



La biotecnología en Iberoamérica

Situación actual y tendencias

El presente informe ha sido elaborado para el Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Sociedad del Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI por un equipo de trabajo organizado por el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT-CONICET). El equipo estuvo coordinado por el Lic. Rodolfo Barrere y contó con la colaboración de la Lic. María Guillermina D'Onofrio y Lautaro Matas. Participaron también, en asesoramiento científico y análisis de los resultados del estudio, el Dr. Francisco Ferrándiz García, miembro de la Sociedad Española de Biotecnología (SEBIOT) y de BioEuroLatina (BEL) y asesor de la Asociación de Empresas de Bioempresas (ASEBIO), del Dr. Marcos Bilen, del Laboratorio de Ingeniería Genética de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) y del Dr. Víctor Romanowski del Instituto de Biotecnología y Biología Molecular (IBBM UNLP-CONICET). Para el desarrollo del informe se ha contado con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

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 análisis de la situación actual y tendencias de la I+D en biotecnología en el marco del espacio iberoamericano del conocimiento y su inserción en las corrientes de investigación mundiales. 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. Se trata de un estudio de metodología similar al publicado por este mismo equipo en 2008 sobre el campo de la nanotecnología, permitiendo así miradas comparables a dos disciplinas de creciente importancia.

Entre las evidencias obtenidas se destaca el crecimiento de la producción de conocimiento en biotecnología, medida a través de publicaciones científicas, dentro del espacio iberoamericano del conocimiento. Se observan, sin embargo, patrones de desarrollo muy desigual entre los países de la región, entre los que España y Brasil muestran un marcado liderazgo. Resulta más alentador el creciente proceso de integración regional, observado en la firma conjunta de artículos científicos, que puede convertirse en un mecanismo para garantizar la masa crítica necesaria para el desarrollo de la biotecnología en la mayoría de los países iberoamericanos.

La desigualdad en los niveles de desarrollo se observan aún con mayor claridad en la titularidad de patentes, donde la distancia entre España y el resto de los países de la región es abismal. Algunas evidencias detectadas en el análisis temporal y de titularidad de las patentes en biotecnología señalan una marcada debilidad del sector privado en la región, que dificulta la transferencia de la investigación científica hacia la industrial.

El trabajo ofrece, en primer lugar, un panorama de los potenciales de la biotecnología en sus diferentes campos de investigación y aplicación industrial, dando cuenta de la situación actual a nivel mundial y dentro de Iberoamérica en particular. Luego se presentan datos de la producción científica biotecnológica, medida a través de publicaciones científicas, tanto a nivel mundial como regional. El análisis incluye 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 las tendencias en el desarrollo y la aplicación industrial de las biotecnologías, sobre la base del análisis de patentes. Una vez más, el enfoque se centra en Iberoamérica, pero sin dejar de lado las tendencias globales. El estudio incluye la evolución total del patentamiento, 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.

Principales afirmaciones

1. La biotecnología es un campo que desde hace tiempo despierta el interés de los políticos y gestores de la ciencia. Sus potencialidades para el desarrollo son amplias y se estima que dentro de 20 años los productos biotecnológicos alcancen el 5% del PBI de los países desarrollados
2. La producción de conocimiento en biotecnología, medida en publicaciones científicas, casi duplicó a nivel mundial su volumen entre 2000 y 2008, representando el 4,1% de la producción científica total registrada en el SCI en ese mismo período.
3. La presencia de la biotecnología iberoamericana en el SCI fue, para el período 2000-2008, de 27.781 documentos. Entre puntas alcanzó un crecimiento del 152%, mientras que el total de la producción regional aumentó sólo un 75%, alcanzando en el último año a representar el 4,5% de las publicaciones totales de Iberoamérica.
4. En comparación con la evolución mundial, el crecimiento iberoamericano en este campo también es significativo. Aunque con volúmenes relativamente menores, la tasa de crecimiento total de las publicaciones biotecnológicas de la región duplicó la del total mundial en la disciplina.
5. El desarrollo de los países iberoamericanos en biotecnología, medido a través de publicaciones científicas, es fuertemente desigual. España y Brasil son los pioneros y líderes de la producción científica en biotecnología. México, Portugal y Argentina constituyen un segundo bloque con rasgos muy similares entre sí. Los restantes países presentan una producción marcadamente más reducida.
6. Actualmente, el avance de las fronteras del conocimiento requiere equipamientos costosos de alta tecnología, de manera que la colaboración con diferentes grupos de investigación se hace imprescindible. Si bien la colaboración internacional en la producción biotecnológica regional es del 40%, para los países de menor desarrollo relativo esa proporción aumenta hasta más del 70%.
7. Asimismo, la cooperación dentro de Iberoamérica es muy significativa para algunos países con sistemas de ciencia y tecnología pequeños y con baja producción científica en biotecnología. Es el caso de Uruguay (39%), Perú (36%), Cuba (30%) y Costa Rica (27%). Es también de cierta importancia para países de desarrollo medio, como Venezuela (25%), Colombia (21%) y Chile (17%).
8. Iberoamérica es un bloque que presenta un creciente grado de integración, medido a partir de la firma conjunta de publicaciones por parte instituciones de la región. El incremento de esta tendencia hacia la colaboración intrarregional da cuenta de la consolidación del espacio iberoamericano del conocimiento, como un área de mayor circulación de la información. Mientras que la densidad de la red de producción científica a nivel mundial en biotecnología se mantuvo relativamente estable, la integración de las redes de colaboración

dentro de la región iberoamericana se mantuvo en todo momento a un nivel superior y registró un fuerte crecimiento.

9. El análisis del desarrollo tecnológico, medido a través de patentes, resulta menos alentador. El número de patentes de titulares iberoamericanos publicadas en la WIPO en 2008 fue de tan sólo 165 documentos. A pesar de ello, el crecimiento fue muy significativo, ya que en 2000 sólo se registraron 34 documentos, marcando un aumento del 485%.
10. De todas maneras, las tendencias regionales se ven considerablemente influenciadas por tendencias globales. La pendiente positiva iberoamericana observada hasta el año 2002 se da en un contexto de expansión internacional en el campo de la biotecnología. Los años posteriores, en los que el patentamiento total en el área desciende, presentan una desaceleración a nivel regional, con una caída significativa en 2005. De la misma manera, la recuperación mundial registrada en el último año, tiene un impacto significativo en la producción tecnológica iberoamericana.
11. Al igual que en otros campos del desarrollo tecnológico, la presencia de inventores de la región es mucho mayor que la de los titulares, dando señales de fortalezas en la formación de investigadores y tecnólogos, pero de una cierta debilidad en el entramado empresarial. Argentina aparece como un caso llamativo, con más de 10 patentes con inventores por cada una de su titularidad. Chile, en segundo lugar, tiene algo más de 5. Brasil y México tienen 2.25. Los países ibéricos presentan relaciones aún más bajas, con 2.15 en el caso de Portugal y 1.69 en el caso de España.
12. La falta de dinamismo del sector privado, principalmente en América Latina, se observa en principales titulares de patentes biotecnológicas. Nueve de los diez principales titulares son españoles, mientras que el restante es de origen cubano. Al mismo tiempo, dentro de los titulares españoles, la diferencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el resto es abismal.
13. Siendo la agricultura una actividad económica de máxima importancia en la mayoría de los países iberoamericanos, se observa un predominio de patentes relacionadas con organismos genéticamente modificados. Sin embargo, debe reconocerse que esas patentes corresponden a compañías multinacionales y no han sido originadas, en su gran mayoría, en actividades de I+D financiadas en los países de la región.
14. El gran desafío de los países Iberoamericanos es establecer políticas de estado que apunten a mejorar la disponibilidad local de infraestructuras y financiación para aprovechar de manera plena los recursos humanos hacia la solución de problemas de alto impacto social. La salud pública es un ejemplo, donde la disponibilidad de reactivos de diagnóstico, medicamentos y vacunas no siempre pueden ser atractivos para empresas de capitales privados.

1. Desarrollo y potencialidades de la biotecnología

A través del tiempo, el hombre ha desarrollado herramientas y sistemas que le permitieron sobrevivir y mejorar su calidad de vida. La generación de nuevos conocimientos y su posterior aplicación es una de las bases de su constante evolución. Los datos arqueológicos permiten confirmar que desde al menos 6.000 años atrás el hombre aprendió a hacer uso de organismos naturales o parte de los mismos con el fin de producir pan, cerveza, queso, vino o ciertos medicamentos. Actualmente, se entiende por biotecnología la producción de conocimientos, bienes o servicios, mediante el empleo de organismos vivos, parte de ellos o sus productos (OCDE, 2005). Por ello, la biotecnología debe considerarse un término genérico que engloba diversas etapas de desarrollo y aplicación.

En la segunda mitad del siglo XX se produjeron avances espectaculares en el conocimiento de los procesos elementales de la vida y de las bases moleculares que permitieron entender los mecanismos de la expresión de genes. Estos conocimientos junto con las tecnologías de modificación dirigida del ADN fueron rápidamente incorporadas a la generación de organismos genéticamente modificados con el fin de obtener productos de interés en medicina y agroalimentos.

Entrados ya en el siglo XXI, las biotecnologías y la ingeniería genética aparecen claramente como tecnologías del futuro. No se trata de ciencias nuevas, pero hacen uso de todo tipo de estrategias y de diferentes métodos para analizar y utilizar el material hereditario de los seres vivos, así como sus diferentes funciones. De esta forma, la ciencia se enriquece con nuevos conocimientos fundamentales sobre los mecanismos de la vida. Estos conocimientos pueden dar lugar a diferentes aplicaciones de gran trascendencia para la humanidad.

La revolución de las ciencias biológicas consiste en la rápida transferencia de los conocimientos básicos a procesos de interés social y comercial. La biotecnología hace uso de todo tipo de nuevas estrategias y metodologías para analizar y utilizar el material hereditario de los seres vivos y estudiar los diferentes mecanismos fundamentales de la vida a nivel molecular, empleando estos conocimientos con fines aplicados. Por otra parte, los conocimientos generados en estudios de orientación biotecnológica permiten, a su vez, profundizar nuestra comprensión de los procesos biológicos. Esta retroalimentación es necesaria para ampliar la aplicación de los conocimientos en diversos campos, permitiendo mejorar procesos, disminuir costos y desarrollar nuevos productos que representan finalmente una mejora en el bienestar social de gran trascendencia para la humanidad. A nivel económico, la utilización de la biotecnología en cualquier sector, representa la optimización de procesos, disminución de escalas, mejoramiento de la calidad de los productos y un mejor control en el empleo de las materias primas y recursos disponibles. Teniendo en cuenta esto, el rol de la biotecnología en el contexto económico mundial es imprescindible para el crecimiento de economías desarrolladas o en desarrollo.

Para entender la implicancia de la biotecnología en nuestra sociedad actual no hace falta más que observar los diferentes elementos que componen nuestros hábitos cotidianos. Desde lavar la ropa con detergentes desarrollados a partir de enzimas específicas, preparar la comida con alimentos transgénicos o controlar una enfermedad con biofármacos desarrollados mediante técnicas de ADN recombinante y producidos en una empresa biotecnológica. Por otra parte, el impacto de la biotecnología moderna no se acota a los sectores agroalimentario y de salud, sino que

su alcance es horizontal y sus aplicaciones llegan a sectores como el energético, el ambiental y el industrial.

Este breve y limitado repaso sobre estas nuevas tecnologías no debería finalizar sin la mención expresa de la bioelectrónica y de la neuroinformática que, en una primera aproximación, revelan tener un enorme potencial para la innovación científica y tecnológica. Los biosensores que se basan en el acoplamiento directo de un componente biológicamente activo, el emisor o transmisor de señal, y de un convertidor o transductor de la señal es un fenómeno de detección biológica. La selectividad del biosensor es la base de su uso futuro en biomedicina, en el ámbito del diagnóstico y control, del análisis del medio ambiente y de los alimentos, así como del control biológico de los procesos.

Tanto la neurobiología como la informática (tratamiento automático de la información) están registrando progresos muy importantes de cara al futuro. De hecho, ambas ciencias actúan cada vez más en paralelo y si a ellas añadimos las nanotecnologías podemos afirmar que se van a producir aplicaciones comunes del mayor interés en el área de las biotecnologías y en las sucesivas interacciones con los sistemas fisiológicos del hombre.

