

LA NANOTECNOLOGÍA EN IBEROAMÉRICA

Situación actual y tendencias



Papeles del Observatorio N° 01
Junio de 2010

LA NANOTECNOLOGÍA EN IBEROAMÉRICA

Situación actual y tendencias

El presente informe ha sido elaborado para el Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación del Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI por un equipo de trabajo coordinado por el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT-CONICET). El equipo estuvo coordinado por el Lic. Rodolfo Barrere (CAICYT) y contó con la colaboración externa de la Lic. María Guillermina D'Onofrio, Lautaro Matas (CAICYT) y Gerardo Marcotrigiano (REDES). El asesoramiento científico estuvo a cargo del Dr. Roberto Salvarezza del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA-CONICET) y del Centro Argentino-Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABN), y del Dr. Fernando Briones Fernández-Pola del Instituto de Microelectrónica de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IMM-CSIC) y Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN). Para el desarrollo del informe se ha contado con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). El texto fue publicado originalmente en *El Estado de la Ciencia 2008 - Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología - Iberoamericanos/Interamericanos*.

+ RESUMEN

Este informe, elaborado a requerimiento del Observatorio Iberoamericano de la Ciencia y la Tecnología del Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI, ofrece un panorama de la I+D en nanotecnología a nivel iberoamericano y su inserción en la comunidad internacional en esta materia. Para ello se ha recuperado y analizado la información contenida en bases de datos de publicaciones científicas y de patentes de invención, bajo la supervisión y el asesoramiento de expertos regionales en este campo.

Entre las evidencias obtenidas se destaca el crecimiento de la investigación en esta temática en Iberoamérica, reflejada en el aumento de las publicaciones científicas de nivel internacional. Se presenta también como un rasgo claro la consolidación de redes entre los países iberoamericanos, que ofrecen un espacio muy fértil para el crecimiento de los grupos de investigación, sobre todo en los países de desarrollo medio de la región. Se identifican los países con mayor actividad en nanotecnología, sus relaciones y sus instituciones clave.

El panorama es mucho menos alentador en términos de patentamiento. La dinámica de los países iberoamericanos, medida a través de los registros en las principales oficinas de patentes del mundo, con excepción de España, está muy lejos de la de los países más industrializados. Esto puede estar relacionado, en buena medida, con la desconexión de la investigación con el sector empresarial en Iberoamérica, más orientado a los productos primarios que a los de mayor contenido tecnológico. Se observa, sin embargo, una presencia mucho mayor de iberoamericanos entre los inventores que entre los titulares de patentes, dando cuenta de que existen capacidades en la formación de recursos humanos pero ciertas falencias en el tejido empresarial e institucional para convertir esas capacidades en desarrollos que finalicen en la explotación industrial del conocimiento.

El trabajo ofrece, en primer lugar, un panorama de los potenciales de la I+D nanotecnológica para el desarrollo de nuevos productos y procesos de alto impacto económico y social, así como de los esfuerzos que se están realizando en Iberoamérica para fortalecer este campo a nivel regional. Luego se presentan datos de la producción científica en nanotecnología en el mundo en general y en la región iberoamericana en particular, las dinámicas de la colaboración internacional, la estructura temática de la investigación en este campo y su mapa institucional regional.

Posteriormente, se ofrecen detalles de la situación actual del patentamiento en nanotecnología en el mundo y en Iberoamérica, revisando su evolución, la relación entre los titulares y los inventores en diferentes casos estudiados, los campos de aplicación tecnológica implicados y las interrelaciones entre ellos, así como las principales articulaciones institucionales presentes en materia de desarrollo tecnológico en este campo. De esta manera se recogen las principales evidencias del desarrollo de la nanotecnología a partir de los principales resultados tangibles de la actividad científica y tecnológica en este campo.

10. La nanotecnología, medida a través de las patentes registradas internacionalmente mediante el convenio PCT de la OMPI, presenta a nivel mundial un crecimiento del 183% entre 2000 y 2007.
11. Iberoamérica es poseedora de apenas el 0,74% de las patentes en nanotecnología registradas en la base PCT durante 2000-2007, con 560 registros, aunque con un crecimiento muy acelerado, pasando de 13 a 133 entre 2000 y 2007.
12. Los países líderes en patentes a nivel iberoamericano son los mismos que en la producción científica, aunque la polarización a favor de España es aún mucho mayor.
13. La relación puede expresarse en el número de patentes con inventores de un país, sobre la cantidad de patentes con inventores locales. Como puede observarse, se cuentan 12,7 patentes con inventores de nacionalidad argentina por cada una de titularidad nacional. Esa relación es, por amplio margen, la más alta de la región, a pesar de ser el tercer país en titularidad de patentes. Esto implica una fuerte proyección de los nanotecnólogos formados en Argentina en el exterior y, a la vez, un débil desempeño de las empresas en materia de invención y patentamiento en este campo.
14. Entre los principales titulares de patentes en nanotecnología a nivel mundial aparecen tanto instituciones académicas como empresas, demostrando la fuerte importancia de la I+D en el desarrollo de este campo. En Iberoamérica, el principal titular es el CSIC, superando en más de tres veces a la empresa química que la sigue.
15. La consolidación de las instituciones de investigación en el campo de la nanotecnología, y su mayor asociación en redes de colaboración, es muy importante también para favorecer los procesos de transferencia del conocimiento hacia las instituciones del sector productivo. En el campo de la nanotecnología el paso de los resultados de la investigación básica a la aplicación industrial es extremadamente rápido. La fuerte presencia observada a nivel mundial de prestigiosas instituciones académicas entre los titulares de patentes da muestras de ello.
16. En Iberoamérica, la vinculación de la I+D con su aplicación industrial es todavía escasa. Si bien se encuentra en rápido aumento en los países de la península ibérica, en la práctica resulta relativa la relevancia industrial de las investigaciones científicas realizadas y son relativamente pocas las patentes de invención en la mayoría de los países iberoamericanos.
17. El principal desafío que se presenta al espacio iberoamericano del conocimiento en este estratégico campo está centrado en potenciar fuertemente las conexiones entre academia y producción. Ello permitiría la ejecución de proyectos conjuntos de investigación y desarrollo dirigidos a la realización de productos que permitan consolidar las pequeñas y medianas empresas nacionales y su inserción en nuevos mercados regionales e internacionales, así como a la generación de microempresas de base tecnológica que aprovechen los nichos de oportunidad que ofrece la nanotecnología.

1. LA NANOTECNOLOGÍA IBEROAMERICANA EN EL MUNDO ::

La nanotecnología se refiere a la creación de materiales funcionales, dispositivos y sistemas a través del control de la materia a nivel atómico y molecular. Es una actividad fuertemente interdisciplinaria que involucra, entre otras, a la física, la química, la biología, la medicina y la ingeniería. Desde un punto de vista formal, la nanotecnología se refiere a la comprensión y al control de la materia en escalas de tamaño menores a los 100 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-7} \text{ cm}$). En esta escala, que se denomina escala mesoscópica, aparecen fenómenos únicos, originados en la naturaleza cuántica de la materia, que pueden ser utilizados para nuevas aplicaciones.

Es una práctica habitual hablar de nanociencias y nanotecnologías sin precisar las diferencias entre ambos conceptos. Sin embargo, existe un consenso entre los especialistas en que las nanociencias son las generadoras del conocimiento básico sobre esta fenomenología específica de la escala mesoscópica, tanto desde el punto de vista de la física, como de la química o de la biología, mientras que las nanotecnologías propiamente dichas se refieren a las técnicas de observación, manipulación y fabricación de nanoestructuras y de dispositivos en esa escala. Por ello, las nanotecnologías son consideradas ya, estrictamente, como nuevas ingenierías del siglo XXI, basadas en los conocimientos aportados por la investigación en nanociencias.

El problema es que, para estas tecnologías avanzadas, las distancias que separan los laboratorios de investigación y de desarrollo experimental e, incluso, la cadena de producción industrial, son tan pequeñas que no es fácil establecer fronteras claras. Así, es muy corriente en este campo que un nuevo producto comercial, capaz de revolucionar todo un mercado, esté basado en un descubrimiento científico muy reciente¹.

En consecuencia, en el presente estudio acerca de la situación y las principales tendencias de este campo en el contexto del iberoamericano no se ha hecho una distinción analítica entre nanociencias y nanotecnologías, adoptándose en cambio la denominación más extendida de nanotecnología. La distinción señalada anteriormente es compleja pero posible y podría ser de utilidad para analizar el impacto social y económico que estos descubrimientos y nuevas tecnologías pudieran tener sobre los distintos países de la región.

El de la nanotecnología es un campo en el que resulta estratégico ser especialmente cuidadosos con los resultados y publicaciones de carácter básico que incluso sus autores, en su entorno a veces limitado de investigación, pudiesen creer sin importancia industrial, pero que pueden ser un regalo de mucho provecho para grandes empresas supranacionales dotadas de una visión más amplia y cercana al mercado de nuevos productos.

El rápido crecimiento de la nanotecnología registrado mundialmente a partir de los años ochenta se basa en la invención de nuevas microscopías, las cuales no sólo permiten observar la materia a escalas atómicas sino también la manipulación de átomos y moléculas, en el fenomenal crecimiento de las capacidades computacionales junto al desarrollo de nuevos métodos de cálculo teóricos y en los avances de la química sintética y la química supramolecular. En este desarrollo ha tenido también influencia la visión de destacados científicos sobre la capacidad de la nanotecnología para producir un impacto significativo en la sociedad. Todo ello ha llevado a la incorporación de la nanotecnología como una cuestión central en los sistemas de ciencia, tecnología e innovación de los países más industrializados, que están invirtiendo cifras millonarias (y crecientes cada año) en las actividades públicas y privadas de investigación y desarrollo en esta temática.

Sin embargo, la nanotecnología no constituye un campo bien definido de la actividad tecnológica sino un conjunto de tecnologías que evoluciona a diferentes velocidades y características. Los especialistas señalan que la nanotecnología está impactando e impactará cada vez más, en forma directa o indirecta, en diferentes industrias, especialmente en la manufacturera, la electrónica, la farmacéutica y la textil, entre otras. También indican que está impactando progresivamente, y continuará haciéndolo, en áreas tan disímiles como la salud, la cosmética la energía, el transporte, el medio ambiente y la seguridad. Este listado ilustrativo aunque no exhaustivo, se encuentra, además, en permanente expansión y produciendo cambios incrementales en los mercados existentes y la creación de nuevos mercados difícilmente imaginables en estos momentos.

1. Un ejemplo de ello es que entre el hallazgo básico de las *spin valves* y su aplicación a las cabezas lectoras de los discos duros de alta densidad de memoria de las computadoras u ordenadores personales, que tuvo un impacto comercial enorme, sólo han transcurrido un par de años. Otro ejemplo, en este caso del área de la nanobiotecnología, es que entre el descubrimiento de una nueva reacción de reconocimiento molecular entre proteínas y su introducción en el mercado de los *biochips* sueñen pasar sólo unos pocos meses.

A modo de ejemplo, cabe citar que ya en los años ochenta se comenzaron a desarrollar los primeros nanodispositivos basados en las extraordinarias propiedades de los pozos cuánticos de semiconductor con dimensiones nanométricas: los diodos láser inventados por el físico ruso Zhores Alferov en los años setenta (quien fuera Premio Nobel en 2001). El impacto socioeconómico de estos dispositivos resulta actualmente enorme y representa una pequeña muestra de lo que parece estar sucediendo. Así, los cabezales de lectura que están presentes en cualquier equipo reproductor o grabador de CDs y DVDs, son sistemas ópticos miniaturizados que incorporan un láser de pozo cuántico y se fabrican muchos cientos de millones de unidades al año. Pero aún hay más: el desarrollo de mayor impacto social en este siglo, Internet, es fundamentalmente posible gracias a la extraordinaria eficiencia de estos dispositivos para emitir luz infrarroja y modularla a más de 40Gbits por segundo. En estos momentos, todo el enorme flujo de información que circula en Internet a través de fibras ópticas, a la velocidad de la luz y en una red global de más de 500 millones de usuarios de todos los continentes del planeta, ha sido transmitido por estos diodos. La nanotecnología ha entrado, masivamente ya, en la sociedad contemporánea, que es la sociedad de las tecnologías de la información y la comunicación y es la sociedad del conocimiento.


Coetáneamente, el rápido desarrollo de la nanotecnología ha vuelto inevitable el debate sobre ciertas cuestiones éticas. Éstas incluyen temas como la equidad (el incremento de la brecha entre países más y menos industrializados), el medio ambiente (los nanomateriales como posibles contaminantes), la privacidad y la seguridad (ante los dispositivos no detectables y nuevas armas), la modificación de organismos vivos, entre otros. Las regulaciones en desarrollo y a desarrollar están destinadas a prevenir usos destructivos o accidentes siguiendo los esfuerzos realizados en genómica y biotecnología.

La necesidad de no ser meros espectadores de esta potencial "nueva revolución industrial" ha llevado a algunos países iberoamericanos a desarrollar programas orientados específicamente a la promoción de la nanotecnología. Las autoridades de estos países tienen crecientemente la percepción de que la nanotecnología puede impactar positivamente en la energía (a través de nuevos catalizadores para celdas combustibles y nuevos sistemas de almacenamiento de hidrógeno), la salud (con nuevos, más económicos y más eficientes medicamentos), el medio ambiente (gracias a los sensores y biosensores para el control ambiental, y a nuevos métodos de descontaminación), los alimentos (con especial referencia al control de calidad) y la agricultura (proveyendo métodos más económicos de filtración y desalinización de aguas), entre otros temas de particular interés en la región. Desde un punto de vista más amplio, la nanotecnología es crecientemente percibida por autoridades y especialistas como una oportunidad de reducir la brecha con los países más industrializados dado el carácter disruptivo que presentará sobre algunas de las actuales tecnologías. España y Brasil son los pioneros y actualmente los líderes de Iberoamérica en materia de producción científica y desarrollo tecnológico en nanotecnología.

En España se comenzó a impulsar formalmente la nanotecnología mediante la creación de la Red Española de Nanotecnología (NANOSPAIN) y la publicación de un Plan Estratégico en Nanociencias y Nanotecnología en 2004. NANOSPAIN cuenta con 250 grupos y empresas asociados que comprende 1.200 doctores con actividad científica en este campo. Una gran parte de sus miembros más activos proceden de las disciplinas de materiales (materiales nanoestructurados), de la química y de la física, con una escasa participación de la biología. Se ha hecho un importante esfuerzo en la creación de centros de investigación dedicados fundamental o exclusivamente a nanociencias y nanotecnología. Entre ellos, muy recientemente se ha creado el International Iberian Nanotechnology Laboratory (INL) como iniciativa conjunta de España y Portugal. Como se comprueba a lo largo de este estudio, la producción científica en nanotecnología de la investigación española (y, en menor escala, también de la portuguesa) es muy abundante y en muchos casos los resultados alcanzan un excelente nivel internacional. Sin embargo, resulta todavía escasa -aunque se encuentra en rápido aumento en ambos países de la península ibérica- la relevancia industrial de estas investigaciones y son relativamente pocas las patentes en explotación.

Brasil lanzó en el año 2001 la Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, que culminara en el Programa de Desenvolvimento da Nanotecnologia e Nanociencia del Plan Plurianual 2004-2007 (2003) del Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) con un importante presupuesto (el más alto de América Latina). Cuenta con instalaciones avanzadas para la investigación, como el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (el único sincrotrón disponible en todo el hemisferio sur), el recientemente conformado Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, el Centro Brasileiro de Pesquisas em Física y el Centro de Excelencia em Tecnologia Electronica. El mencionado programa brasileño de nanotecnología reúne unos 1.000 científicos agrupados en diez redes de trabajo que se encuentran actualmente ejecutando distintos proyectos.

El resto de los países iberoamericanos tiene distintos niveles de desarrollo en este campo. Argentina comenzó su actividad en nanotecnología más tarde que Brasil. En 2004 convoca a la presentación de proyectos de nanotecnología en un programa orientado a atender áreas de vacancia de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT). En el 2005 son aprobadas cuatro redes en nanociencias y nanotecnología que reúnen a unos 250 científicos, las cuales son finalmente financiadas en 2007. En 2005 es creado el Centro Argentino-



Brasileño de Nanociencia y Nanotecnología (CABN) destinado a la coordinación de acciones conjuntas con Brasil en este campo, en particular la formación de recursos humanos a través de escuelas y talleres y la realización de conferencias. Ese mismo año, es creada también la Fundación Argentina de Nanotecnología (FAN) con el propósito de fomentar el potencial innovador de la nanotecnología, en este caso a través de la financiación de proyectos de empresas o instituciones que culminen en productos tecnológicos o patentes. Además, en el año 2007 se aprobó la creación del Centro Interdisciplinario de Nanociencia y Nanotecnología (CINN) que comprende unos 100 investigadores distribuidos en los cuatro centros públicos que concentran la mayor actividad de investigación en este campo.

Por otra parte, está actualmente en ejecución un importante programa de equipamiento, con el objetivo de permitir la adquisición de nuevas técnicas y el reemplazo de unidades obsoletas. En el corto plazo se comenzará también con la mejora de la infraestructura de las instituciones. La nanotecnología constituye así una de las tres principales áreas (junto con la biotecnología y las tecnologías de la información y la comunicación) que están siendo promovidas desde el recientemente creado Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT).

En México la nanotecnología también se ha ganado un espacio importante. En esta actividad participan 20 centros de investigación y universidades en todo el país, involucrando unos 250 investigadores. Se han creado redes de investigación en las que participan instituciones nacionales e internacionales, en particular existe una importante colaboración con Estados Unidos y la Comunidad Europea. Si bien no existe en México un programa nacional dedicado a la nanotecnología, existen varios proyectos en el área de nanomateriales. México también participa en el diseño y desarrollo de los llamados Sistemas Micro/Nano-Electromecánicos (MEMS-NEMS, por sus siglas en inglés), utilizados en las industrias eléctrica, automotriz, de telecomunicaciones o salud. En Chile existe un creciente interés de la comunidad científica en las nanociencias y las nanotecnologías. Varias universidades y centros están ejecutando proyectos de investigación, particularmente en el área de los nanomateriales y en física de los sistemas en la nanoescala. Con apoyo de las autoridades nacionales se realizó a comienzos de 2008 un taller internacional sobre nanotecnología que reunió a un grupo importante de investigadores de Chile y extranjeros. En esa reunión se analizó posible esquemas para potenciar la investigación básica y aplicada de Chile en este campo.


La actividad en los otros países iberoamericanos es actualmente poco significativa, aunque se evidencia que existe un interés creciente en la nanotecnología. Todos los países presentan en mayor o menor medida grupos científicos involucrados en la investigación en este campo, lo cual se traduce, entre otros aspectos, en la conformación de redes regionales de conocimiento. A continuación se presenta un panorama, basado principalmente en indicadores cuantitativos, de la evolución de la I+D en nanotecnología en la región. Ese análisis permite ver algunas señales del impacto de las políticas de fomento aquí comentadas, pero también ofrece pistas sobre algunos aspectos que sería necesario potenciar aún más para lograr una inserción completa de Iberoamérica en un campo con el potencial de revolucionar la producción y la economía a escala global.

2. Huellas de la I+D iberoamericana en nanotecnología ::

En el marco del interés que ha despertado la nanotecnología a nivel mundial para quienes diseñan políticas y estrategias en ciencia, tecnología e innovación, con el objetivo de potenciar el campo y facilitar la incorporación de conocimiento al sistema de I+D y a la industria, la información es un bien de importancia crítica. En ese sentido, el análisis de la información contenida en las bases de datos bibliográficas y de patentes de invención, como huellas tangibles de la producción de conocimiento, resulta de particular importancia, ofreciendo un enfoque más orientado a la investigación las primeras y a la aplicación industrial las segundas.

Para realizar este informe, se ha optado por un abordaje complementario de ambos dominios de información, habiéndose utilizado por un lado la principal base de datos bibliográfica internacional, el *Science Citation Index*, y por el otro, la base de patentes del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, según la sigla en inglés), que reúne al selecto conjunto de documentos que son presentados de manera simultánea en varios países a través de este acuerdo.

El desafío inicial de este tipo de estudios es la selección precisa de los documentos que dan cuenta del campo que se desea analizar, y que luego podrán ser procesados con diferentes técnicas propias de la informática y la estadística. Esta tarea se realizó en base a una revisión bibliográfica y con la guía de expertos en el tema estudiado. A continuación se detallan las metodologías seguidas en el procesamiento de la información sobre publicaciones y patentes que se presentan en este informe.



Para el análisis bibliométrico se ha utilizado el *Science Citation Index (SCI)*, en su versión *Web of Science*, la base de datos más prestigiosa y difundida a nivel mundial. El SCI cuenta con una colección de más de seis mil revistas científicas de primer nivel, recopiladas con estrictos criterios de calidad y cobertura, que dan cuenta de la investigación en la frontera científica internacional. Además, se trata de una base de datos que cubre ampliamente las ciencias exactas y naturales, por lo que es perfecta para observar un campo fuertemente interdisciplinario como la nanotecnología.

Sin embargo, la definición del corpus de datos resulta un tarea compleja que, dada la transversalidad disciplinaria de la nanotecnología, sólo puede realizarse de manera efectiva en base a un conjunto de palabras clave representativas del objeto de estudio. Existen varios trabajos que contienen estrategias alternativas para seleccionar las publicaciones con contenido nanotecnológico en bases de datos bibliográficas. Para este trabajo se revisaron dos de ellas, incluidas en los trabajos *Refining Search Terms for Nanotechnology Research* (Porter et al, 2008) y *The Seminal Literature of Nanotechnology* (Kostoff et al, 2005). Si bien ambas estrategias recuperaron cantidades similares de registros, la intersección entre ambos conjuntos resultó tan sólo cercana al 70%. Luego de someter ambas posibilidades a los nanotecnólogos que asesoraron en el desarrollo de este informe, se optó por la incluida en el trabajo de Porter por ser más representativa de los temas actuales en el terreno de la nanotecnología a nivel mundial. Se trata de una estrategia amplia, que busca abarcar todos los campos de la nanotecnología, aplicada a una base de datos con estrictos estándares de calidad como es el SCI. El detalle de la estrategia utilizada se encuentra en el Anexo 1 de este informe.

Por otra parte, las patentes de invención son una fuente valiosa de información sobre el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación. Cada una de las partes que las componen (título, resumen, descripción, reivindicaciones, titular, inventor, fecha de presentación de la solicitud, fecha de concesión de la patente, país de otorgamiento y citas del arte previo) nos permite conocer un aspecto en particular de ese resultado de investigación protegido jurídicamente, ya sea éste un producto, un proceso o un uso nuevo en el caso de los países que así lo contemplan en su régimen de propiedad intelectual.

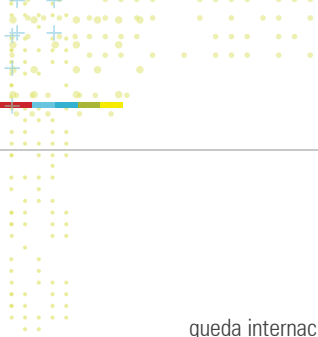
Las características de una patente de invención adquieren mayor relevancia cuando intentamos tener una aproximación cercana al estado del arte en áreas nuevas de la ciencia aplicada como es el caso de la nanotecnología, desarrollada en gran medida por empresas privadas que regularmente no realizan publicaciones de sus avances en innovación, como lo hacen las instituciones públicas.

Al igual que las publicaciones, las patentes tienen dos usos diferentes, más allá de la protección a la propiedad intelectual que brindan. Por un lado, al tratarse de un cúmulo tan inmenso de información (actualmente hay más de cuarenta y siete millones de patentes en el mundo), la extracción de información puntual de los documentos sirve para favorecer la transferencia de tecnología y para facilitar la innovación en el sector productivo. Según estudios de la Unión Europea, en los últimos años se han perdido aproximadamente veinte mil millones de euros por realizar inversiones en I+D de tecnologías que se encuentran patentadas, en lugar de tomar ese conocimiento previo y avanzar desde el punto en donde dejaron los investigadores anteriores en un área determinada del conocimiento.

Por otro lado, la construcción de indicadores a partir de los documentos de patentes permite observar las tendencias en el desarrollo tecnológico de diferentes campos, aprovechando la información estructurada en esos documentos, permitiendo poner el foco en distintos aspectos que van desde los campos de aplicación hasta la distribución geográfica de los titulares e inventores. El hecho de que la estructura de este tipo de documentos esté normalizada a nivel mundial facilita mucho el procesamiento conjunto de datos provenientes de distintas oficinas nacionales de patentes.

Existen distintas fuentes de información utilizadas habitualmente para la construcción de indicadores de patentes. De acuerdo a los intereses de cada estudio pueden seleccionarse las oficinas de propiedad industrial de uno o varios países simultáneamente. En este caso hemos escogido la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, según su sigla en inglés), que contiene los documentos registrados mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, también según su sigla en inglés). Este convenio está en vigencia en más de cien países, entre ellos los latinoamericanos Brasil y México.

El tratado PCT permite solicitar la patente por una invención de manera simultánea en distintos países miembros del tratado y que el inventor selecciona de acuerdo a su criterio. Si bien la decisión de otorgar o no la patente recae en cada uno de los países, este mecanismo facilita enormemente la tramitación del registro en oficinas múltiples ya que las solicitudes que llegan mediante el convenio PCT no pueden ser rechazadas por cuestiones de forma en los países miembros. Asimismo, antes de ser enviada la solicitud a cada país se elabora una "bús-



queda internacional" similar a la que realizan los examinadores de cada oficina. Este documento sirve tanto al titular para evaluar la patentabilidad de su invento como a los examinadores nacionales que ven disminuido su trabajo.

La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. La selección de esta fuente se basó en ese criterio de calidad, apuntando a relevar con precisión los avances tecnológicos de punta a nivel mundial. Por otra parte, con la utilización de una base de datos de estas características se facilita la comparabilidad internacional, que se vería seriamente dificultada en el caso de tomar alguna fuente nacional.

Al igual que en el análisis de las publicaciones realizado, la delimitación del campo es un tema central dada la complejidad, amplitud y diversidad de los desarrollos tecnológicos que aplican conceptos provenientes de la nanotecnología. Para ello se realizó una revisión bibliográfica de trabajos que han abordado recientemente el análisis de patentes en este campo y que utilizan estrategias de búsqueda muy dispares y con distintos niveles de profundidad y/o precisión. En base al asesoramiento de expertos se optó por la estrategia incluida en el trabajo *Mapping Excellence in Science and Technology across Europe. Nanoscience and Nanotechnology* (Noyons et al, 2003), realizado en conjunto por la Universidad de Leiden y el Instituto Fraunhofer. Se trata de una estrategia de búsqueda sumamente detallada que consta de más de treinta consultas individuales combinadas, basadas en palabras clave y códigos de la Clasificación Internacional de Patentes (IPC, según la sigla en inglés). En este caso, también se trata de un criterio amplio, que incluye desarrollos que aplican nanotecnología proveniente de los diversos frentes de investigación en esta disciplina, y que fue aplicado a una base de datos de patentes en la que se registran sólo inventos con gran potencial. El detalle de la estrategia utilizada está disponible en el Anexo 2 de este informe.

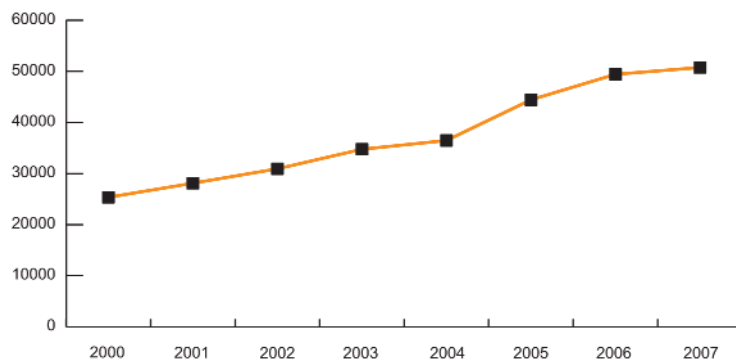
3. LA INVESTIGACIÓN EN NANOTECNOLOGÍA ::

Las bases de datos bibliográficas internacionales, tales como el SCI, SCOPUS y Pascal, entre otras, dan cuenta de la producción científica medida a través de los artículos publicados en las revistas de mayor reconocimiento a nivel internacional y permiten, a través de su medición evaluar aspectos relativos a la capacidad científica en campos determinados y su evolución en el tiempo. Esta forma de evaluación presenta ciertas dificultades en algunos campos de la ciencia en los que las culturas disciplinarias privilegian en mayor medida la difusión a escala local, pero en el campo de la nanotecnología, debido a su carácter avanzado, la utilización de este recurso permite calibrar la significación de la I+D iberoamericana en la conformación mundial del campo de la nanotecnología. El análisis presentado en este informe permite observar un panorama de los cambios en los volúmenes de producción, los patrones de colaboración internacional, las redes de interacción y los recorres disciplinarios predominantes en la región y los principales países.

3.1. La evolución de la producción científica

La búsqueda bibliográfica realizada permitió recuperar 300.270 publicaciones en nanotecnología entre los años 2000 y 2007. Estos documentos, que representan el 3,4% del total de la producción científica registrada en el SCI en ese período, una proporción si se quiere pequeña, pero con un crecimiento marcado y sostenido durante todo el período, ya que en 2000 se contaron 25.349 documentos y en 2007 alcanzaban ya más del doble: 50.769 publicaciones, muy por encima de la media general (Gráfico 1).

