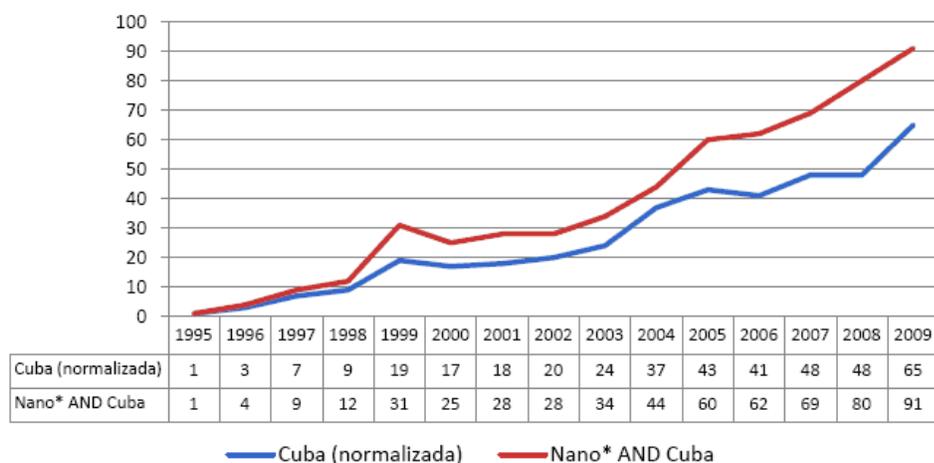


Figura 3. Comportamiento de la producción científica nacional anterior y posterior al proceso de normalización de los registros 1995-2009.

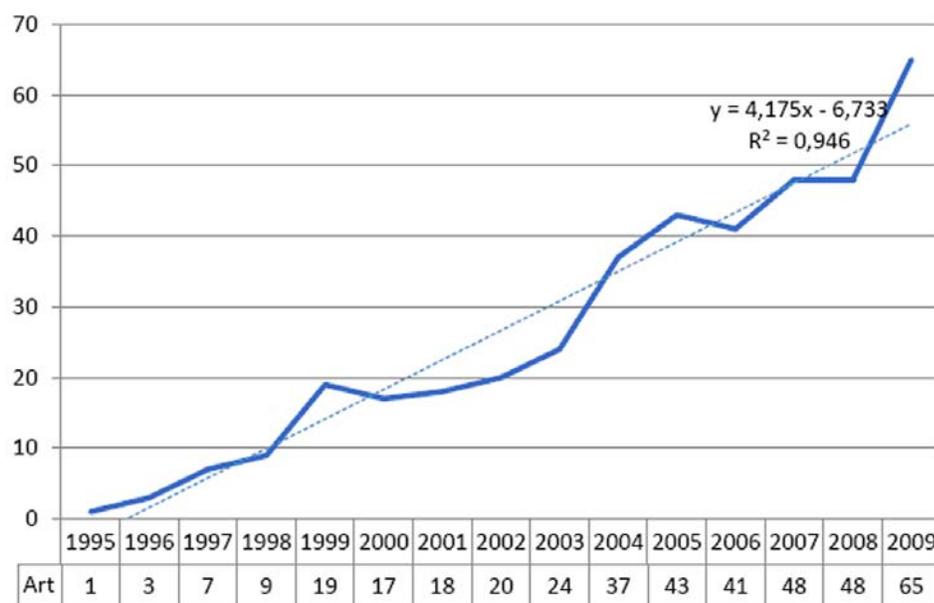


Figura 4. Producción científica nacional sobre Nanociencia y Nanotecnologías durante el período 1995-2009.

cuales 184 constituyeron revistas científicas y 12 constituyeron actas de congresos. 421 trabajos se publicaron en revistas científicas, y 14 en actas de congresos.

Como puede apreciarse, sólo 5 de las 15 revistas donde más publican nuestros investigadores corresponden al primer cuartil de alguna categoría temática de Scopus (Tabla 1).

Sin embargo, del total de 196 publicaciones seriadas utilizadas para difundir las investigaciones, un total de 80 corresponden al primer cuartil de alguna categoría temática de Scopus, y son responsables de la publicación de 221 trabajos (50,5 % del total de artículos).

De esta forma, más del 50 % de los artículos fueron publicados en las revistas con mayor visibilidad internacional, lo cual constituye un aspecto sumamente positivo.

Instituciones cubanas más productivas

Un total de 35 instituciones nacionales fueron responsables de la publicación de los 435 trabajos sobre Nanociencia y Nanotecnologías, entre ellos, 14 universidades (Tabla 2). La Universidad de La Habana, fue la institución líder, con un total de 305 trabajos, de los cuales 109 (35,8 %) fueron desarrollados por el Instituto de Materiales y Reactivos (IMRE).