No se puede dejar de lado, en esta presentación, el debate continuo sobre los riesgos y las necesarias normas y orientaciones en materia de seguridad. En todos los países que desarrollan actividades científicas en este ámbito, que pueden dar lugar al empleo de sistemas y tratamientos, existen ya (sobre todo en las investigaciones en biomedicina) normas de correcta manipulación y limitaciones jurídicas al empleo de algunas de estas nuevas tecnologías que están ya realmente armonizadas en el ámbito internacional. Un ejemplo claro corresponde al uso de semillas o plantas genéticamente modificadas, mientras que desde otro punto de vista, también existen ya normas específicas respecto a los alimentos y los productos que entran en el ámbito de la salud.

En ese sentido, es también importante considerar el concepto de bioeconomía, que desde este punto de vista aborda los cambios y desafíos globales del futuro y la forma en que pueden las ciencias biotecnológicas, en general, contribuir a resolver los complejos problemas que ya están planteados hoy en día. La bioeconomía, estratégicamente, ofrece significativos aportes a los gobiernos, a las empresas, a los científicos y a la sociedad en general para la toma de decisiones en relación con las políticas innovadoras en campos como salud, alimentación, agricultura y cambio global, desde la perspectiva de las soluciones posibles ofrecidas desde las biotecnologías.

Existen numerosos factores de la bioeconomía que están orientados hacia las oportunidades de inversión. La bioeconomía emergente estará influida muy directamente por el apoyo a las inversiones en investigación pública y privada, las regulaciones, los derechos de propiedad industrial y la aceptación por la sociedad. Por otra parte, las normas permitirán afianzar la seguridad y la eficacia de los productos biotecnológicos influidos por las características de las investigaciones que sean viables comercialmente, teniendo en cuenta los costes de las mismas.

Es tan amplio el número de campos en que pueden utilizarse los conocimientos provenientes de la biotecnología que se ha tratado de definir diferentes tipos para la misma, usando códigos de colores: azul para la acuicultura, blanco para el medio ambiente, rojo para los desarrollos y aplicación en ciencias de la salud y verde para el área de la agricultura, alimentación, ganadería y forestal. Esto no significa en modo

alguno que en el futuro no sean ampliados estos campos a otras áreas más definidas o particularizadas.

La biotecnología en su sentido más amplio es una actividad muy antigua, y sin embargo, sus posibilidades y su potencial están muy lejos de quedar agotados. Es complejo establecer un balance o predecir nuevos avances en el ámbito de la biotecnología y de la ingeniería genética, en particular. La investigación básica en biología (genética molecular, biología estructural, genómica estructural y funcional, proteómica, metabolómica, biología de sistemas, etc.) desplaza continuamente las fronteras del conocimiento y las predicciones sobre sus aplicaciones rápidamente son superadas por otras adicionales. En suma, puede apreciarse un horizonte muy prometedor.

Se estima que dentro de 20 años los productos biotecnológicos alcancen el 5% del producto interior bruto de los países desarrollados, si bien los beneficios sociales y económicos de la bioeconomía van a depender de forma muy importante de que se tomen adecuadas decisiones políticas y económicas por parte de los diferentes países. En ese mismo sentido, la biotecnología ofrece soluciones tecnológicas adecuadas para muchos de los problemas existentes en el área de la salud o de los recursos necesarios para el desarrollo mundial. La aplicación de la biotecnología a la producción primaria, la salud y la industria pueden dar lugar al establecimiento de una bioeconomía que aporte resultados sociales y económicos de mayor nivel.

2. Las huellas de la investigación y el desarrollo

El monitoreo del estado del arte y de las tendencias en los distintos campos de la ciencia y la tecnología requiere de la combinación de información cuantitativa y cualitativa. Si bien en este terreno la información sobre la inversión y los recursos humanos involucrados en la producción de conocimiento son de gran importancia, el seguimiento de los resultados de las actividades de I+D permite, con la asistencia de expertos en el tema estudiado, un nivel de detalle muy importante, permitiendo además analizar las tendencias detectadas, de cara a la toma de decisiones y la prospectiva.

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.

La delimitación de un campo transversal como éste requiere contar con una definición clara del objeto a abordar. Desde hace varios años la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha formado un grupo de trabajo dedicado a las estadísticas en biotecnología. Uno de los principales resultados de ese emprendimiento es el documento *A Framework for Biotechnology Statistics*, publicado en 2005. En ese documento se ofrecen definiciones muy precisas, que han orientado

la mayor parte de los estudios métricos en este terreno, motivo por el cual ha sido utilizada en este informe.

La OCDE define a la biotecnología como:

“La aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios” (OCDE, 2005).

Esta definición general, que abarca toda la denominada biotecnología moderna pero también incluye algunas actividades tradicionales y otras de frontera, a los fines de su medición debe ser interpretada especificando su alcance a la siguiente lista de técnicas biotecnológicas:

- **ADN (Ácido Desoxirribonucleico)/ARN (Ácido Ribonucleico):** genómica, fármaco-genética, sondas de genes, ingeniería genética, secuenciado/síntesis/amplificación de ADN/ARN, patrones de expresión genética y uso de tecnología antisentido, ARN de interferencia.
- **Proteínas y otras moléculas:** secuenciación/síntesis/ingeniería de proteínas y péptidos (incluyendo grandes moléculas con actividad hormonal), métodos de envío y liberación mejorados para de grandes moléculas con acción farmacológica, proteómica, aislamiento y purificación de proteínas, identificación de receptores celulares y de señales celulares.
- **Cultivo e ingeniería celular y de tejidos:** cultivo de células/tejidos, ingeniería de tejidos (incluyendo ingeniería biomédica y estructuras para el armado de tejidos), hibridación y fusión celular, vacunas/estimulantes de inmunidad, manipulación de embriones.
- **Biotecnología de procesos:** fermentación utilizando biorreactores, bioprocesos, bio-lixiviación, bio-producción de pulpa de papel, bio-blanqueado, bio-desulfuración, biofiltración y biorremediación.
- **Genes y vectores de ADN/ARN:** terapia génica, vectores virales.
- **Bioinformática:** construcción de bases de datos de genomas, secuencias de proteínas, y modelización de complejos procesos biológicos, incluyendo biología de sistemas.
- **Nanobiotecnología:** aplicaciones de herramientas y procesos de nano y microfabricación a la construcción de dispositivos para estudiar biosistemas y aplicaciones en entrega de drogas, diagnósticos, etc.

Sin embargo, la definición del *corpus* de datos resulta un tarea compleja que, dada la transversalidad disciplinaria del campo analizado, sólo puede realizarse de manera efectiva en base a un conjunto de palabras clave representativas del objeto de estudio. Este conjunto de palabras, que tomaron como base las definiciones de la OCDE y otros trabajos bibliométricos disponibles, fueron refinadas con la asistencia de expertos en el tema. El listado resultante se incluye en el Anexo 1 de este informe.

Ese conjunto de palabras clave fue aplicado sobre la base de datos *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 casi siete 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 biotecnología.

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.

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. 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, dado el impacto de las distintas regulaciones legales propiedad intelectual en la biotecnología, hemos realizado un panorama inicial comparado las bases de patentes de los Estados Unidos (USPTO) y la Unión Europea (EPO), para luego profundizar el estudio sobre 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).

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 "búsqueda 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.

Para la selección del conjunto de patentes a analizar, existe creciente consenso internacional en partir de la definición referencial adoptada por la OCDE en biotecnología, y contenida en los documentos anteriormente referenciados. Esta definición operativa está basada en la Clasificación Internacional de Patentes (IPC, según las siglas en inglés). Los 30 códigos IPC incluidos en ella, con sus respectivos nombres descriptivos, se presentan en el Anexo 2 de este informe.

La extracción de datos, abarcando la serie 2000-2008, se realizó mediante la plataforma *Delphion* de la empresa *Thompson* y los registros obtenidos fueron descargados y migrados a una base de datos local diseñada a tal efecto.

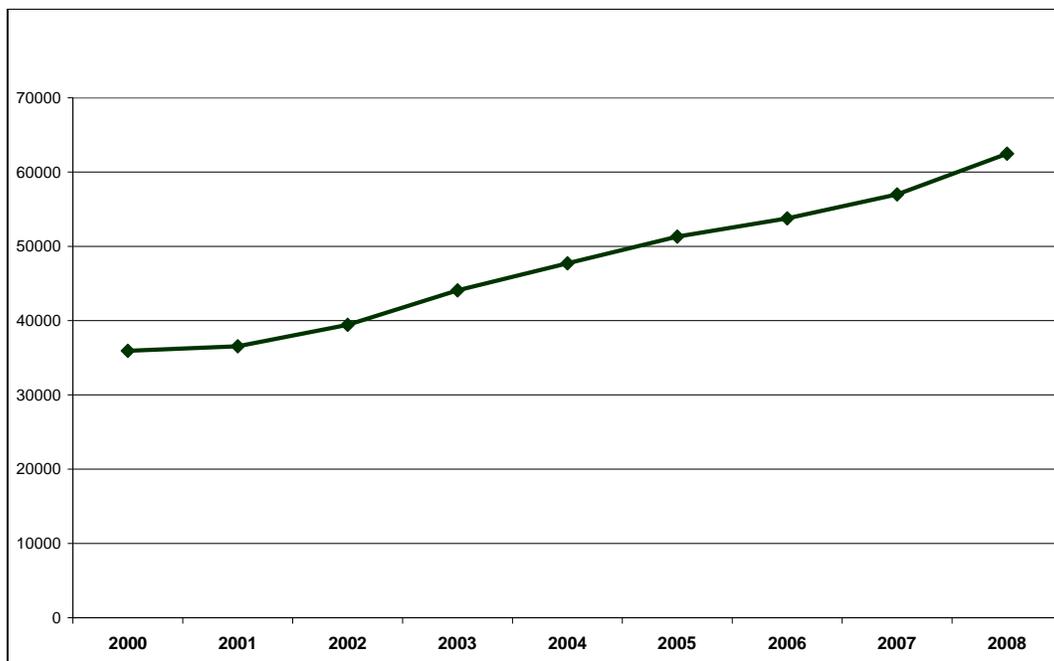
3. La investigación científica en biotecnología

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 evaluar aspectos relativos a la capacidad científica en campos determinados y su evolución en el tiempo. Estas fuentes de información son adecuadas para analizar disciplinas de la frontera de la ciencia, como lo es la biotecnología. 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 recortes disciplinarios predominantes en la región y los principales países.

3.1. Evolución de la producción científica

La búsqueda de publicaciones realizada permitió recuperar, a nivel mundial, un total de 428.255 documentos pertenecientes al campo de la investigación en biotecnología, disponibles en el *Science Citation Index* (SCI) entre los años 2000 y 2008. Estos documentos representan el 4,1% de la producción científica total registrada en el SCI en ese mismo período. Como se puede observar en el Gráfico 1, el campo de la investigación en biotecnología presenta un crecimiento marcado y sostenido a nivel mundial, claramente evidente a partir de 2001. Mientras que en 2000 se registraron 35.936 documentos, en 2008 la producción ascendió a 62.472 documentos.