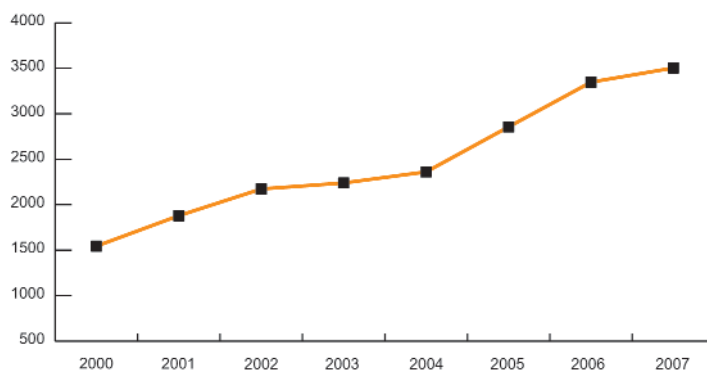
> GRÁFICO 1 :: Total de publicaciones en nanotecnología (2000-2007)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

La presencia de Iberoamérica en el SCI fue, para el período 2000-2007, de 19.904 documentos. Se trata del 3,5% del total de las publicaciones iberoamericanas registradas en esa base de datos internacional durante el período considerado, una proporción muy similar a la observada para el total mundial. Sin embargo, como muestra el Gráfico 2, el crecimiento continuo fue, en términos relativos, más fuerte en Iberoamérica que en el mundo: de 1.544 documentos registrados en 2000, pasó a 3.504 publicaciones en 2007, superando el doble del valor inicial del período (un aumento del 127%, frente al 100% de crecimiento de la producción científica en nanotecnología mundial).

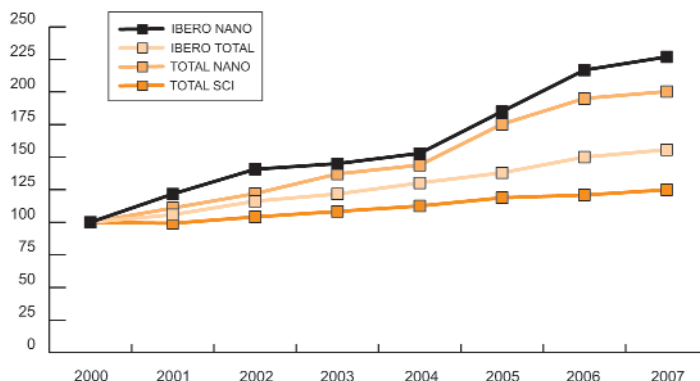
> GRÁFICO 2 :: Total de publicaciones iberoamericanas en nanotecnología (2000-2007)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

La producción científica en el campo de la nanotecnología mundial creció, además, a un ritmo muy superior al presentado por el total de la producción científica registrada en SCI en el período 2000-2007 (Gráfico 3). Mientras que el total de la base creció un 25%, en el mismo período los artículos sobre nanotecnología alcanzaron un incremento del 100%. Asimismo, pasaron de abarcar el 2,5% de las publicaciones totales en SCI en 2000 a representar el 4,1% de los registros totales en 2007. En la región iberoamericana considerada como conjunto, el total de la base creció un 56% mientras sus documentos en nanotecnología aumentaron un 127%. Un fenómeno semejante al mundial ocurre con las publicaciones iberoamericanas, en donde la nanotecnología pasó de abarcar el 2,7% del total en 2000 al 4% en 2007.

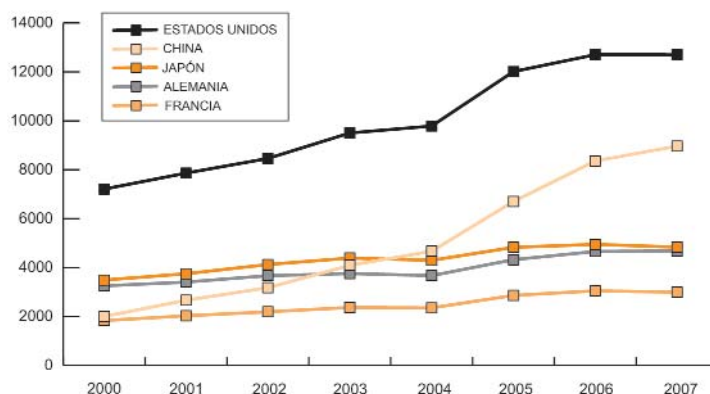
> GRÁFICO 3 :: Total mundial e iberoamericano de publicaciones en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Base 2000=100

Estados Unidos, con 7.206 artículos en 2000 y 12.701 en 2007, manteniendo una presencia cercana al 27% del total en todo el período. En segundo lugar en 2007 aparece China, destacándose especialmente por su crecimiento muy superior al del resto de los países: más que cuadruplica su producción entre puntas (pasa de 1.995 a 8.964 registros) y asciende desde el cuarto lugar en 2000. Completan el listado de los cinco países más importantes en este campo Japón, Alemania y Francia, que presentan un crecimiento moderado (Gráfico 4).

> GRÁFICO 4 :: Publicaciones de los principales países del mundo en nanotecnología



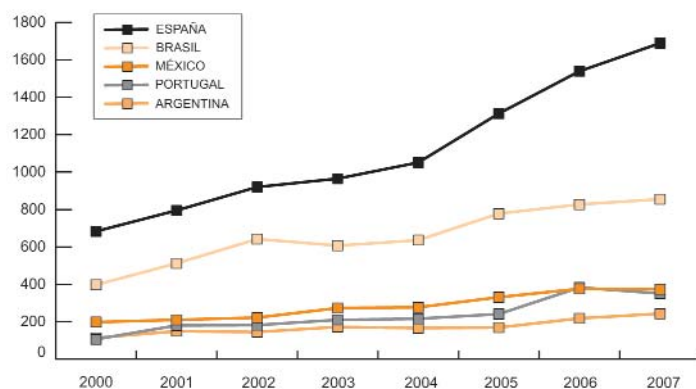
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: En este caso se ha utilizado la metodología de contabilización por enteros, es decir que se ha contado un registro completo para cada uno de los países participantes en el mismo. Existiendo así duplicaciones generadas por la colaboración internacional, la suma de la producción de los países es superior al total mundial.

Los cinco países con mayor presencia en la producción nanotecnológica a nivel iberoamericano son España, Brasil, México, Portugal y Argentina (Gráfico 5). El desempeño de España se destaca especialmente por su fuerte presencia: participa en el 45% de la producción científica en nanotecnología iberoamericana en todo el período. También se destaca por su crecimiento sostenido, a partir del cual asciende de 683 artículos en 2000 a 1.689 en 2007 (con un aumento del 147%).

En segundo lugar durante todo el período analizado aparece Brasil, país latinoamericano que es responsable de más de la cuarta parte de la producción científica en nanotecnología iberoamericana y también presenta un crecimiento continuo, aumentando más del doble (un 115%)

su participación en el SCI en la temática. Crecimientos relativos un poco menores registraron, para igual período, México y Argentina (que ocupan el tercer y el quinto lugar en la región respectivamente, con aumentos de su producción científica en nanotecnología de un 90% y un 113%), aunque ninguno de ellos alcanza siquiera a la mitad del volumen de artículos generados por Brasil. Finalmente, resalta el caso de Portugal, que ocupa el cuarto lugar de la región (representando cerca del 10% de su producción total en esta temática) pero es el país con mayor crecimiento relativo durante el período 2000-2007: un 231%.

> GRÁFICO 5 :: Publicaciones de los principales países iberoamericanos en nanotecnología

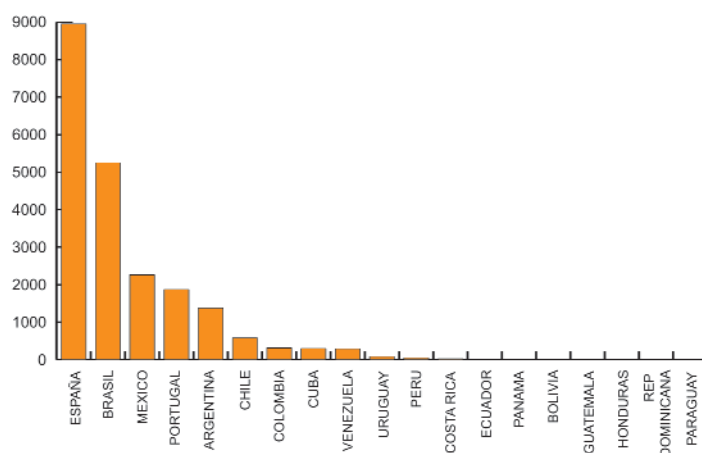


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

En el Gráfico 6 puede observarse la participación de cada país en el conjunto de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica acumulado durante 2000-2007. España sobresale por su gran volumen de artículos publicados en la temática durante el período considerado, con 8.955 documentos. En segundo lugar se encuentra Brasil, con 5.254 publicaciones especializadas. En tercer lugar se ubica México, que registra 2.261 artículos en el SCI. Portugal, en el cuarto lugar, presenta una producción de 1.869 documentos y Argentina, en el quinto, una producción de 1.376 artículos en nanotecnología.

A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 581 publicaciones), Colombia (con 311), Cuba (con 296), Venezuela (con 291), Uruguay (con 83) y Perú (con 50). Por último, pero con una escasa cantidad de artículos (la mayoría inferior a la veintena durante todo el período), se encuentran otros ocho países: Costa Rica, Ecuador, Panamá, Bolivia, Guatemala, Honduras, República Dominicana y Paraguay.

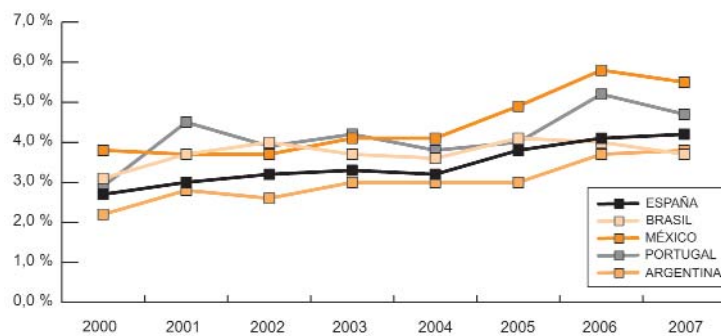
> GRÁFICO 6 :: Publicaciones de los países iberoamericanos en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

Según la evolución del porcentaje de la producción científica en nanotecnología durante 2000-2007 en relación al total de la producción registrada en el SCI, los cinco principales países iberoamericanos en la materia según sus volúmenes de publicaciones (España, Brasil, México, Portugal y Argentina) se ordenan de modo diferente.

> GRÁFICO 7 :: Porcentaje de publicaciones en nanotecnología en relación al total



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

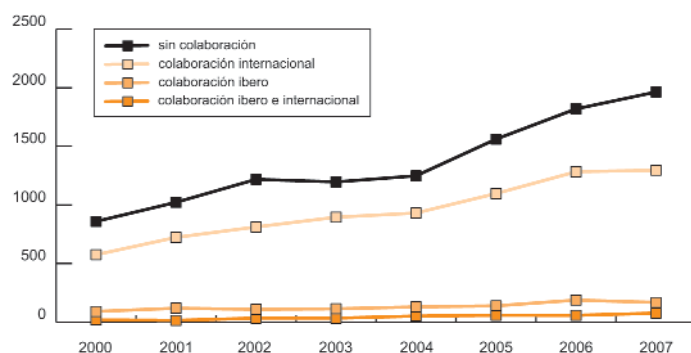
Como muestra el Gráfico 7, México es el primer país iberoamericano en cuanto a proporción de producción científica en nanotecnología en el SCI durante todo el período: es el que tiene el mayor valor en 2000 (3,8%) y crece sostenidamente hasta alcanzar en 2007 el que representa también el mayor valor de la región (5,5%). Portugal es el segundo país según su porcentaje en 2007 (cerca del 5%) y el que presenta las mayores irregularidades en algunos años del período. España y Argentina, en el tercer y el quinto lugar respectivamente, tienen ambos incrementos continuos e importantes: España pasa del 2,7% en 2000 al 4,2% en 2007, mientras que Argentina asciende del 2,2% en 2000 al 3,8% en 2007. Brasil pasa de ubicarse segundo en 2000 con una proporción del 3% a quedar quinto en 2007 con el 3,7%, aunque cabe considerar que se trata del segundo país (luego de Portugal) del grupo de los cinco principales de Iberoamérica en materia de crecimiento relativo de su volumen total de artículos en las bases de datos internacionales del SCI durante el mismo período.

3.2. La colaboración internacional

El trabajo conjunto con investigadores de otros países es una tendencia creciente a nivel mundial y que atraviesa la totalidad de las disciplinas. Es, además, un factor comúnmente abordado por las políticas de ciencia, tecnología e innovación. Es también de particular importancia en un campo como la nanotecnología, en el que la disponibilidad de grandes equipamientos resulta vital y que por lo tanto, sobre todo en países en desarrollo, impulsa aún más la colaboración.

El Gráfico 8 permite observar que, considerando la producción científica en nanotecnología registrada en el SCI de Iberoamérica en forma agregada, pueden advertirse tres tendencias yuxtapuestas. En primer lugar, que el peso de las publicaciones en nanotecnología realizadas por autores iberoamericanos sin colaboración internacional es cuantitativamente muy importante y, además, se ha ido incrementando en forma sostenida en los últimos ocho años (aumentando cerca del 130% entre 2000 y 2007). En segundo lugar, que también se ha ido incrementando a nivel iberoamericano la presencia de la "colaboración internacional", es decir, la colaboración producida entre un país de Iberoamérica y uno o más países no iberoamericanos. En este sentido, como se analizará más adelante, resultan un dato clave los países con los cuales colabora la región para co-producir en esta temática. Finalmente, una tercera tendencia observada es una débil presencia de la "colaboración ibero-internacional" (aquella registrada entre dos o más países de la región y uno o más países extra-regionales), que sin embargo crece de 19 artículos científicos en 2000 a 77 documentos en 2007, así como de la "colaboración iberoamericana" (aquella producida entre autores pertenecientes a dos o más países iberoamericanos), que resulta el tipo de producción con menor aumento durante el período analizado. Las tres tendencias observadas quedarán explicadas a continuación a partir de las composiciones relativas de la producción en colaboración de España y Brasil, los grandes motores del crecimiento iberoamericano en la temática.

> GRÁFICO 8 :: Publicaciones iberoamericanas según colaboración internacional



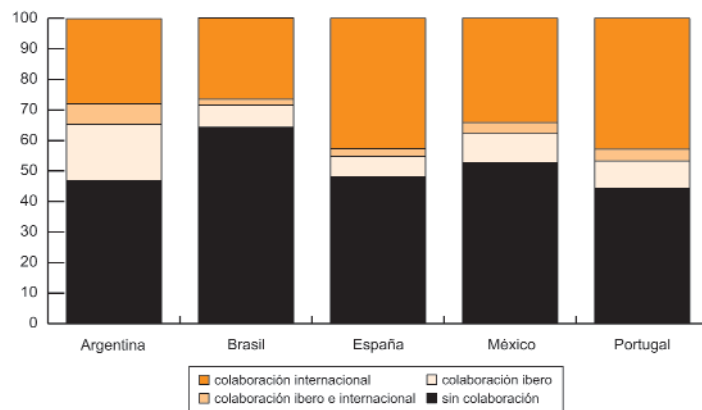
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El Gráfico 9 presenta la composición del conjunto de la producción científica en nanotecnología de los cinco principales países iberoamericanos acumulada en el período 2000-2007. La colaboración internacional no resulta un dato menor de la forma de producción del conocimiento científico en nanotecnología de estos países, pero con diferentes matices.

España y Portugal, los países europeos de Iberoamérica, presentan un patrón muy similar: poco más de la mitad de su producción es realizada en colaboración, una colaboración fundamentalmente producida con países no iberoamericanos (cerca del 43% en ambos casos) y en menor medida con otros países de Iberoamérica (entre el 7% y el 9% respectivamente). Argentina muestra también una fuerte producción científica en colaboración, pero con una composición bien diferente: es el país del grupo de los cinco principales con más presencia relativa de copublicaciones iberoamericanas en nanotecnología: casi una quinta parte de su producción (18,3%), que alcanza la cuarta parte al sumarle las copublicaciones ibero-internacionales registradas. Este último tipo de colaboración, que implica la copublicación entre autores de tres o más países, es un dato más que significativo, ya que pone de manifiesto el peso de las redes internacionales de investigación en los pro-

cesos de generación de conocimiento. Brasil y México, los dos países latinoamericanos que completan el grupo de los cinco principales, tienen la menor proporción de publicaciones científicas en nanotecnología en colaboración (casi dos terceras partes de la producción brasileña y más de la mitad de la producción mexicana son realizadas sin colaboración internacional). Asimismo, muestran una baja colaboración con otros países iberoamericanos.

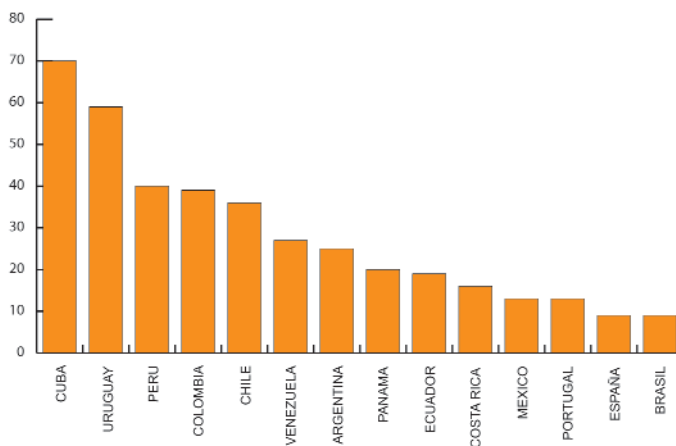
> GRÁFICO 9 :: Publicaciones según colaboración internacional



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El Gráfico 10 permite comparar el peso relativo que tiene la copublicación iberoamericana en la producción científica en nanotecnología en los países de la región durante 2000-2007. Se trata de un aspecto muy importante para la mayor parte de los países de la región con sistemas de ciencia y tecnología pequeños y con baja producción científica en nanotecnología disponible en las bases de datos internacionales del SCI. Es también de una importancia significativa para los países de desarrollo medio, como Chile, Colombia y Venezuela.

> GRÁFICO 10 :: Porcentaje de publicaciones en colaboración iberoamericana



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: acumulado 2000-2007

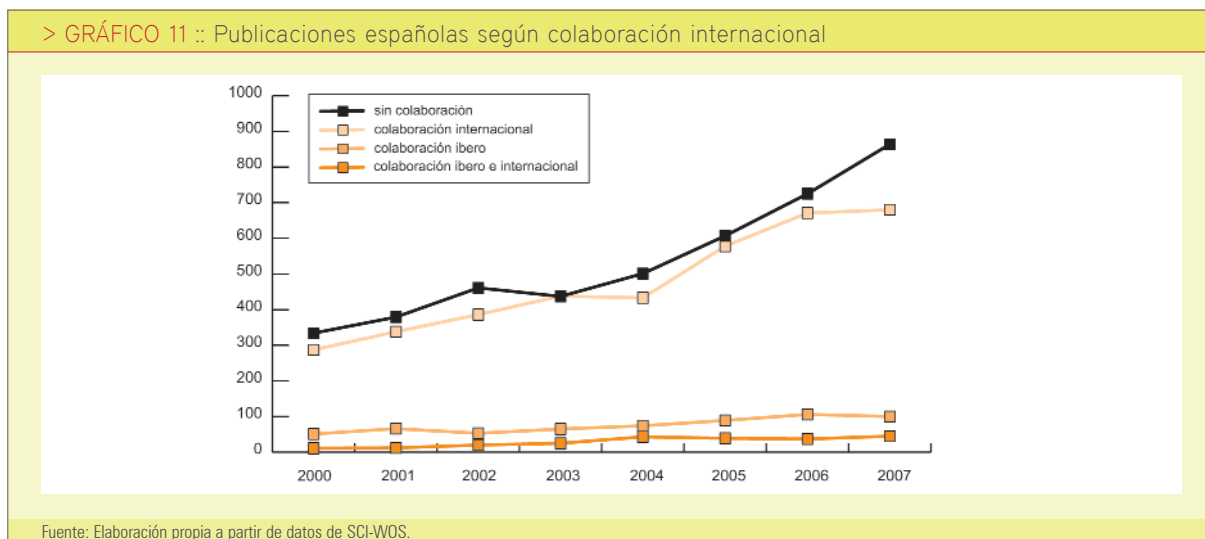
En este grupo de países se observa que la dimensión internacional "intra-iberoamericana" resulta un elemento significativo para publicar en

las revistas de la denominada "corriente principal" de la ciencia. Son, específicamente, los casos de Cuba (que tiene el 70% de sus publicaciones en colaboración iberoamericana), Uruguay (59%), Perú (40%), Colombia (39%), Chile (36%) y Venezuela (27%). Sobre los otros países de la región con sistemas de ciencia y tecnología pequeños (como el caso de Paraguay, que cuenta con sólo una publicación, o Bolivia, que tiene apenas diez artículos) no es posible plantear tendencias por la escasa cantidad de artículos registrados durante el período considerado.

La serie de gráficos que se presentan a continuación muestra la evolución de la producción científica en nanotecnología en colaboración de los cinco principales países iberoamericanos en esta temática.

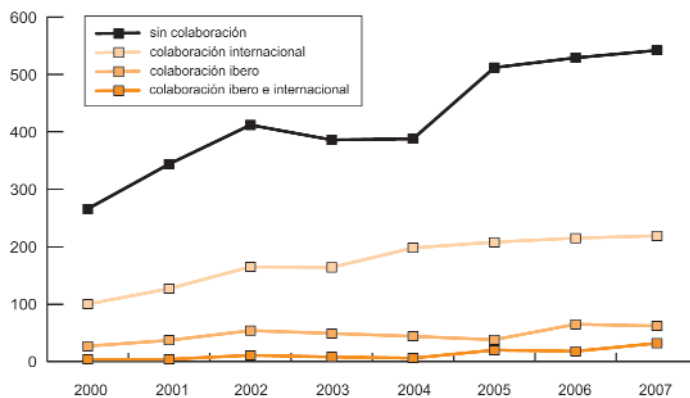
El caso español (Gráfico 11), dado el volumen de su producción, refleja tendencias muy similares a las observadas para la región iberoamericana en forma agregada, de fuerte y continuo crecimiento de la producción científica en nanotecnología sin colaboración (con apenas una leve caída en 2003) y de la copublicación internacional. Las colaboraciones iberoamericana e ibero-internacional, asimismo, no resultan significativas para el país que lidera claramente la producción iberoamericana en nanotecnología y registran algunas pequeñas fluctuaciones durante el período considerado.

> GRÁFICO 11 :: Publicaciones españolas según colaboración internacional



El caso brasileño (Gráfico 12), el segundo líder de la región iberoamericana en producción científica en nanotecnología, muestra una trayectoria fundamentalmente ascendente, aunque con un descenso durante el bienio 2003-2004, en la que es su principal forma de producción: la elaboración de artículos sin colaboración. La colaboración internacional se mantiene en constante aumento durante 2000-2007, mientras que tanto la colaboración iberoamericana como la ibero-internacional son poco significativas, a la vez que presentan un crecimiento lento y con algunos altibajos.

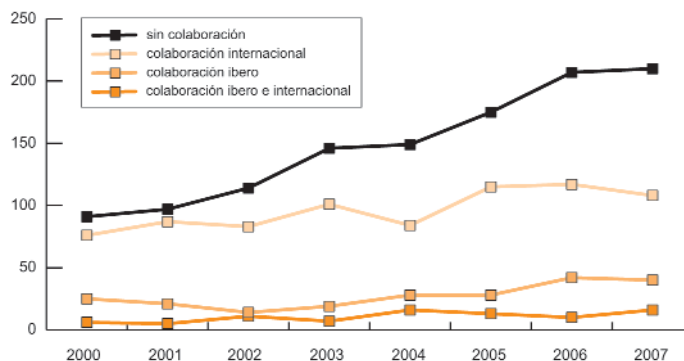
> GRÁFICO 12 :: Publicaciones brasileñas según colaboración internacional



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El caso mexicano (Gráfico 13) muestra una pendiente creciente de la producción científica en nanotecnología realizada sin colaboración (que, como se señaló anteriormente, es la principal forma de generación de conocimiento de México en esta temática durante el período analizado), un crecimiento moderado con altibajos (durante 2002 y 2004) de la producción en colaboración internacional (la segunda manera más importante de elaboración de documentos científicos en la temática de este país) y una muy baja presencia con tendencia levemente creciente de la colaboración con otros países iberoamericanos y de la colaboración ibero-internacional.

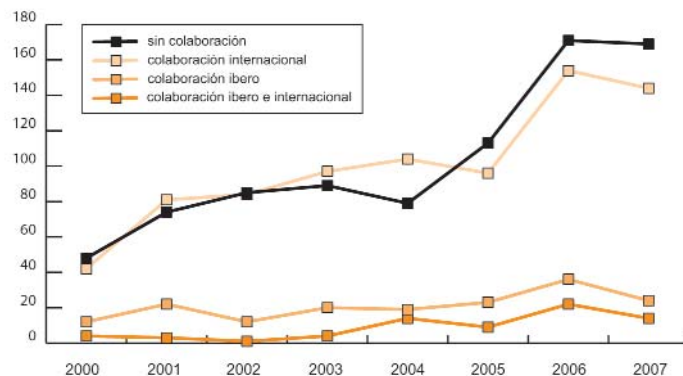
> GRÁFICO 13 :: Publicaciones mexicanas según colaboración internacional



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El caso portugués (Gráfico 14) es el único de los cinco principales países iberoamericanos en producción científica en nanotecnología cuyas trayectorias de generación de conocimiento sin colaboración y en colaboración internacional se acercan notablemente y que en algún momento del período 2000-2007 registra un crecimiento de su producción en colaboración internacional que supera al crecimiento de la producción científica realizada sin colaboración (lo cual ocurre en 2001 y 2003-2004). La producción en colaboración iberoamericana e ibero-internacional es muy pequeña, pero crece con diversas fluctuaciones durante la mayoría del período analizado. Cabe señalar que las cuatro formas de producción de artículos científicos en nanotecnología de Portugal registran leves bajas durante el último año de tal período.

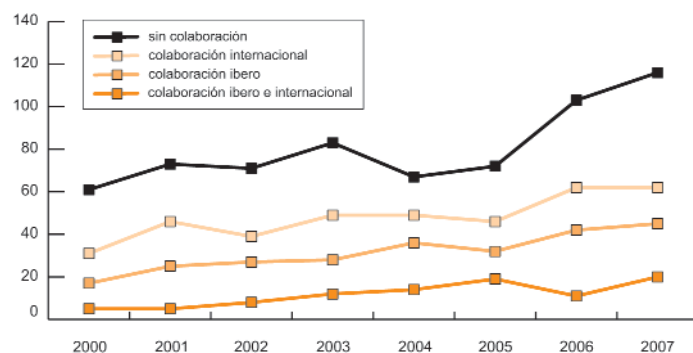
> GRÁFICO 14 :: Publicaciones portuguesas según colaboración internacional



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Finalmente, el caso argentino (Gráfico 15) muestra cómo la evolución de la colaboración (tanto la colaboración iberoamericana como la internacional y, aunque más incipientemente, la ibero-internacional) en las publicaciones del período 2000-2007 es una de las principales causas que impulsaron el crecimiento de la producción científica de ese país en nanotecnología.

> GRÁFICO 15 :: Publicaciones argentinas según colaboración internacional



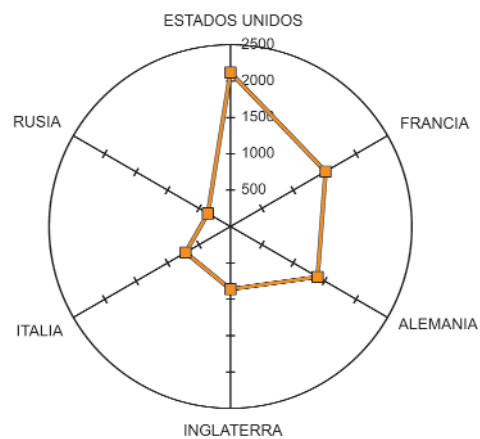
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Por el contrario, las publicaciones argentinas sin colaboración internacional muestran un descenso importante en 2004, posiblemente relacionado con la crisis argentina de 2001 y 2002, para retomar posteriormente la curva ascendente desde 2005. La nanotecnología en Argentina puede verse entonces como un campo fuertemente vinculado con el exterior (un exterior que es, además, crecientemente iberoamericano), lo cual conlleva importantes efectos positivos sobre la visibilidad internacional de la producción científica local.

El detalle de los seis países con los cuales Iberoamérica como conjunto tiene mayor colaboración internacional en nanotecnología durante el período 2000-2007 puede verse en el Gráfico 16. Ellos son, en orden decreciente, Estados Unidos (el líder mundial en la temática), Francia (país que ocupa el quinto lugar) y Alemania (cuarto lugar mundial), con los que se produce la mayor colaboración; seguidos por Inglaterra (sexto lugar), Italia (octavo lugar) y Rusia (duodécimo lugar). Se trata fundamentalmente de una estrecha colaboración norteamericana-euro-

pea, que deja fuera, por el momento, a los líderes asiáticos China y Japón, probablemente por cuestiones culturales y diferentes tradiciones en los procesos de generación de conocimiento.

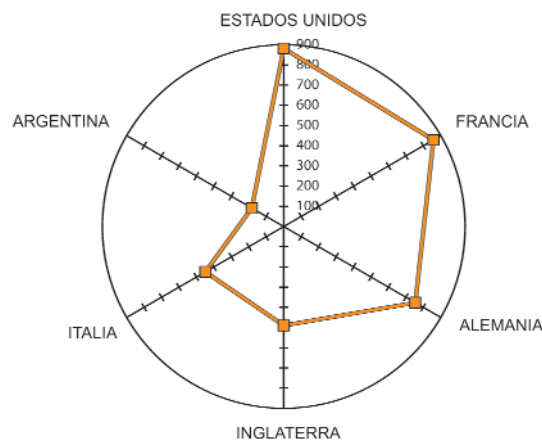
> GRÁFICO 16 :: Publicaciones iberoamericanas en colaboración según país



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

España muestra una profundización de la tendencia observada para Iberoamérica en su conjunto (Gráfico 17), especialmente en los tres primeros países con los que concentra la gran mayoría de su producción en colaboración internacional (Estados Unidos, Francia y Alemania), pero también en los dos países siguientes (Inglaterra e Italia). Sin embargo, muestra una particularidad digna de mención: en el sexto lugar aparece Argentina (que ocupa el lugar treinta y cinco en el ranking mundial), aunque con una colaboración pequeña (cercana a un quinto de la mantenida con Estados Unidos).