Tabla 1. Las 15 principales revistas donde se publican los artículos nacionales.

Revista	País	Artículos	Cuartil* Según SJCR
Physical Review B Condensed Matter and Materials Physics	USA	43	2
Physica Status Solidi (B) Basic Research	UK	16	2
Physica E: Low Dimensional Systems and Nanostructures	HOL	14	2
Thin Solid Films	HOL	12	1
Biotecnología Aplicada	CUB	10	4
Journal of Applied Physics	USA	9	1
Journal of Magnetism and Magnetic Materials	HOL	9	2
Microelectronics Journal	HOL	9	2
Physica B: Condensed Matter	HOL	8	2
Journal of Physical Chemistry C	USA	7	1
Revista Mexicana de Física	MEX	7	4
Solid State Communications	HOL	7	1
Journal of Physics Condensed Matter	UK	6	2
Semiconductor Science and Technology	UK	6	1
Superlattices and Microstructures	USA	6	2

De las 12 instituciones cubanas más productivas, 7 (58 %) se especializaron en el área de las nanotecnologías para aplicaciones estructurales, y la caracterización y obtención de nanoestructuras y nanoelementos, encabezados por la UH, el ICIMAF, el INSTEC, el ISPJAE y el CEADEN (Tabla 3). El resto se dedicó a su aplicación en entornos biomédicos, con protagonismo del CIGB, la UMTZ, la UCLV y el CIM. La UH y la UMTZ fueron las más activas en el desarrollo de nanosensores y nanoactuadores.

En materia de visibilidad internacional, los artículos publicados por la UH, el CIGB, la UMTZ y la UCLV fueron los que mayor cantidad de citas recibieron (Tabla 4). No obstante, la proporción de trabajos citados y el promedio de citas por artículos del CIGB, el ISPEJV, la UCLV, la UMTZ y el CIM avalan la visibilidad alcanzada por estas instituciones, la mayoría especializadas en las aplicaciones biomédicas.

Colaboración internacional

En la producción científica nacional se puede observar la participación de 28 países colaboradores (Tabla 5). España, Brasil y México son los países con que mayores relaciones de colaboración se establecen. Las principales colaboraciones se realizan en el área dedicada a la caracterización y obtención de nanoestructuras y nanoelementos, aunque países como Portugal, Suecia, Argentina, Irlanda, Dinamarca, Japón y Venezuela trabajan

Tabla 2. Relación de instituciones cubanas que intervienen en la producción científica cubana sobre Nanociencia y Nanotecnología.

Instituciones	Sigla	A	%
Universidad de La Habana	UH	305	70,11
Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología	CIGB	42	9,66
Instituto de Cibernética, Matemática y Física	ICIMAF	27	6,21
Instituto Superior de Ciencia y Tecnología Nuclear	INSTEC	19	4,37
Universidad de Matanzas	UMTZ	19	4,37
Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"	ISPJAE	13	2,99
Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear	CEADEN	11	2,53
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas	UCLV	11	2,53
Universidad de Oriente	UO	10	2,30
Centro de Inmunología Molecular	CIM	6	1,38
Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas	CIQ	5	1,15
Instituto Superior Pedagógico "Enrique José Varona"	ISPEJV	5	1,15
Instituto Finlay	FINLAY	4	0,92
Estación Experimental Territorial de la Caña de Azúcar	ETICA	3	0,69
Inst. Cubano de Invest. sobre Derivados de la Caña de Azúcar	ICIDCA	3	0,69
Instituto de Oceanología	IOCEANOL	3	0,69
Universidad de Cienfuegos	UCF	3	0,69
Universidad de Ciencias Informáticas	UCI	3	0,69
Universidad de Pinar del Río	UPR	3	0,69
Centro de Biopreparados	BIOCEN	2	0,46
Centro Nacional de Salud Animal	CENSA	2	0,46
Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos	CIDEM	2	0,46
Centro Nacional de Investigaciones Científicas	CNIC	2	0,46
Universidad de Granma	UGRA	2	0,46
Centro de Investigaciones del Petróleo	CEINPET	1	0,23
Centro de Investigaciones Médico-Quirúrgicas	CIMEQ	1	0,23
Centro de Isótopos	CNIS	1	0,23
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones	CPHR	1	0,23
Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología	INOR	1	0,23
Instituto de Medicina Tropical "Pedro Kouri"	IPK	1	0,23
Instituto Superior de Ciencias Médicas de La Habana	ISCMH	1	0,23
Instituto Superior de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba	ISCMSC	1	0,23
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa	ISMMM	1	0,23
Ministerio de Salud Pública	MINSAP	1	0,23
Laboratorios NOVATEC	NOVATEC	1	0,23

*El cuartil es una medida cualitativa. Las revistas se ordenan de acuerdo a su Factor de Impacto (en el caso de Scopus, este indicador es sustituido por el SCImago Journal Rank SJR). Las revistas que ocupan el primer cuartil constituyen el 25 % de las revistas con mayor valor del SJR.