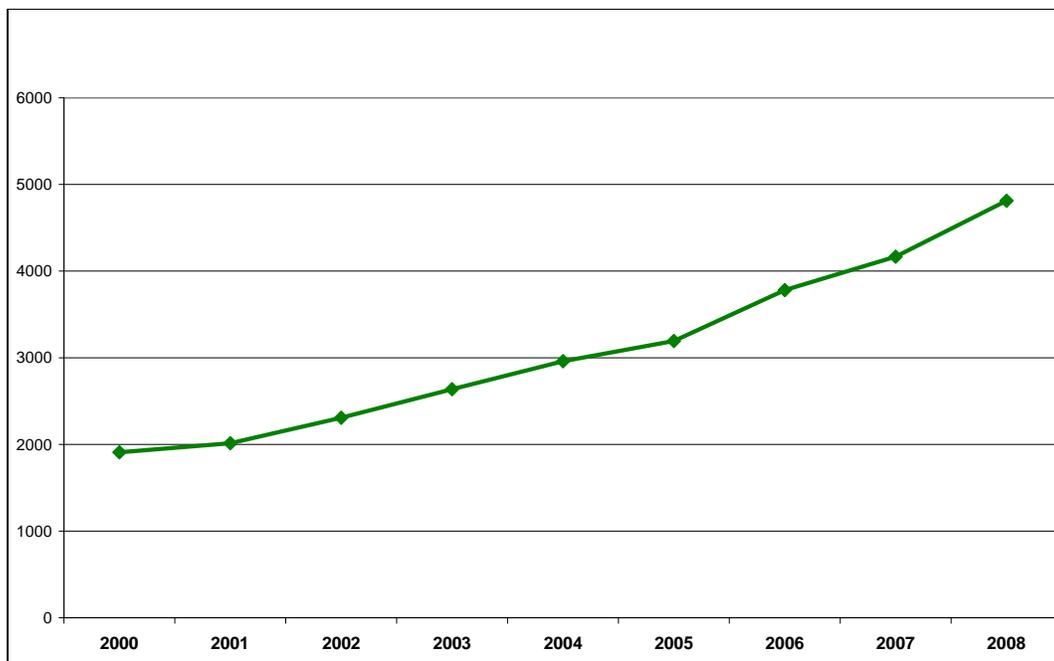
Gráfico 1. Total de publicaciones en biotecnología (2000-2008)



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

La presencia de Iberoamérica en el SCI fue, para el período 2000-2008, de 27.781 documentos. Se trata del 4,1% del total de las publicaciones iberoamericanas registradas en esa base de datos internacional durante el período considerado, proporción idéntica a la observada para el total de la producción científica en biotecnología mundial. Sin embargo, como muestra el Gráfico 2, el crecimiento continuo fue, en términos relativos, mucho más fuerte en Iberoamérica que en el mundo: de 1.909 documentos registrados en 2000, pasó a 4.812 publicaciones en 2008, superando ampliamente el doble del valor inicial del período (un aumento del 152%, frente al crecimiento del 73% registrado en la producción mundial en este campo).

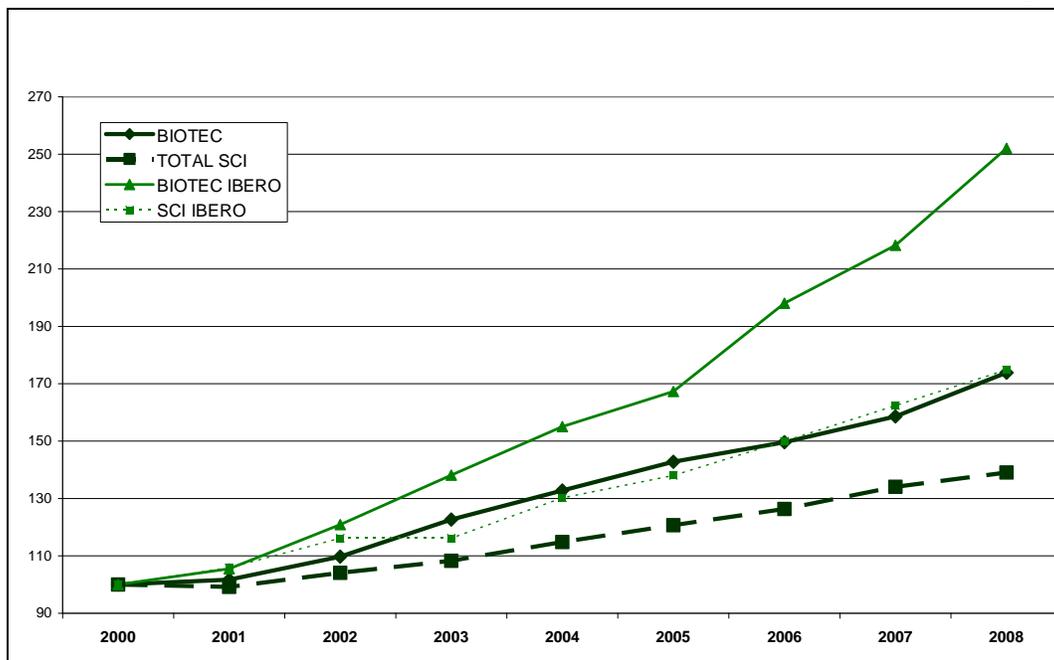
Gráfico 2. Total de publicaciones iberoamericanas en biotecnología (2000-2008)



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

La producción científica en biotecnología mundial creció, además, a un ritmo muy superior al presentado por el total de la producción científica registrada en SCI en el período 2000-2008 (Gráfico 3). Mientras que el total de la base creció un 40%, en el mismo período los artículos sobre biotecnología alcanzaron un incremento cercano al 75%. Asimismo, pasaron de abarcar el 3,6% de las publicaciones totales en SCI en 2000 a representar el 4,5% de los registros totales en 2008. Para la región iberoamericana considerada como conjunto, el total de publicaciones en SCI creció casi un 75% mientras sus documentos en biotecnología aumentaron un 152%. La tendencia de crecimiento de la proporción de artículos en este campo que fue observada para el total mundial se mantuvo en Iberoamérica, que pasa de abarcar el 3,4% en 2000 al 4,9% en 2008.

Gráfico 3. Total de publicaciones mundiales e iberoamericanas en biotecnología



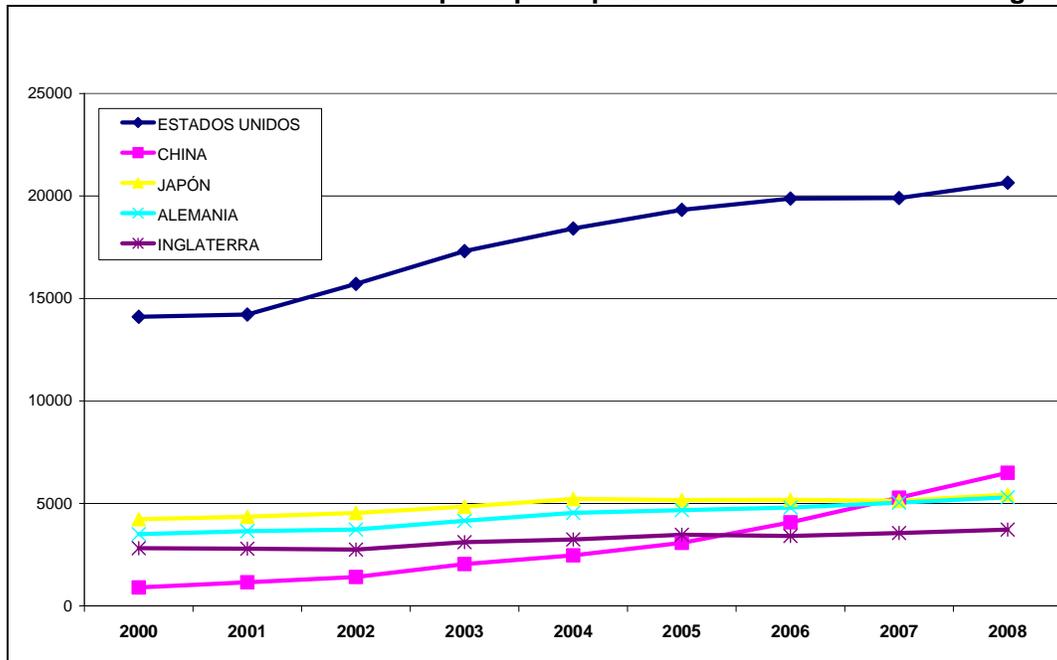
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Base 2000=100

En el Gráfico 4 se presenta la evolución de las publicaciones científicas de los cinco países del mundo más productivos en el campo de la biotecnología durante 2000-2008. Se ha utilizado la metodología de contabilización por enteros, esto es, se ha contado un registro completo para cada uno de los países participantes. Debido a las repeticiones generadas por las co-autorías en colaboración internacional, la suma de la producción de los países es superior al total mundial.

Los resultados obtenidos muestran un claro liderazgo de Estados Unidos que, contabilizando 14.103 artículos en 2000 y 20.650 en 2008, mantiene una presencia superior a la tercera parte del total en todo el período. En segundo lugar en 2008 aparece China, país que se destaca muy especialmente del resto por su marcado crecimiento: multiplica por más de siete su producción entre puntas (pasa de 899 a 6.493 registros) y avanza desde el undécimo lugar en 2000. Es importante señalar que el explosivo crecimiento de la producción china no es un fenómeno privativo de la biotecnología, sino que se registra en mayor o menor medida en todas las disciplinas, posicionando a ese país entre los de mayor producción científica en el mundo. Completan la lista de los cinco países más importantes en este campo Japón (responsable del 10% de la producción mundial del período), Alemania e Inglaterra, los tres con un crecimiento moderado.

Gráfico 4. Publicaciones de los principales países del mundo en biotecnología



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

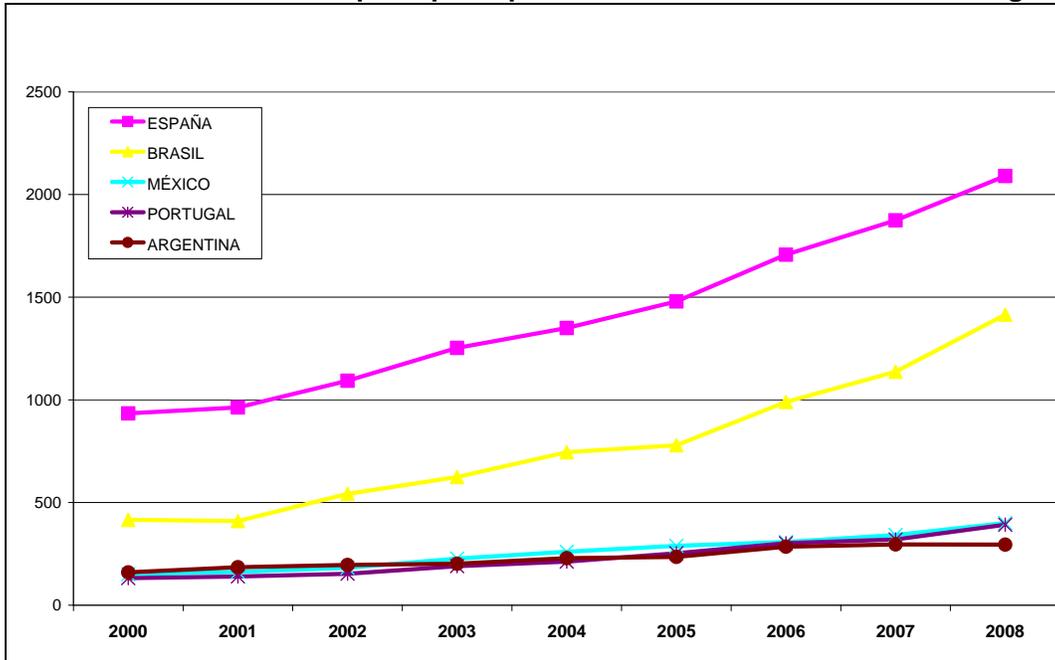
El Gráfico 5 muestra la evolución de la producción científica de los países con más publicaciones en biotecnología durante 2000-2008 en el ámbito iberoamericano. En orden decreciente, los cinco países líderes en la temática a escala regional son: España, Brasil, México, Portugal y Argentina.

El desempeño de España se destaca especialmente por su fuerte presencia y crecimiento sostenido: participa en el 45,8% de la producción científica en biotecnología iberoamericana del período, ascendiendo de 934 artículos en 2000 a 2.090 en 2008.

En segundo lugar durante todo el período analizado se encuentra Brasil, país latinoamericano que es responsable de la cuarta parte (25,4%) de la producción científica en biotecnología iberoamericana y que también presenta un crecimiento continuo, con un aumento del 227,7% en su aporte al SCI en la temática.

Crecimientos relativos importantes pero un poco menores registraron, para igual período, México y Portugal (que ocupan el tercer y el cuarto lugar en la región respectivamente, con aumentos de un 165% y un 197%), aunque ninguno de ellos alcanza siquiera a la tercera parte del volumen total de artículos científicos en biotecnología generados por Brasil. Finalmente, y en el quinto lugar de la región, Argentina presenta un crecimiento más contenido del 84% durante el período 2000-2008.