> GRÁFICO 17 :: Publicaciones españolas en colaboración según país

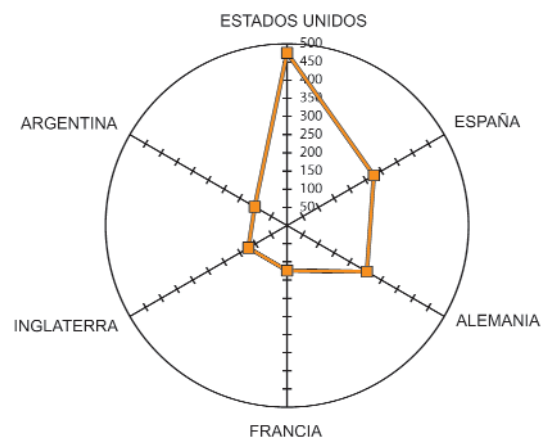


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

Brasil (Gráfico 18) presenta una producción en colaboración fuertemente concentrada en Estados Unidos, en segundo lugar con Francia, en

tercero con Alemania y en quinto con Inglaterra, como en el total iberoamericano. Sin embargo, dos países iberoamericanos, uno de ellos latinoamericano, aparecen entre los seis con mayor porcentaje de copublicación para los investigadores brasileños: España (en el undécimo lugar en el ranking mundial), en el cuarto lugar, y Argentina en el sexto y último lugar.

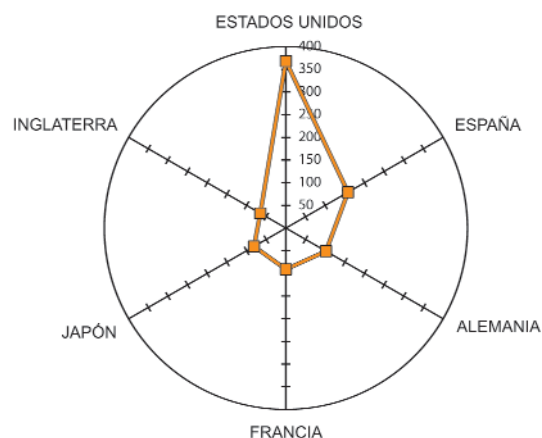
> GRÁFICO 18 :: Publicaciones brasileñas en colaboración según país



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

México (Gráfico 19) tiene una colaboración internacional fuertemente concentrada en Estados Unidos. En un segundo y distante lugar se ubica España, en el tercer lugar Alemania, en el cuarto Francia, en el quinto aparece Japón (tercero en el ranking mundial) y en el sexto Inglaterra. Cabe señalar que la colaboración con Japón sólo supera la veintena de artículos en 2001, para luego descender en forma continua hasta cuatro artículos en 2007.

> GRÁFICO 19 :: Publicaciones mexicanas en colaboración según país

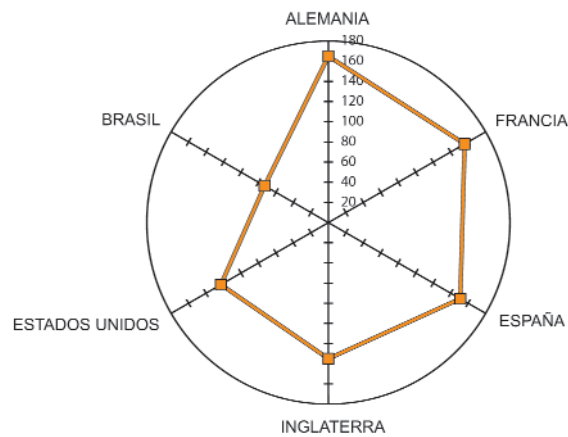


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

Portugal (Gráfico 20) es el único país de los cinco principales de la región iberoamericana que no tiene a Estados Unidos como principal colaborador, sino que se ubica en el quinto lugar. La colaboración portuguesa en nanotecnología se produce fundamentalmente con sus colegas

Europeos Alemania, Francia, España e Inglaterra. En el sexto lugar, muy probablemente por tratarse de otro país lusófono, aparece Brasil (en el décimo séptimo lugar en el ranking mundial), que se trata de una colaboración pequeña pero creciente.

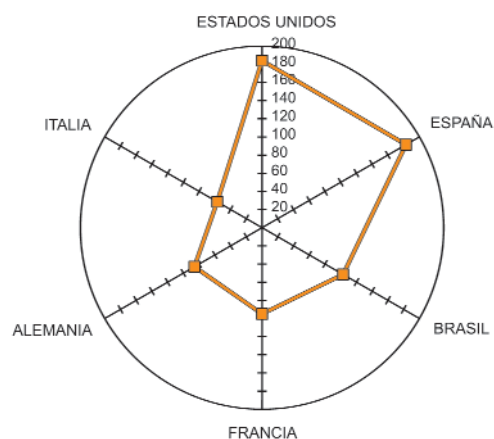
> GRÁFICO 20 :: Publicaciones portuguesas en colaboración según país



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

Finalmente, Argentina (Gráfico 21) presenta una colaboración internacional fuertemente concentrada en Estados Unidos y España en los dos primeros lugares (explicando la tercera parte de la producción en colaboración). Completan los seis principales países con los cuales colaboran los investigadores argentinos en nanotecnología son el latinoamericano Brasil en el tercero y los europeos Francia, Alemania e Italia en los restantes.

> GRÁFICO 21 :: Publicaciones argentinas en colaboración según país



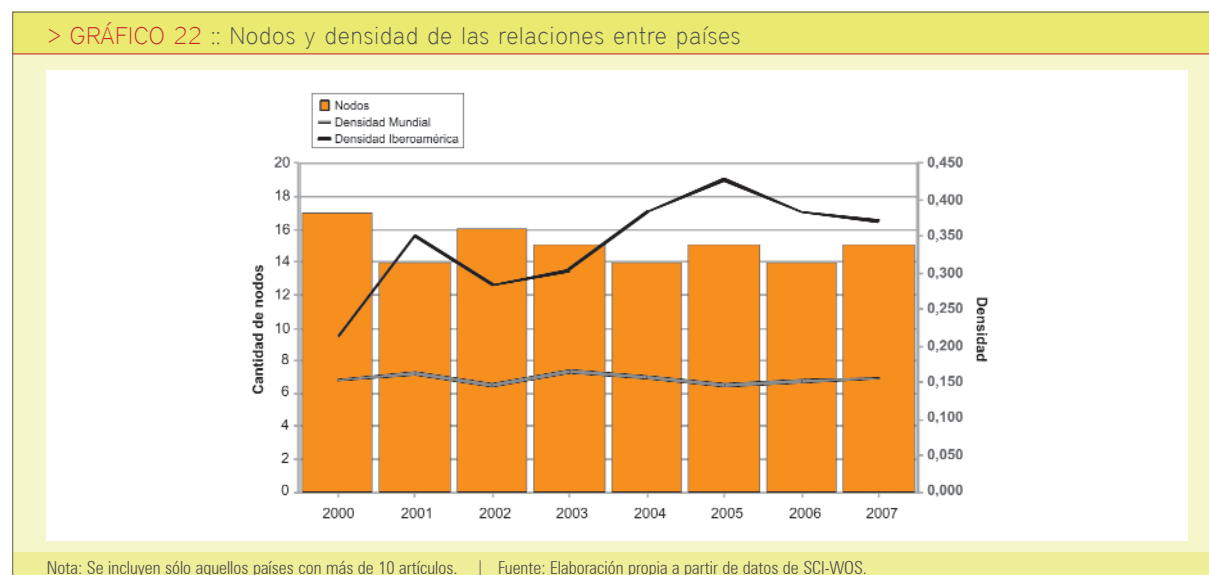
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS. | Nota: Acumulado 2000-2007

3.3. Iberoamérica en las redes mundiales de colaboración

Las similitudes idiomáticas y culturales, la trayectoria histórica y la proximidad geográfica son factores que en todos los ámbitos ha servido para facilitar e impulsar las relaciones entre los países iberoamericanos. Más allá de las corrientes mundiales de la I+D, las actividades científicas y tecnológicas no escapan a estos patrones.

Una forma de dar cuenta de la integración del espacio iberoamericano de conocimiento es a través de la firma conjunta de artículos científicos, como una evidencia de la colaboración en temas de investigación. Ese principio se ha utilizado para la construcción de las redes de colaboración entre países, presentando en primer término la red mundial en el campo de la nanotecnología y, posteriormente, las relaciones entre los países iberoamericanos entre sí.

Los cambios en la integración general de la red de copublicación pueden ser cuantificados mediante el indicador de densidad, que da cuenta de la cantidad de enlaces existentes sobre el total de los enlaces posibles. El Gráfico 22 muestra la evolución comparada durante 2000-2007, de la densidad de la red de producción científica en nanotecnología del total mundial y la de la red compuesta por el total de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica, que es cuantificada en el eje derecho. Las barras dan cuenta de la cantidad de nodos participantes de la red mundial de nanotecnología en cada año, que son cuantificadas en el eje izquierdo.



Mientras que la densidad de la producción total mundial en nanotecnología se mantiene relativamente estable, la integración dentro de la región iberoamericana se mantuvo en un nivel superior, registrando además un crecimiento con algunos altibajos. En 2000 la red iberoamericana de nanotecnología presentaba un índice de densidad de 0,21, superior al que presentaba la red total mundial (0,15), que crece a 0,35 en 2001, desciende a 0,28 el año siguiente y a partir de allí continúa creciendo hasta el año 2005, año en que alcanza una densidad de 0,42 (frente a un 0,14 del total mundial). Los dos últimos años del período se observa un descenso de la densidad de la red iberoamericana, que igualmente se mantiene más que duplicando la densidad del total de la producción mundial en la temática.

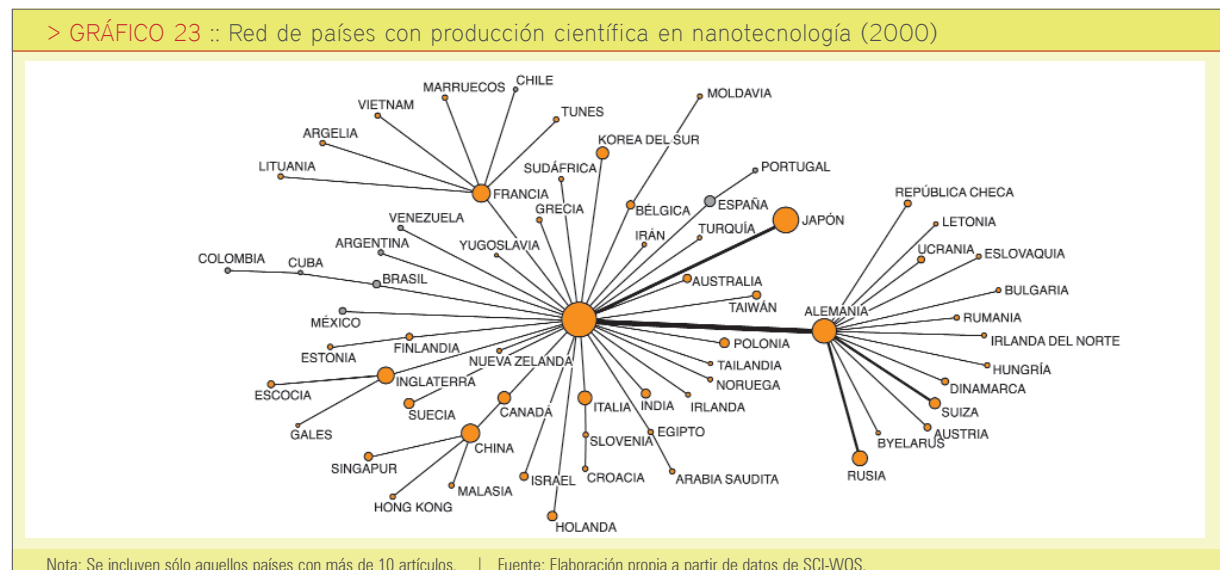
Todo esto da cuenta de que Iberoamérica funciona, efectivamente, como un espacio de colaboración con un nivel de relacionamiento mayor que el promedio general de la red. A continuación se presenta el lugar que ocupan los países de la región en el contexto mundial de la investigación en nanotecnología.

El Gráfico 23 presenta la red² de países conformada por la publicación conjunta de artículos en 2000. Se han incluido todos los países con al menos 10 artículos registrados en ese año y los de la comunidad iberoamericana han sido resaltados en rojo³.

Dado que la cantidad de nodos y relaciones existentes es muy extensa, impidiendo la visualización y el análisis, se ha recurrido en este caso a técnicas de poda. Estas técnicas consisten en la aplicación de algoritmos que eliminan los lazos menos importantes en la red, dejando tan sólo la cantidad mínima necesaria para no desconectar ningún nodo. El criterio para esto es que el peso de los caminos totales resultantes (en nuestro caso la cantidad de artículos firmados en conjunto) sea el mayor posible. De esta manera se obtiene la estructura básica que subyace en una red de mucha complejidad. El resultado de estas técnicas de poda es un árbol de caminos mínimos (*minimum spanning tree*, MST) de un grafo. En este caso se ha utilizado una implementación del algoritmo de Prim.

En el año 2000, Estados Unidos ocupaba el papel central en la red, tanto por ser el país que contaba con más publicaciones en la temática como por ser el principal articulador de relaciones con otros países con una producción importante en este campo: Japón y Alemania y, en menor medida, China (por intermedio de Canadá), Francia e Inglaterra. La principal conexión, por los nodos que articula (13 países) y por la capacidad de intermediación que presenta, se daba entre Estados Unidos y Alemania (en el tercer lugar en 2000 en términos de cantidad de publicaciones). También cabe marcar las articulaciones científicas entre el principal país de la red y Francia (en el quinto lugar del mundo en 2000), a su vez generadora de nuevas relaciones de colaboración con 6 países con pequeñas producciones, uno de ellos iberoamericano: Chile.

Concentrando el análisis en los países iberoamericanos, es posible observar que España (y a través de ella, Portugal) aparece vinculándose científicamente en forma directa con Estados Unidos. Manteniendo relaciones radiales con el líder norteamericano aparecen también otros 6 países iberoamericanos: Brasil (que a su vez registra producción científica en nanotecnología en colaboración con Cuba y, a través de ella, con Colombia), México, Argentina y Venezuela.



En el Gráfico 24 se puede observar cómo ha evolucionado la red de países con producción científica en nanotecnología en colaboración internacional hacia el año 2005. El entramado de relaciones entre los distintos países del mundo ha crecido notablemente en complejidad, man-

2 El análisis de redes y los gráficos presentados en este informe fueron realizados mediante la aplicación del paquete informático Pajek y de software especialmente desarrollado a tal efecto por el CAICYT.

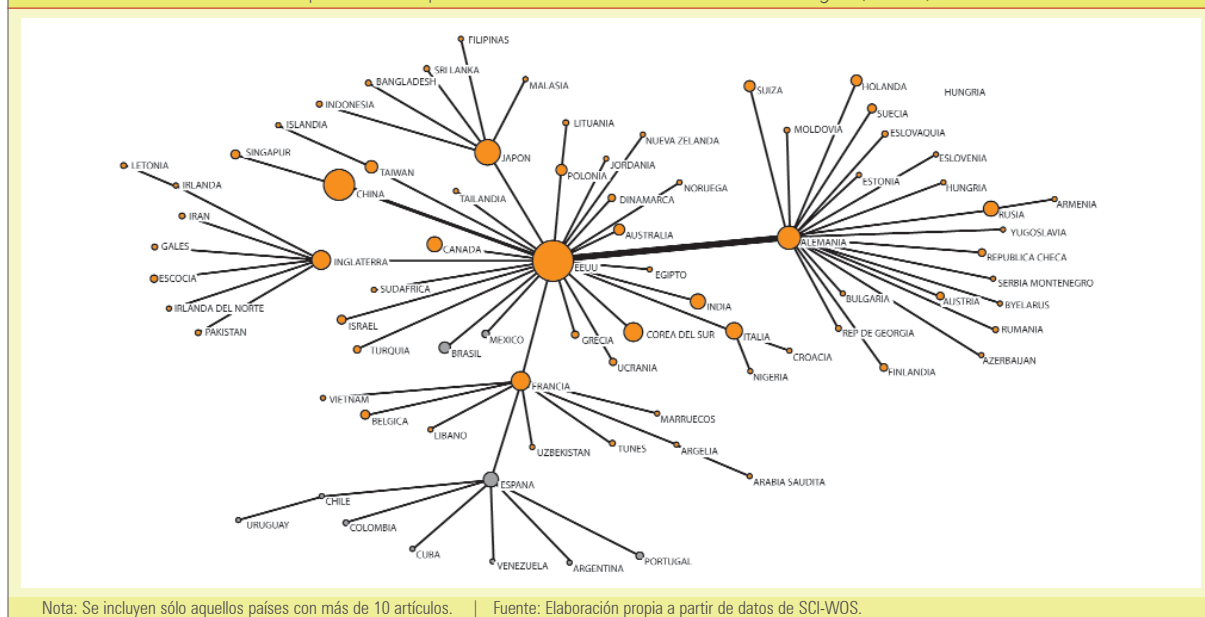
3 Para más información sobre la representación de redes de colaboración ver Wagner and Leydesdorff (2003).

teniéndose Estados Unidos como el primer nodo tanto por la cantidad de publicaciones que reúne como por ser el núcleo central alrededor del cual se articulan los demás países con producción científica en la temática. Entre ellos, algunos lo hacen en forma radial y otros conforman nodos articuladores, a su vez con nuevas "ramificaciones". Algunos de estos nodos articuladores de relaciones ya habían aparecido cumpliendo este rol al comienzo del período bajo análisis (son los casos de Alemania, Francia e Inglaterra), pero han aumentado la cantidad de países que vinculan científicamente a través de su producción; otros países se inician desempeñando ese papel articulador de nuevos vínculos: Japón y España.

Este año ha sido seleccionado por ser el que mayor densidad presenta entre los países Iberoamericanos. Esto se ve claramente en el gráfico, en el que -con excepción de Brasil y México- todos los países de la región aparecen en la misma rama del árbol, teniendo a España como enlace con el tronco principal.

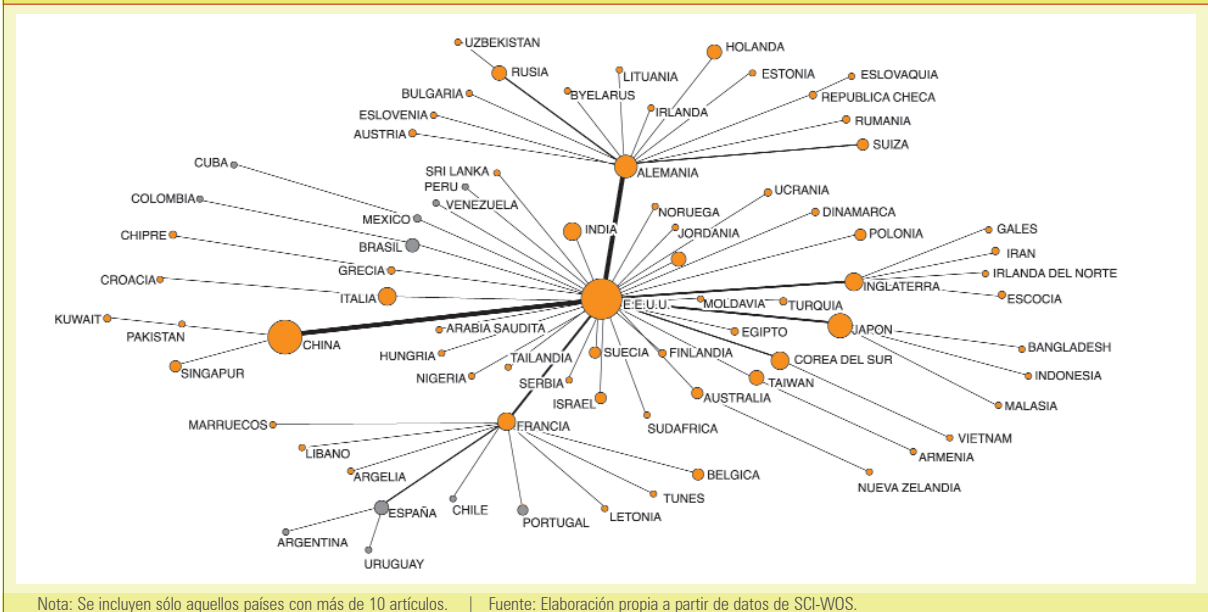
España, conectada con Estados Unidos a través de Francia, articula en la red de colaboraciones de 2005 a otros 7 países iberoamericanos: Portugal, Argentina, Venezuela, Cuba, Colombia y Chile (y a través de él, Uruguay). Otros dos países iberoamericanos aparecen vinculados en esta red, pero directamente con Estados Unidos: Brasil y México.

> GRÁFICO 24 :: Red de países con producción científica en nanotecnología (2005)



El Gráfico 25 es la vista más actual (2007) de la red de colaboración científica en nanotecnología del mundo. Estados Unidos sigue ocupando el papel central, fuertemente conectado con Alemania (a su vez nodo articulador de 14 países), Japón (con vínculos con 3 países), Francia (que vincula a otros 11 países) e Inglaterra (con interacciones con otros 4 países), y, en menor medida a China (articulada con 3 países). Otros países aparecen articulados al nodo central en forma radial, algunos conectando a un país más, la mayoría con relaciones bilaterales directas de colaboración.

> GRÁFICO 25 :: Red de países con producción científica en nanotecnología (2007)



En forma consecuente con el descenso de la densidad de las relaciones entre los países iberoamericanos, en 2007 la posición de estos países en la red mundial es más dispersa. Es nuevamente a través de Francia que se producen los vínculos con la red general de 5 países iberoamericanos en 2007: España, que a su vez es articulador de relaciones científicas con Argentina y Uruguay; Chile y Portugal. Sin embargo, una mayoría de países iberoamericanos (6) aparecen vinculándose directamente con el líder mundial (Estados Unidos): Brasil (y a través de él, Colombia), México (y a través de él, Cuba), Venezuela y Perú.

3.4. La red de colaboración iberoamericana

En el apartado anterior se presentó la posición de los países iberoamericanos en la red mundial de investigación en nanotecnología. A partir de esa información es posible observar la densidad de la colaboración entre los países de la región. Para profundizar el detalle de esas interacciones, se describe a continuación el panorama de la colaboración, plasmada en la firma conjunta de artículos científicos, de los países iberoamericanos.

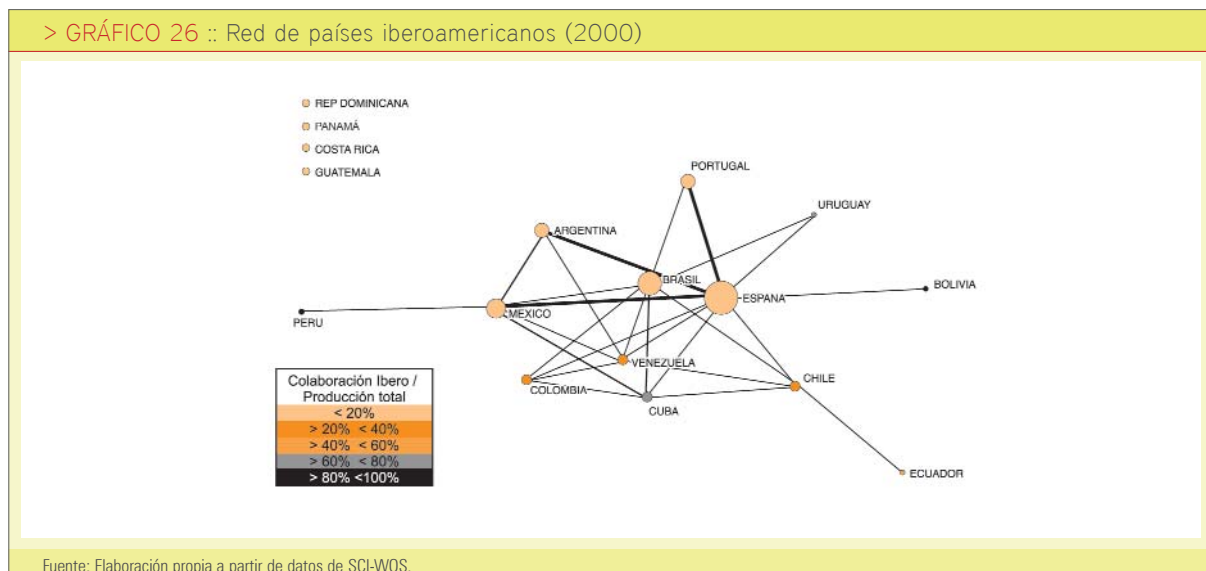
Sólo se consideran en este caso las relaciones entre los países de la región. A diferencia de los gráficos de la red mundial, en este caso no se han recortado los lazos existentes. Se han tomado dos años, 2000 y 2007, para dar cuenta de la evolución de este espacio de interacción en la producción de conocimiento en el campo de la nanotecnología.

El Gráfico 26 presenta la composición de la red de nanotecnología en 2000. El diámetro de los círculos representa la cantidad de artículos publicados, mientras que el grosor de las líneas da cuenta de la cantidad de publicaciones en común. Los colores de los nodos dan cuenta de la proporción de la colaboración iberoamericana en relación al total de la producción.

En ese año, la red presentaba un grupo central -fuertemente conectado- integrado por los países de mayor producción de la región, junto con algunos países de menor volumen de producción en posiciones periféricas. Por último, aparecen cuatro países, también de volumen menor, sin conexión con otros países iberoamericanos en 2000.

El lugar central en la red lo ocupan España y Brasil, tanto en cuanto a cantidad de publicaciones como a densidad de relaciones. Ambos pue-

den ser vistos como fuertemente articuladores de la red en 2000, aunque la relación entre ambos es relativamente débil en relación al volumen de su producción y sus relaciones con otros países.



Los países de mayor producción en nanotecnología en Iberoamérica son también aquellos para los que la colaboración con el resto de la región representa un volumen menor de su producción: España, Brasil, México, Portugal y Argentina tienen valores inferiores al 20%. Si se exceptúan a los países de menor producción en la región (con participación en menos del 1% de la producción global iberoamericana en nanotecnología - Tabla 1), por carecer de masa crítica para este análisis, se observa que los de desarrollo intermedio son los de mayor presencia de cooperación iberoamericana: Chile, Colombia y Venezuela presentan valores entre el 20% y el 40%, mientras que se destaca el caso de Cuba con más del 70% de sus artículos en colaboración con autores de la región.

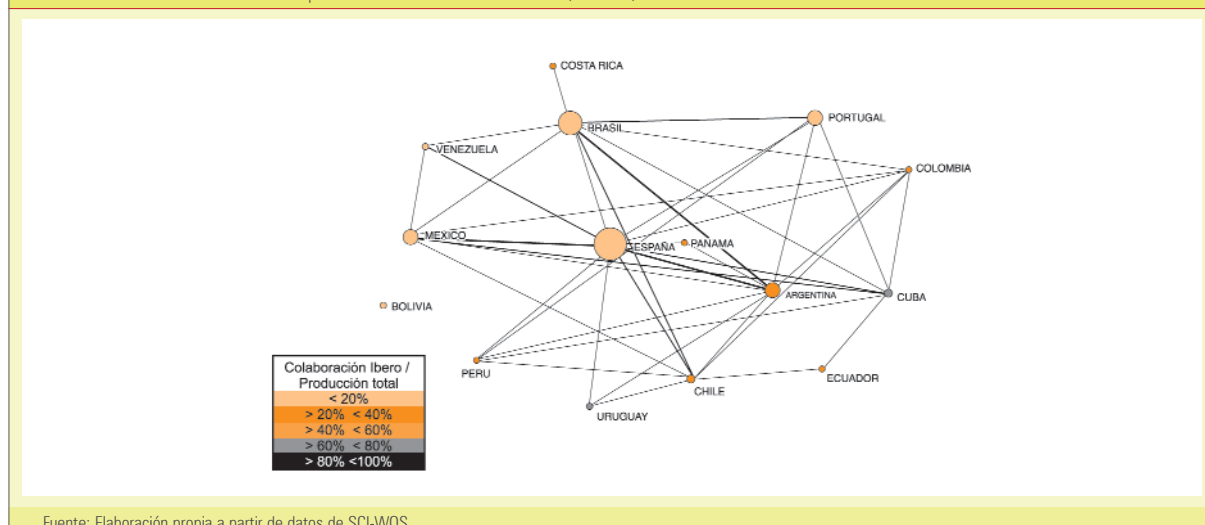
En 2007 (Gráfico 27), el papel de España se consolida aún más, superando por un mayor margen a Brasil tanto en cantidad de publicaciones como en intensidad y diversidad de las relaciones con el resto de los países iberoamericanos. Por otra parte, como se vio en el Gráfico 29, la densidad general de la red iberoamericana es muy superior a la de 2000. Sólo un país -Bolivia- no presenta conexiones con otros países de la región en este año.

Asimismo, la importancia de la colaboración iberoamericana se ha incrementado para muchos países. Mientras que España y México mantienen sus porcentajes de colaboración regional estables (con un 9% y un 15% respectivamente), Brasil pasa del 8% al 11% en el período analizado. Portugal, en cambio, desciende al 11% luego de haber alcanzado el 15% en 2000.

El caso más marcado de aumento de la integración iberoamericana es el de Argentina, que pasa del 19% de sus publicaciones en nanotecnología con participación de otros países de la región en 2000, a alcanzar el 27% en 2007. Existe un particular incremento en la intensidad de las relaciones de Argentina con Brasil, reflejando un fuerte proceso de integración entre esos dos países. Un ejemplo de ello es la conformación del Centro Argentino Brasileño de Nanociencia y Nanotecnologías, que funciona desde 2005.

Aunque con un volumen de producción menor, un fenómeno igualmente fuerte se da en Chile (que pasa del 22% al 39% entre las puntas del período analizado) y Colombia (del 26% al 49%). También en 2007, Cuba y Uruguay alcanzan, respectivamente, el 76% y 65% de colaboración iberoamericana en su producción.