Tabla 3. Relación de instituciones cubanas más productivas y distribución temática de su producción, de acuerdo con la clasificación utilizada.

Instituciones	A	Cat A	%	Cat B	%	Cat C	%	Cat D	%
UH	305	5	1,64	242	79,34	40	13,11	18	5,90
CIGB	42	0	0,00	0	0,00	41	97,62	1	2,38
ICIMAF	27	0	0,00	25	92,59	1	3,70	1	3,70
INTEC	19	0	0,00	14	73,68	4	21,05	1	5,26
UMTZ	19	2	10,53	0	0,00	9	47,37	8	42,11
ISPJAE	13	0	0,00	11	84,62	1	7,69	1	7,69
CEADEN	11	0	0,00	9	81,82	1	9,09	1	9,09
UCLV	11	0	0,00	5	45,45	6	54,55	0	0,00
UO	10	0	0,00	8	80,00	1	10,00	1	10,00
CIM	6	0	0,00	0	0,00	6	100,00	0	0,00
CIQ	5	0	0,00	2	40,00	3	60,00	0	0,00
ISPEJV	5	0	0,00	5	100,00	0	0,00	0	0,00

Cat A) Nanociencia y aspectos fundamentales de la Nanotecnología.

Cat B) Nanotecnología para aplicaciones estructurales, nanoestructuras y nanoelementos.

Cat C) Nanomedicina, nanobiotecnología y agroalimentación.

Cat D) Nanosensores y nanoactuadores.

mayormente aplicaciones biomédicas. La colaboración con el Reino Unido abarca las cuatro áreas temáticas identificadas. España, Canadá, Italia e Israel colaboraron también en la investigación sobre nanosensores y nanoactuadores.

El mayor impacto en la colaboración científica se alcanzó con Alemania, Australia, Estados Unidos, Suecia, Canadá, Italia, España (Tabla 6). Resulta significativo que la colaboración con Brasil y México, a pesar de ser intensa, no presentó valores de impacto significativos, lo cual está relacionado con la publicación de los

Tabla 4. Relación de instituciones cubanas más productivas y su impacto internacional a partir de indicadores basados en análisis de citas.

Instituciones	A	C	AC	% AC	CxA	H-index
UH	305	2089	217	71,15	6,85	21
CIGB	42	503	33	78,57	11,98	11
ICIMAF	27	62	17	62,96	2,30	5
INTEC	19	83	14	73,68	4,37	6
UMTZ	19	138	16	84,21	7,26	6
ISPJAE	13	45	7	53,85	3,46	5
CEADEN	11	32	8	72,73	2,91	4
UCLV	11	90	10	90,91	8,18	5
UO	10	37	6	60,00	3,70	3
CIM	6	29	6	100,00	4,83	3
CIQ	5	14	3	60,00	2,80	2
ISPEJV	5	50	5	100,00	10,00	4

Tabla 5. Relación de países más colaboradores y distribución temática de su producción, de acuerdo con la clasificación utilizada.

Países	A	Cat A	%	Cat B	%	Cat C	%	Cat D	%
ESP	102	3	2,94	70	68,63	21	20,59	8	7,84
BRA	85	1	1,18	71	83,53	11	12,94	2	2,35
MEX	82	1	1,22	74	90,24	6	7,32	1	1,22
USA	23	0	0,00	20	86,96	3	13,04	0	0,00
COL	21	0	0,00	19	90,48	2	9,52	0	0,00
ALE	18	1	5,56	13	72,22	2	11,11	2	11,11
ITA	15	0	0,00	9	60,00	3	20,00	3	20,00
CAN	14	0	0,00	8	57,14	2	14,29	4	28,57
UKI	14	2	14,29	6	42,86	5	35,71	1	7,14
CHI	10	0	0,00	7	70,00	2	20,00	1	10,00
FRA	8	0	0,00	5	62,50	2	25,00	1	12,50
AUS	7	0	0,00	5	71,43	2	28,57	0	0,00
POR	7	0	0,00	3	42,86	4	57,14	0	0,00
SUE	4	0	0,00	1	25,00	3	75,00	0	0,00
BEL	3	0	0,00	1	33,33	1	33,33	1	33,33
ISR	3	0	0,00	1	33,33	0	0,00	2	66,67
ARG	2	0	0,00	0	0,00	2	100,00	0	0,00
IRL	2	0	0,00	0	0,00	2	100,00	0	0,00
RUS	2	0	0,00	2	100,00	0	0,00	0	0,00
TAI	2	0	0,00	2	100,00	0	0,00	0	0,00
DIN	1	0	0,00	0	0,00	1	100,00	0	0,00
JAP	1	0	0,00	0	0,00	1	100,00	0	0,00
NIG	1	0	0,00	1	100,00	0	0,00	0	0,00
POL	1	0	0,00	1	100,00	0	0,00	0	0,00
SLO	1	0	0,00	1	100,00	0	0,00	0	0,00
TAW	1	0	0,00	1	100,00	0	0,00	0	0,00
VEN	1	0	0,00	0	0,00	1	100,00	0	0,00
ZIM	1	0	0,00	1	100,00	0	0,00	0	0,00