Gráfico 5. Producción de principales países iberoamericanos en biotecnología

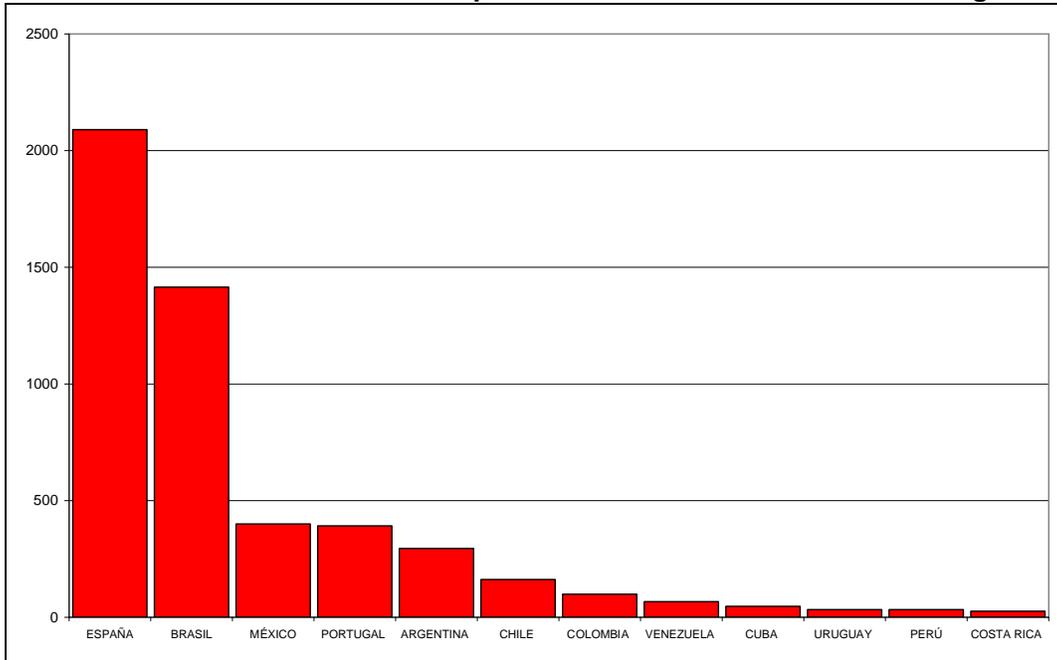


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

En el Gráfico 6 se puede observar la participación de cada país en el conjunto de la producción científica en biotecnología reciente de Iberoamérica. España sobresale por su gran volumen de artículos publicados en la temática en 2008, con 2.090 documentos. En segundo lugar se encuentra Brasil, con 1.405 publicaciones especializadas en este campo. En el tercer y el cuarto lugar se ubican México y Portugal, que registran 400 y 392 artículos respectivamente. Argentina, en el quinto lugar, presenta ese año una producción científica de 295 artículos en el SCI en biotecnología.

A los cinco principales países iberoamericanos siguen, en orden decreciente, Chile (con 162 publicaciones), Colombia (con 99), Venezuela (con 67), Cuba (con 47), Uruguay y Perú (ambos con 33) y, finalmente, Costa Rica (con 26). Otros países de la región registran, en cambio, menos de una decena de artículos publicados en biotecnología en 2008.

Gráfico 6. Publicaciones de los países iberoamericanos en biotecnología

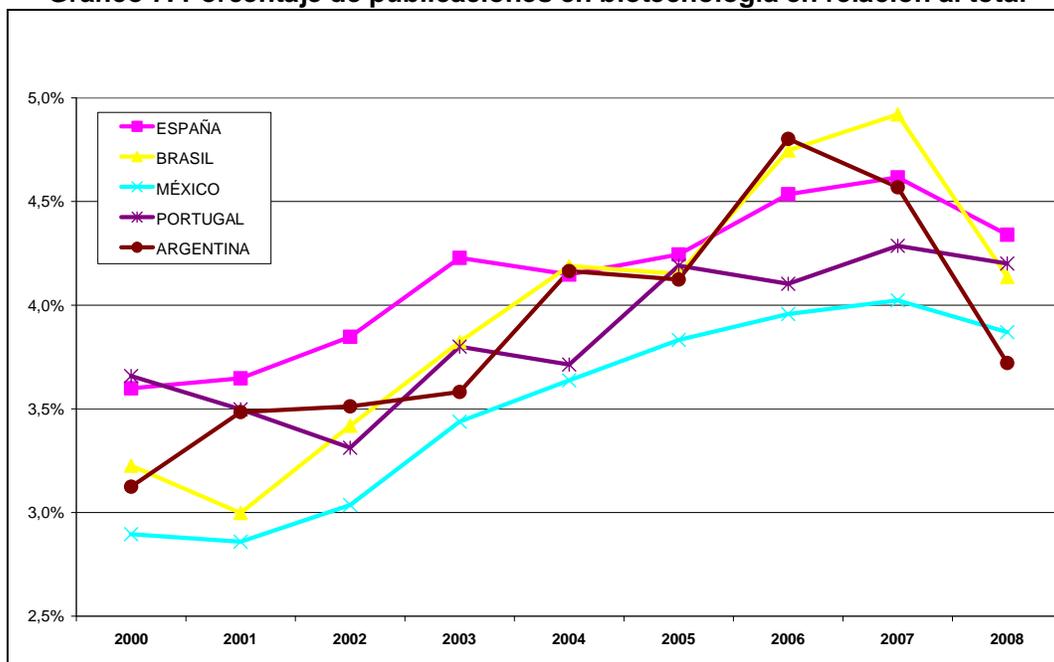


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Año 2008. Se incluyen países con más de 10 publicaciones.

Si se observa la cantidad de publicaciones que un país registra en una temática, en relación con el número total de sus publicaciones, se obtiene un valor que representa el nivel de especialización que ese país tiene en la materia que se esté analizando. Observando la evolución del porcentaje de la producción científica en biotecnología durante 2000-2008 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) presentan trayectorias diferentes.

Gráfico 7. Porcentaje de publicaciones en biotecnología en relación al total



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

Como muestra el Gráfico 7 Brasil era, entre los países presentados, el tercero en cuanto a proporción de producción científica en biotecnología en el SCI en 2000 (3,2%). Desde ese momento, su especialización en biotecnología creció de manera sostenida (luego de una pequeña caída en 2001) hasta alcanzar en 2007 el mayor valor de la región (4,9%), presentando en 2008 (junto con otros países de la región) un descenso brusco.

Portugal, en cambio, era el más especializado de estos países en 2000 (3,7%) y el que presenta las mayores irregularidades en algunos años del período. España y México, en el segundo y el quinto lugar en 2000 respectivamente, tienen ambos los incrementos más constantes del grupo hasta el 2007, decayendo también ambos en 2008: España pasa del 3,6% en 2000 al 4,6% en 2007 (pasando al 4,3% en 2008), mientras que México asciende del 2,9% en 2000 al 4% en 2007 (para bajar una décima en 2008).

Finalmente, el perfil de especialización biotecnológica argentina tiene un comportamiento muy similar al de España y México, pero registrando hacia 2006 un decrecimiento relativo de su volumen de artículos en biotecnología en relación al total de artículos registrados en las bases de datos internacionales del SCI.

Los descensos bruscos en la especialización de los países latinoamericanos pueden ser explicados, en alguna medida, por un cambio en la colección de revistas indexadas por el SCI. A partir de 2008, con el objetivo de fortalecer la representatividad de la producción científica de la región en la base, se incorporaron alrededor de 700 nuevas publicaciones regionales (principalmente brasileñas).

Estos títulos generaron un fuerte incremento de los artículos regionales, pero dado que sus temáticas no se concentraron en temas relacionados con la biotecnología, el crecimiento en esta área no fue proporcional. Por ese motivo, si bien la cantidad

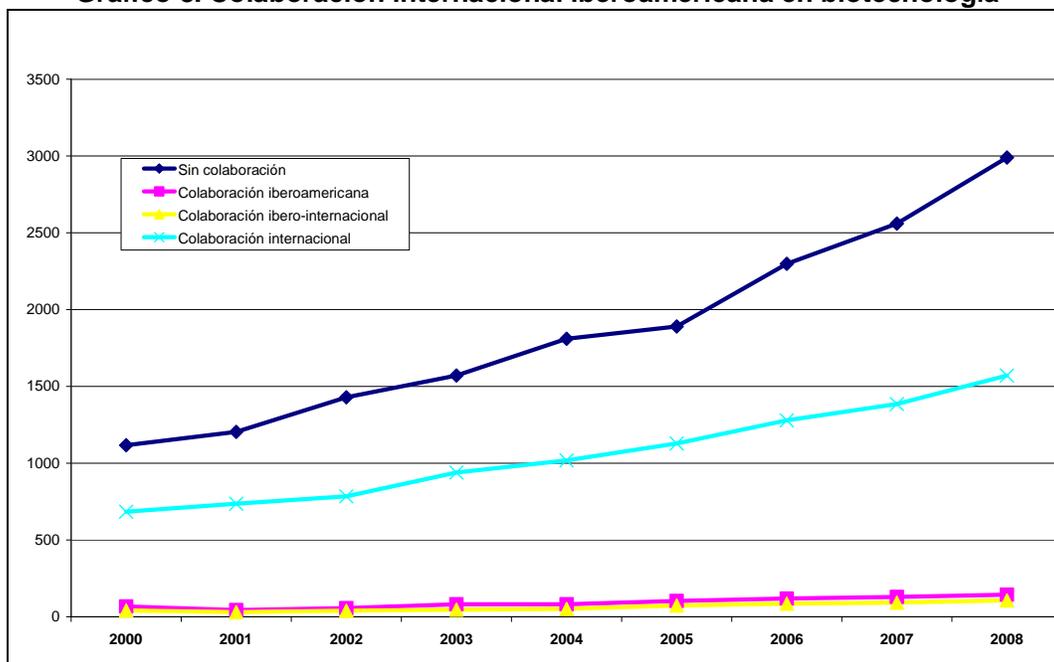
absoluta de registros de los tres países latinoamericanos en biotecnología creció en 2008, al hacerlo en menor medida que su producción total, sus índices de especialización presentan un sensible descenso.

3.2 Colaboración internacional

La biotecnología es un área de esencia multidisciplinaria, que impacta de manera transversal en diferentes campos del conocimiento. Por otro lado, el avance de las fronteras del conocimiento requiere en la actualidad equipamientos costosos de alta tecnología, de manera que la colaboración con diferentes grupos de investigación se hace imprescindible. En este sentido, el análisis de los eventos de colaboración internacional y nacional de cada país permite comprender mejor la evolución de la biotecnología en la región.

El Gráfico 8 muestra tres tendencias bien marcadas en la producción científica en biotecnología en colaboración registrada en el SCI de Iberoamérica a nivel regional. En primer lugar, aún la mayoría (60%) de las publicaciones en biotecnología de autores iberoamericanos del período fue realizada sin colaboración internacional y, además, se ha ido incrementando en forma sostenida en los últimos nueve años (aumentando cerca del 170% entre 2000 y 2008). 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 (registrando un 130% más entre puntas). Finalmente, una tercera tendencia observada es la débil presencia tanto 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 41 artículos científicos en 2000 a 107 documentos en 2008, 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. Estas tres tendencias quedarán mejor explicadas a partir de las composiciones relativas de la producción científica en biotecnología en colaboración de España y Brasil, los grandes motores del crecimiento iberoamericano en la temática.