> GRÁFICO 27 :: Red de países iberoamericanos (2007)



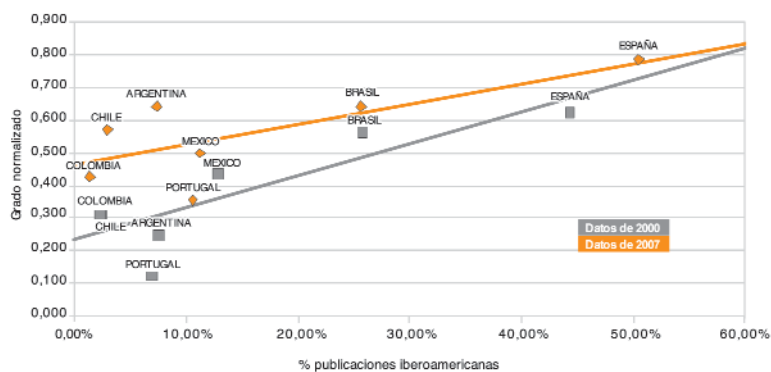
Por otra parte, para obtener medidas cuantitativas de la posición de los países en las redes de colaboración, y sus cambios a lo largo del período estudiado, es posible recurrir a distintos indicadores propios del análisis de redes. El más simple de estos indicadores es el grado normalizado, que está dado por el número de otros nodos al que uno está directamente vinculado, normalizado por la cantidad total de relaciones posibles. Esta medida da cuenta del nivel de exposición directa de cada nodo a la información que circula por la red.

Obviamente, la cantidad de lazos que posee una institución está fuertemente correlacionada con la cantidad de publicaciones con que cuenta. El Gráfico 28 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y el grado normalizado de cada nodo en el eje y. Para observar la evolución de cada país en el contexto de la red, los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los de 2007 en rojo. En ambos casos, se ha trazado en el gráfico una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. Los datos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en nanotecnología en ambos años, se presenta en la Tabla 1.

En primer lugar es de destacar la evolución de España, cuyo crecimiento en el campo de la nanotecnología la lleva a participar del 50% de la producción iberoamericana en 2007, mientras que en 2000 lo hacía en el 44%. Por otra parte, su centralidad en la red regional se incrementa, no sólo en términos absolutos (pasando de 0,62 a 0,78) sino también en relación a los demás países, apareciendo en el último año analizado levemente por encima de la línea de regresión.

Los siguientes países en cuanto a volumen de producción científica en nanotecnología no presentaron crecimientos similares. Tanto Brasil como México tuvieron escasa variación en su participación relativa en la producción regional, mientras que ambos vieron incrementado su valor en el indicador de grado en menor medida que el promedio iberoamericano.

> GRÁFICO 28 :: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS

Una tendencia distinta presenta Portugal, el cuarto país iberoamericano en cuanto al volumen de producción. Si bien su participación en la producción regional se vio fuertemente incrementada desde 2000, pasando del 6,87% al 10,48%, no se observa un incremento equivalente en su integración a la red, manteniendo valores de grado muy bajos en relación a los demás países de la región.

El caso opuesto es el de Argentina, que ocupa el quinto lugar en cuanto a su volumen de producción acumulado en nanotecnología. Este país, manteniendo una participación porcentual estable en la producción iberoamericana, levemente mayor al 7%, incrementó mucho sus relaciones dentro de la región. En 2007, con menos de la tercera parte de las publicaciones brasileñas, obtiene una centralidad equivalente (medida por el grado normalizado) a la de ese país.

Finalmente, Chile mantiene una posición similar en los dos momentos analizados, tanto en su participación en la producción regional como en cuanto a su centralidad relativa, en el contexto de creciente densidad de la red. Colombia, en cambio, vio descender su participación en la producción iberoamericana en más de un punto, al igual que su centralidad, dado que aunque en términos absolutos su indicador de grado se incrementó, no lo hizo con igual intensidad que el resto, como lo muestra su posición con respecto a la línea de regresión trazada en el gráfico.

> TABLA 1 :: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana

PAIS	Participación en la producción iberoamericana -2000	Grado 2000	Participación en la producción iberoamericana - 2007	Grado 2007
ESPAÑA	44,24%	0,625	50,45%	0,786
BRASIL	25,71%	0,563	25,54%	0,643
MEXICO	12,82%	0,438	11,17%	0,500
PORTUGAL	6,87%	0,125	10,48%	0,357
ARGENTINA	7,38%	0,250	7,26%	0,643
CHILE	2,33%	0,313	2,87%	0,571
COLOMBIA	2,53%	0,313	1,28%	0,429
VENEZUELA	2,07%	0,375	1,11%	0,214
CUBA	2,46%	0,313	1,02%	0,500
URUGUAY	0,26%	0,125	0,51%	0,214
PERU	0,26%	0,063	0,39%	0,357
PANAMA	0,06%	0,000	0,18%	0,143
ECUADOR	0,13%	0,063	0,15%	0,143
COSTA RICA	0,19%	0,000	0,12%	0,071
BOLIVIA	0,06%	0,063	0,06%	0,000

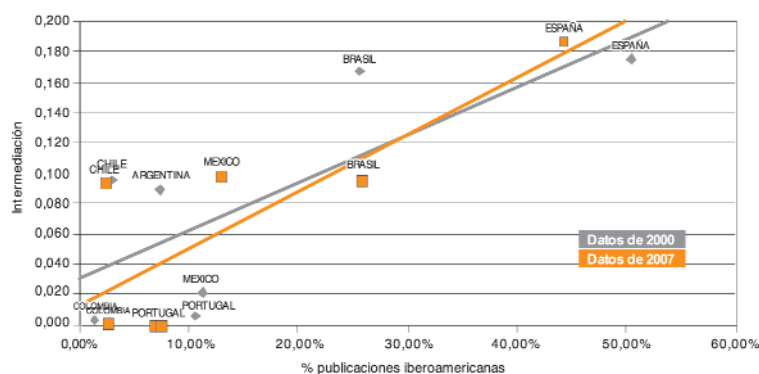
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Otra forma de ver la centralidad de los países en la red de colaboración es en términos de su intermediación en los caminos de la información. El indicador de intermediación da cuenta de la frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto entre otros dos, medida que puede interpretarse como un indicador de la capacidad de controlar el flujo de información por parte de ese nodo, en nuestro caso cada uno de los países iberoamericanos.

De la misma forma que con el grado normalizado, analizado anteriormente, el Gráfico 29 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y su intermediación en el eje y. En este caso, también se puede observar la evolución de cada país en el contexto de la red, dado que los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los de 2007 en rojo. Una vez más, se ha trazado en el gráfico una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada país con respecto al conjunto. La Tabla 2 presenta los datos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en nanotecnología en ambos años.

La primera evidencia es que la intermediación de España, a pesar del incremento de su participación en la producción regional entre 2000 y 2007, ha decrecido. De esta manera, la posición de este país en la red se ha vuelto menos crítica, dado que ahora existen más caminos que unen a los países de la región sin la necesidad de pasar por el de mayor producción. Esto es consistente con el aumento de la densidad de la red comentado anteriormente y de la integración creciente del espacio iberoamericano.

> GRÁFICO 29 :: Intermediación y participación en la producción iberoamericana



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS

Brasil y Argentina, en cambio, aumentan fuertemente su intermediación, tanto en términos absolutos como en el contexto de la red iberoamericana de nanotecnología. De esta forma, ante la posición menos crítica de España en la red de colaboración de 2007, estos países adquieren una posición de articulación más importante dentro de la red, sirviendo de puente para la conexión de países de menor desarrollo relativo en esta materia.

Por el contrario, México, el tercer país en cuanto a volumen de producción, presenta un descenso muy fuerte de su intermediación en la red, pasando de un valor de 0,098 en 2000 a un 0,022 en 2007. De esta manera, a pesar de estar conectado de manera directa con los nodos más relevantes de la red, no aparece como un nodo de importancia para el flujo de información entre los países de menor producción.

Portugal, por su parte, apenas incrementa su intermediación en el período analizado. En 2000 su valor de intermediación era de 0 y en 2007 de 0,006.

En conclusión, analizando el conjunto de la red, el volumen de la producción científica de los países y sus relaciones mutuas, se hace evidente la importancia creciente que tiene el espacio iberoamericano del conocimiento, en el campo de la nanotecnología. Además, es importante destacar que la colaboración regional es aún más importante para los países de desarrollo medio, que parecen haber encontrado en la cooperación iberoamericana un terreno propicio para la consolidación de sus capacidades en investigación y desarrollo.

> TABLA 2 :: Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana

PAIS	Participación en la producción iberoamericana - 2000	Intermediación 2000	Participación en la producción iberoamericana- 2007	Intermediación 2007
ESPAÑA	44,24%	0,187	50,45%	0,176
BRASIL	25,71%	0,095	25,54%	0,168
MEXICO	12,82%	0,098	11,17%	0,022
PORTUGAL	6,87%	0,000	10,48%	0,006
ARGENTINA	7,38%	0,000	7,26%	0,090
CHILE	2,33%	0,093	2,87%	0,096
COLOMBIA	2,53%	0,002	1,28%	0,004
VENEZUELA	2,07%	0,020	1,11%	0,000
CUBA	2,46%	0,013	1,02%	0,068
URUGUAY	0,26%	0,000	0,51%	0,000
PERU	0,26%	0,000	0,39%	0,006
PANAMA	0,06%	0,000	0,18%	0,000
ECUADOR	0,13%	0,000	0,15%	0,002
COSTA RICA	0,19%	0,000	0,12%	0,000
BOLIVIA	0,06%	0,000	0,06%	0,000

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

3.5. El entramado institucional de la nanotecnología

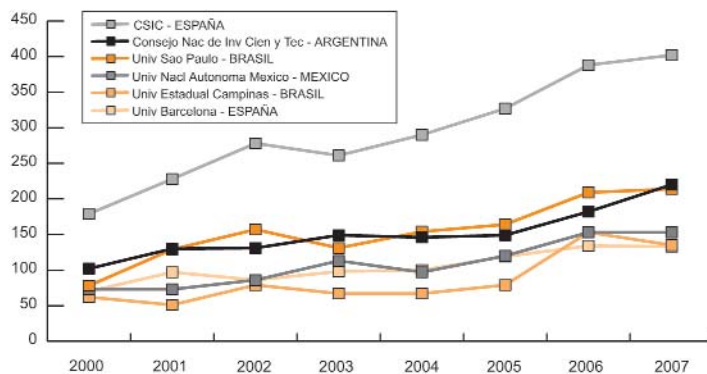
De la misma manera en que la producción iberoamericana en nanotecnología se concentra fuertemente en uno pocos países, la distribución institucional sigue patrones similares. Si bien existen más de mil instituciones con al menos un artículo en nanotecnología registrado en SCI entre 2000 y 2007, una veintena de ellas participan en la mitad de la producción total en ese período.

Antes de analizar comparativamente la producción científica a nivel institucional, es importante considerar que existen particularidades en las estructuras de los sistemas científicos de los países iberoamericanos. Si bien el grueso de la investigación que tiene como canal de difusión la publicación en revistas internacionales se da en las universidades, en los casos de España y Argentina existen consejos que, agrupando centros ejecutores de I+D (algunos de ellos con dependencia mixta con universidades), tienen una presencia muy fuerte en la producción científica.

Estos consejos aparecen en los primeros lugares en cuanto a volumen de producción, pero hay que tener en cuenta que se trata de conformaciones institucionales distintas a las de las universidades. El caso del CONICET argentino es muy claro en ese sentido, dado que en alrededor del 75% de sus publicaciones existe participación de las distintas universidades de ese país, ya sea por ser sede de centros mixtos o por ser lugar de trabajo de investigadores financiados por el Consejo. Es así como existe un solapamiento institucional que impulsa el desempeño de este tipo de organizaciones.

La institución iberoamericana con mayor presencia en las publicaciones de nanotecnología en el SCI es el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) español. Además de su importancia en volumen, participando en 11,8% de la producción iberoamericana en nanotecnología, presenta un fuerte ascenso que lo lleva a un incremento de más del 100% entre 2000 y 2007 (Gráfico 30).

> GRÁFICO 30 :: Evolución de las publicaciones de instituciones iberoamericanas en SCI



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS

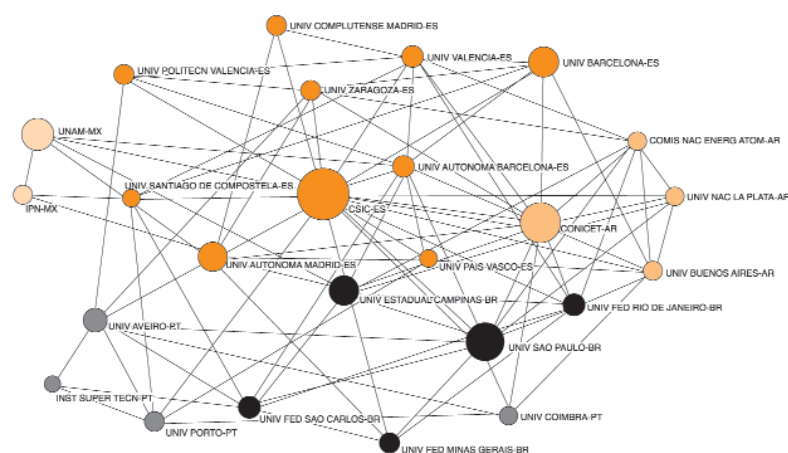
A continuación aparecen, con trayectorias relativamente similares y volúmenes de producción equivalentes, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) argentino y la brasileña Universidad de San Pablo. Ambas participando en alrededor del 6% de la producción total de Iberoamérica entre 2000 y 2007. El crecimiento más fuerte, sin embargo, es el de la Universidad brasileña, cuyo crecimiento entre puntas asciende al 174%, en comparación con el 114% registrado por la institución argentina. De esta manera se despega, a partir de 2000, del resto de las universidades con fuerte presencia en esta temática.

Luego, completando los primeros seis lugares, aparecen tres universidades que comparten también trayectorias similares: la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Estadual de Campinas y la Universidad de Barcelona. Mientras la institución mexicana y la brasileña tienen trayectorias muy parejas, la española presenta un crecimiento más marcado a partir de 2005, compensando su menor crecimiento desde 2002.

El Gráfico 31 presenta la red de colaboración entre las veinticinco instituciones iberoamericanas con mayor producción en nanotecnología en 2007. El volumen de los nodos da cuenta de la cantidad de publicaciones, mientras que los lazos representan artículos firmados en común y su grosor está dado por la cantidad de copublicaciones. Los artículos firmados por más de una institución han sido contabilizados por entero para ambas. Los colores de los nodos han sido asignados de acuerdo al país de la institución que representan, rojo para España, negro para Brasil, gris para Portugal, verde para México y azul para Argentina.

Para la disposición de la red en el plano se ha aplicado el algoritmo de Kamada-Kawai, que busca distribuir los nodos a distancias lo más uniformes posible y con la menor cantidad de cruces entre los enlaces, asignando fuerzas a cada uno de ellos como si fueran elásticos. La aplicación de este algoritmo tiene dos consecuencias que pueden apreciarse a simple vista. Por un lado, el centro del gráfico es ocupado por los nodos más conectados y, por el otro, los nodos más conectados entre sí tienden a agruparse en el espacio.

> GRÁFICO 31 :: Red de instituciones iberoamericanas (2007)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Consecuentemente, el centro del gráfico está ocupado por el CSIC, la institución más productiva en este año y con mayor número de enlaces, siendo la principal articuladora de la colaboración iberoamericana en nanotecnología. Las intensas relaciones del CSIC están apoyadas en buena medida en su política de establecer convenios de cooperación científica con los países latinoamericanos, y que están vigentes para la mayor parte de los países de la región.

Al mismo tiempo, las instituciones se agrupan en el espacio de acuerdo al país al que pertenecen, dado que tienen mayores niveles de colaboración entre sí que con el conjunto de la red. La única excepción es la portuguesa Universidad de Coimbra, cuyos fuertes lazos con instituciones brasileñas y argentinas la desplazan del resto de las instituciones de ese país.

Entre las veinticinco instituciones presentadas, diez son españolas. En el gráfico se pueden observar, además de la importancia del CSIC tanto para el sistema español como para la red regional, los fuertes lazos con las instituciones argentinas, ya evidenciados en los indicadores de cooperación internacional vistos anteriormente. Ocho de las instituciones españolas presentadas tienen vinculación directa con colegas argentinos, mientras que sólo cinco se vinculan con pares brasileños y tan sólo tres con pares mexicanas.

Las instituciones argentinas entre las veinticinco más productivas de iberoamérica son cuatro: el CONICET, que articula la mayor parte de las relaciones dentro de esta red, la Universidad del Buenos Aires (UBA), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Mientras que a nivel internacional la UBA se conecta sólo de manera directa con el CSIC y la Universidad de Barcelona, el CONICET y la CNEA tienen también vinculación con las universidades brasileñas de San Pablo, Río de Janeiro y Campinas.

Las universidades brasileñas presentes en este conjunto se encuentran fuertemente conectadas, tanto entre ellas como a nivel internacional. Se destaca entre ellas la Universidad de Campinas, que se relaciona de forma directa con más de la mitad de las veinticinco instituciones analizadas en este caso. Es además la única institución de ese país que se relaciona con colegas mexicanos.

México cuenta con dos instituciones en el grupo de las veinticinco más productivas en este campo a nivel iberoamericano. Se trata de la UNAM y del Instituto Politécnico Nacional. A pesar de ser el tercer país de la región en cuanto a volumen de producción, las instituciones mexicanas no se encuentran fuertemente relacionadas a nivel regional. Ambas se relacionan con la Universidad de Campinas, el CSIC y la Universidad de Santiago de Compostela, mientras que la UNAM cuenta también con vinculaciones con la Universidad Autónoma de Barcelona.

Portugal, por último, cuenta con cuatro instituciones entre las veinticinco más productivas de la región en 2007. Se trata de las universida-

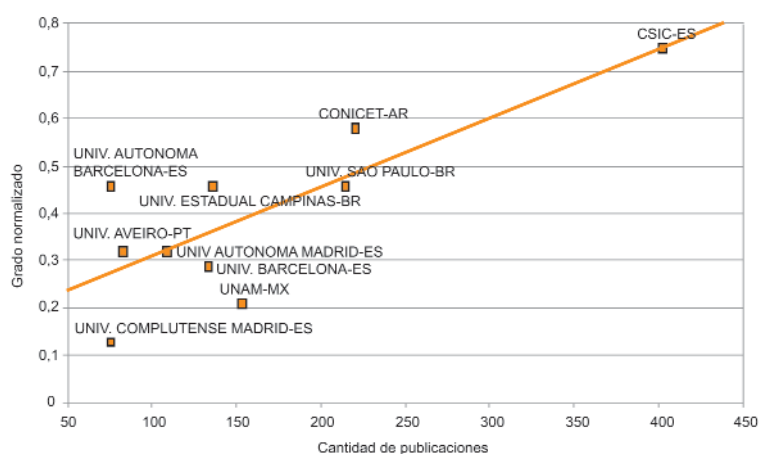
des de Aveiro, Porto y Coimbra, junto con el Instituto Superior Técnico. Más allá de su fuerte relación entre sí, la Universidad de Porto se vincula con el CSIC, la Universidad del País Vasco y la Universidad Autónoma de Barcelona, entre las instituciones aquí analizadas. La Universidad de Aveiro, en cambio, tiene relaciones con varias instituciones españolas y, seguramente favorecidas por el idioma común, con dos universidades brasileñas. Como ya se mencionó, la Universidad de Coimbra cuenta con lazos orientados hacia América Latina, en particular con la Universidad de San Pablo, el CONICET y la Universidad de Buenos Aires.

Al igual que en el análisis de las redes internacionales de colaboración, y con el fin de dar cuenta de la relación entre el volumen de publicaciones de una institución y sus vinculaciones, en el Gráfico 32 se distribuyen las instituciones analizadas en un plano definido por la cantidad de artículos publicados en SCI durante 2007 en el eje x y el grado normalizado (relaciones efectivas / relaciones posibles) de cada nodo en el eje y. Se ha trazado también una línea de regresión para poder observar la posición relativa de cada uno con respecto al conjunto. El gráfico sólo incluye las diez instituciones más productivas en 2007, mientras que los datos para la totalidad de las instituciones observadas en este apartado se presentan en la Tabla 3.

El CSIC, la institución con mayor producción a nivel regional, tiene también la mayor centralidad medida mediante el grado y se sitúa sobre la línea de regresión. La Universidad de San Pablo, con un volumen de producción menor, se ubica también en un punto equilibrado de publicaciones y centralidad con respecto a la muestra de las diez instituciones más productivas de Iberoamérica en este campo. El CONICET, en cambio, con un volumen de artículos similar al de la universidad brasileña, presenta una centralidad bastante mayor, dando cuenta de sus fuertes relaciones a nivel regional.

Otras dos instituciones se destacan por la diversidad de sus vínculos en relación con el volumen de su producción. El primer caso es el de la Universidad Estadual de Campinas, que con sólo el 63% de la producción de la Universidad de San Pablo, tiene un valor equivalente en el indicador de grado. Esta alta tasa de colaboración puede estar sustentada en buena medida en la disponibilidad de equipamiento crítico para la investigación en nanotecnología, dado que en esa ciudad tiene sede el único sincrotrón del hemisferio sur, ubicado en el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón.

> GRÁFICO 32 :: . Cantidad de publicaciones y grado normalizado (2007)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS

Un caso similar es el de la Universidad Autónoma de Barcelona, que con incluso menos volumen de producción alcanza una centralidad similar a la de las principales universidades brasileñas en la red de nanotecnología. Se trata de una universidad española con fuerte presencia en este campo y que cuenta con fuertes iniciativas tanto en investigación como en formación de recursos humanos en nanotecnología.

Por el contrario, la institución que menos vinculaciones presenta en la red de las veinte más productivas en nanotecnología es la UNAM, que a pesar de ser la cuarta en cuanto a cantidad de artículos en 2007, presenta uno de los niveles más bajos de centralidad entre las diez primeras.

El otro caso de escasa vinculación regional es la Universidad Complutense de Madrid, que mantiene en 2007 un nivel de centralidad aún menor que la UNAM, aunque con la mitad de su volumen de producción. Esta universidad española sólo cuenta con vínculos con otras tres de las veinticinco más productivas a nivel iberoamericano, todas ellas españolas.

> TABLA 3 :: Publicaciones y grado normalizado de las veinte principales instituciones (2007)

Instituciones	Cantidad de publicaciones	Grado normalizado
CSIC-España	402	0,75
CONICET-Argentina	220	0,58
UNIV SAO PAULO-Brasil	214	0,46
UNAM-México	153	0,21
UNIV ESTADUAL CAMPINAS-Brasil	135	0,46
UNIV BARCELONA-España	133	0,29
UNIV AUTONOMA MADRID-España	108	0,32
UNIV AVEIRO-Portugal	82	0,32
UNIV COMPLUTENSE MADRID-España	75	0,13
UNIV AUTONOMA BARCELONA-España	75	0,46
UNIV FED SAO CARLOS-Brasil	74	0,32
UNIV VALENCIA-España	73	0,38
UNIV POLITECN VALENCIA-España	67	0,21
UNIV FED RIO DE JANEIRO-Brasil	67	0,38
UNIV ZARAGOZA-España	62	0,29
UNIV PORTO-Portugal	59	0,25
UNIV BUENOS AIRES-Argentina	58	0,37
UNIV FED MINAS GERAIS-Brasil	56	0,21
COMIS NAC ENERG ATOM-Argentina	52	0,34
IPN-México	51	0,13
UNIV NAC DE LA PLATA - Argentina	48	0,25
UNIV PAIS VASCO - España	48	0,25
UNIV COIMBRA - Portugal	47	0,21
UNIV SANT DE COMPOSTELA - España	45	0,29
INST SUPER TECN - Portugal	44	0,13

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

3.6. La composición disciplinar de la nanotecnología

Las herramientas de análisis de redes permiten dar cuenta de la estructura de la investigación en el complejo y multidisciplinario campo de la nanotecnología. Una fuente de gran calidad para ello son las citas a otros documentos que los autores incluyen en sus artículos, ya que de ellas puede extraerse el marco de referencia general sobre los temas a los que hacen referencia. Esas citas señalan trabajos en otras revistas, a las que las bases de datos internacionales como el SCI asignan disciplinas. Asumiendo que si un autor cita trabajos de dos disciplinas diferentes es porque su labor está vinculada a ambas, es posible construir una red a partir de la citación conjunta de disciplinas en un conjunto de artículos científicos. A modo de ejemplo, si los autores que producen en el campo de la nanotecnología citan de manera conjunta

artículos publicados en revistas dedicadas a la física y trabajos aparecidos en revistas dedicadas a la química, es posible asumir que se trata de dos disciplinas fuertemente vinculadas en las actividades de investigación en nanotecnología. Este análisis, llevado a campos disciplinarios más detallados resulta muy útil para observar las tendencias, orientaciones y estructuras básicas de la investigación en los diferentes países⁴.

En el Gráfico 33 se observa la red de disciplinas científicas que se construye a partir de las co-citaciones para el total de los artículos en nanotecnología publicados en 2007, que cuenta con un total de 106 disciplinas citadas. El volumen de los nodos representa la cantidad de citas recibidas por cada disciplina y la intensidad de los lazos da cuenta de las veces en que esas disciplinas han sido citadas a la vez en los artículos recopilados. Para una mejor visualización y análisis, se ha recurrido una vez más a las técnicas de poda utilizadas en las redes de países presentadas anteriormente.

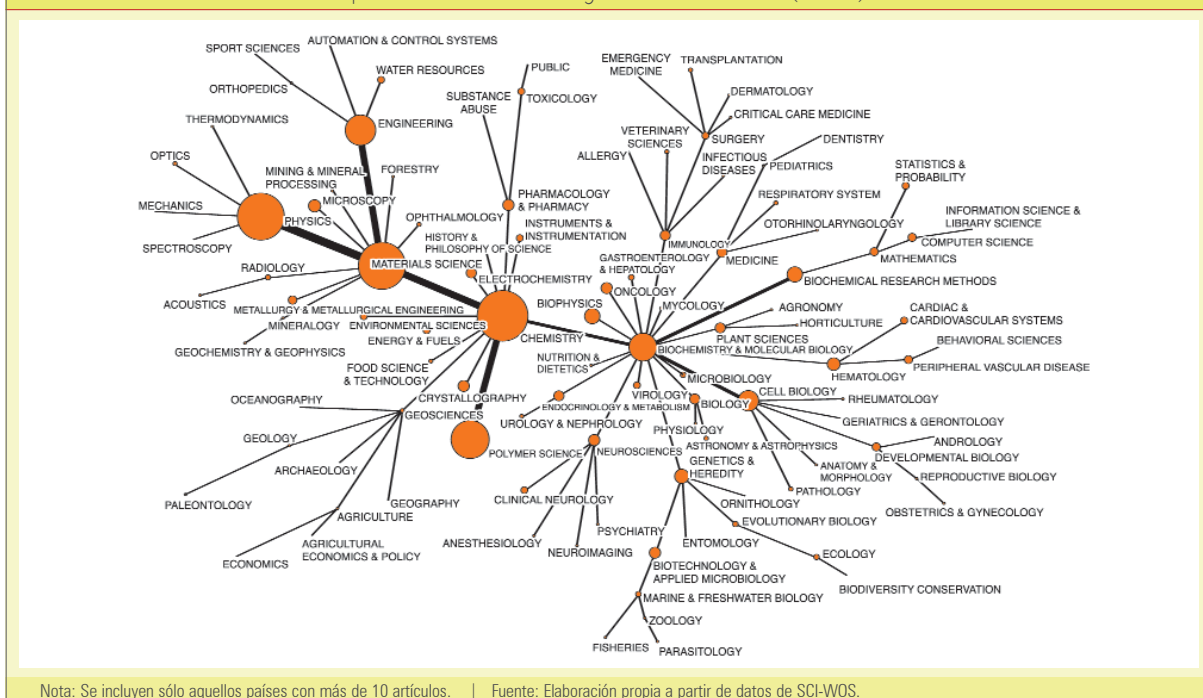
En términos de la gran cantidad de citas que reciben, pero también de la fuerte intensidad de las relaciones existentes entre ellas, se destacan fuertemente seis disciplinas: Química (14.688 citas), Ciencia de los materiales (12.489), Física (12.084), Ciencia de los polímeros (7.244), Ingeniería (5.537), y Bioquímica y biología molecular (4.600).

La disciplina con más citas, Química, funciona como núcleo de un primer bloque temático susceptible de ser delimitado en el entramado general. Ella presenta fuertes relaciones con otras tres importantes disciplinas antes mencionadas, como Ciencia de los materiales, Ciencia de los polímeros, y Bioquímica y biología molecular. A su vez, está vinculada con varias áreas más pequeñas: Cristalografía, Instrumentos e instrumentación, Electroquímica, Farmacología y farmacia (y a través de ella, con Toxicología y Abuso de sustancias), Ciencia y tecnología de los alimentos, Ciencias del ambiente, Energía y combustible, y Geociencias (y a través de ella, con Agricultura, Agricultura económica y política, Economía, Geografía, Arqueología, Geología, Paleontología y Oceanografía), entre otras.

Un segundo bloque temático fuertemente conectado entre sí, está conformado por otras tres importantes disciplinas referidas más arriba: Ciencia de los materiales, Física e Ingeniería. Las notorias vinculaciones entre Ciencias de los Materiales e Ingeniería están hablando, a nivel de la producción científica, de importantes desarrollos en productos en el área de los nanomateriales, mientras que la ausencia de relaciones directas entre Física e Ingeniería podría estar revelando una vacancia científica relacionada con el área de los nanodispositivos. Cada uno de estos tres nodos unidos entre sí por una relación triangular mantiene, a su vez, relaciones básicamente radiales con otras disciplinas: Ciencia de los materiales se conecta con Metalurgia e ingeniería metalúrgica, Microscopía, Radiología, Acústica, Mineralogía, Minería y procesamiento de minerales, entre otras; Física se vincula con Óptica, Termodinámica, Mecánica y Espectroscopia; e Ingeniería se conecta con Recursos del agua, Automatización y sistemas de control, Ortopedia y Ciencias del deporte.