Cat A) Nanociencia y aspectos fundamentales de la Nanotecnología.

Cat B) Nanotecnología para aplicaciones estructurales, nanoestructuras y nanoelementos.

Cat C) Nanomedicina, nanobiotecnología y agroalimentación.

Cat D) Nanosensores y nanoactuadores.

resultados en revistas latinoamericanas con menor visibilidad.

Autores más destacados en la producción científica nacional

Un total de 1 164 autores participaron en al menos uno de los 435 trabajos, y el promedio de autores por artículo fue de 4,93. De los 20 autores más productivos del conjunto de la producción científica analizada, 14 (70 %) fueron identificados como autores cubanos, siendo el Doctor Carlos Trallero Giner el más productivo, con 57 trabajos (el 13,1 % del total de artículos comprendidos en la muestra). Entre los 20 autores destacan, de acuerdo con el promedio de citas recibidas por sus trabajos, los casos de Eduardo Ariel Menéndez Proupin y Elena Vigil, además del propio Dr. Trallero Giner. Entre los autores extranjeros que más visibilidad tienen dentro de la producción científica nacional, destaca el Dr. José Antonio Ayllón, de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Artículos más citados de acuerdo con los sectores temáticos estudiados

Finalmente, se relacionan los trabajos nacionales más citados de acuerdo con las cuatro categorías establecidas. Estos trabajos son el resultado de las investigaciones cubanas más visibles internacionalmente en materia de Nanociencias y Nanotecnología.

Artículos más citados

Cat A) Nanociencia y aspectos fundamentales de la Nanotecnología (+4 citas)

15 citas recibidas

Herzer, G., Vazquez, M., Knobel, M., Zhukov, A., Reininger, T., Davies, H.A., et al. (2005). Round table discussion: Present and future applications of nanocrystalline magnetic materials. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 294(2), 252-266.

6 citas recibidas

Cao, R., Fragoso, A., Almirall, E., & Villalonga, R. (2003). Supramolecular chemistry of cyclodextrins in Cuba. *Supramolecular Chemistry*, 15(3), 161-170.

Tabla 6. Relación de países colaboradores y su impacto internacional a partir de indicadores basados en análisis de citas.

Países	A	C	AC	% AC	CxA	H-index
ESP	102	811	75	73,53	7,95	17
BRA	85	333	64	75,29	3,92	9
MEX	82	386	47	57,32	4,71	12
USA	23	215	15	65,22	9,35	7
COL	21	52	13	61,90	2,48	4
ALE	18	417	16	88,89	23,17	7
ITA	15	122	11	73,33	8,13	6
CAN	14	117	13	92,86	8,36	6
UKI	14	49	9	64,29	3,50	4
CHI	10	49	7	70,00	4,90	4
FRA	8	24	5	62,50	3,00	3
AUS	7	104	5	71,43	14,86	2
POR	7	16	3	42,86	2,29	2
SUE	4	35	4	100,00	8,75	3
BEL	3	9	1	33,33	3,00	1
ISR	3	5	1	33,33	1,67	1
ARG	2	4	1	50,00	2,00	1
IRL	2	4	1	50,00	2,00	1
RUS	2	150	2	100,00	75,00	2
TAI	2	1	1	50,00	0,50	1
DIN	1	16	1	100,00	16,00	1
JAP	1	19	1	100,00	19,00	1
NIG	1	3	1	100,00	3,00	1
POL	1	15	1	100,00	15,00	1
SLO	1	0	0	0,00	0,00	0
TAW	1	13	1	100,00	13,00	1
VEN	1	0	0	0,00	0,00	0
ZIM	1	2	1	100,00	2,00	1

Tabla 7. Indicadores de impacto de los autores más productivos dentro de la producción científica nacional sobre Nanociencias y Nanotecnología.