Gráfico 8. Colaboración internacional iberoamericana en biotecnología

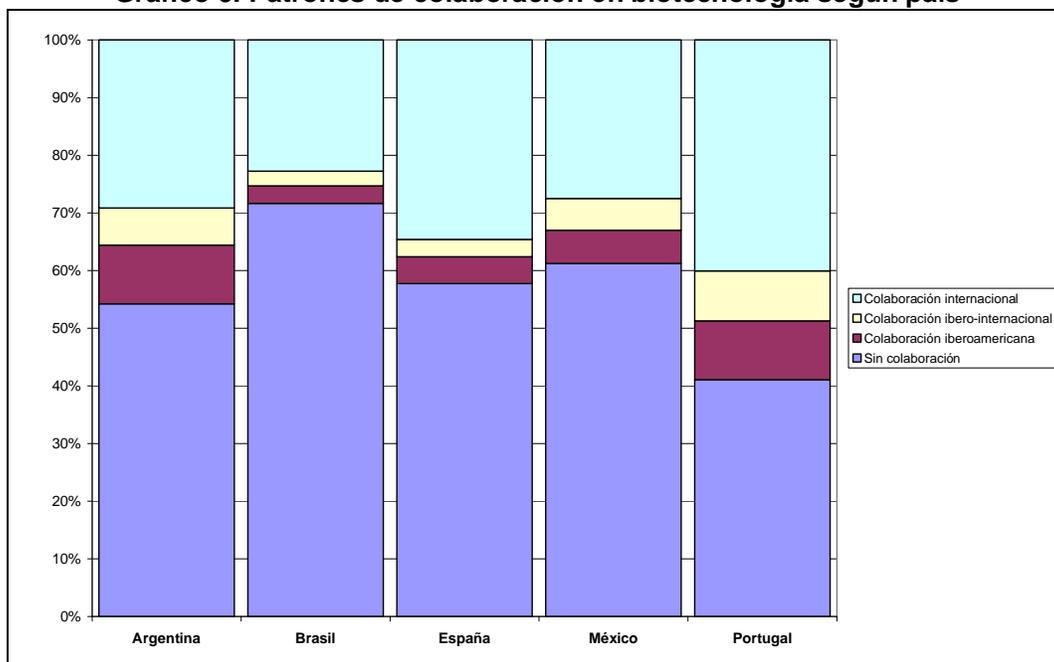


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El Gráfico 9 presenta la composición del conjunto de la producción científica en biotecnología de los cinco principales países iberoamericanos en 2008. La colaboración internacional resulta una característica relevante de su forma de producción del conocimiento científico biotecnológico, pero muestra diferentes matices.

Portugal y Argentina son los países que presentan más producción en colaboración, fundamentalmente con países no iberoamericanos (cerca del 40% y del 30% respectivamente) o con otros países de Iberoamérica (10% en ambos casos), a lo que se suma una pequeña porción de producción en colaboración que combina socios extra e intra regionales. España muestra también una importante producción científica en biotecnología en colaboración (42,2%), fuertemente concentrada en copublicaciones con autores no iberoamericanos. Brasil y México, los dos países latinoamericanos que completan el grupo de los cinco principales, son los que tienen la menor proporción de publicaciones científicas en colaboración (más del 70% y del 60% de la producción brasileña y mexicana respectivamente en este campo temático son realizadas sin ninguna colaboración internacional). Sin embargo, cabe marcar fuertes diferencias entre ambos: mientras México presenta un patrón de colaboración similar al de Argentina (con más del 10% de copublicaciones iberoamericanas o ibero-internacionales), Brasil concentra su colaboración internacional con países no iberoamericanos.

Gráfico 9. Patrones de colaboración en biotecnología según país



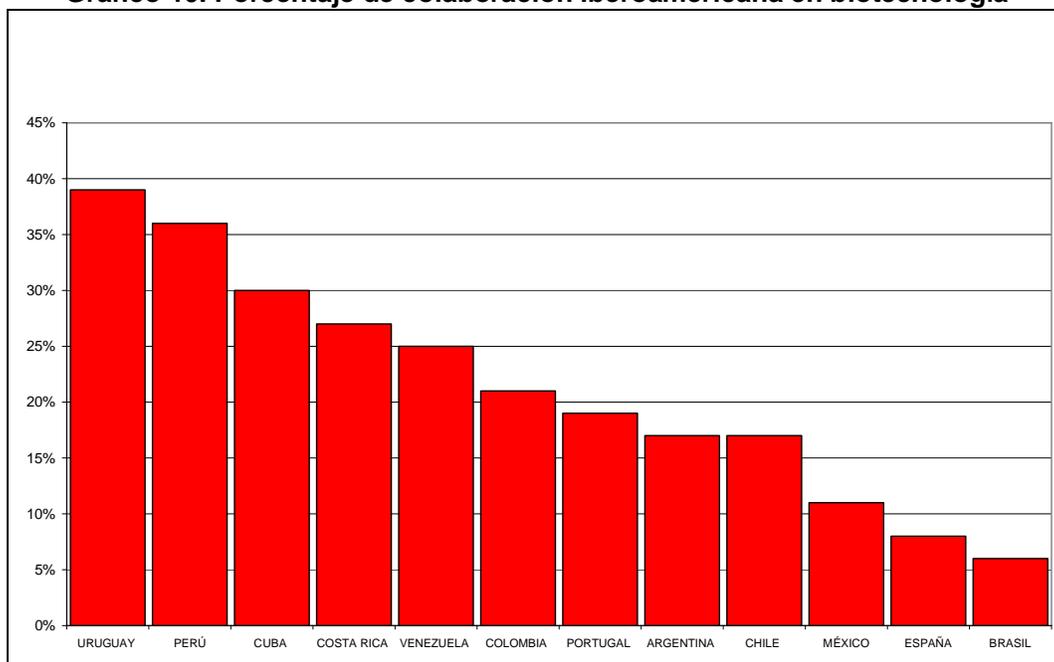
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Acumulado 2000-2008.

El Gráfico 10 permite comparar el peso relativo que tiene actualmente la copublicación iberoamericana en la producción científica en biotecnología que se realiza en las revistas de la denominada “corriente principal” por los países de la región. Resulta un dato muy significativo para algunos países iberoamericanos con sistemas de ciencia y tecnología pequeños y con baja producción científica en biotecnología disponible en las bases de datos del SCI, como es el caso de Uruguay (con el 39% de su producción en biotecnología de 2008 en colaboración “intra-iberoamericana”), Perú (36%), Cuba (30%) y Costa Rica (27%). Es también de cierta importancia para países de desarrollo medio, como Venezuela (25%), Colombia (21%) y Chile (17%).

Este alto porcentaje de co-publicaciones iberoamericanas, e internacionales en general, observados en los países más pequeños, puede explicarse en alguna medida por un acceso limitado a la tecnología y la infraestructura necesarias para el desarrollo de las actividades de I+D. Esos requerimientos incentivan la búsqueda de la complementación internacional, como una manera de resolver las necesidades internas.

Gráfico 10. Porcentaje de colaboración iberoamericana en biotecnología



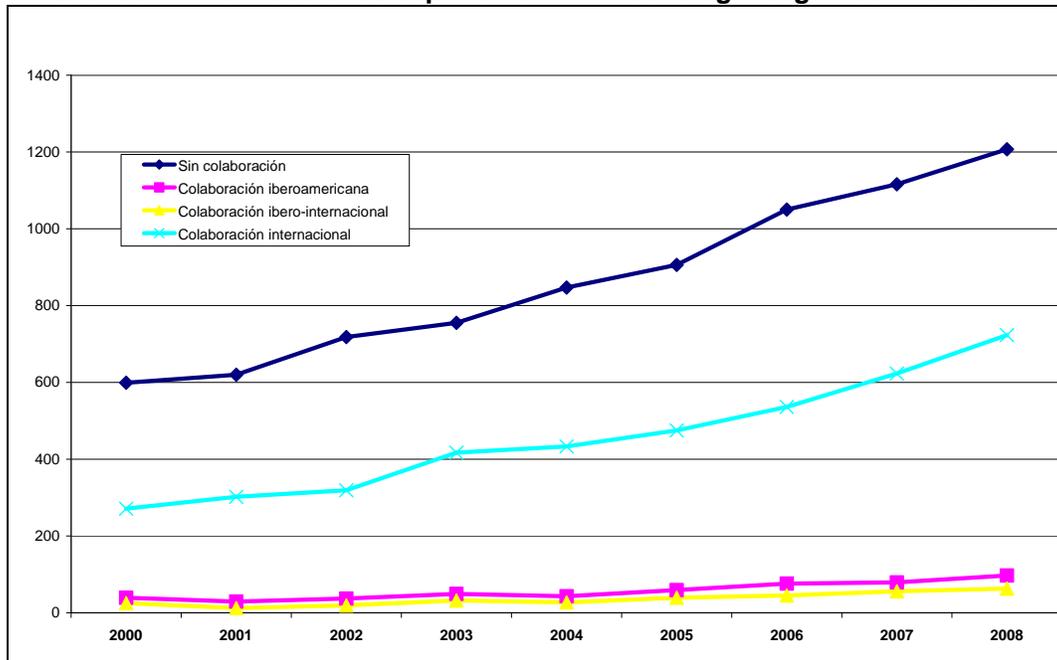
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Año 2008. Países con más de 10 publicaciones.

Los gráficos 11 a 15 muestran la evolución durante 2000-2008 de la producción científica en biotecnología en colaboración de los cinco principales países iberoamericanos en esta temática.

El caso español (Gráfico 11), dado el volumen relativo de su producción (46% de las publicaciones de la región iberoamericana considerada en forma conjunta), refleja tendencias muy similares a las observadas más arriba, de fuerte y continuo crecimiento de la producción científica en biotecnología sin colaboración (que se duplica a lo largo del período) y, fundamentalmente, de la copublicación internacional (que se incrementa un 170%). Las colaboraciones iberoamericana e ibero-internacional, asimismo, no resultan muy significativas para el país que ejerce el liderazgo regional en la producción científica en biotecnología (representan sólo el 6,8% de la producción total española en esa temática durante 2000-2008, mayor empero al 5% que representan ambos tipos de producción con respecto al total iberoamericano), pero registran un constante crecimiento a lo largo de todo el período considerado.

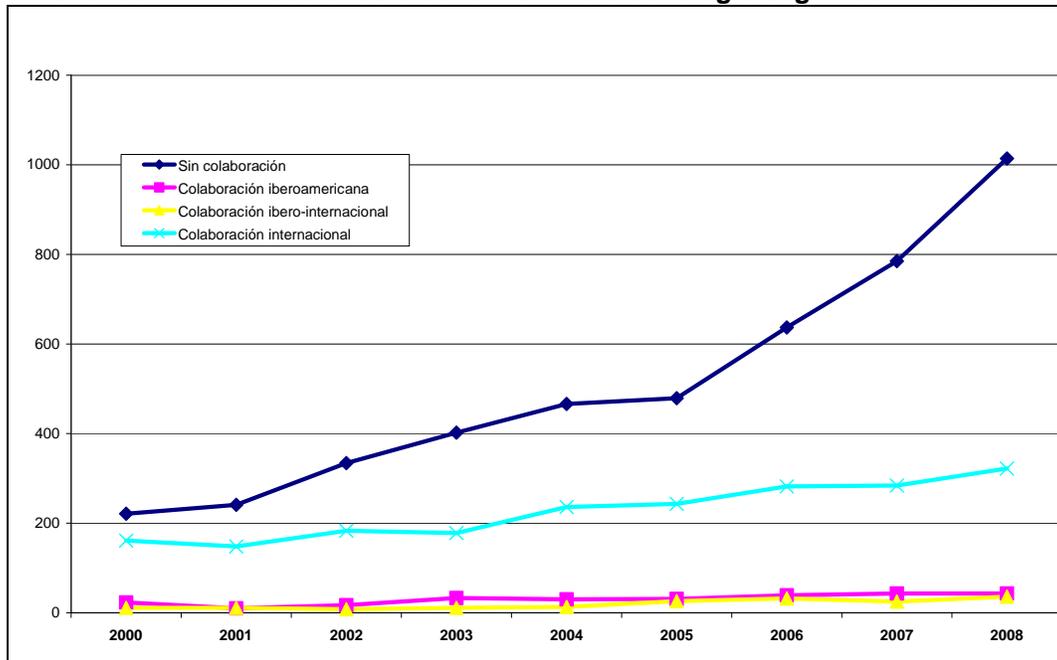
Gráfico 11. Publicaciones españolas en biotecnología según colaboración



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

En el caso brasileño (Gráfico 12), el segundo líder de la región iberoamericana en producción científica en biotecnología (con participación en el 25% de las publicaciones regionales en la temática), se destaca una trayectoria marcadamente ascendente en su principal forma de producción: la elaboración de artículos sin colaboración, que pasa de 221 artículos en 2000 a 1014 documentos en 2008. La colaboración internacional se mantiene en constante aumento durante 2000-2008 (con apenas una pequeña caída en 2003), mientras que tanto la colaboración iberoamericana como la ibero-internacional resultan poco significativas, presentando un crecimiento lento y con algunos altibajos.