4. Para mayor información sobre la visualización de grandes dominios de información mediante análisis de redes sociales ver Moya-Anegón *et al* (2005) y Moya-Anegón *et al* (2007).

> GRÁFICO 33 :: Red de disciplinas en nanotecnología a nivel mundial (2007)

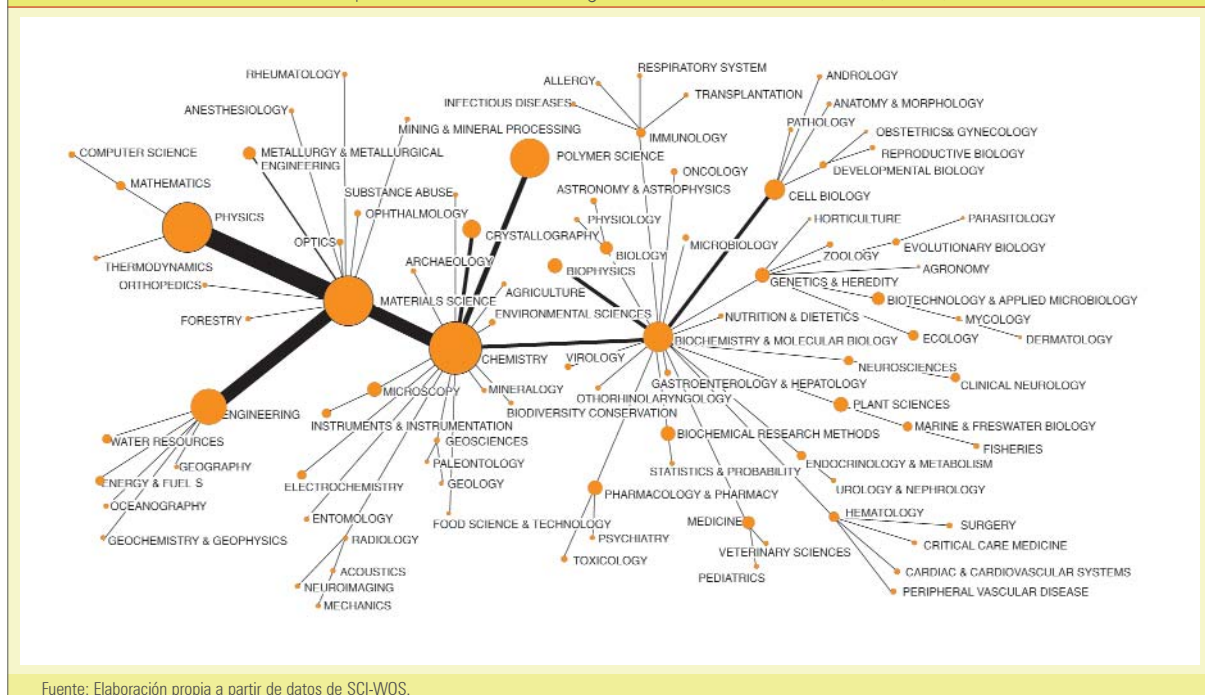


Finalmente, es posible distinguir un tercer bloque temático articulado alrededor de Bioquímica y biología molecular. Cabe destacar que se trata de la subred que presenta la mayor cantidad de disciplinas científicas conectadas entre sí y con el área central, dando lugar a una estructura fuertemente ramificada, aunque estando aislada de las disciplinas principales antes mencionadas. Entre las principales "ramas" que componen este árbol temático se encuentran, en orden decreciente de citas recibidas:

- :: **Biología celular** (a través de la cual se conectan Biología del desarrollo -y con ella, Biología reproductiva, Obstetricia y ginecología, y Andrología-, Anatomía y morfología, Geriátrica y gerontología, Reumatología y Patología);
- :: **Métodos de investigación bioquímicos** (a través de los cuales se conectan Matemáticas, Ciencia de la computación, y Estadísticas y Probabilidad);
- :: **Biofísica**;
- :: **Genética y herencia** (a través de la cual se vinculan Biotecnología y microbiología aplicada -y con ella, Biología marina y de agua dulce, Zoología, Parasitología e Industria pesquera-, Biología evolutiva -y con ella, Ecología y Conservación de la biodiversidad-, Entomología y Ornitología);
- :: **Hematología** (a través de la cual se conectan Sistemas cardíacos y cardiovasculares, Enfermedades vasculares periféricas y Ciencias del comportamiento);
- :: **Neurociencias** (a través de las cuales se articulan Neurología clínica, Anestesiología, Psiquiatría y Neuroimágenes);
- :: **Oncología**;
- :: **Medicina** (a través de la cual se conectan Otorrinolaringología, Sistema respiratorio, Pediatría y Odontología);
- :: **Biología** (a través de la cual se vinculan Astronomía y astrofísica, y Fisiología);
- :: **Endocrinología y metabolismo** (a través de la cual se vinculan Urología y necrología);
- :: **Inmunología** (a través de la cual se conectan Cirugía -y con ella, Transplante, Dermatología, Medicina de emergencia y Medicina de cuidados críticos-, Enfermedades infecciosas, Ciencias veterinarias y Alergia).

En el Gráfico 34 se presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para los artículos en nanotecnología del conjunto de Iberoamérica publicados en 2007, que cuenta con 93 disciplinas citadas. Se trata de una red temática prácticamente idéntica a la del total mundial, tanto por las disciplinas referenciadas (todas ellas las más importantes en la red mundial) como por su estructura básica de nodos centrales y de interrelaciones entre las diferentes disciplinas, aunque con algunas ramificaciones menos -como resulta lógico por el menor número de temas-.

> GRÁFICO 34 :: Red de disciplinas en nanotecnología a nivel iberoamericano (2007)



Las disciplinas principales en la red iberoamericana son, siguiendo la tendencia mundial, Química (con 936 citas), Física (862), Ciencia de los materiales (849), Ingeniería (388), Ciencia de los polímeros (385), y Bioquímica y biología molecular (242).

Al igual que en la red del total mundial, en el entramado iberoamericano es posible delimitar tres importantes bloques temáticos: uno articulado alrededor de Química, la principal disciplina en términos cuantitativos; otro fuertemente conectado entre sí, conformado fundamentalmente por la trilogía Ciencia de los materiales-Física-Ingeniería; y finalmente un bloque temático organizado alrededor de Bioquímica y biología molecular, que a su vez resulta la subred de disciplinas con mayores ramificaciones (y la que más disciplinas interrelaciona, 52 de las 93 presentes en la región).

Sin embargo, algunas diferencias entre la estructura de citaciones de los artículos iberoamericanos y la red emergente del total mundial de publicaciones pueden ser destacadas:

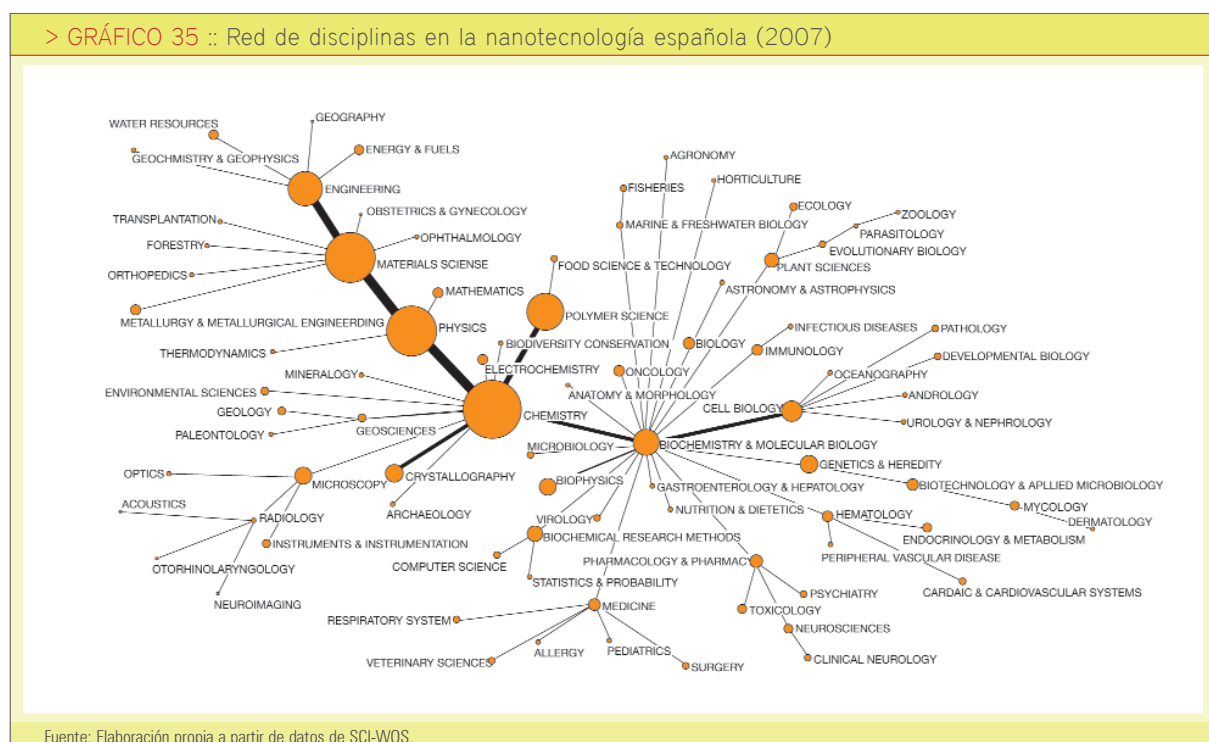
- :: en la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica en 2007, Farmacología y farmacia (62 citas) (y a través de ella, Toxicología y Psiquiatría) está relacionada con Bioquímica y biología molecular, a diferencia de la red mundial en la que aparece conectada con Química;
- :: Microscopía (61 citas) está articulada a Química en la red iberoamericana, mientras en la red mundial aparece directamente relacionada con Ciencia de los materiales;
- :: Matemáticas (41 citas) (y a través de ella, Ciencias de la computación) aparece articulada a Física, mientras en el total mundial

está vinculada a Bioquímica y biología molecular a través de Métodos de investigación bioquímicos; y

:: Energía y combustible (29 citas) aparece vinculada a Ingeniería (junto con Recursos del agua, Geografía, Oceanografía, y Geoquímica y geofísica), en lugar de a Química como en el total mundial.

Los Gráficos 35 a 39 presentan las redes temáticas actuales correspondientes a los cinco principales países de Iberoamérica en materia de producción científica en nanotecnología. Es importante señalar que en los cinco casos se observan grandes similitudes con la red emergente para el conjunto regional, tanto en términos de presencia de las disciplinas con más citas en la red iberoamericana, como de la estructura básica de nodos principales e interrelaciones. Sin embargo, y a partir de una comparación más detallada, también es posible identificar algunas particularidades locales. También cabe advertir que en aquellos países con menor volumen de producción científica relativa (México, Portugal y Argentina) algunas asociaciones temáticas entre disciplinas de escaso volumen son el resultado de muy pocas publicaciones (o inclusive, de una sola), por lo que no serán tenidas en cuenta en el análisis.

En el Gráfico 35 se muestra la red temática resultante de las co-citaciones correspondientes a los artículos españoles en nanotecnología en 2007. Es una red compuesta por 83 disciplinas, cuya composición temática y estructura de nodos centrales resultan casi idénticas a las observadas en la red del conjunto de Iberoamérica, pero con algunas interesantes diferencias en las relaciones entre algunas disciplinas claves.

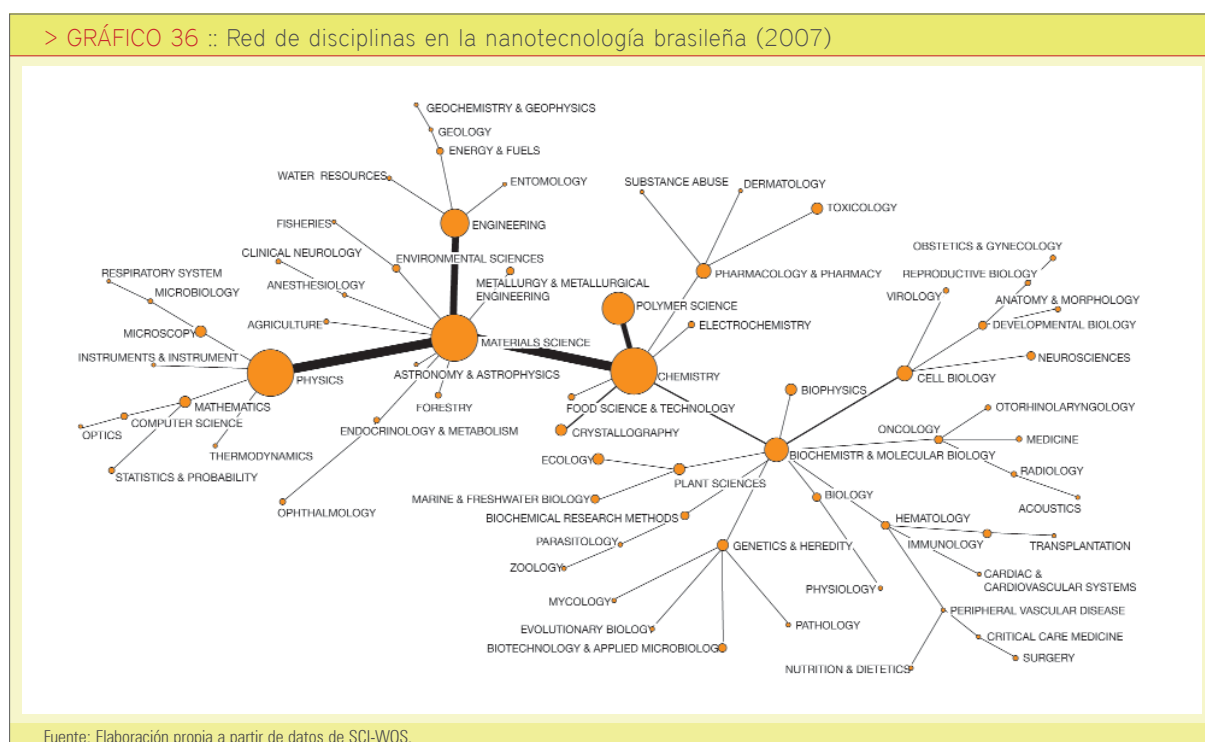


Una primera diferencia a destacar tiene que ver con los vínculos entre las principales disciplinas en materia de producción científica en nanotecnología. Se observa una fuerte interconexión lineal entre Química, Física, Ciencia de los materiales e Ingeniería, marcando una importante divergencia tanto con la estructura de la red mundial como con la del conjunto iberoamericano (ambas con Ciencia de los materiales mediando entre Química y Física).

Una segunda diferencia interesante es que Microscopía, que está vinculada al gran bloque temático de Química al igual que en la red iberoamericana, articula ella misma no sólo a Instrumentos e instrumentación (como lo hace en la red regional) sino también a Óptica y Radiología (que a su vez presenta tres pequeñas "ramificaciones" temáticas producidas a partir de Acústica, Otorrinolaringología y Neuroimágenes).

Finalmente, una tercera diferencia observada es que las disciplinas y sub-disciplinas Ecología y Biología del desarrollo (y, a través de esta última, Parasitología y Zoología), aparecen conformando una pequeña subred temática alrededor de Ciencias de las plantas (en lugar de articularse a Genética y herencia, como en la red general de Iberoamérica), conectada a su vez (en ambos casos) con el bloque Bioquímica y biología molecular.

El Gráfico 36 presenta la red de disciplinas elaborada a partir de las co-citaciones realizadas por los artículos brasileños en nanotecnología publicados en 2007. Se trata de una red temática de desarrollo intermedio, compuesta por 71 disciplinas y cuya estructura básica resulta muy similar a la del total iberoamericano, aunque considerando que la mayor parte de sus "ramificaciones" tienen una escala sensiblemente menor.



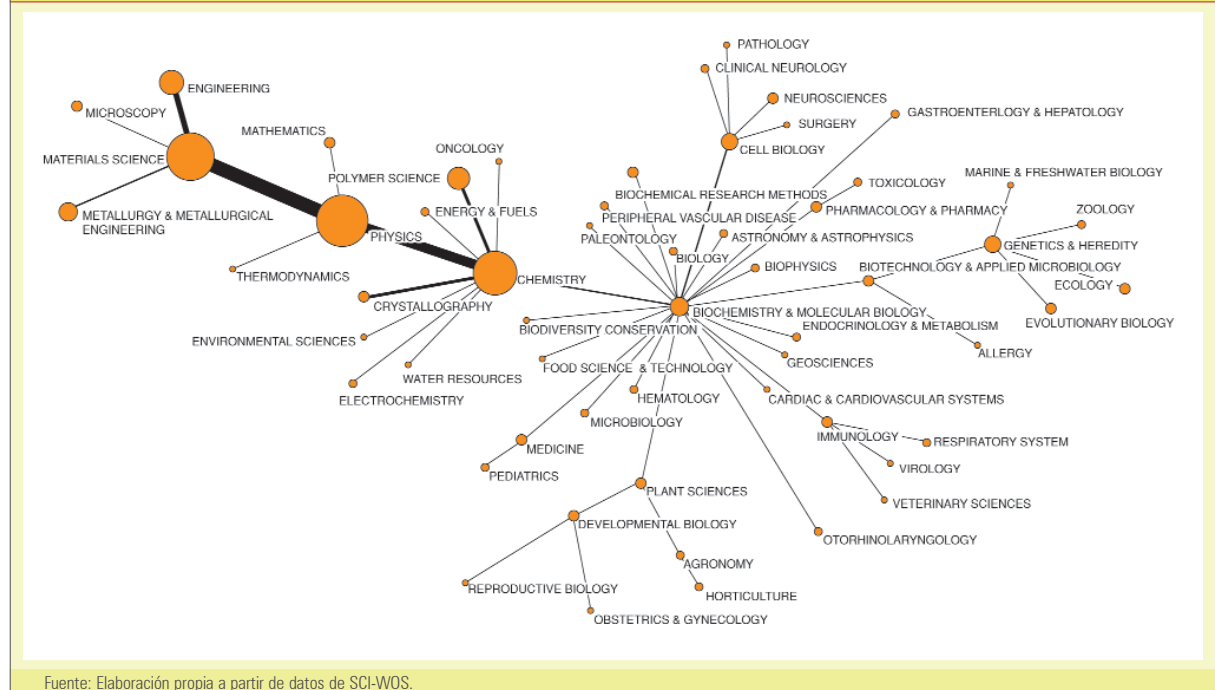
Con todo, pueden señalarse algunas pequeñas diferencias. La primera es que, conectada a Física aparece citada en los artículos brasileños una disciplina científica que en la red correspondiente al total iberoamericano de artículos está vinculada con Química: Microscopía (y a través de ella, Microbiología y Sistema respiratorio). La segunda diferencia reside en que, conectada a Ciencia de los materiales aparece Ciencias del ambiente, vinculada a Química en la red iberoamericana. La tercera diferencia es que Farmacología y farmacia, conectada con Bioquímica y biología molecular en la red del total iberoamericano, aparece articulada a Química en el caso brasileño.

Por último, se observa que, a partir de Oncología -disciplina relacionada directa o indirectamente con Bioquímica y biología molecular en las redes temáticas analizadas- en el caso de la red confeccionada en base a las citaciones de los investigadores brasileños se observa la aparición de tres pequeñas "ramificaciones" del árbol con la articulación con Medicina, Radiología (y a través de ella, Acústica) y Otorrinolaringología. Este detalle puede dar cuenta de una cierta especialización brasileña en la investigación nanotecnológica más vinculada con las ciencias de la salud.

En el Gráfico 37 se expone la red de disciplinas emergente de las co-citaciones realizadas por los artículos mexicanos en nanotecnología en 2007, que está compuesta por 57 disciplinas y tiene una estructura básica similar a la del total iberoamericano especialmen-

te en cuanto a las principales disciplinas que articula, aunque presenta pocas "ramificaciones" en los nodos que concentran la mayor cantidad de citas.

> GRÁFICO 37 :: Red de disciplinas en la nanotecnología mexicana (2007)



Se observa la conexión lineal entre Química, Física, Ciencia de los materiales e Ingeniería identificada en el caso español (a diferencia de la red iberoamericana, con Ciencia de los materiales mediando entre Química y Física, y con Ingeniería poco involucrada en el campo, también a diferencia de la red del conjunto regional), lo cual puede estar relacionado con el hecho de que España es el segundo país de copublicación internacional de México en nanotecnología.

Asimismo, se observan algunas diferencias en las agrupaciones entre disciplinas y sub-disciplinas científicas articuladas a Bioquímica y biología molecular. Entre ellas, cabe señalar que Biología del desarrollo (y a través de ella, Biología reproductiva, y Obstetricia y Ginecología) y Agronomía (y a través de ella Horticultura) aparecen conformando una pequeña subred temática alrededor de Ciencias de las plantas (en lugar de relacionarse con Genética y herencia, o Biología celular, como en la red general de Iberoamérica).

El Gráfico 38 muestra la red de disciplinas emergente de las co-citaciones realizadas por los artículos portugueses en nanotecnología, compuesta por 62 disciplinas y con una estructura básica bastante parecida en términos generales a la del total iberoamericano especialmente en cuanto a las disciplinas y sub-disciplinas que articula. Un conjunto de diferencias con ella puede, no obstante, marcarse al examinarlas en clave comparada.

Una primera diferencia significativa es que el bloque temático central no es Química como en las demás redes analizadas hasta aquí, sino Ciencia de los materiales (posicionada en el tercer lugar en la red iberoamericana según la cantidad de citas recibidas).

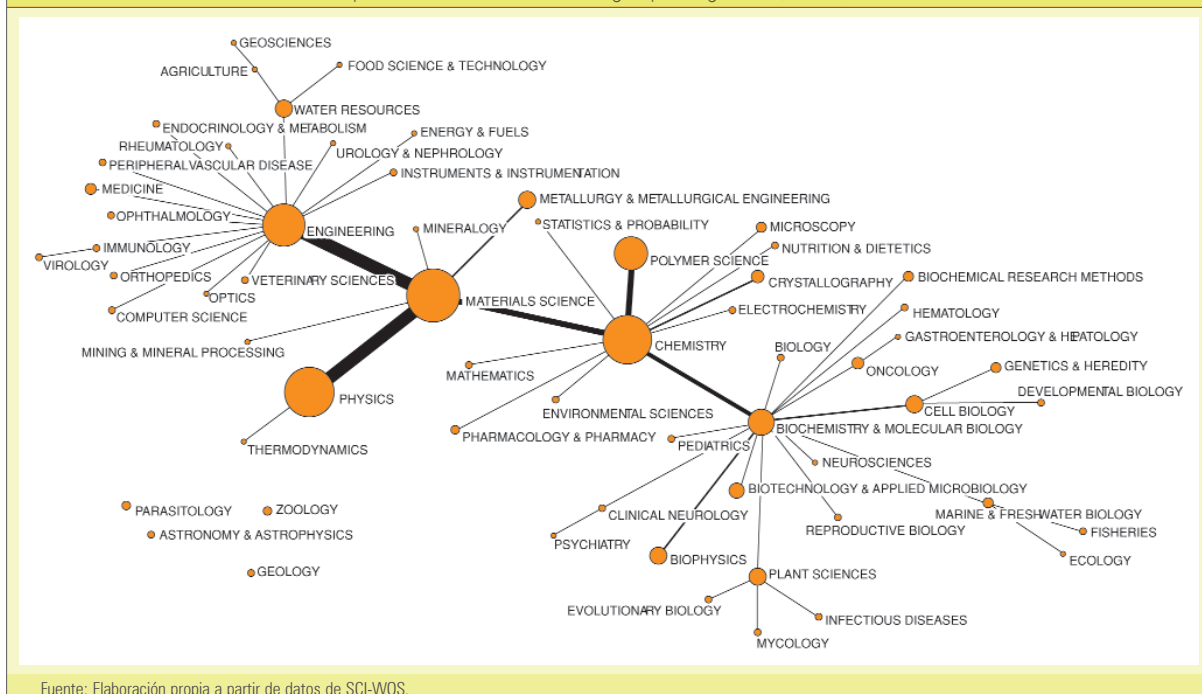
Una segunda diferencia a destacar está dada por las "ramificaciones" que presenta el bloque temático Ingeniería, situación única entre las redes consideradas y que podría estar indicando el interés local en desarrollar aplicaciones en este área. Se trata de una estructura básicamente radial, que articula casi a la tercera parte (18) de las disciplinas de la red nacional: Recursos del agua (y, a través de ella, Agricultura,

Geociencias, y Ciencia y tecnología de los alimentos), Endocrinología y metabolismo, Medicina, Inmunología (y a través de ella, Virología), Oftalmología, Ortopedia, Óptica, Ciencias veterinarias, Ciencias de la computación, Instrumentos e instrumentación, entre otras.

Una tercera diferencia importante está dada por la presencia de una estructura poco ramificada alrededor de Bioquímica y biología molecular. Si bien articula a 22 disciplinas portuguesas, la proporción es notablemente menor (dos terceras partes frente a más de la mitad) a la de las "ramificaciones" que muestra este gran bloque temático en la red emergente para el conjunto de la producción científica en nanotecnología de Iberoamérica.

Finalmente, se observan algunas disciplinas y sub-disciplinas desconectadas: Parasitología, Zoología, Astronomía y astrofísica, y Geología, todas ellas con pocas citas.

> GRÁFICO 38 :: Red de disciplinas en la nanotecnología portuguesa (2007)



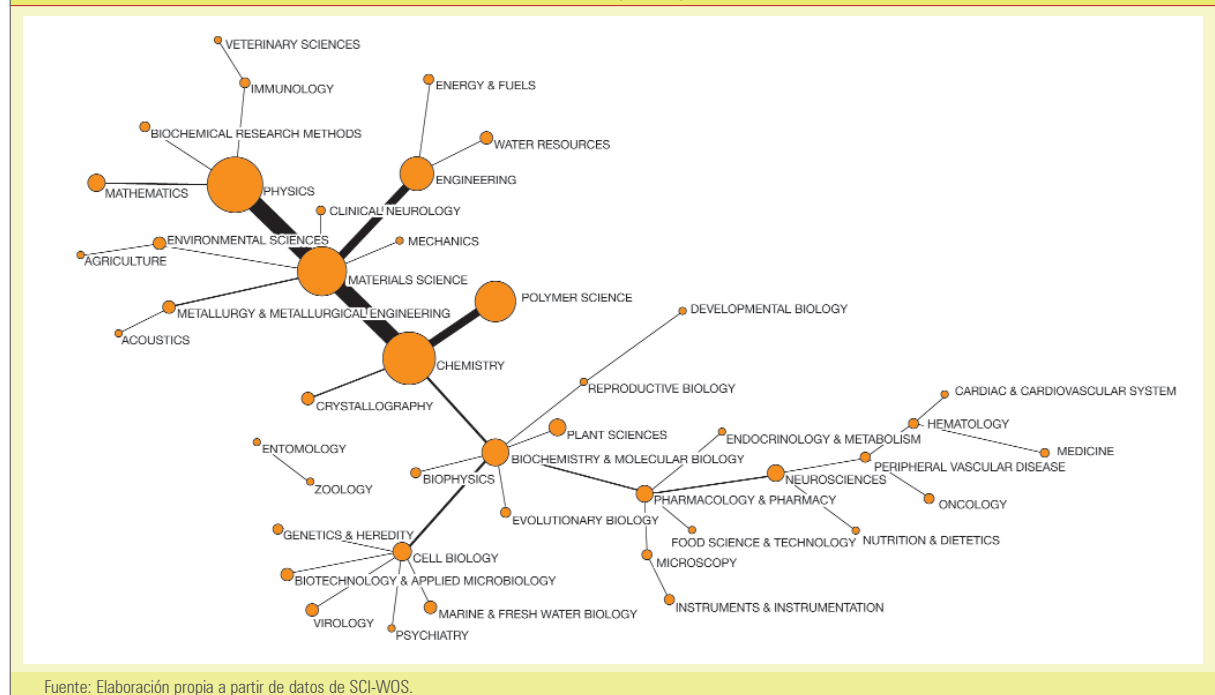
Para concluir con esta sección, en el Gráfico 39 se presenta la red de disciplinas científicas construida a partir de las co-citaciones para los artículos en nanotecnología publicados por investigadores argentinos en 2007.

Su tamaño, en términos de cantidad de nodos, es prácticamente la mitad de la red correspondiente al total iberoamericano, recuperándose en este caso 45 disciplinas citadas. Se conservan las principales disciplinas líderes (por cantidad relativa de citas e intensidad de las relaciones que articulan) observadas para el total regional, así como la estructura básica de los principales vínculos entre ellas, pero con valores de citas muy pequeños dado el volumen mucho menor de la producción científica argentina en las bases de datos consideradas. Las conexiones más fuertes se producen entre las tres primeras disciplinas: Física, Ciencia de los materiales (intensamente vinculada a Ingeniería) y Química (intensamente conectada, a su vez, con Ciencia de los polímeros).

Puede afirmarse que, a pesar de contar con una complejidad y diversificación mucho menor, el campo representado por las co-citaciones de los artículos argentinos da cuenta de la estructura básica general de la red tanto a nivel mundial y a nivel iberoamericano, lo que muestra un campo consolidado pero que aún no alcanza el nivel de desarrollo de la frontera científica en nanotecnología. Las principales diferencias

recaen en la ausencia de nodos menores y con posiciones periféricas a las disciplinas centrales, pero que están más bien asociadas a aplicaciones tecnológicas de las ciencias básicas a las que se conectan.

> GRÁFICO 39 :: Red de disciplinas en la nanotecnología argentina (2007)



Física, el principal bloque temático por la cantidad de citas recibidas (en lugar de Química como sucede en las redes de los totales mundial e iberoamericano), se conecta con disciplinas diferentes a las de Iberoamérica como conjunto (además de Matemáticas). Se trata de Métodos de investigación bioquímicos e Inmunología (y a través de ella, con Ciencias veterinarias), áreas temáticas con relaciones con otro núcleo en la red regional: Bioquímica y biología molecular.