Investigadores	Institución	A	C	AC	% AC	CxA	H-index
Trallero-Giner, Carlos	FFIS, UH	57	741	45	78,9	13,00	14
Marques, G. E.	UFSC, BRA	25	147	18	72,0	5,88	6
Cao, R.	FQUIM, UH	21	134	17	81,0	6,38	5
Gonzalez, Augusto	ICIMAF	19	44	14	73,7	2,32	4
Comas, Fernando	FFIS, UH	19	171	16	84,2	9,00	7
Villalonga, Reynaldo	UMTZ	18	138	16	88,9	7,67	6
Reguera, Edilso	IMRE, UH	17	116	12	70,6	6,82	7
Vigil, Elena	FFIS, UH	17	183	16	94,1	10,76	8
López-Richard, V.	UFSC, BRA	16	70	12	75,0	4,38	4
Menendez-Proupin, Eduardo A.	FFIS, UH	14	196	12	85,7	14,00	6
Oliveira, L. E.	UNICAMP, BRA	14	59	8	57,1	4,21	6
Ayllon, José Antonio	UAB, ESP	13	165	12	92,3	12,69	8
Zumeta, Inti	IMRE, UH	13	139	12	92,3	10,69	7
De Dios-Leyva, M.	FFIS, UH	12	59	8	66,7	4,92	6
Reyes-Gómez, E.	FFIS, UH	12	46	7	58,3	3,83	5
Alcalde, A. M.	UFU, BRA	11	58	8	72,7	5,27	4
Estevez-Rams, E.	IMRE, UH	12	70	9	75,0	5,83	5
Prado, S. J.	UFSC, BRA	10	55	9	90,0	5,50	3
Rieumont, J.	FQUIM, UH	10	34	8	80,0	3,40	4
Sanchez Li, José L.	IMRE, UH	10	56	7	70,0	5,60	4

4 citas recibidas

Cao Jr, R., Diaz-Garcia, A.M., & Cao, R. (2009). Coordination compounds built on metal surfaces. *Coordination Chemistry Reviews*, 253(9-10), 1262-1275.

Cao, R., Villalonga, R., & Fragoso, A. (2005). Towards nanomedicine with a supramolecular approach: A review. *IEE Proceedings Nanobiotechnology*, 152(5), 159-164.

Cat B) Nanotecnología para aplicaciones estructurales, nanoestructuras y nanoelementos (+25 citas)

147 citas recibidas

Roca, E., Trallero-Giner, C., & Cardona, M. (1994). Polar optical vibrational modes in quantum dots. *Physical Review B*, 49(19), 13704-13711.

113 citas recibidas

Trallero-Giner, C., Debernardi, A., Cardona, M., Menéndez-Proupin, E., & Ekimov, A.I. (1998). Optical vibrons in CdSe dots and dispersion relation of the bulk material. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 57(8), 4664-4669.

42 citas recibidas

Comas, F., Trallero-Giner, C., Studart, N., & Marques, G.E. (2002). Interface optical phonons in spheroidal dots: Raman selection rules. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 65(7), 0733031-0733033.

37 citas recibidas

Raymond, O., Font, R., Suarez-Almodovar, N., Portelles, J., & Siqueiros, J.M. (2005). Frequency-temperature response of ferroelectric Pb (Fe^{1/2} Nb^{1/2}) O₃ ceramics obtained by different precursors. Part I. Structural and thermo-electrical characterization. *Journal of Applied Physics*, 97(8), 1-8.

Sirenko, A.A., Belitsky, V.I., Ruf, T., Cardona, M., Ekimov, A.I., & Trallero-Giner, C. (1998). Spin-flip and acoustic-phonon Raman scattering in CdS nanocrystals. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 58(4), 2077-2087.

35 citas recibidas

Rodríguez, A.H., Trallero-Giner, C., Ulloa, S.E., & Marlín-Antuña, J. (2001). Electronic states in a quantum lens. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 63(12), 1253191-1253199.

32 citas recibidas

Aranda, L., Mosqueda, Y., Pérez-Capote, E., & Ruiz-Hitzky, E. (2003). Electrical characterization of poly(ethylene oxide)-clay nanocomposites prepared by microwave irradiation. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 41(24), 3249-3263.

PerAlvarez, M., Garcia, C., López, M., Garrido, B., Barreto, J., Domínguez, C., et al. (2006). Field effect luminescence from Si nanocrystals obtained by plasma-enhanced chemical vapor deposition. *Applied Physics Letters*, 89(5).

Vigil, E., Saadoun, L., Aylón, J.A., Domínguez, X., Zumeta, I., & Rodríguez-Clemente, R. (2000). TiO₂ thin film deposition from solution using microwave heating. *Thin Solid Films*, 365(1), 12-18.