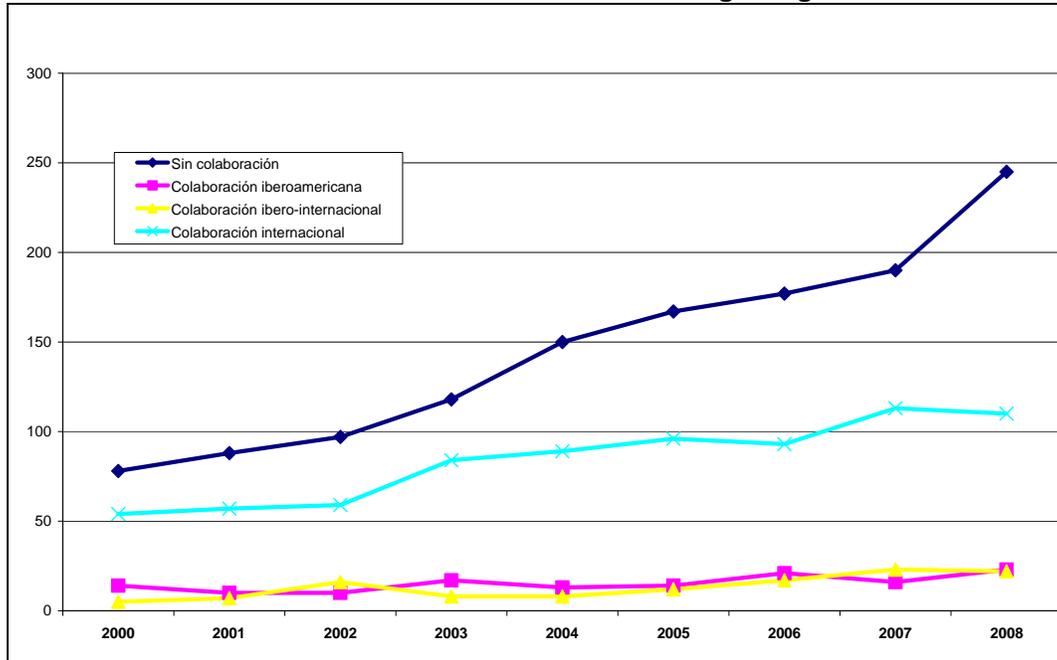
Gráfico 12. Publicaciones brasileñas en biotecnología según colaboración



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

El caso mexicano (Gráfico 13) muestra una pronunciada pendiente creciente de la producción científica en biotecnología realizada sin colaboración (que, como se señaló antes y al igual que en el caso brasileño, es la principal forma de generación de conocimiento de México en esta temática durante el período analizado, más que triplicándose en los años considerados), un crecimiento moderado pero constante 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 (aunque con algunos altibajos) de la colaboración con otros países iberoamericanos y de la colaboración ibero-internacional.

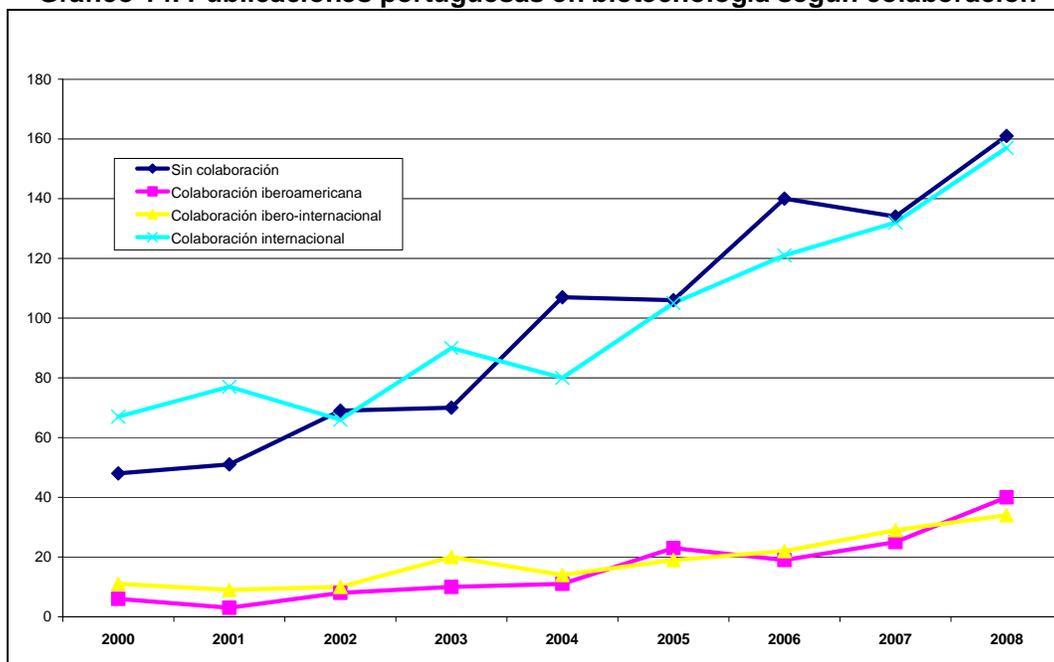
Gráfico 13. Publicaciones mexicanas en biotecnología según colaboración



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

El caso portugués (Gráfico 14) es el único de estos cinco países iberoamericanos cuyas trayectorias de generación de conocimiento -sin colaboración y en colaboración internacional- se acercan notablemente e incluso en varios momentos del período 2000-2008 se entrecruzan. La producción en colaboración ibero-internacional e iberoamericana es muy pequeña, pero crece con pequeñas fluctuaciones durante todo el período analizado.

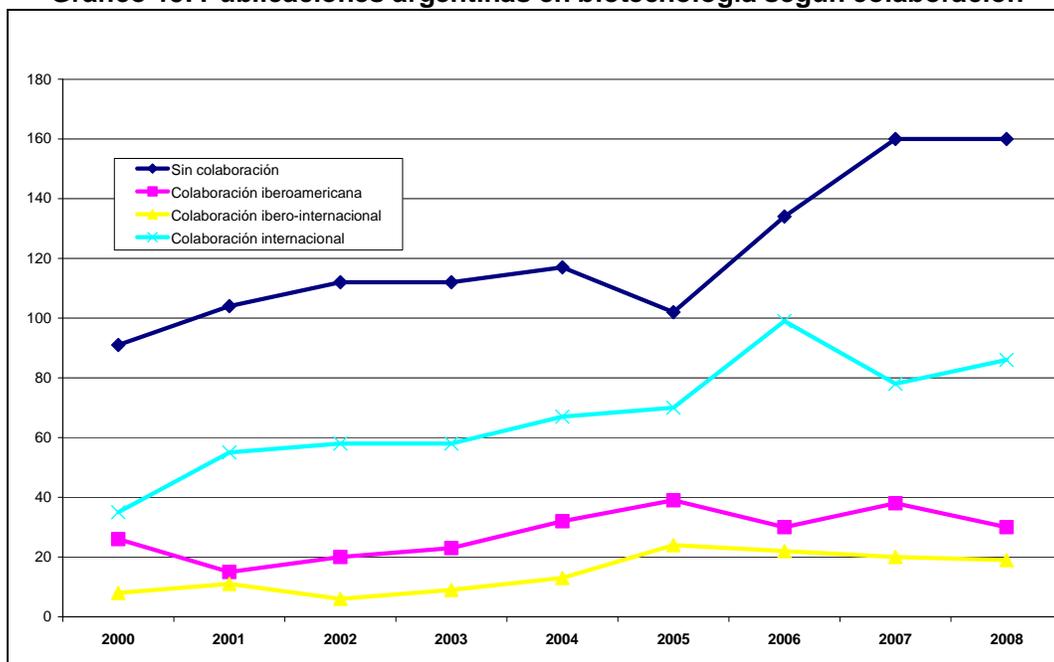
Gráfico 14. Publicaciones portuguesas en biotecnología según colaboración



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

Finalmente, el caso argentino (Gráfico 15) muestra cómo la evolución de la colaboración (tanto internacional como iberoamericana y, aunque en forma aún incipiente, ibero-internacional) en las publicaciones del período 2000-2008 es una de las principales causas del crecimiento de la producción científica de ese país en biotecnología. Puede afirmarse que se trata de un campo temático fuertemente vinculado con el exterior (un exterior principalmente extra-iberoamericano), con los importantes efectos positivos que ello tiene sobre la visibilidad internacional de la producción científica local. En cuanto a las publicaciones en biotecnología sin colaboración internacional, ellas muestran un descenso importante en 2005, posiblemente consecuencia de la crisis argentina de 2001-2002, pero retomando la curva ascendente desde 2006.

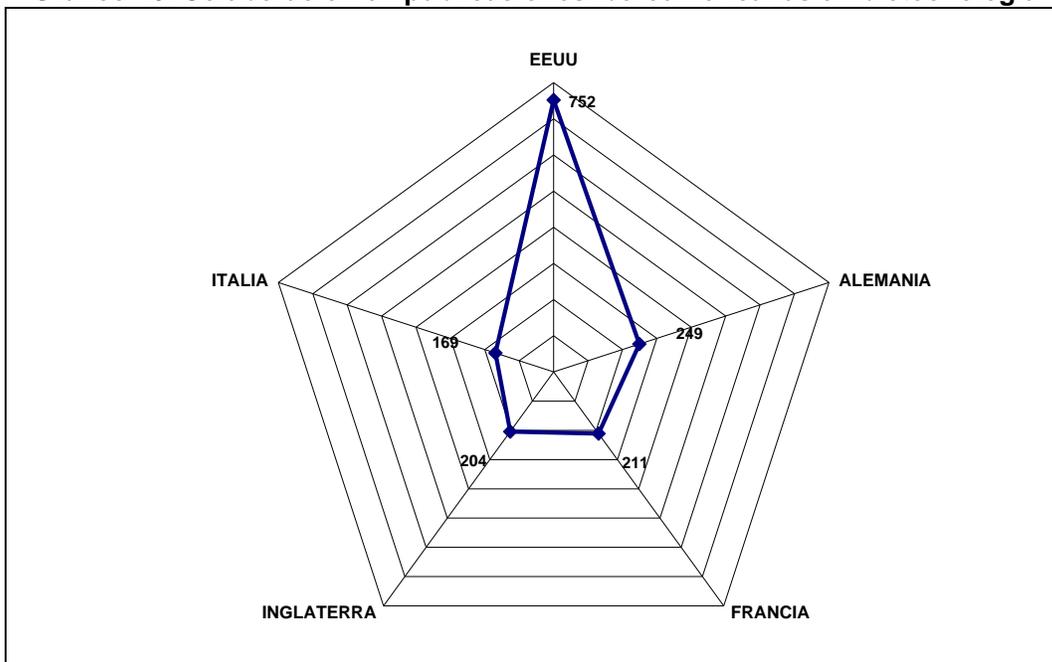
Gráfico 15. Publicaciones argentinas en biotecnología según colaboración



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

El detalle de los cinco países con los cuales Iberoamérica como conjunto mantiene mayor colaboración internacional en biotecnología durante 2008 puede verse en el Gráfico 16. Ellos son, en orden decreciente, Estados Unidos (el líder mundial en la temática, con una actuación en la colaboración con la región más que destacada), Alemania (país que ocupa el cuarto lugar), Francia (sexto lugar mundial), Inglaterra (quinto lugar) e Italia (séptimo lugar). Se trata de una estrecha colaboración norteamericana-europea, que excluye, por el momento, a los líderes asiáticos en la temática (China y Japón, el segundo y el tercer país, respectivamente, en el ranking mundial), probablemente por diferencias culturales y de tradición en los procesos de generación de conocimiento.