Otras diferencias en tal sentido pueden marcarse con dos disciplinas conectadas con Ciencia de los materiales en la red emergente para Argentina: Ciencias del ambiente (y a través de ella, Agricultura), vinculadas a Química en el total regional; y Mecánica, conectada a partir de Física en el total regional de artículos en nanotecnología.

Bioquímica y biología molecular ocupa un muy importante papel, en tanto presenta (aunque a escala) la mayor cantidad de conexiones o ramificaciones entre las 23 disciplinas y sub-disciplinas científicas que agrupa (más de la mitad del total para este caso nacional). Se observan dos "ramas" fundamentales de este árbol temático en Argentina, uno articulado en torno a Farmacología y farmacia y Neurociencias, y otro organizado alrededor de Biología celular, Biotecnología y microbiología aplicada y Virología.

4. DESARROLLO TECNOLÓGICO EN NANOTECNOLOGÍA ::

Las bases de datos de patentes dan cuenta de los desarrollos tecnológicos, que por su potencial económico son protegidos para su explotación exclusiva o licenciamiento. De esta manera, permiten seguir con un profundo nivel de detalle, en un campo de gran impacto industrial como es la nanotecnología, la evolución de las actividades orientadas a la creación de nuevos productos y procesos. El análisis presentado

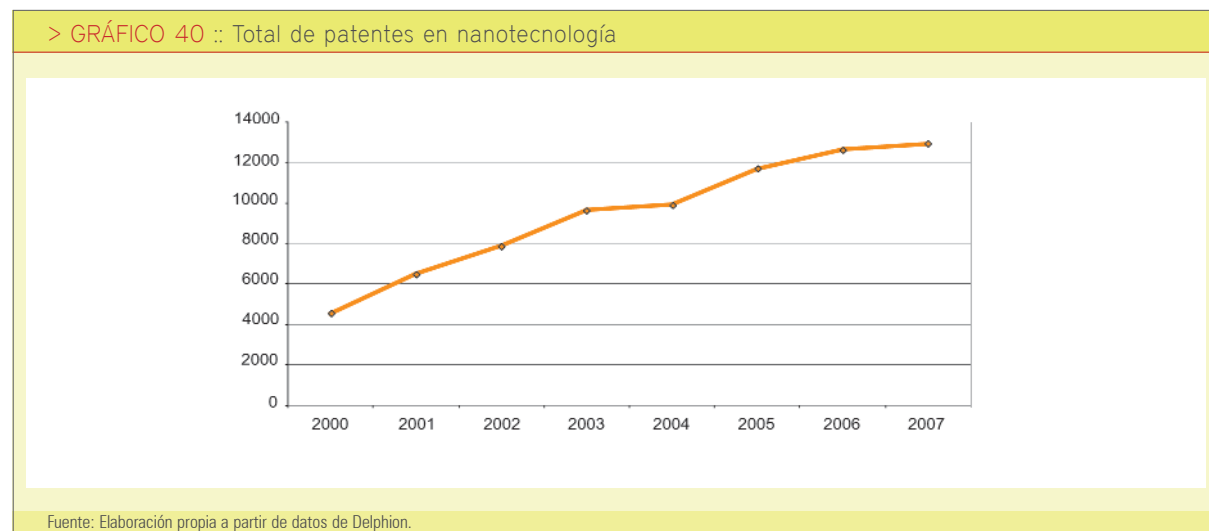
en este informe permite observar un panorama de los cambios en los volúmenes de patentamiento, los principales titulares, la participación de inventores iberoamericanos y áreas específicas de mayor desarrollo.

4.1. La evolución del patentamiento en nanotecnología

El total de las patentes otorgadas en el campo de la nanotecnología y recuperadas en la base de datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO, según su sigla en inglés), que ofrece los documentos registrados mediante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT, también según su sigla en inglés), con fecha de publicación entre 2000 y 2007, ascendió a 75.720 registros.

La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. Es importante aclarar que no se han tomado datos de las oficinas nacionales de propiedad intelectual de cada uno de los países. La selección del convenio PCT como fuente se basó en ese criterio de calidad y comparatividad, apuntando a relevar con precisión los avances tecnológicos de punta a nivel mundial y en una misma fuente para todos los países.

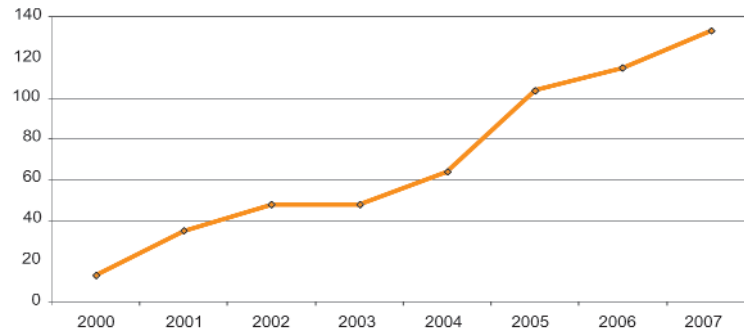
Como se puede observar en el Gráfico 40, se trata de un campo que está en fuerte crecimiento, pasando en ese período de 4.555 a 12.924 patentes, lo que equivale a un incremento del 183% entre puntas. La tendencia es además de un aumento estable, con un importante crecimiento en los primeros años, sobre todo en 2001 con un aumento del 42% en relación a cada año anterior.



Iberoamérica es poseedora de apenas el 0,74% de las patentes en nanotecnología registradas en la base PCT durante 2000-2007, con 560 registros. No obstante ello, como muestra el Gráfico 41, el crecimiento de la región en materia de desarrollo tecnológico en este complejo e interdisciplinario campo es mucho más fuerte que el observado para el total mundial: pasa de 13 a 133 patentes durante el período de referencia, lo cual significa un incremento relativo de más de diez veces entre puntas.

La tendencia iberoamericana es, además, de un aumento sostenido. Los mayores crecimientos se registran en los mismos años que en el total mundial (2001 y 2005), cuando con 35 y 104 registros respectivamente se produjeron incrementos del 169% y 62% en relación a cada uno de los años indicados.

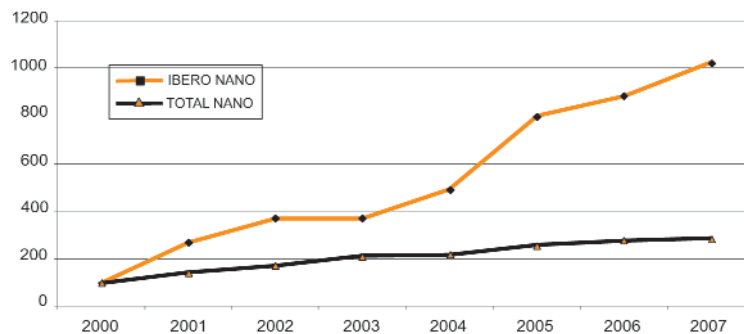
> GRÁFICO 41 :: Total de patentes iberoamericanas en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Las diferencias de evolución entre el total mundial y el total iberoamericano de patentes en nanotecnología durante 2000-2007 recién señaladas quedan aún más claras en el Gráfico 42, que compara los crecimientos relativos de tales títulos de propiedad industrial para ambos conjuntos considerando al año 2000 como el año base. El crecimiento iberoamericano, como puede observarse, resulta muchísimo mayor que el registrado para el total mundial, siendo especialmente significativo a partir de 2003.

> GRÁFICO 42 :: Total de patentes mundiales e iberoamericanas en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Base 2000=100

Si se analizan los países más importantes en materia de desarrollo tecnológico en este campo, el primer lugar lo ocupa Estados Unidos por un amplio margen. Con participación en la titularidad de 45.798 registros, ese país reúne más del 60% de las patentes totales consideradas en este estudio. El Gráfico 43 presenta la evolución, entre 2000 y 2007, de las patentes registradas por los cinco países con mayor frecuencia acumulada durante ese período, de acuerdo a la nacionalidad de uno o todos sus titulares.

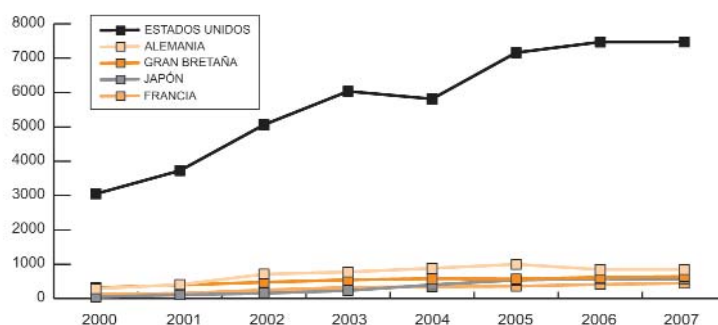
Como resulta evidente, dado el amplio volumen de patentamiento estadounidense, su evolución guarda una gran similitud con la del total mundial. El marcado crecimiento de la cantidad de patentes de ese país en 2005 revierte la tendencia luego de un leve descenso registrado en 2004, el cual sin embargo es compensado en el total mundial por el crecimiento de las patentes registradas por residentes en otros paí-

ses, principalmente Alemania y Japón.

El ranking de los primeros cinco países que patentan en este campo lo completan Alemania (que ocupa una mejor posición que la que ocupaba en el ranking de publicaciones, en el que estaba en el cuarto puesto), Gran Bretaña (que, en el tercer lugar, ocupa una posición mejor que la que ocupa en términos de publicaciones, donde aparece en el sexto), Japón (que desciende un puesto con respecto al ranking de publicaciones) y Francia (que ocupa el quinto lugar como en el ranking de producción científica), en ese orden. Sin embargo, como se señaló anteriormente, todos ellos tienen un volumen de patentes obtenidas notoriamente menores al que posee Estados Unidos, menores al 7% de la producción mundial durante el período de referencia.

Es llamativo también que China, el segundo país en publicaciones no aparece en los primeros lugares. Ese país ocupa el puesto número veintidós, señalando un patrón muy distinto al resto en cuanto a la relación entre los productos más claros de la investigación científica y del desarrollo tecnológico.

> GRÁFICO 43 :: Patentes de los principales países del mundo según su titular



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

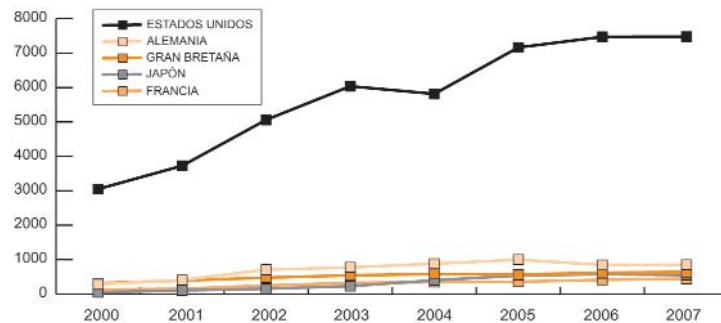
El Gráfico 44 permite observar el patentamiento en nanotecnología de los cinco principales países iberoamericanos en esta materia durante 2000-2007. En el caso iberoamericano, los países son los mismos que los que concentran la mayor producción científica en este campo durante el mismo período, con una única diferencia de orden: Portugal y México intercambian los terceros y cuartos puestos, siendo el país europeo el que ocupa la delantera sobre México en patentes de su titularidad.

El desempeño de España se destaca nuevamente por concentrar el 65% de las patentes iberoamericanas en nanotecnología en todo el período y su crecimiento sostenido, ascendiendo de 7 títulos en 2000 a 88 en 2007.

En segundo lugar durante todo el período de referencia se encuentra Brasil, propietario del 17,2% de las patentes iberoamericanas en nanotecnología y presentando también un crecimiento continuo (con un leve descenso en 2003), aumentando doce veces su participación en la base de datos PCT relativa a este campo.

Ocupando el tercer, el cuarto y el quinto lugar en la región están Portugal, México y Argentina respectivamente, aunque con pequeños volúmenes de títulos acumulados durante el período de referencia. Portugal es el único de estos tres países que tiene una presencia constante durante todo el período analizado, registrando un fuerte incremento en 2007. México no presenta patentes de su titularidad en 2000, y un crecimiento relativamente errático (con la mayor cantidad de registros durante 2005-2006). Argentina sólo muestra patentes en este campo durante 2003-2007, concentrando la mitad de sus títulos en 2006.

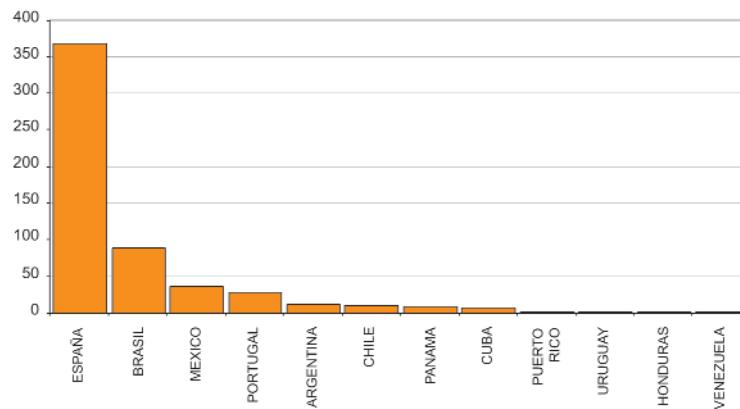
> GRÁFICO 44 :: Patentes de los principales países iberoamericanos su titular



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

En el Gráfico 45 se observa la participación de cada país iberoamericano en el conjunto de las patentes de invención en nanotecnología de la región acumulado durante 2000-2007. España sobresale notoriamente por su gran volumen de títulos registrados, con 369 patentes. Brasil ocupa el segundo puesto, con 89 títulos. En tercer lugar se ubica Portugal, que registra 36 patentes. México, en el cuarto lugar, presenta 28 títulos y Argentina, en el quinto, 12 patentes de invención en nanotecnología. A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 10 patentes), Panamá (con 9), Cuba (con 7), Puerto Rico y Uruguay (con 2 títulos cada uno), Honduras y Venezuela (con sólo 1 patente cada uno).

> GRÁFICO 45 :: . Patentes de los países iberoamericanos según su titular



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

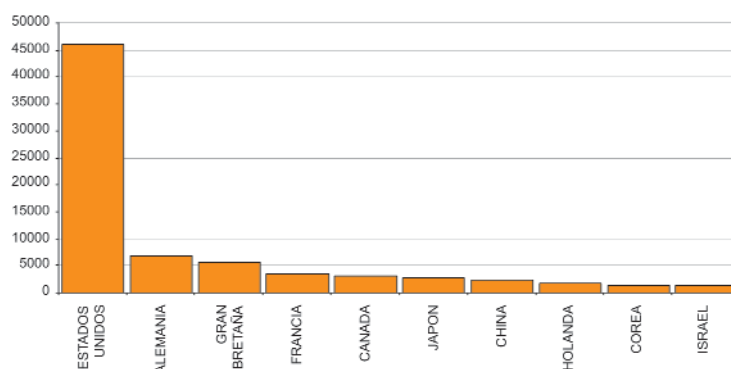
En resumen, la presencia de los países iberoamericanos, con la excepción de los europeos, Brasil y México, es muy limitada. Esto sigue una trayectoria común a la mayor parte de los países latinoamericanos, en los que el sector privado (principal actor en el registro de patentes) no resulta demasiado dinámico en las actividades de I+D que pueden dar como resultado títulos de propiedad industrial.

Los documentos de patente, además de los datos correspondientes a los titulares de cada invención -quienes tienen todos los derechos de explotación o licenciamiento- cuentan con información sobre el o los inventores que participaron de su concepción, aunque sólo se trata de un reconocimiento al trabajo, sin derechos de propiedad sobre el invento. Este dato informa acerca de la actividad de los tecnólogos de cada país en este campo, aunque el dato da cuenta de la nacionalidad y no del lugar de trabajo fuera de su país de origen.

Si se observa la participación de los inventores de cada país en el conjunto de las patentes otorgadas, entre los países más activos en el mundo en nanotecnología la posición ubicada no presenta grandes variaciones con respecto al ranking de los titulares. Esta información se presenta en el Gráfico 46, incluyendo la relación de posiciones de los diez países de mayor presencia entre los inventores.

Cabe destacar el caso de China, ubicada en el séptimo lugar entre los inventores mientras en el ranking de titulares ocupaba el vigésimo segundo puesto. Este dato es interesante si se compara con los resultados de ese país en términos de publicaciones científicas, donde los investigadores chinos ocupan el segundo lugar en el mundo. Parece tratarse de un país que cuenta con una base científica importante en este campo, aunque aún no traduce esas capacidades en desarrollos tecnológicos patentados. Otro caso muy diferente a destacar es el de Japón, que ocupaba el cuarto lugar en el ranking de titulares y entre los inventores ocupa el sexto lugar. Entre los cinco primeros aparece Canadá, que entre los titulares ocupaba el puesto número siete; completando el grupo de los diez países líderes en materia de inventores Holanda, Corea e Israel.

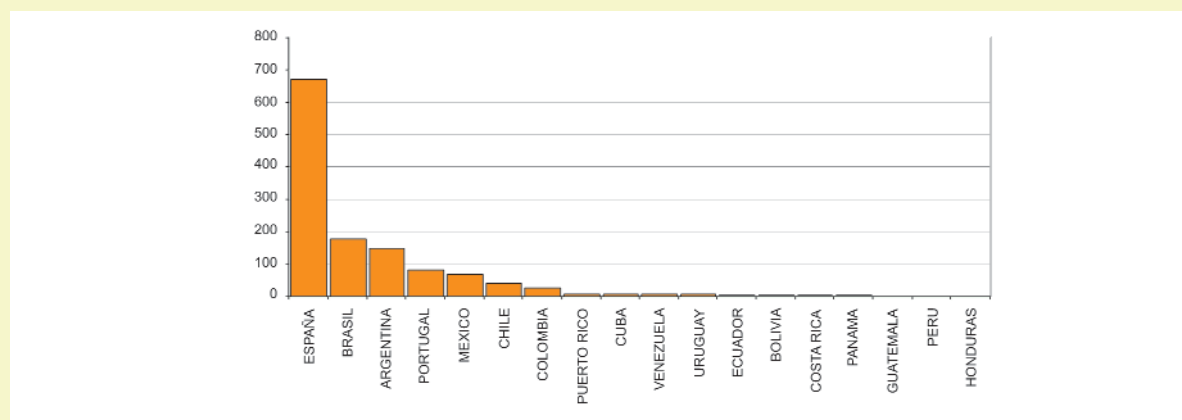
> GRÁFICO 46 :: . Patentes en nanotecnología según país del inventor



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

En Iberoamérica puede observarse que los principales países en materia de inventores de las patentes en nanotecnología son los mismos que concentraban la mayor cantidad de titularidades. Sin embargo, hay interesantes matices que cabe resaltar: luego de España y Brasil, que ocupan los dos primeros puestos (con 673 y 178 títulos respectivamente, con inventores de nacionalidad española o brasileña), se ubica Argentina (con 152 patentes), que ostentaba un más lejano quinto puesto en el ranking de titulares. Portugal (83 patentes) y México (69 títulos) ocupan el cuarto y quinto puesto respectivamente, seguidos por Chile (44 patentes) en el sexto lugar (en los tres casos, respetando el orden del ranking de titulares). Cabe resaltar especialmente el caso de Colombia, país que no registraba ninguna patente de invención en nanotecnología durante el período analizado pero que emerge en el séptimo puesto de países de nacionalidad de los inventores, con 29 títulos.

> GRÁFICO 47 :: Patentes en nanotecnología según país iberoamericano del inventor



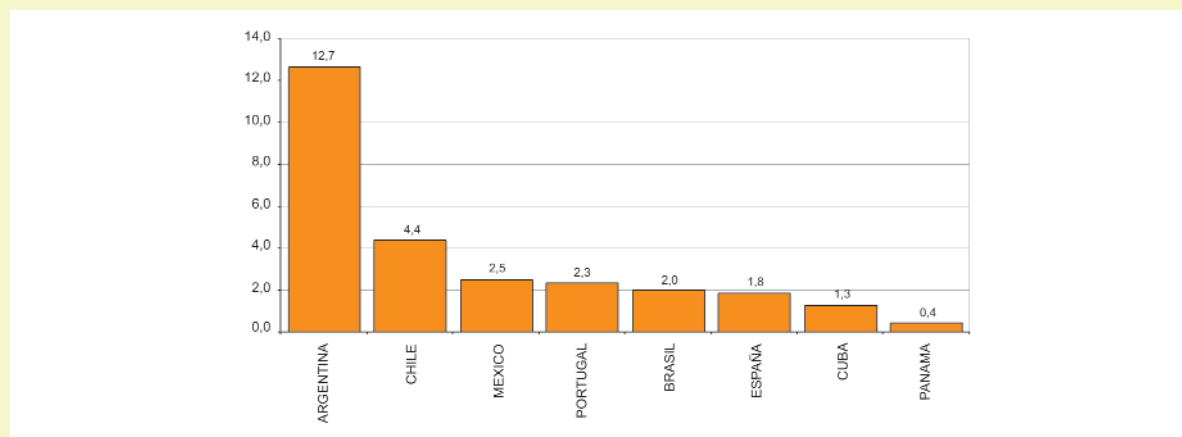
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El Gráfico 48 muestra la relación entre titularidad y participación de inventores en patentes de nanotecnología de los países iberoamericanos que tienen más de cinco patentes durante 2000-2007. Según los países, esa relación puede tener que ver con dos aspectos bien diferentes: por un lado, las características de sus sistemas de desarrollo tecnológico e innovación, que pueden ser más o menos propensos al patentamiento; por el otro, la proyección internacional de sus investigadores, que puede llevarlos a puestos de trabajo en empresas multinacionales con una fuerte tendencia a patentar sus desarrollos.

La relación puede expresarse en el número de patentes con inventores de un país, sobre la cantidad de patentes con inventores locales. Como puede observarse, se cuentan 12,7 patentes con inventores de nacionalidad argentina por cada una de titularidad nacional. Esa relación es, por amplio margen, la más alta de la región, a pesar de ser el tercer país en titularidad de patentes. Esto implica una fuerte proyección de los nanotecnólogos formados en Argentina en el exterior y, a la vez, un débil desempeño de las empresas en materia de invención y patentamiento en este campo.

Esta relación de patentes con inventores y patentes de titulares en los otros cuatro países de mayor desarrollo relativo de la región es mucho menor, con 1,8 para España, 2 para Brasil, 2,3 para Portugal y 2,5 para México. En los países de menor desarrollo relativo en la región se cuenta un caso de fuerte presencia de inventores locales, Chile (con una relación de 4,4), al que se suma Cuba, con 1,3.

> GRÁFICO 48 :: Relación entre titularidad y participación de inventores



Nota: Se incluyen sólo aquellos países con más de 5 patentes. Acumulado 2000-2007 | Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

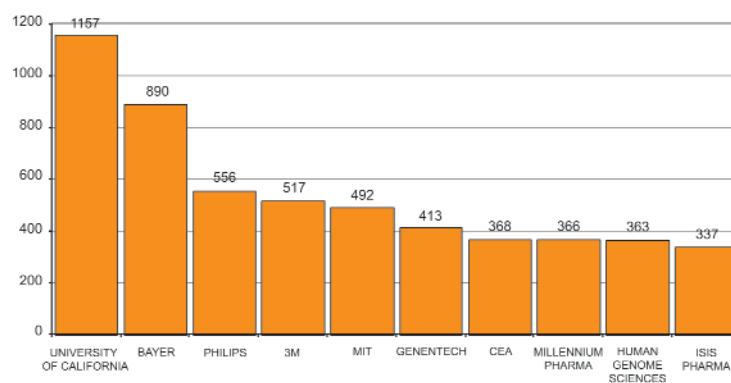
Un caso que resulta llamativo es el de Panamá, en el que la relación resulta inversa, con más presencia entre los titulares que entre los inventores. Este país, con un sistema científico, tecnológico y de innovación relativamente pequeño, registra un total de nueve patentes, casi al mismo nivel de Chile. Esto parece estar dado por ciertas características del país que favorecen la instalación de empresas multinacionales, ya que, mientras que en el resto de los países latinoamericanos una parte de los titulares siempre corresponde al sistema de I+D público, el 100% de las patentes panameñas corresponden a las filiales locales de empresas internacionales.

4.2. Principales titulares de patentes nanotecnológicas

Como se ha visto anteriormente, la nanotecnología es un campo muy dinámico en términos de patentamiento, con un potencial económico muy claro y en el que la competencia es muy clara entre empresas multinacionales de primer nivel. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos y la innovación que se producen en este área están fuertemente ligados a la investigación científica, incluso a la de carácter más básico.

Esta dualidad se hace evidente en el análisis de los principales titulares de patentes en la WIPO (Gráfico 49). El primer lugar, y con un margen significativo, lo ocupa una institución académica: la Universidad de California, con un total de 1.157 patentes obtenidas entre 2000 y 2007. Entre los diez mayores titulares de patentes en nanotecnología publicadas mediante el tratado PCT aparece también el Massachusetts Institute of Technology (MIT) norteamericano, en el quinto lugar con 492 patentes, y el Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) francés, en el séptimo lugar, con 368 títulos acumulados en el período analizado.

> GRÁFICO 49 :: Titulares de patentes en nanotecnología



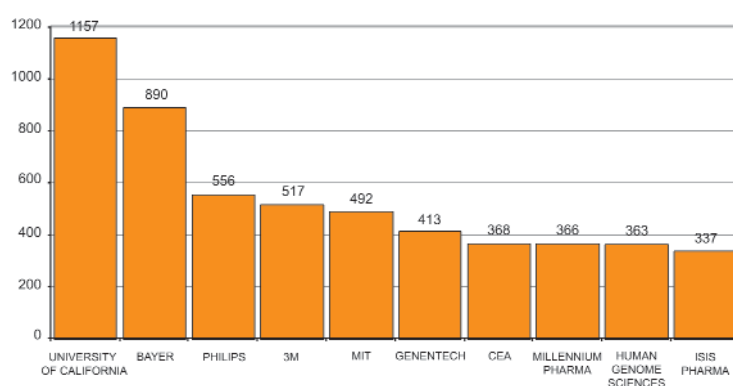
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El resto de la lista de los diez máximos titulares de patentes se completa con empresas multinacionales con actividad en diversos ámbitos, que van desde la electrónica y los materiales hasta la farmacéutica y la biotecnología. En el segundo lugar aparece la farmacéutica Bayer, con 890 patentes registradas en el período analizado, seguida por Philips con 556 títulos. Luego siguen importantes empresas farmacéuticas Genentech, con 413, Millenium, con un total de 356 patentes, Human Genome Sciences e Isis, con 353 y 337 respectivamente.

Para analizar el panorama en Iberoamérica es necesario considerar que existe una clara diferencia entre España y el resto del bloque regional. Este hecho queda evidenciado al observar el número total de las patentes de la región, de las que ese país participa en el 65%. En ese sentido, y como se observa en el Gráfico 50, ocho de los diez principales titulares son españoles.

En este caso también aparece la dualidad entre las empresas y el sector académico ya vista a nivel mundial. El máximo titular iberoamericano de patentes nanotecnológicas es el CSIC español, que acumuló 75 patentes gestionadas mediante el tratado PCT entre 2000 y 2007. Por otra parte, la polarización en torno a esta institución es también muy fuerte, participando en el 20% de las patentes nanotecnológicas totales de España y superando en más de tres veces a quienes lo siguen a nivel iberoamericano: la empresa química Cognis y la farmacéutica Pharma Mar, ambas también españolas y con un total de 19 registros en el mismo período.

> GRÁFICO 50 :: Titulares iberoamericanos de patentes en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

Por otra parte, existe una fuerte presencia también de las universidades españolas. En el cuarto y quinto lugar, respectivamente, aparecen la Universidad de Sevilla y la Autónoma de Madrid, con 17 y 13 patentes WIPO acumuladas entre 2000 y 2007. Aparece también la Universidad de Santiago de Compostela, con 11, en el noveno lugar del total iberoamericano.

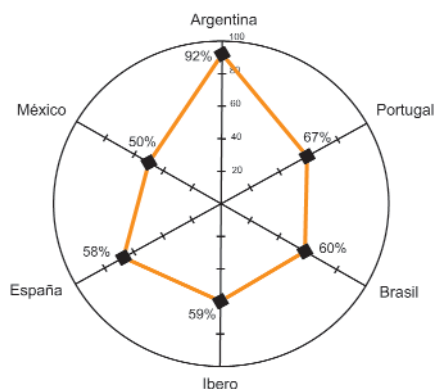
En este conjunto de los diez máximos patentadores iberoamericanos en nanotecnología aparecen sólo dos que no son españoles. Se trata de dos instituciones brasileñas no pertenecientes al sector empresarial: la Universidad de Minas Gerais y la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ambas con doce patentes acumuladas entre 2000 y 2007.

A nivel regional, la presencia del sector privado (considerando en él a las empresas y a los titulares que lo hacen en nombre propio y no de organizaciones o firmas) entre los titulares de patentes nanotecnológicas se ubica en el 59% del total (Gráfico 51). Muy cerca de ese valor se encuentran los países más fuertes de la región en cuanto al patentamiento en este área: España, con la participación de privados en la titularidad del 58% de sus registros, y Brasil, con el 60%.

En el caso de Brasil, además de las instituciones mencionadas, aparecen varias universidades, entre las que se destaca la Universidad de Campinas, que acumuló cuatro patentes en nanotecnología, gestionadas mediante el convenio PCT, entre 2000 y 2007. Por otra parte, la Fundação Oswaldo Cruz registró una cantidad similar, mientras que EMBRAPA cuenta con tres.

Entre las empresas, se destaca la farmacéutica Biolab Sanus, con 4 registros, es decir la tercera parte de las acumuladas por la Universidad de Minas Gerais y la FAPESP en el mismo período.

> GRÁFICO 51 :: Participación del sector privado en la titularidad



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

Entre los países con un número menor de patentes acumuladas entre 2000 y 2007, las tendencias son divergentes. Portugal, el tercer país en cantidad de títulos nanotecnológicos, tiene participación del sector privado en el 67% de sus títulos. El primer lugar entre los titulares de patentes nanotecnológicas en Portugal lo comparten una institución académica y una empresa. Se trata de la Universidad do Minho y de la empresa Portela&Cía, ambas con cuatro patentes acumuladas.