30 citas recibidas

Prado, S.J., Trallero-Giner, C., Alcalde, A.M., López-Richard, V., & Marques, G.E. (2004). Influence of quantum dot shape on the Landé g-factor determination. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 69(20).

29 citas recibidas

Gutiérrez-Tauste, D., Zumeta, I., Vigil, E., Hernández-Fenolosa, M.A., Domínguez, X., & Aylón, J.A. (2005). New low-temperature preparation method of the TiO₂ porous photoelectrode for dye-sensitized solar cells using UV irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 175(2-3), 165-171.

Trallero-Giner, C., Comas, F., & García-Moliner, F. (1994). Polar optical modes and electron-phonon interaction in semiconductor nanostructures. *Physical Review B*, 50(3), 1755-1759.

27 citas recibidas

Llorens, J.M., Trallero-Giner, C., García-Cristóbal, A., & Cantarero, A. (2001). Electronic structure of a quantum ring in a lateral electric field. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, 64(3), 0353091-0353096.

26 citas recibidas

Zhang, S., Palkar, A., Fragoso, A., Prados, P., De Mendoza, J., & Echegoyen, L. (2005). Noncovalent immobilization of C₆₀ on gold surfaces by SAMs of cyclotrimeratrylene derivatives. *Chemistry of Materials*, 17(8), 2063-2068.

Cat C) Nanomedicina, nanobiotecnología y agroalimentación (+25 citas)

85 citas recibidas

Aguilar, J.C., & Rodríguez, E.G. (2007). Vaccine adjuvants revisited. *Vaccine*, 25(19), 3752-3762.

82 citas recibidas

Petrovsky, N., & Aguilar, J.C. (2004). Vaccine adjuvants: Current state and future trends. *Immunology and Cell Biology*, 82(5), 488-496.

61 citas recibidas

Gavilondo, J.V., & Larrick, J.W. (2000). Antibody engineering at the millennium. *BioTechniques*, 29(1), 128-145.

56 citas recibidas

Peniche, C., Argüelles-Monal, W., Peniche, H., & Acosta, N. (2003). Chitosan: An Attractive Biocompatible Polymer for Microencapsulation. *Macromolecular Bioscience*, 3(10), 511-520.

52 citas recibidas

Fernández-Lafuente, R., Rosell, C.M., Caanan-Haden, L., Rodes, L., & Guisan, J.M. (1999). Facile synthesis of artificial enzyme nano-environments via solid-phase chemistry of immobilized derivatives: Dramatic stabilization of penicillin acylase versus organic solvents. *Enzyme and Microbial Technology*, 24(1-2), 96-103.

48 citas recibidas

Suarez, M., Verdecia, Y., Illescas, B., Martínez-Alvarez, R., Alvarez, A., Ochoa, E., et al. (2003). Synthesis and study of novel fulleropyrrolidines bearing biologically active 1,4-dihydropyridines. *Tetrahedron*, 59(46), 9179-9186.

34 citas recibidas

Tejuca, M., Dalla Serra, M., Potrich, C., Alvarez, C., & Menestrina, G. (2001). Sizing the radius of the pore formed in erythrocytes and lipid vesicles by the toxin sticholysin I from the sea anemone *Stichodactyla helianthus*. *Journal of Membrane Biology*, 183(2), 125-135.

29 citas recibidas

González, M.P., Helguera, A.M., Ruiz, R.M., & García Fardales, J.R. (2004). A topological sub-structural approach of the mutagenic activity in dental monomers. 1. Aromatic epoxides. *Polymer*, 45(8), 2773-2779.

25 citas recibidas

Cruz, L.J., Iglesias, E., Aguilar, J.C., González, L.J., Reyes, O., Albericio, F., et al. (2004). A Comparative Study of Different Presentation Strategies for an HIV Peptide Immunogen. *Bioconjugate Chemistry*, 15(1), 112-120.

Fernandez-Patron, C., Castellanos-Serra, L., Hardy, E., Guerra, M., Estevez, E., Mehl, E., et al. (1998). Understanding the mechanism of the zinc-ion stains of biomacromolecules in electrophoresis gels: Generalization of the reverse-staining technique. *Electrophoresis*, 19(14), 2398-2406.

Cat D) Nanosensores y nanoactuadores (+5 citas)

62 citas recibidas

Villalonga, R., Cao, R., & Fragoso, A. (2007). Supramolecular chemistry of cyclodextrins in enzyme technology. *Chemical Reviews*, 107(7), 3088-3116.

20 citas recibidas

Pallavicini, P., Díaz-Fernández, Y.A., Foti, F., Mangano, C., & Patroni, S.