Gráfico 16. Colaboración en publicaciones iberoamericanas en biotecnología

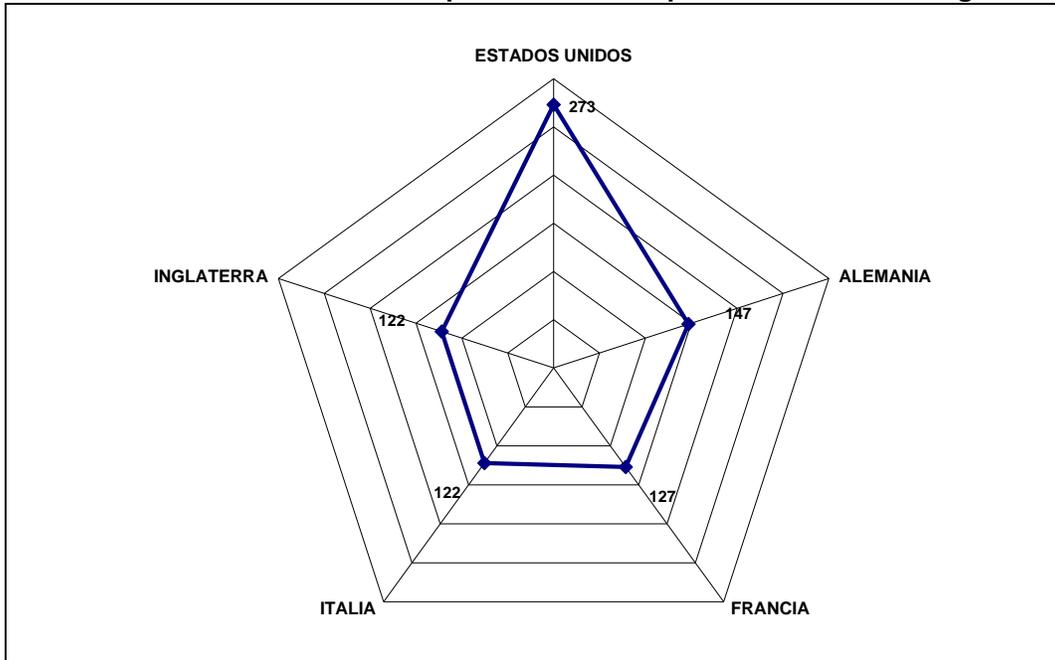


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Año 2008.

España muestra una profundización de la tendencia observada para Iberoamérica en su conjunto (Gráfico 17), no registrando a ningún país de la región entre sus principales colaboradores. Concentra la gran mayoría de su producción en colaboración internacional reciente en Estados Unidos, Alemania, Francia, Italia e Inglaterra, los mismos cinco principales países de Iberoamérica aunque apenas modificando el orden de posición entre los países que ocupan respectivamente el cuarto y el quinto lugar.

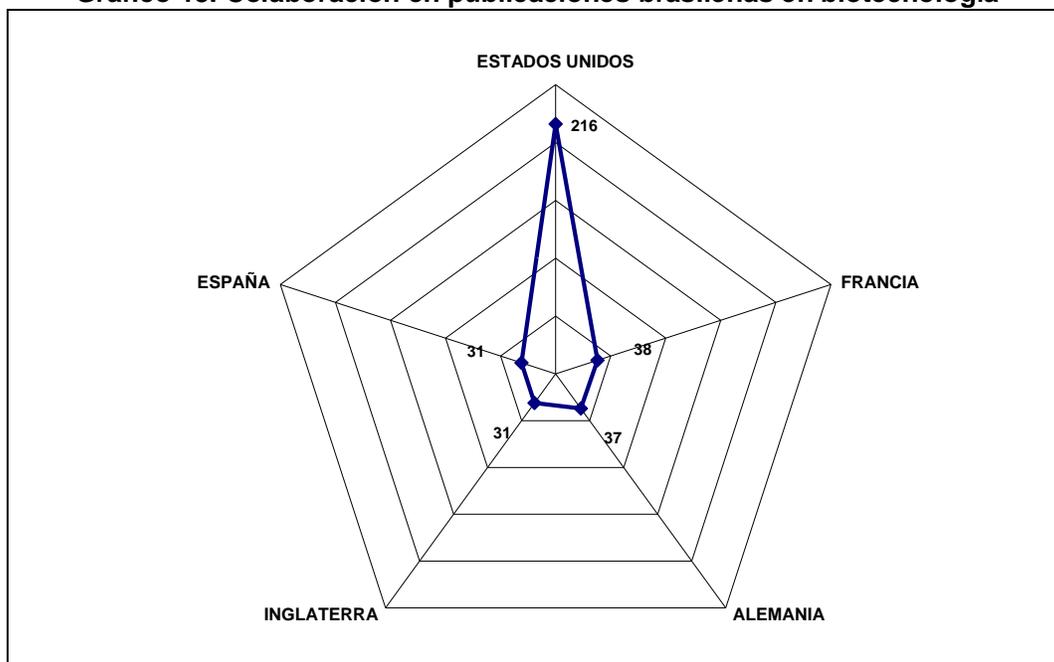
Gráfico 17. Colaboración en publicaciones españolas en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.
Nota: Año 2008.

Brasil (Gráfico 18) presenta una producción en colaboración básicamente concentrada en Estados Unidos. En un alejado segundo lugar (con menos de un quinto de los artículos en colaboración publicados con autores norteamericanos) se encuentra Francia, en el tercer lugar Alemania y en el cuarto Inglaterra, como se observa en el total regional. Sólo un país iberoamericano, España, aparece en el último puesto entre los cinco con mayor porcentaje de copublicación en biotecnología para los investigadores brasileños.

Gráfico 18. Colaboración en publicaciones brasileñas en biotecnología

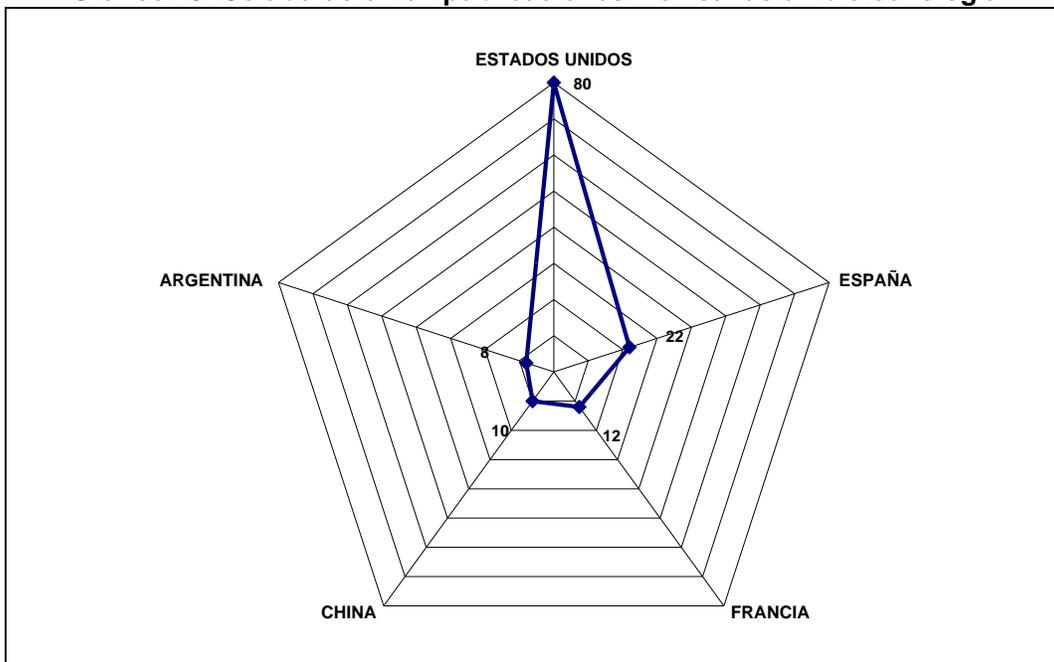


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Año 2008.

México (Gráfico 19) también tiene también, en 2008, una colaboración internacional fuertemente concentrada en Estados Unidos. En un segundo y notoriamente distante lugar se ubica España, en el tercer lugar está Francia, en el cuarto China (colaboración que marca una nota distintiva con respecto a los demás países líderes en la región) y en el quinto aparece el segundo país iberoamericano con el que colabora, Argentina (teniendo con los tres últimos países menos de una veintena de artículos firmados en colaboración).

Gráfico 19. Colaboración en publicaciones mexicanas en biotecnología

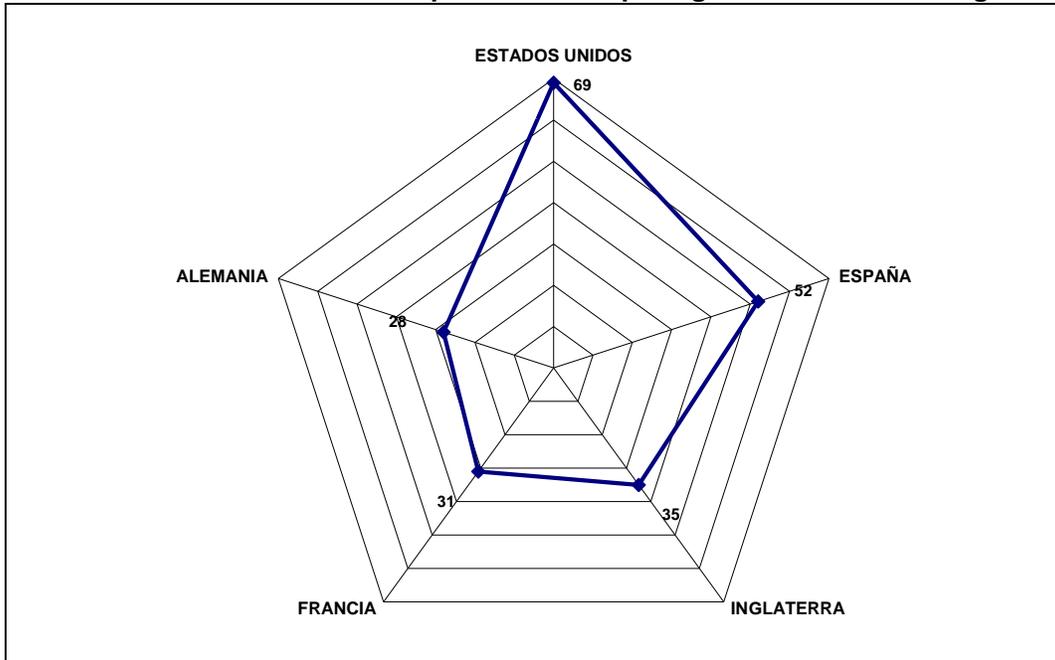


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

Nota: Año 2008.

La colaboración portuguesa reciente en publicaciones científicas en biotecnología (Gráfico 20) tiene a Estados Unidos como principal socio, pero se produce fundamentalmente con otros colegas europeos: España, Inglaterra, Francia y Alemania.

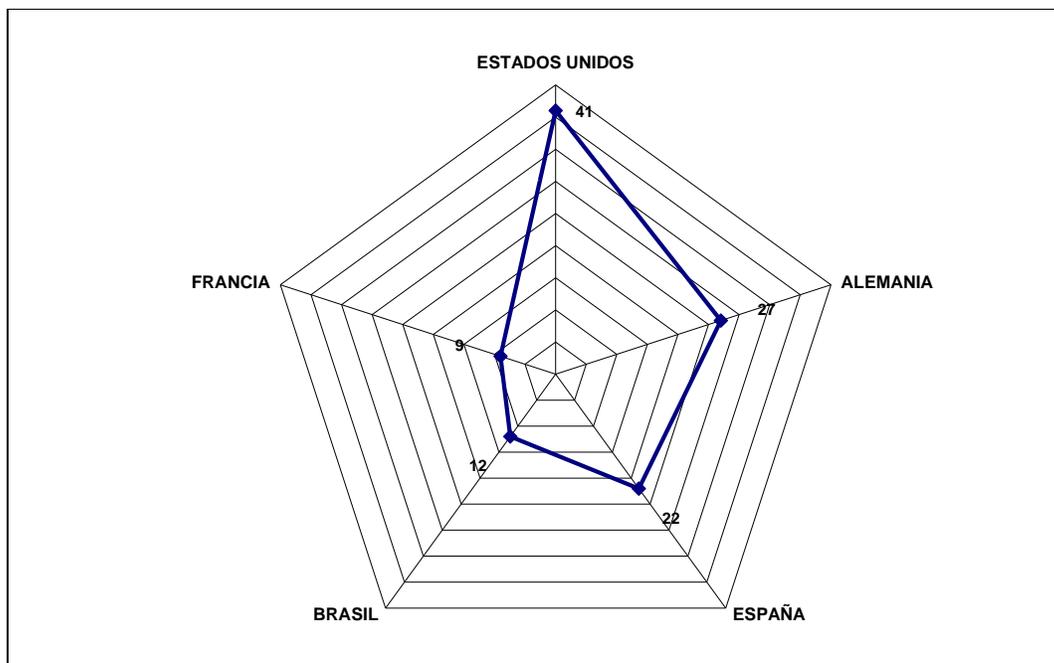
Gráfico 20. Colaboración en publicaciones portuguesas en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.
Nota: Año 2008.