Mientras que con dos patentes registradas en el mismo período aparecen también las universidades de Porto y Coimbra, con presencia entre las instituciones portuguesas más productivas en publicaciones científicas, el patentamiento está liderado por la de Minho que no tiene una presencia equivalente en las bases bibliográficas consultadas. El caso opuesto es el de la Universidad Aveiro, que lidera en publicaciones pero no registra títulos de propiedad industrial del convenio PCT entre 2000 y 2007.

Por otro lado en México sólo en el 50% de las patentes WIPO publicadas en el período estudiado tiene presencia del sector privado. Se da en este caso una gran presencia de títulos registrados bajo la titularidad de personas físicas, una particularidad que se observa también en buena medida en otros países iberoamericanos con volúmenes de patentamiento aún menores.

Entre las instituciones del sector público, con patentes en nanotecnología publicadas en la WIPO en el período analizado, se destaca el Instituto Mexicano del Petróleo, con cuatro títulos acumulados. El sector académico está representado por dos universidades: la UNAM, con dos patentes, y la Autónoma Metropolitana, con una.

El caso que presenta una divergencia mayor presencia del privados es el de Argentina, donde el 92% de las patentes tiene entre sus titulares a empresas o personas físicas. Es importante notar que se trata de un número relativamente escaso de patentes, con un total de doce documentos acumulados en la WIPO entre 2000 y 2007.

La empresa que se destaca es Immunotech, con cuatro patentes obtenidas en aspectos de la nanotecnología relacionados con la biotecnología. Aparece también la empresa Goldgene, con dos títulos, y, con una patente cada una, la semillera Nidera y la farmacéutica LKM. El sector público argentino sólo tiene presencia en una patente nanotecnológica, cuya titularidad es compartida entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas (CONICET) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

El caso argentino, pero también la escasa presencia universitaria en México, puede dar cuenta de una diferencia sustancial en los incentivos a patentar presentes en las instituciones académicas de los países de menor desarrollo relativo de Iberoamérica. Esto contrasta fuertemente con la dominante presencia del CSIC en España y de las universidades y fundaciones de promoción en Brasil.

Otro fenómeno que puede guardar relación es la cantidad de documentos registrados bajo la titularidad de personas físicas en los países de menor desarrollo relativo, en los que la presencia del sector académico es menor. Dado que se trata de un área de punta en materia de I+D y de una fuente muy selectiva, es difícil pensar que se trata de inventores sin ninguna relación con el sistema de ciencia, tecnología e innovación. Es posible que la falta de incentivos y facilidades para el patentamiento en las instituciones académicas haga que el registro de las invenciones se termine canalizando por fuera de ellas.

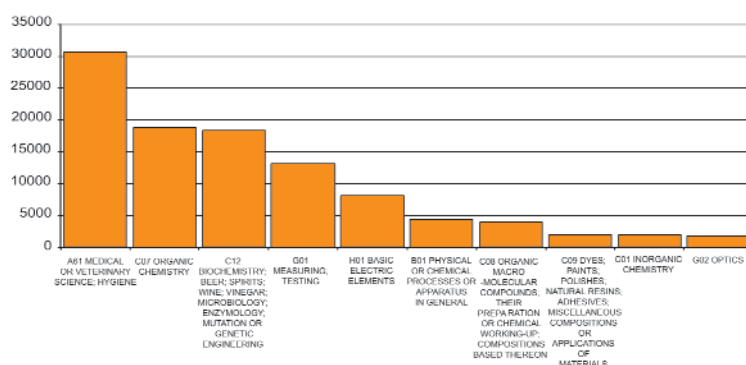
4.3. Los campos de aplicación de la nanotecnología

Para dar cuenta de los campos de aplicación tecnológica de las patentes recopiladas en este estudio se puede recurrir a los códigos internacionales de clasificación de patentes (IPC), que en su edición actual distribuyen las patentes en uno, o al mismo tiempo en varios de los 70.000 campos tecnológicos que define. La asignación del código IPC es dada por el examinador de la patente, es decir por el técnico especialista asignado por la oficina de propiedad intelectual que otorga la patente, de acuerdo con el campo de aplicación de la invención. Dado el avance constante de la tecnología y la aparición de campos emergentes, el IPC es constantemente revisado, por lo que regularmente se publican nuevas ediciones. La actual, octava edición, entró en vigencia en enero de 2006.

Esta clasificación es de carácter jerárquico y tiene una profundidad de hasta seis dígitos, por lo que la información puede manejarse a niveles de desagregación variables. En el Gráfico 52 se presentan los principales códigos IPC a tres dígitos del total de patentes en nanotecnología acumulado para 2000-2007 en la base del convenio PCT. Dado que una misma patente puede poseer varios códigos IPC, muchas veces estos códigos se superponen; este análisis se realiza sobre la base de la consideración de todos los códigos IPC en los que cada una de las patentes consideradas ha sido técnicamente clasificada.

Como se puede observar, el principal campo de aplicación de las patentes de invención en nanotecnología es *Ciencias médicas y veterinaria* (A61, con 30.633 registros), seguido por *Química orgánica* (C07, con 18.751 patentes), *Bioquímica* (C12, con 18.368 registros), *Medición y testeo* (G01, con 13.093) y *Elementos eléctricos básicos* (H01, con 8.111 patentes). Continúan el listado de los campos de aplicación más frecuentes entre las patentes en nanotecnología otorgadas en los últimos años, aunque con valores muy inferiores a los recién referidos (la mitad o menos que los observados en el campo que ocupa el quinto lugar), las siguientes cinco áreas: *Procesos físicos o químicos* (B01), *Componentes orgánicos macromoleculares* (C08), *Tintes* (C09), *Química inorgánica* (C01) y *Óptica* (G02). Teniendo en cuenta que las patentes bajo análisis pueden estar clasificadas en uno o varios de estos campos de aplicación, más adelante se expondrán las redes temáticas conformadas por tales interrelaciones.

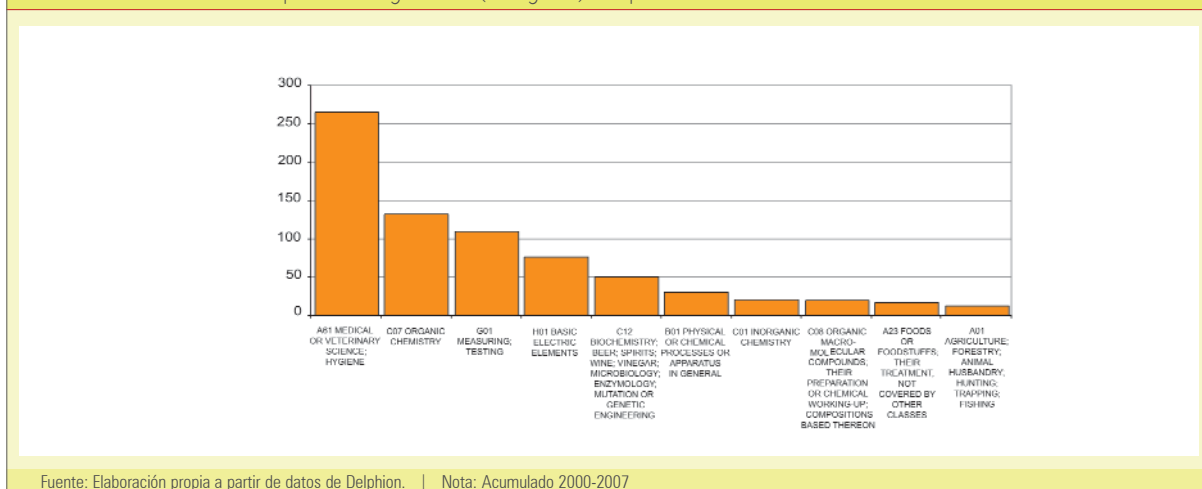
> GRÁFICO 52 :: Principales códigos IPC (3 dígitos) en total de patentes en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

En Iberoamérica y considerando el volumen acumulado para el período, como muestra el Gráfico 53 los cuatro primeros campos de clasificación de las patentes en nanotecnología son los mismos que los observados para el total mundial. Esto es, *Ciencias médicas y veterinarias* (A61, con 266 registros), *Química orgánica* (C07, con 132), *Bioquímica* (C12, con 110), y *Medición y testeo* (G01, con 77). En el quinto lugar se ubica *Procesos físicos o químicos* (B01, con 50 patentes), que en el total mundial ocupaba el sexto puesto. Con 31 títulos o menos, completan el listado de los diez campos de aplicación más frecuentes en las patentes iberoamericanas en nanotecnología *Elementos eléctricos básicos* (H01, en el quinto lugar en el total mundial), *Química inorgánica* (C01, en el noveno lugar en el total mundial), *Componentes orgánicos macromoleculares* (C08, en el séptimo lugar en el total mundial) y, finalmente, dos campos de aplicación que en el conjunto total mundial aparecían por fuera de los diez principales IPCs a tres dígitos: *Alimentos* (A23) y *Agricultura, bosques y ganadería* (A01).

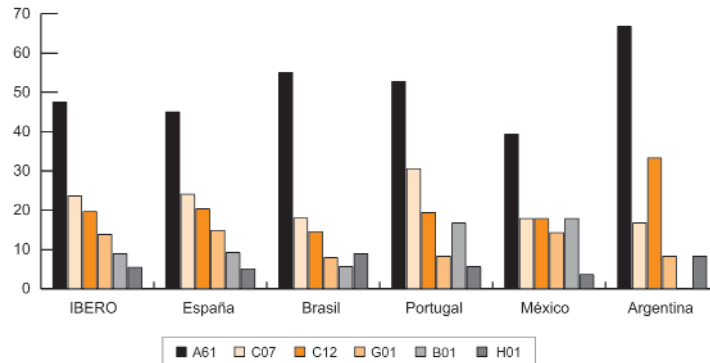
> GRÁFICO 53 :: Principales códigos IPC (3 dígitos) en patentes iberoamericanas



En el Gráfico 54 se presenta la composición comparada de campos de aplicación a tres dígitos de Iberoamérica y sus principales países en materia de desarrollo en nanotecnología durante 2000-2007. A este nivel de desagregación se observa una especialización tecnológica bastante homogénea en cuanto a los campos de clasificación implicados (con la sola excepción de Argentina, que no cuenta con patentes clasificadas con el código B01, Procesos físicos o químicos). Cabe destacar de todas maneras algunos matices en cuanto al peso que tienen los principales campos de aplicación en cada país.

El código de clasificación A61 (*Ciencias médicas y veterinarias*) concentra más de la mitad de las patentes de invención en nanotecnología de Argentina (66,7%), Brasil (55,1%) y Portugal (52,8%). El campo C07 (*Química orgánica*) reúne numerosas patentes de invención en Portugal (30,6%), España (24,1%) e Iberoamérica como conjunto (23,6%). La mayor especialización temática en el campo de aplicación C12 (*Bioquímica*) se observa en Argentina (33,3%), aunque en la mayoría de los demás casos analizados (con excepción de Brasil) se ubica en torno al 20% de participación en las patentes en nanotecnología. El campo G01 (*Medición y testeo*) tiene una presencia significativa en España (14,9%) y México (14,3%), mientras que en el resto de los casos, sólo el código IPC B01 (*Procesos físicos o químicos*) supera el 10% en México (17,9%) y Portugal (16,7%).

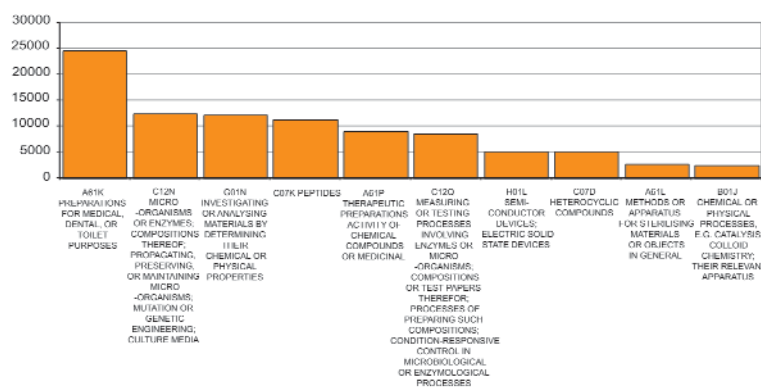
> GRÁFICO 54 :: Especialización tecnológica - IPC (3 dígitos)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

En el Gráfico 55 se pueden observar los principales campos de aplicación a cuatro dígitos del total de patentes en nanotecnología correspondientes al período 2000-2007. Se destacan especialmente las temáticas *Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos* (A61K, con 24.732 registros), *Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética* (C12N, con 12.359 títulos), *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas* (G01N, con 12.198), *Péptidos* (C07K, con 11.360 registros), *Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas* (A61P, con 8.986) y *Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos* (C12Q, con 8597). El listado de los diez primeros IPCs a cuatro dígitos se completa con los campos *Dispositivos semiconductores* (H01L, con 5.150 patentes), *Compuestos heterocíclicos* (C07D, con 5.088), *Métodos o aparatos para esterilizar materiales* (A61L, con 2.788) y, por último, *Procesos químicos o físicos y sus aparatos* (B01J, con 2.383 registros de propiedad industrial).

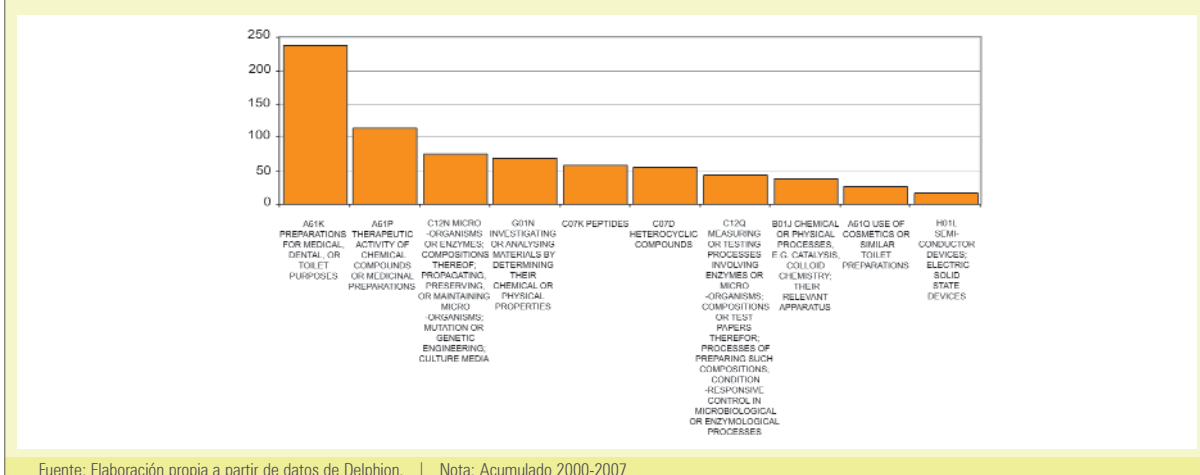
> GRÁFICO 55 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) en total de patentes en nanotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

En Iberoamérica como conjunto y durante el mismo período, se observa una especialización temática en la clasificación de IPCs a 4 dígitos muy similar a la registrada para el total mundial. De hecho nueve de los diez primeros campos de aplicación presentes en sus patentes en nanotecnología figuran entre los diez primeros del total mundial, aunque con algunas diferencias de posición.

> GRÁFICO 56 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) en patentes iberoamericanas

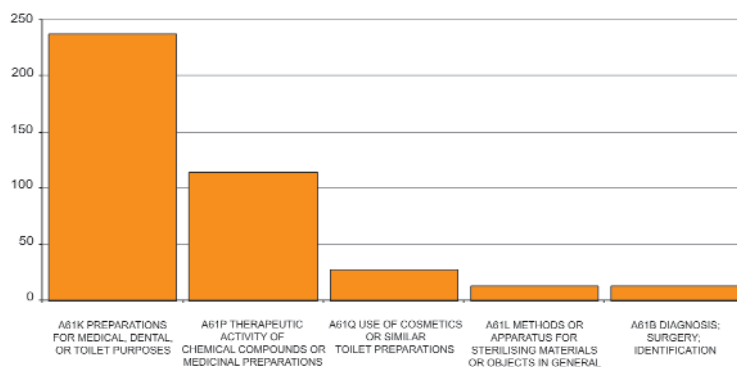


La temática más importante en la región iberoamericana es, al igual que para el conjunto mundial, *Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos* (A61K, con 238 registros). Le siguen, en orden de importancia, *Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas* (A61P, con 114, en el quinto lugar en el ranking mundial), *Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética* (C12N, con 76 títulos, ubicado en el segundo lugar en el total mundial), *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas* (G01N, con 69, tercero en el ranking mundial), *Péptidos* (C07K, con 60 registros, cuarto en el ranking mundial), *Compuestos heterocíclicos* (C07D, con 56, octavo en el total mundial), *Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos* (C12Q, con 44, sexto en el ranking mundial), *Procesos químicos o físicos y sus aparatos* (B01J, con 39 registros, décimo en el total mundial), *Uso de cosméticos o preparaciones similares para higiene personal* (A61Q, con 28 títulos, el único de los principales campos de aplicación iberoamericanos no presentes entre los diez primeros del ranking mundial) y *Dispositivos semiconductores* (H01L, con apenas 18 patentes, séptimo en el total mundial).

Resulta interesante analizar la composición de los cinco primeros campos de aplicación de las patentes en nanotecnología recuperados para 2000-2007 a tres dígitos, analizando el detalle de los campos de aplicación a cuatro dígitos que ellos contienen.

El Gráfico 57 muestra que el campo A61 (*Ciencias médicas y veterinaria*) se compone fundamentalmente, según los códigos IPC a cuatro dígitos, de *Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos* (A61K, que ocupa el primer lugar en el listado general de IPCs a cuatro dígitos de la región) y *Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas* (A61P, segundo lugar en el ranking iberoamericano).

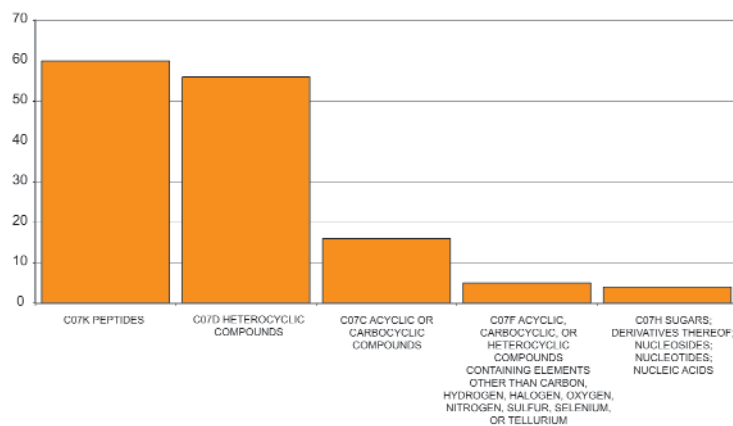
> GRÁFICO 57 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC A61



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El Gráfico 58 permite observar la concentración de campos de aplicación a cuatro dígitos incluidos en *Química orgánica* (C07): se trata casi únicamente de *Péptidos* (C07K, que ocupa el quinto lugar en el ranking iberoamericano) y de *Compuestos heterocíclicos* (C07D, sexto en el mismo ranking), seguidos lejanamente por otras temáticas.

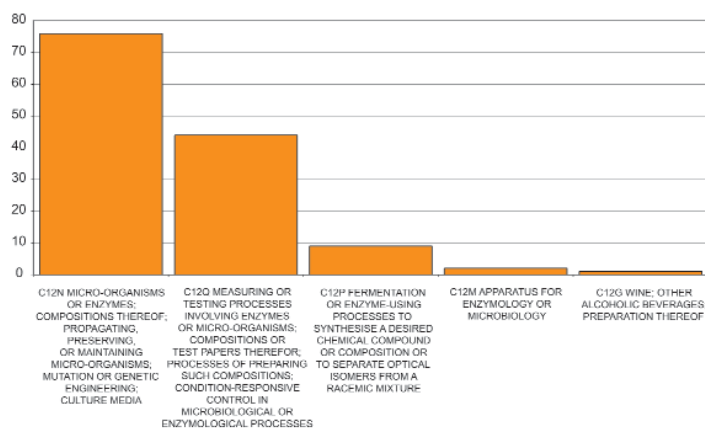
> GRÁFICO 58 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) del código IPC C07 (Organic chemistry)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El Gráfico 59 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos que se destacan en *Bioquímica* (C12). Ellos son fundamentalmente *Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética* (C12N, que ocupa el tercer lugar en el total regional) y *Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos* (C12Q, en el séptimo lugar en el ranking iberoamericano).

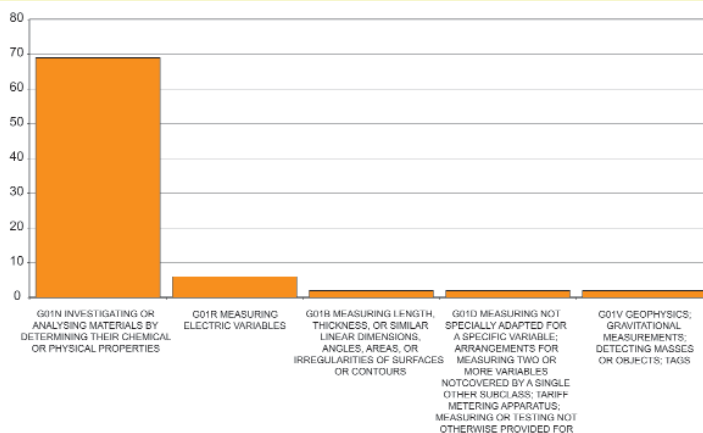
> GRÁFICO 59 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC C12



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

En el Gráfico 60 se observan los principales IPCs a cuatro dígitos contenidos en *Medición y testeo* (G01). La concentración es casi total en un campo de aplicación: *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas* (G01N), cuarto en el conjunto de las patentes en nanotecnología de la región).

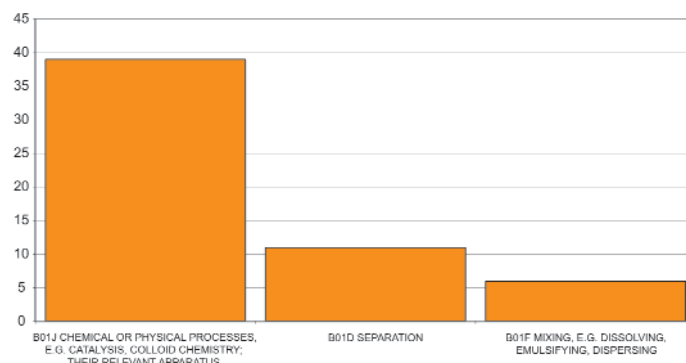
> GRÁFICO 60 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC G01



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El Gráfico 61 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos correspondientes a *Procesos físicos o químicos* (B01). Se trata, básicamente, del campo *Procesos químicos o físicos y sus aparatos* (B01J, octavo en el ranking iberoamericano) y, aunque en una menor proporción, de las temáticas *Separación* (B01D) y *Mezclas* (B01F).

> GRÁFICO 61 :: Principales códigos IPC (4 dígitos) de las patentes del código IPC B01

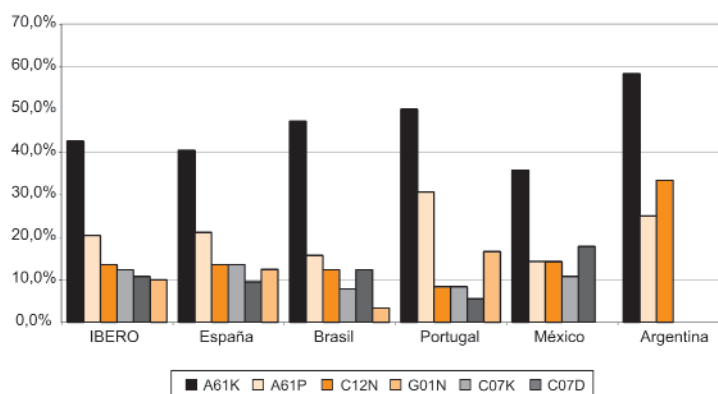


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El Gráfico 62 presenta la composición comparada de campos de clasificación a cuatro dígitos de Iberoamérica y sus cinco principales países en patentamiento en nanotecnología durante 2000-2007. Al igual que con los IPCs-3, a este nivel de desagregación se observa una importante homogeneidad en la especialización tecnológica en cuanto a los principales campos de aplicación implicados (con excepción de México, que no cuenta con patentes clasificadas con el código C07K, *Péptidos*, y Argentina, que no tiene patentes pertenecientes a dicho campo de aplicación ni al código G01N, *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas*). Las diferencias aparecen fundamentalmente en el peso que tiene en cada uno de los casos las distintas temáticas.

El campo de aplicación A61K (*Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos*) concentra más de la mitad de las patentes argentinas en nanotecnología (58,37%) y más de la tercera parte de las patentes de este campo del total iberoamericano (42,5%), Portugal (50%), Brasil (47,2%), España (40,4%) y México (35,7%). El campo A61P (*Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas*) reúne numerosas patentes de invención en Portugal (30,6%), Argentina (25%), España (21,1%) e Iberoamérica como conjunto (20,4%). La mayor especialización temática en el campo C12N (*Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética*) se observa en Argentina (33,3%), mientras que en todos los demás casos considerados este campo no supera el 15%. El campo de aplicación G01N (*Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas*) tiene una presencia relativamente significativa en España (13,6%). El código C07K (*Péptidos*) supera el 10% en México (17,9%), Brasil (12,4%) e Iberoamérica como conjunto (10,7%). Finalmente, el campo C07D (*Compuestos heterocíclicos*) aparece como una temática tecnológica de cierta importancia en Portugal (16,7%) y España (12,5%).

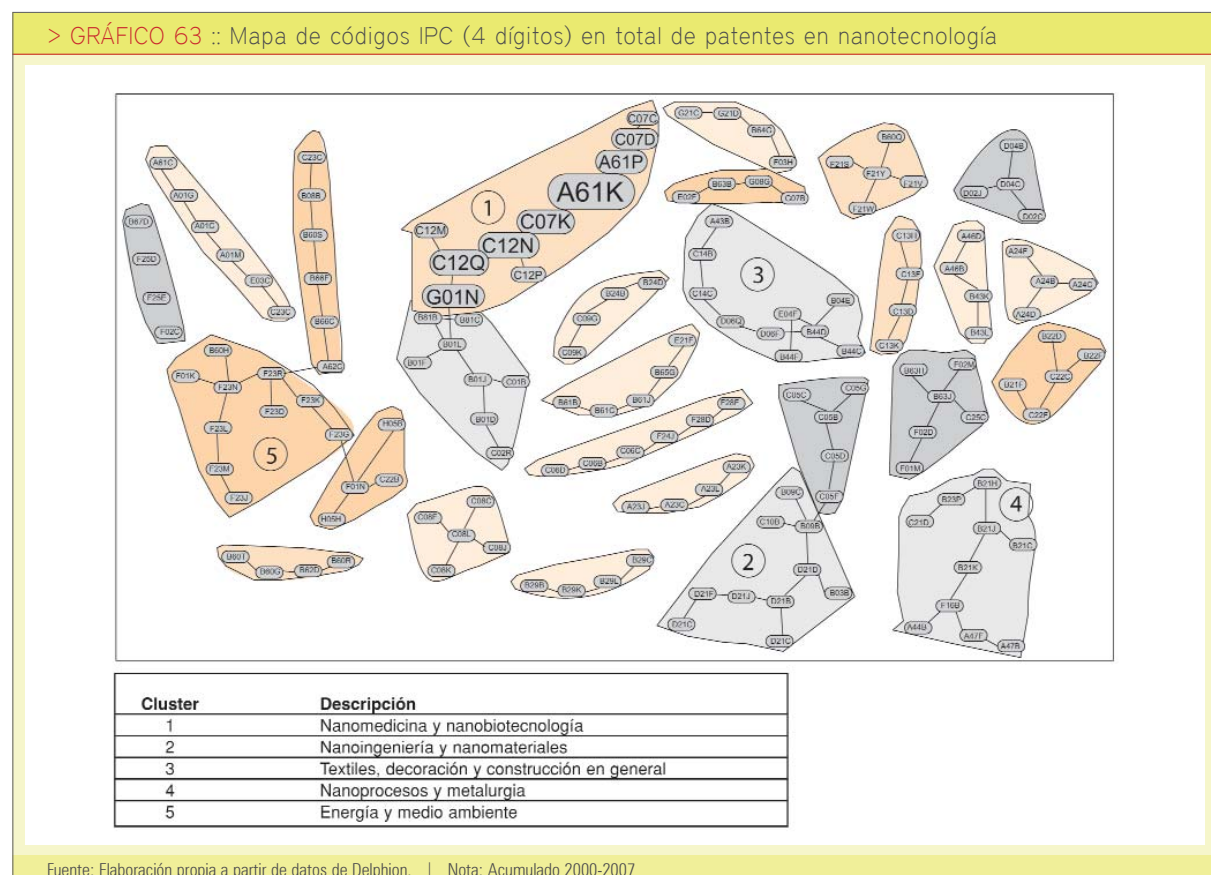
> GRÁFICO 62 :: Especialización tecnológica a partir de códigos IPC (4 dígitos)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

Una perspectiva complementaria a la descripción de los ámbitos de clasificación presentes en las patentes del campo de la nanotecnología, integrado por diferentes disciplinas que se relacionan entre sí, puede ofrecerla la proporcionada por las herramientas de análisis de conglomerados. Este tipo de herramientas pueden ofrecer un panorama detallado de la trama básica de la especialización tecnológica mundial e iberoamericana presente en el corpus de las patentes en nanotecnología, en tanto permite clasificarlas en grupos o conglomerados (*clusters* según la denominación en inglés). Una fuente de gran calidad y pertinencia para ello son justamente los códigos IPC a cuatro dígitos. Los agrupamientos de patentes emergentes en función de la co-ocurrencia de dos o más códigos IPC (a cuatro dígitos) en las patentes en nanotecnología existentes a nivel mundial e iberoamericano en la WIPO para el período 2000-2007, pueden observarse en los Gráficos 63 y 64 respectivamente. El volumen de los nodos representa la cantidad de patentes asignadas a cada código IPC y la intensidad de los lazos entre ellos da cuenta de las veces en que esos códigos co-ocurren en las patentes recuperadas. Al igual que en el caso de algunas redes de publicaciones ya presentadas, en este caso también se han podado los vínculos con el algoritmo MST, dejando sólo la estructura básica de las agrupaciones.