(2007). Fluorescent sensors for Hg²⁺ in micelles: A new approach that transforms an ON-OFF into an OFF-ON response as a function of the lipophilicity of the receptor. *Chemistry - A European Journal*, 13(1), 178-187.

9 citas recibidas

Camacho, C., Matlas, J.C., García, D., Simpson, B.K., & Villalonga, R. (2007). Amperometric enzyme biosensor for hydrogen peroxide via Ugi multicomponent reaction. *Electrochemistry Communications*, 9(7), 1655-1660.

Ferro, R., Rodríguez, J.A., & Bertrand, P. (2005). In Development and characterization of a sprayed ZnO thin film-based NO₂ sensor (10 ed., Vol. 2, pp. 3754-3757). Paper presented at the *Physica Status Solidi C: Conferences*.

8 citas recibidas

Ferro, R., Rodríguez, J.A., Jiménez, I., Cirera, A., Cerda, J., & Morante, J.R. (2005). Gas-sensing properties of sprayed films of (CdO)_x(ZnO)_{1-x} mixed oxide. *IEEE Sensors Journal*, 5(1), 48-52.

García, A., Peniche-Covas, C., Chico, B., Simpson, B.K., & Villalonga, R. (2007). Ferrocene branched chitosan for the construction of a reagentless amperometric hydrogen peroxide biosensor. *Macromolecular Bioscience*, 7(4), 435-439.

7 citas recibidas

Holzinger, M., Bouffier, L., Villalonga, R., & Cosnier, S. (2009). Adamantane/ β -cyclodextrin affinity biosensors based on single-walled carbon nanotubes. *Biosensors and Bioelectronics*, 24(5), 1128-1134.

Neumeyer, J., del Pino, J., Dierks, O., Sun, H.P., & Pflug, H. (2005). Improvement of ocean loading correction on gravity data with additional tide gauge measurements. *Journal of Geodynamics*, 40(1), 104-111.

6 citas recibidas

Villalonga, R., Camacho, C., Cao, R., Hernández, J., & Matlas, J.C. (2007). Amperometric biosensor for xanthine with

supramolecular architecture. *Chemical Communications*(9), 942-944.

Conclusiones

La producción científica cubana en el dominio de las Nanociencias y la Nanotecnología ha ido *in crescendo* durante el período estudiado. Cada vez son más las instituciones nacionales que se suman a la producción científica en el dominio, aunque es la Universidad de La Habana la institución líder en el país, a partir de su intensidad en la investigación para la caracterización y obtención de nanoestructuras y nanoelementos, así como en el desarrollo de nanosensores y nanoactuadores. El CIGB, por su parte, ha liderado las investigaciones en el entorno biomédico, donde también la UMTZ, la UCLV y el CIM han tenido resultados destacados. El mayor impacto se observó en la investigación desarrollada por el CIGB y las universidades de La Habana, Matanzas y Villa Clara. España ha sido el mayor colaborador internacional, y la colaboración con España y Alemania, fundamentalmente, ha sido la que mayor aporte ha realizado a ese impacto. El Dr. Carlos Trallero Giner, en el orden individual, ha sido el investigador que más ha contribuido al desarrollo de la investigación nacional en el dominio.

Agradecimientos

Al Instituto de Bienes y Políticas Públicas IPP-CSIC, por el acceso a las fuentes de información utilizadas. Al colectivo de investigadores del CNIC y el CEAC, por su aporte en la clasificación de los trabajos. En especial, a los Doctores. Jesús González, David Marrero Delange, Oscar Ledeza Lozano y Rosa Lidia Vega Almeida, por su apoyo incondicional.

Referencias Bibliográficas

Arencibia Jorge, R. (2010). Visibilidad internacional de la Ciencia y Educación Superior cubanas: desafíos del estudio de la producción científica. Tesis para optar por el grado de Doctor en Documentación e Información Científico-Técnica. Granada: Universidad de Granada.

Arencibia Jorge, R., Araujo Ruiz, J.A., & Torricella Morales, R. (2005). La Nanotecnología como disciplina científica: un estudio bibliométrico del web of science en el período 1987- 2004.