Los *clusters* de campos de aplicación emergentes en las patentes del total mundial (Gráfico 60) son 26 y se encuentran fuertemente atomizados. De ellos serán analizados los cinco principales en cantidad de nodos interrelacionados, más los seis pequeños conglomerados con los que se articulan directamente a través de algún código.



El primero de los *clusters* observados es el de *Nanomedicina y nanobiotecnología*. Este grupo de patentes es el que queda conformado a partir de las interrelaciones entre los códigos IPC (en orden decreciente de número de patentes contabilizadas para cada uno de ellos) A61K (*Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos*), C12N (*Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética*), G01N (*Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas*), C07K (*Péptidos*), A61P (*Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas*), C12Q (*Procesos de medición o testeo que*

incluyen enzimas o microorganismos), C07D (Compuestos heterocíclicos), C12P (Procesos de fermentación o utilización de enzimas para sintetizar un compuesto o una composición deseada o separar isómeros ópticos a partir de una mezcla racémica), C07C (Compuestos acíclicos o carbocíclicos) y C12M (Aparatos para enzimología o microbiología). A este conglomerado, y a través del campo de aplicación G01N, se articula otro más pequeño centrado en temáticas específicas de tecnología microestructural y procesos físicos o químicos.

Un segundo conglomerado de campos de aplicación de las patentes mundiales en nanotecnología es el de **Nanoingeniería y nanomateriales**, compuesto por los IPC B29C (Conformación de sustancias en un estado plástico en general), D21C (Producción de celulosa mediante la eliminación de sustancias sin celulosa de materiales que contienen celulosa), B09B (Eliminación de los desechos sólidos), D21F (Máquinas de fabricación de papel), B03B (Separación de materiales sólidos o líquidos utilizando tablas neumáticas), C10B (Destilación destructiva de materiales carbonosos), D21B (Materias primas fibrosas o su tratamiento mecánico), D21G (Calendarios), D21D (Tratamiento de materiales antes de pasar a la máquina de fabricación de papel) y D21J (Cartón; Fabricación de artículos de suspensiones de fibras celulósicas o papel maché). A este grupo de patentes se vincula, a través del código B09B, otro referido a la fabricación de diferentes tipos de abonos (orgánicos, inorgánicos, fosfatados, nitrogenados o mezclas).

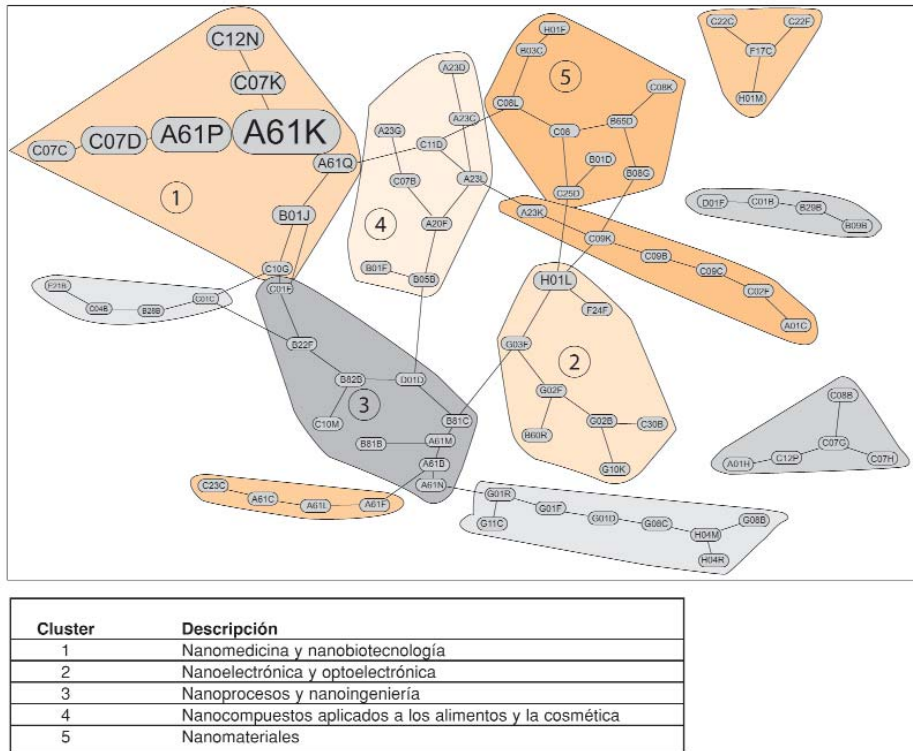
Un tercer *cluster* de campos de aplicación de las patentes mundiales en nanotecnología es el de **Textiles, decoración y construcción en general**, emergente de las articulaciones entre los IPC B44C (Producción de efectos decorativos; Mosaicos), D06F (Blanqueo, secado, planchado, prensado o plegado de artículos textiles), B44F (Diseños o fotos especiales), B44D (Pintura o dibujo artístico; preservación de pinturas), E04F (Trabajo de terminación en edificios), A43B (Calzado; Partes de calzado), E04H (Edificios o estructuras para fines particulares), C14C (Tratamiento químico de pieles o cueros), D06Q (Textiles decorativos) y C14B (Tratamiento mecánico o transformación de pieles o cueros en general; Máquinas de esquila).

Un cuarto conglomerado de patentes en nanotecnología es el de **Nanoprocesos y metalurgia**, compuesto por los campos de aplicación C21D (Modificación de la estructura física de metales ferrosos), B21C (Fabricación de hojas de metal, alambres, varillas, tubos o perfiles, excepto en material laminado), B23P (Otros trabajos de metal), F16B (Dispositivos de sujeción o de elementos de construcción o piezas de maquinaria juntos), A44B (Botones, alfileres, hebillas y cremalleras), B21J (Forja; Martilleo; Presión; Remachadoras; Forja hornos), A47B (Cuadros; Escritorios; Mobiliario de oficina; Gabinetes; Cajones; Detalles generales de mobiliario), A47F (Muebles o accesorios especiales para tiendas, almacenes, bares, restaurantes o similares), B21K (Forjado o prensado de productos, por ejemplo herraduras, remaches, tuercas o ruedas) y B21H (Fabricación de objetos metálicos particulares por laminación). A través del campo B21H, aparece unido a este conglomerado otro más pequeño sobre cambios de la estructura física de metales no ferrosos, aleaciones, fundición de metales y trabajo de polvo metálico.

Finalmente, un quinto *cluster* de campos de aplicación de las patentes del total mundial en nanotecnología es el dedicado fundamentalmente a **Energía y medio ambiente**, conformado por los campos de aplicación B06B (Generación o transmisión de vibraciones mecánicas en general), F23C (Aparatos de combustión que utilizan combustible fluido), F23K (Alimentación de combustible a los aparatos de combustión), F23L (Suministro de aire), F23R (Generación de productos de combustión de alta presión o de alta velocidad), F01K (Plantas de máquinas de vapor), F23J (Eliminación o tratamiento de productos o residuos de combustión), F23M (Detalles de construcción de cámaras de combustión) y F23N (Regulación o control de la combustión). A este *cluster* se articulan otros tres conglomerados más pequeños. El primero, conectado a través del campo F23C, se refiere fundamentalmente a máquinas y motores de gas, refinado de materiales y calefacción eléctrica. El segundo, vinculado a través del código F23R, alude a lucha contra incendios, grúas y elevadores, limpieza y reparación de vehículos, limpieza en general y recubrimiento de materiales metálicos. El tercero, articulado a través del campo F01K, contiene patentes sobre plantas de turbinas de gas, refrigeración y apertura o cierre de botellas o contenedores similares.

Los conglomerados de campos de aplicación emergentes en las patentes iberoamericanas en nanotecnología (Gráfico 61) son 12 y sólo tres de ellos se encuentran desarticulados del entramado de temas de la región. En este caso se analizarán también los cinco principales en términos de la cantidad de nodos interrelacionados y patentes comprendidas en cada uno de ellos.

> GRÁFICO 64 :: Mapa de códigos IPC (4 dígitos) en patentes iberoamericanas



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion. | Nota: Acumulado 2000-2007

El principal cluster observado, al igual que en el total mundial aunque con algunos campos menos asociados a él, es el de **Nanomedicina y nanobiotecnología**, conformado (en orden decreciente de número de patentes contabilizadas) por los códigos IPC desagregados a cuatro dígitos A61K (*Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos*), A61P (*Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas*), C12N (*Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética*), C07K (*Péptidos*), C07D (*Compuestos heterocíclicos*), B01J (*Procesos químicos o físicos y sus aparatos*), A61Q (*Uso de cosméticos o preparaciones similares para higiene personal*), C07C (*Compuestos acíclicos o carbocíclicos*) y C10G (*Craqueo de aceites de hidrocarburos, producción de mezclas de hidrocarburos líquidos*). Los campos de aplicación B01J, A61Q y C10G no estaban presentes en este conglomerado temático en el total mundial de patentes en nanotecnología, siendo específicos de la región iberoamericana.

Un segundo conglomerado emergente en Iberoamérica es el de **Nanoelectrónica y optoelectrónica**, configurado fundamentalmente por los campos de aplicación H01L (*Dispositivos semiconductores*), G02B (*Elementos, sistemas o aparatos ópticos*), G03F (*Producción fotomecánica de superficies texturadas*) y G02F (*Dispositivos ópticos*), y, aunque en menor medida, por los campos C30B (*Monocristales o materiales policristalinos homogéneos con estructura definida*), G10K (*Dispositivos que producen sonidos*), B60R (*Vehículos, accesorios de vehículos o partes de vehículos*) y F24F (*Aire acondicionado; Humidificación del aire; Ventilación*).

Un tercer cluster que puede identificarse es el de **Nanoprosesos y nanoingeniería aplicados a la medicina y a la biotecnología**, integrado por los campos de aplicación A61B (*Diagnóstico; Cirugía*), B22F (*Trabajo con polvo metálico*), B82B (*Nanoestructuras*), D01D (*Métodos mecánicos o aparatos para la fabricación de filamentos artificiales, hilos, fibras, cerdas o cintas*), B81C (*Procesos o aparatos especialmente adaptados para la fabricación o el tratamiento de dispositivos o sistemas microestructurales*), A61N (*Electroterapia; Magnetoterapia; Terapia de radiación; Terapia de ultrasonido*), C01F (*Compuestos de los metales berilio, magnesio, aluminio, calcio, estroncio, bario, radio, torio o de los metales de tierras raras*), C10M (*Composiciones lubricantes; Uso de sustancias químicas solas o como ingredientes lubricantes en una composición lubricante*), A61M (*Dispositivos para introducir en el cuerpo*), B81B (*Dispositivos o sistemas microestructurales*). Cabe señalar que a este conglomerado se articula, a través del código A61B, otro más pequeño y muy relacionado con la temática, compuesto por los campos A61L

(Métodos o aparatos para esterilizar materiales), A61F (Filtros implantables en los vasos sanguíneos; Prótesis; Dispositivos ortopédicos, de enfermería o anticonceptivos), C23C (Recubrimiento de material metálico) y A61C (Odontología; Higiene bucal).

Un cuarto conglomerado emergente en Iberoamérica es el de **Nanocompuestos aplicados a los alimentos y la cosmética**. Está conformado por los campos de aplicación A23L (Alimentos, productos alimenticios o bebidas no alcohólicas; Su preparación o tratamiento; Preservación de alimentos o productos alimenticios en general), B05B (Aparatos de pulverización), C11D (Composiciones de detergente composiciones; Uso de sustancias como únicos detergentes; Jabón o fabricación de jabón; Jabones de resina; Recuperación de glicerol), B01F (Mezclas), A23P (Trabajo con productos alimenticios), C07B (Métodos generales de la química orgánica; Aparatos a tal efecto), A23D (Aceites comestibles o grasas), A23C (Leche y productos lácteos; Sustitutos de la leche o el queso) y A23G (Chocolate; Productos alimenticios de confitería; Helado).

Finalmente, un quinto *cluster* es el **Nanomateriales**, integrado por las interrelaciones entre los campos de aplicación B01D (Separación), H01F (Imanes; Transformadores; Selección de materiales por sus propiedades magnéticas), C08L (Composiciones de compuestos macromoleculares), C08K (Uso de compuestos inorgánicos o sustancias inorgánicas macromoleculares como ingredientes compuestos), C08J (Procesos generales de composición de compuestos orgánicos macromoleculares), C08G (Compuestos macromoleculares obtenidos de otra forma), B03C (Separación magnética o electrostática de materiales sólidos a partir de materiales sólidos o líquidos; Separación de alto voltaje de campos eléctricos), C25D (Esmaltado de metales o aplicación de una capa vítrea a ellos) y B65D (Contenedores para el almacenamiento o el transporte de artículos o materiales).

5. CONCLUSIONES. FORTALEZAS ACTUALES Y DESAFÍOS FUTUROS ::

Como en muchos otros aspectos de la ciencia y la tecnología, pero también de la economía y la sociedad, el avance de la nanotecnología en Iberoamérica es de un desarrollo desigual. Existe sin embargo una cierta cantidad de investigadores, nucleados en instituciones prestigiosas, cuya fructífera actividad se traduce en un volumen cada vez mayor de publicaciones.

Aunque se trata de una cantidad relativamente pequeña, la participación de la comunidad iberoamericana en el total de la producción sobre nanotecnología en el SCI ha crecido del 2,8% en 2000 al 4,0% en 2007. Ese crecimiento lleva la presencia regional en ese tema por encima de su presencia en el total del SCI, que se sitúa en el 3,3%.

España y Brasil son los pioneros de la región y actualmente los líderes de Iberoamérica en materia de producción científica y desarrollo tecnológico en nanotecnología, seguidos por México, Portugal y Argentina. La actividad en los otros países iberoamericanos es, en comparación, mucho menos significativa, aunque se evidencia un interés creciente en la nanotecnología. La mayor parte de los países presentan en mayor o menor medida grupos científicos involucrados en la investigación en este campo, lo cual se traduce, entre otros aspectos, en la conformación de redes regionales de conocimiento y la producción científica en colaboración.

Es importante destacar también que se trata de un terreno de investigación en el que las capacidades especializadas y la disponibilidad de equipamiento son críticas para su desarrollo. En ese contexto, y dado el tamaño relativamente pequeño de la comunidad científica y de los recursos financieros de cada uno de los países iberoamericanos por separado, sólo una intensa colaboración regional puede brindar la masa crítica necesaria para darle a la I+D en nanotecnología la sustentabilidad necesaria.

En ese sentido, el espacio iberoamericano del conocimiento se está demostrando cada vez más fructífero. Más allá del incremento en volumen de la producción, los países de la región se encuentran cada vez más densamente conectados entre sí, como se pudo ver en el análisis de redes a partir de la firma conjunta de artículos científicos. Asimismo, la colaboración iberoamericana es de mayor importancia para los países de desarrollo medio de la región, que han podido crecer en producción científica, en buena medida, de la mano de la colaboración con los países de mayor desarrollo relativo.

La consolidación de las instituciones de investigación en el campo de la nanotecnología, y su mayor asociación en redes de colaboración, es muy importante también para favorecer los procesos de transferencia del conocimiento hacia las instituciones del sector productivo. Como

ya se señaló, en el campo de la nanotecnología el paso de los resultados de la investigación básica a la aplicación industrial es extremadamente rápido. La fuerte presencia observada a nivel mundial de prestigiosas instituciones académicas entre los titulares de patentes da muestras de ello.

Sin embargo, la vinculación de la investigación que se realiza en este campo en la región iberoamericana con su aplicación industrial es todavía escasa. Si bien se encuentra en rápido aumento en los países de la península ibérica, en la práctica resulta relativa la relevancia industrial de las investigaciones científicas realizadas y son relativamente pocas las patentes de invención en la mayoría de los países iberoamericanos.

Esta escasa dinámica del patentamiento es un tema que afecta en general a los países de la región y del que la nanotecnología en particular no escapa. En todos los campos del conocimiento, la dinámica de producción tecnológica de los países iberoamericanos, medida a través de las patentes, está muy lejos de la de los países más industrializados (mucho más lejos que en la producción científica medida en artículos publicados en revistas internacionales). La única excepción en Iberoamérica es España, cuyos patrones en el registro de patentes están mucho más cerca de la media europea que del promedio latinoamericano. Justamente, si comparamos a España con Brasil (países que tienen un volumen económico similar) vemos que en nanotecnología ha registrado entre 2000 y 2007 cuatro veces más patentes del convenio PCT.

Sin duda muchos factores intervienen en esta situación. Por un lado, la demanda del sector productivo por los desarrollos nanotecnológicos es mucho menor en los países latinoamericanos, situación relacionada con las estructuras económicas de estos países, que en líneas generales están más basadas en productos primarios que en bienes de mayor contenido tecnológico.

Cabe señalar que la desconexión con el sector productivo no proviene solamente de las empresas. Los investigadores, en la mayoría de los países iberoamericanos, en general se manejan mejor en el mundo de las publicaciones científicas, con sus propias reglas de juego y recompensas, que en el de las patentes y la explotación comercial del conocimiento. Si bien, en opinión de los propios investigadores, los incentivos a patentar se están incrementando progresivamente, no resulta fácil cambiar la orientación tradicional de las investigaciones y convencer a la comunidad científica de no publicar -abandonando su forma tradicional de comunicarse- para poder defender la novedad de las invenciones que luego pueden llegar a presentarse como patentes.

El principal desafío que se presenta al espacio iberoamericano del conocimiento en este estratégico campo está centrado en potenciar fuertemente las conexiones entre academia y producción. Ello permitiría la ejecución de proyectos conjuntos de investigación y desarrollo dirigidos a la realización de productos que permitan consolidar las pequeñas y medianas empresas nacionales y su inserción en nuevos mercados regionales e internacionales, así como a la generación de microempresas de base tecnológica que aprovechen los nichos de oportunidad que ofrece la nanotecnología.

+ BIBLIOGRAFÍA

Delgado Ramos, G. C. (2007), "Sociología política de la nanotecnología en el hemisferio occidental: el caso de Estados Unidos, México, Brasil y Argentina", *Revista de Estudios Sociales*, 27, Universidad de Los Andes, Bogotá.

Igami, M. and T. Okazaki (2007), *Capturing nanotechnology's current state of development via analysis of patents*, STI Working Paper, 2007/4, OECD, París. Disponible en <http://www.oecd.org/dataoecd/6/9/38780655.pdf>.

Kay, L. (2008), *Nanotechnology in Latin America*, Georgia Tech Program in Science, Technology and Innovation Policy Working Paper, Georgia Tech School of Public Policy, Atlanta. Disponible en <http://www.cherry.gatech.edu/stip/projects/Nanotechnology%20in%20Latin%20America.pdf>.

Kostoff, R. et al (2005), *The Seminal Literature of Nanotechnology Research*, Office of Naval Research (ONR)/United States Navy and Marine Corps, Arlington. Disponible en <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA435986&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>.

Malsch, I. (1997), *Nanotechnology in Europe: Experts' Perceptions and Scientific Relations between Sub-areas*, Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla.

Moya-Anegón, F. et al (2005), "Cocitación de clases y categorías: Proyecto Atlas de la Ciencia", *El Estado de la Ciencia 2004*, RICYT, Buenos Aires. Disponible en <http://www.ricyt.org/interior/interior.asp?Nivel1=6&Nivel2=5&IdDifusion=19>.

Moya-Anegón, F. et al (2007), "Visualizing de Marrow of Science", *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 58 (14). Disponible en http://www.scimago.es/file.php?file=/1/Documents/Visualizing_the_marrow_of_science.pdf.

Noyons, E. C. M. et al (2003), *Mapping Excellence in Science and Technology across Europe. Nanoscience and Nanotechnology*, Centre for Science and Technology Studies (CWTS)/Leiden University-Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research, Leiden-Karlsruhe. Disponible en http://studies.cwts.nl/projects/ec-coe/downloads/Final_report_13112003_nano.pdf.

Porter, A. L., J. Youtie, P. Shapira and D. J. Schoeneck (2008), "Refining search terms for nanotechnology", *Journal of Nanoparticle Research*, 10, 715-728.

Scheu, M. et al (2006), "Mapping nanotechnology patents: The EPO approach", *World Patent Information*, 28, 204-211.

Wagner, C. and L. Leydesdorff (2003), *Mapping the Network of Global Science: Comparing international co-authorship from 1990 to 2000*, University of Amsterdam, Amsterdam.

+ ANEXOS

Anexo 1. Estrategia utilizada para la recopilación de artículos sobre nanotecnología en SCI

(MolEnv-I (inclusive): (monolayer* or (mono-layer*) or film* or quantum* or multilayer* or (multi-layer*) or array* or molecu* or polymer* or (co-polymer*) or copolymer* or mater* or biolog* or supramolecul*)

Or

MolEnv-R (more restrictive): (monolayer* or (mono-layer*) or film* or quantum* or multilayer* or (multi-layer*) or array*)

And

(Nano:* nano*

Or

Quantum: (quantum dot* OR quantum well* OR quantum wire*) NOT nano*

Or

Self-Assembly: (((SELF ASSEMBL*) or (SELF ORGANIZ*) or (DIRECTED ASSEMBL*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Terms to include as Nano without other delimiters: ((molecul* motor*) or (molecul* ruler*) or (molecul* wir*) or (molecul* devic*) or (molecular engineering) or (molecular electronic*) or (single molecul*) or (fullerene*) or (coulomb blockad*) or (bionano*) or (langmuir-blodgett) or (Coulombstaircase*) or (PDMS stamp*)) NOT nano*

Or

Microscopy - terms to include but limit to the molecular environment: ((TEM or STM or EDX or AFM or HRTEM or SEM or EELS) or (atom* force microscop*) or (tunnel* microscop*) or (scanning probe microscop*) or (transmission electron microscop*) or (scanning electron microscop*) or (energy dispersive X-ray) or (X-ray photoelectron*) or (electron energy loss spectroscop*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Nano-pertinent; Limit to the Molecular Environment - More Inclusively: (pebbles OR NEMS OR Quasicrystal* OR (quasi-crystal*)) AND MolEnv-I) NOT nano*

Or

Nano-pertinent; limit to the Molecular Environment - More Restrictive: (biosensor* or (sol gel* or solgel*) or dendrimer* or soft lithograph* or molecular simul* or quantum effect* or molecular sieve* or mesoporous material*) AND (MolEnv-R)) NOT nano*

Additional Items in Nano Journals: fullerene* or ieee transactions on nano* or journal of nano* or nano* or materials science & engineering C - biomimetic and supramolecular systems (in JOURNAL title field) NOT nano*

Fuente: Porter *et al* (2008).

Anexo 2. Estrategia utilizada para la recopilación de patentes sobre nanotecnología en la base PCT

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?) AND (CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL))/TI NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?)/TI)

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?)(A)(CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SMALL? OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL)) NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?))

S (((NANOMETER# OR NANOMETRE# OR NM OR SUBMICRO?)(2W)(CHIP# OR ELECTRON? OR ENGINEERING OR DIAMETER OR SIZE# OR LAYER# OR SMALL? OR SCALE OR ORDER OR RANGE OR DIMENSIONAL)) NOT (WAVELENGTH# OR ROUGHNESS OR ABSORB?))

S (NANOPARTICL? OR NANO(W)PARTICL?) NOT (ABSORB? OR INK OR POLISH?)

S (NANOANALY? OR NANOBAR? OR NANOBOT# OR NANOCAGE# OR NANOCHANNEL? OR NANOCERAMIC OR NANOCHANNEL# OR NANOCHIP# OR NANOCIRCUITRY OR NANOCLUSTER# OR NANO COATING# OR NANOCOLL? OR NANOCOMPUT? OR NANOCOMPOS? OR NANOCONDUCT? OR NANOCRY OR NANOCRYSTAL? OR NANODEVICE# OR NANODES)

S (NANODIMENSIONAL OR NANODISPERS? OR NANODOMAIN# OR NANODROP? OR NANOENGIN? OR NANO ELECTR? OR NANOFABRIC? OR NANOFEATURE# OR NANOARRAY? OR NANOBIO? OR NANOREACT? OR NANOCATAL? OR NANOPHOTO? OR NANOHOL? OR NANOPIT# OR NANOPILLAR#)

S (NANOGAP# OR NANO GEL OR NANOGLASS? OR NANOGRAIN? OR NANOGRANULAR OR NANOGRID? OR NANOIMPRINT? OR NANOINDENTATION OR NANOINSTRUCTIONS OR NANOILLUMINATION)

S (NANOLAYER? OR NANOLITHO? OR NANOMACHIN? OR NANOMANIPULATOR# OR NANOMAGNET? OR NANOMATERIAL?)

S (NANOMECHANICAL OR NANOMEMBRANE OR NANOMETRIC? OR NANOMICR? OR NANOMOTOR# OR NANOPEPTID? OR NANOPHASE# OR NANOPHOTOLITHOGRAPHY OR NANOPIPEL? OR NANO PLOTTER# OR NANOPOWDER# OR NANOSENSOR# OR NANOSCALE? OR NANOARCHITECTURE OR NANOPATTERN OR NANOCAVITY)

S (NANOPOR? OR NANOPRINTING OR NANOPROBES OR NANOPROCESS? OR NANOPROGRAM? OR NANORIBBONS OR NANOROD# OR NANOROPE# OR NANOSCIEN? OR NANOSCOPE? OR NANOSCRATCHING OR NANOSEMICONDUCTOR# OR NANOSENS? OR NANOSEQUENCER OR NANOSILIC? OR NANOSILVER OR NANOSIZ?)

S (NANOSPHER? OR NANOSPREADING OR NANOSTATS OR NANOSTEP? OR NANOSTRUCT? OR NANOSUBSTRATE OR NANOSUSPENSION OR NANOSWITCH? OR NANOSYST? OR NANOTECHNOLOG? OR NANOTEXTUR? OR NANOTIPS OR NANOTRIBOLOGY OR NANOTROPES OR NANOTUB? OR NANOWIRE? OR NANOWHISK?)

S (NANOTOPOGRAPHY OR NANO CHEMISTRY OR NANORECOGNITION OR NANODOT OR NANOPUMP# OR NANOCAPS?)

S SCANNING PROBE MICROSCOP? OR SCANNING TUNNEL? MICROSCOP? OR SCANNING FORCE MICROSCOP? OR ATOMIC FORCE MICROSCOP? OR NEAR FIELD MICROSCOP?

S FUNCTIONALLY COATED SURFACE# AND NANO?

S (BIOCHIP OR BIOSENSOR) AND (A61# OR G01N OR C12Q)/IC

S DNA(W)CMOS

S (BACTERIORHODOPSIN OR BIOPOLYMER# OR BIOMOLECULE#)AND (G11# OR G02# OR G03# OR G06#)/IC

S BIOMOLECULAR TEMPLAT? OR VIRUS(2A)ENCAPSULATION OR MODIFIED VIRUS

S NANO? AND IMPLANT?

S (PATTERN? OR ORGANIZED) AND (BIOCOMPATABILITY OR BLOODCOMPATABILITY OR BLOOD COMPATABILITY OR CELL SEEDING OR CELL-SEEDING OR CELL THERAPY OR TISSUE REPAIR OR EXTRACELLULAR MATRIX OR TISSUE ENGINEERING OR BIOSENSOR# OR IMMUNOSENSOR# OR BIOCHIP OR CELL ADHESION)

S MICRO?(2A)NANO?

S NANO(W)(ARCHITECT? OR CERAMIC OR CLUSTER# OR COATING# OR COMPOSIT## OR CRYSTAL?)

S NANO(W)(DEVICE# OR DISPERSE# OR DIMENSIONAL OR DISPERSION# OR DROP# OR DROPLET OR ENGINEERING OR ENGINEERED OR ELECTRODES OR ELECTRONIC#)

S NANO(W)(FABRICATED OR FABRICATION OR FILLER# OR GEL OR GRAIN? OR IMPRINT OR IMPRINTED OR LAYER#)

S NANO(W)(MACHINE# OR MANIPULATOR# OR MATERIAL# OR MECHANICAL OR MEMBRANE OR METRIC?)

S NANO(W)(PHASE# OR POWDER# OR PORE# OR PORO? OR PRINTING OR ROD# OR SCALAR)

S NANO(W)(SIZE? OR SPHER# OR STRUCTURE# OR STRUCTURING OR SUSPENSION OR SYSTEM# OR TECHNOLOG?)

S NANO(W)(TEXTUR? OR TIPS OR TROPES OR TUB? OR WIRE? OR WHISK?)

S ATOMIC(W)LAYER# OR MOLECULAR TEMPLATES OR SUPRAMOLECULAR CHEMISTRY OR MOLECULAR MANIPULATION

S QUANTUM DEVICE# OR QUANTUM DOT# OR LANGMUIR BLODGETT OR QUANTUM WIRE?

S SINGLE ELECTRON? TUNNELING OR MOLECU? ENGINEER? OR MOLECU?

MANUFACTUR?

S MOLECUL? SELF ASSEMBL? OR ULTRAVIOLET LITHOGRAPHY OR PDMS STAMP OR SOFT LITHOGRAPHY

S FULLEREN? OR MOLECULAR MOTOR OR MOLECULAR BEACON OR NANO

ELECTROSPRAY OR ION CHANNELS OR MOLECULE CHANNELS

S LAB(3W)CHIP

S (NANOFILT? OR NANOFIB? OR NANOFLUID?) AND (C0## OR A61# OR B0##)/IC

S (ELECTRON BEAM WRITING) AND (H01L OR H01J)/IC

S MONOLAYER AND (G03G OR H01J)/IC

S THIOL AND H01L/IC

S (B82B OR A61K009-51 OR G01N013-10 OR G12B021)/ICS L1-L39

Fuente: Noyons, E.C.M. *et al* (2003).