Referencias Bibliográficas

- ACIMED, 13(4). [Revista en línea]. Disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13_4_05/aci04405.htm [citado: 13 de agosto de 2011].
- Avenel, E., Favier, A. V., Ma, S., Mangematin, V., & Rieu, C. (2007). Diversification and hybridization in firm knowledge bases in nanotechnologies. *Research Policy*, 36(6), 864-870.
- Bonaccorsi, A., & Thoma, G. (2007). Institutional complementarity and inventive performance in nano science and technology. *Research Policy*, 36(6), 813-831.
- Braun, T., Schubert, A., & Zsindely, S. (1997). Nanoscience and nanotechnology on the balance. *Scientometrics*, 38(2), 321-325.
- Braun, T., Schubert, A., & Zsindely, S. (1997). Nanoscience and nanotechnology on the balance. *Scientometrics*, 38(2), 321-325.
- Calero, C., Buter, R., Valdes, C. C., & Noyons, E. (2006). How to identify research groups using publication analysis: an example in the field of nanotechnology. *Scientometrics*, 66(2), 365-376.
- Científica, L.T.D. (2011). Global funding of nanotechnologies & its impact, July 2011. [En línea] Disponible en: <http://cientifica.eu/blog/wp-content/uploads/downloads/2011/07/Global-Nanotechnology-Funding-Report-2011.pdf> [citado: 12 de agosto de 2011].
- González Pereira, B., Guerrero Bote, V., & Moya Anegón, F. (2010). A new approach to the metric of journals' scientific prestige: The SJR indicator. *Journal of Informetrics*, 4, 379-391.
- Guan, J., & Ma, N. (2007). China's emerging presence in nanoscience and nanotechnology: A comparative bibliometric study of several nanoscience 'giants'. *Research Policy*, 36(6), 880-886.
- Hullmann, A. (2007). Measuring and assessing the development of nanotechnology. *Scientometrics*, 70(3), 739-758.
- Hullmann, A., & Meyer, M. (2003). Publications and patents in nanotechnology - An overview of previous studies and the state of the art. *Scientometrics*, 58(3), 507-527.
- Imperial, J., & Rodríguez Navarro A. (2007). Usefulness of Hirsch's h-index to evaluate scientific research in Spain. *Scientometrics*, 71, 271-82
- Kostoff, R. N. (2008). Comparison of China/USA science and technology performance. *Journal of Informetrics*, 2(4), 354-363.
- Kostoff, R. N., Koytcheff, R. G., & Lau, C. G. Y. (2009). Seminal nanotechnology literature: A review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9(11), 6239-6270.
- Leydesdorff, L., & Zhou, P. (2007). Nanotechnology as a field of science: Its delineation in terms of journals and patents. *Scientometrics*, 70(3), 693-713.
- Meyer, M. (2000). Patent citations in a novel field of technology - What can they tell about interactions between emerging communities of science and technology? *Scientometrics*, 48(2), 151-178.
- Meyer, M. (2006). Knowledge integrators or weak links? An exploratory comparison of patenting researchers with their non-inventing peers in nano-science and technology. *Scientometrics*, 68(3), 545-560.
- Meyer, M. (2007). What do we know about innovation in nanotechnology? Some propositions about an emerging field between hype and path-dependency. *Scientometrics*, 70(3), 779-810.
- Meyer, M., & Persson, O. (1998). Nanotechnology - Interdisciplinarity, patterns of collaboration and differences in application. *Scientometrics*, 42(2), 195-205.
- Mogoutov, A., & Kahane, B. (2007). Data search strategy for science and technology emergence: A scalable and evolutionary query for nanotechnology tracking. *Research Policy*, 36(6), 893-903.
- Pilkington, A., Lee, L. L., Chan, C. K., & Ramakrishna, S. (2009). Defining key inventors: A comparison of fuel cell and nanotechnology industries. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 118-127.
- Sánchez, J. (2009). *Nanotecnología en España*. Madrid: Fundación para el Conocimiento.
- Schummer, J. (2004). Multidisciplinarity, interdisciplinarity, and patterns of research collaboration in nanoscience and nanotechnology. *Scientometrics*, 59(3), 425-465.
- SCImago Research Group. (2006). El índice H de Hirsch: aportaciones a un debate. *El Profesional de la Información*, 15, 304-6.
- Zitt, M., & Bassecoulard, E. (2006). Delineating complex scientific fields by an hybrid lexical-citation method: An application to nanosciences. *Information Processing & Management*, 42(6), 1513-1531.

Recibido: 3 de diciembre de 2011.
Aprobado en su forma definitiva:
12 de enero de 2012

Lic. Jorge Dayán Aguiar

Centro de Estudios Avanzados de Cuba
País: Cuba
Correo electrónico: <jorge.da@cea.cu>

Dr.C. Ricardo Arencibia Jorge

Centro Nacional de Investigaciones Científicas
País: Cuba
Correo electrónico: <ricardo.arencibia@cnic.edu.cu>

Dr.C. Juan A. Araujo Ruiz

Centro Nacional de Investigaciones Científicas
País: Cuba
Correo electrónico: <ricardo.arencibia@cnic.edu.cu>

Téc. Deysi Alba Labaut

Centro de Estudios Avanzados de Cuba
País: Cuba
Correo electrónico: <jorge.da@cea.cu>