Finalmente, Argentina (Gráfico 21) presenta una colaboración internacional en biotecnología fuertemente concentrada en Estados Unidos y, aunque en menor medida, en Alemania y España (explicando estos tres países más del 80% de la producción en colaboración argentina en 2008). Completan los cinco principales países con los cuales colaboran los investigadores argentinos en este campo el latinoamericano Brasil en el cuarto puesto y el europeo Francia en el quinto.

Gráfico 21. Colaboración en publicaciones argentinas en biotecnología



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

Nota: Año 2008.

3.3 Iberoamérica en las redes de colaboración internacional

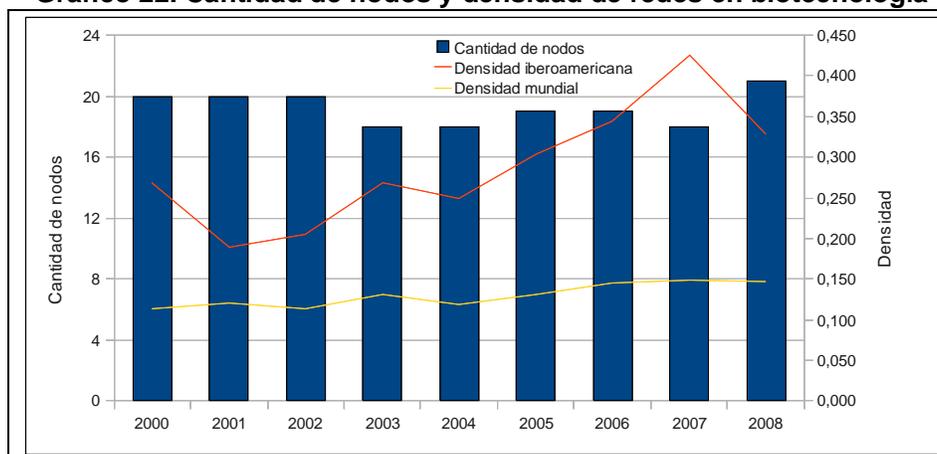
A nivel mundial, y en mayor o menor medida en todas las disciplinas, la producción de conocimiento se ha convertido en una actividad plenamente colaborativa. Mediante el estudio de la firma conjunta de artículos científicos, es posible reconstruir las redes de colaboración que han articulado el desarrollo de las actividades de I+D. Esas redes se dan a múltiples niveles, desde lo personal hasta lo institucional o nacional. Las estructuras de la colaboración presentan patrones que se encuentran influenciados por el devenir de la prioridad dada a temas determinados, pero también por cuestiones geográficas, idiomáticas, culturales y políticas.

Iberoamérica es un bloque que presenta un creciente grado de integración, medido a partir de la firma conjunta de publicaciones por parte instituciones de la región. El incremento de esta tendencia hacia la colaboración intrarregional da cuenta de la consolidación del espacio iberoamericano del conocimiento, como un área de mayor circulación de la información. Este fenómeno, al igual que en otras áreas y disciplinas, se puede apreciar en el terreno de la biotecnología.

El nivel de integración de las redes puede ser medido con la ayuda de técnicas provenientes de la teoría de grafos. La intensidad y cambios en este fenómeno, evidenciado a través de la firma conjunta de artículos, pueden ser cuantificados mediante el indicador de densidad. Esta medida da cuenta de la cantidad de enlaces existentes sobre el total de los enlaces posibles. El Gráfico 22 muestra la evolución comparada, durante 2000-2008, de la densidad de la red de producción científica en el campo de la biotecnología a nivel mundial y la de la red compuesta por el total de la producción científica en biotecnología de Iberoamérica, evolución que es cuantificada en el eje derecho. Las barras dan cuenta del número de nodos participantes en la red

iberoamericana de producción científica en biotecnología, en cada año del período considerado, número que es cuantificado en el eje izquierdo.

Gráfico 22. Cantidad de nodos y densidad de redes en biotecnología



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

Nota: Se incluyen sólo aquellos países con más de 10 artículos.

Mientras que la densidad de la red de producción científica a nivel mundial en biotecnología se mantiene relativamente estable durante el período considerado, la integración de las redes de colaboración dentro de la región iberoamericana se mantuvo en todo momento a un nivel superior y registró un fuerte crecimiento, aunque con algunos altibajos. En 2000 la red iberoamericana de biotecnología presentaba un índice de densidad de 0,26, superior al que presentaba la red total internacional (0,11), desciende en 2001, se recupera entre 2002 y 2003 y vuelve a descender en 2004, pero a partir de allí crece pronunciadamente hasta 2007, año en que alcanza una densidad de 0,42 (frente a un 0,14 del total mundial). Finalmente, hacia 2008 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.

Esta caída de la densidad en el último año puede ser explicada, en buena medida, por la integración de nuevos países a la red en 2008. Mientras que en 2007 había 18 países iberoamericanos con más de 10 artículos en biotecnología, en 2008 ese número ascendió a 21. Los nuevos integrantes de la red, como es natural, cuentan con niveles de relacionamiento mucho menores que aquellos que se encuentran más asentados en el campo y hacen descender sensiblemente la densidad general de la red.

Estas evidencias permiten afirmar entonces que en el campo de la biotecnología, Iberoamérica funciona efectivamente como un espacio de colaboración con un nivel de relacionamiento interno mayor que el promedio general de la red de producción científica mundial en la temática. Se trata así de otra expresión de la creciente conformación de un espacio iberoamericano del conocimiento.

En tal contexto, resulta de interés analizar detalladamente el lugar que ocupan los países de la región en la investigación internacional en biotecnología. El Gráfico 23

presenta la red¹ de países que queda 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 se han resaltando los pertenecientes a la región iberoamericana.

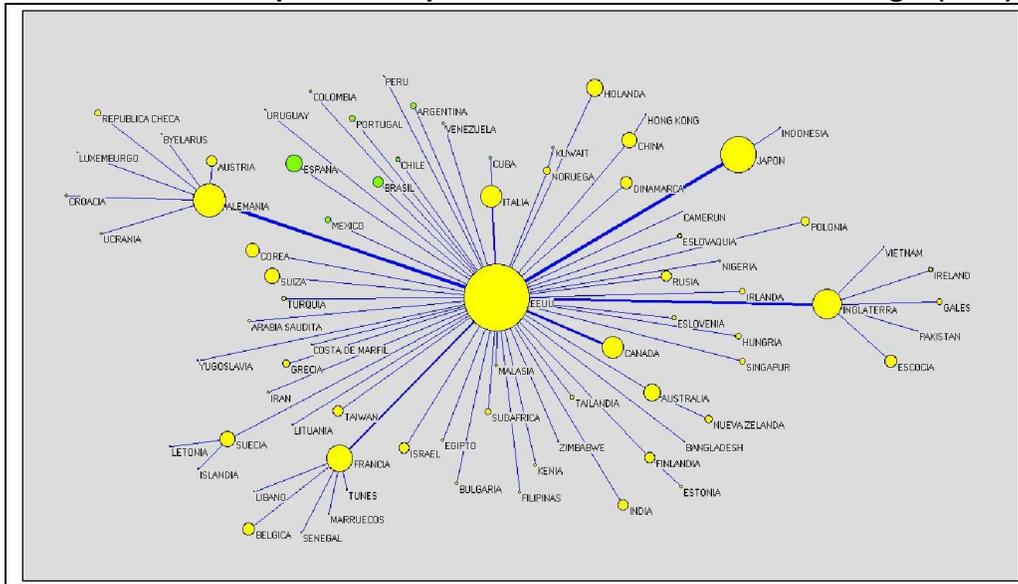
Como en trabajos anteriores (Barrere et al, 2008 y otros), dado que la cantidad de nodos y relaciones existentes resulta muy extensa, impidiendo la visualización y el análisis, se ha recurrido a técnicas de poda. Ellas consisten en la aplicación de algoritmos que eliminan los lazos menos importantes 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 se observa una red de estructura fundamentalmente radial de 78 países, con pocas ramificaciones, establecida alrededor de la indiscutida hegemonía norteamericana. Estados Unidos ocupaba la posición central del entramado emergente por dos razones: la primera, por ser el país que contaba con más publicaciones científicas en la temática; la segunda, por ser el principal eje articulador de las relaciones con los otros países con una producción importante en este campo: en orden decreciente, Japón, Alemania, Inglaterra y Francia. Aunque incipientes, las principales conexiones científicas, tanto por los nodos que articulan (5 o 6 países según el caso) como por la capacidad de intermediación que presentan, se daban entre Estados Unidos y Alemania (que vinculaba a Austria, República Checa, Bielorrusia, Luxemburgo, Croacia y Ucrania), Francia (que funcionaba de articuladora de Bélgica, Túnez, Marruecos Senegal y Líbano) e Inglaterra (vínculo con Escocia, Irlanda, Gales, Vietnam y Pakistán).

Los once países iberoamericanos presentes en la red de 2000 aparecen vinculándose científicamente en forma directa con Estados Unidos. Es el caso (en orden decreciente de publicaciones durante ese año) de España, Brasil, Argentina, México, Portugal, Chile, Colombia, Venezuela, Perú y Uruguay. La única excepción a esta regla es Cuba, que ese año aparece manteniendo relaciones con el líder norteamericano a través de Italia.

¹ El análisis de redes y los gráficos que se presentan en este trabajo fueron elaborados mediante la aplicación del paquete informático Pajek y de *software* especialmente desarrollado a tal efecto por el CAICYT.

Gráfico 23. Red de países con producción científica en biotecnología (2000)



Nota: Se incluyen sólo aquellos países con más de 10 artículos.
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

El Gráfico 24 es la vista más actual de la red de países con producción científica en biotecnología. Hacia el año 2008, el entramado de relaciones entre los 99 países del mundo con más de 10 artículos ha crecido notablemente en complejidad, manteniéndose Estados Unidos en el papel central tanto por el enorme volumen de publicaciones que reúne como por ser el principal núcleo alrededor del cual se articulan los demás países que cuentan con producción científica en la temática. Entre ellos, algunos lo hacen en forma radial y otros conforman nodos articuladores de nuevas ramificaciones, no obstante no muy desagregadas.

Algunos de estos nodos articuladores de relaciones ya habían surgido cumpliendo este rol hacia el año 2000, pero han aumentado y diversificado los países que vinculan a través de su producción científica: son los casos de Alemania (que sigue articulando a los europeos Austria y Croacia, para sumar a los también europeos Bulgaria, Eslovenia y Lituania, al asiático Siria y al africano Sudán), Inglaterra (que sigue vinculando a los europeos Gales, Escocia e Irlanda, y a los asiáticos Vietnam y Pakistán, para sumar a los africanos Etiopía, Tanzania, Ghana, los asiáticos Sri Lanka y Kuwait, más el iberoamericano Cuba) y Francia (que sigue teniendo interacciones con los africanos Túnez, Marruecos y Senegal, así como con el asiático Líbano, sumando a los europeos Luxemburgo y Rumania, y a los africanos Argelia, Gabón, Burkina Faso y Costa de Marfil).

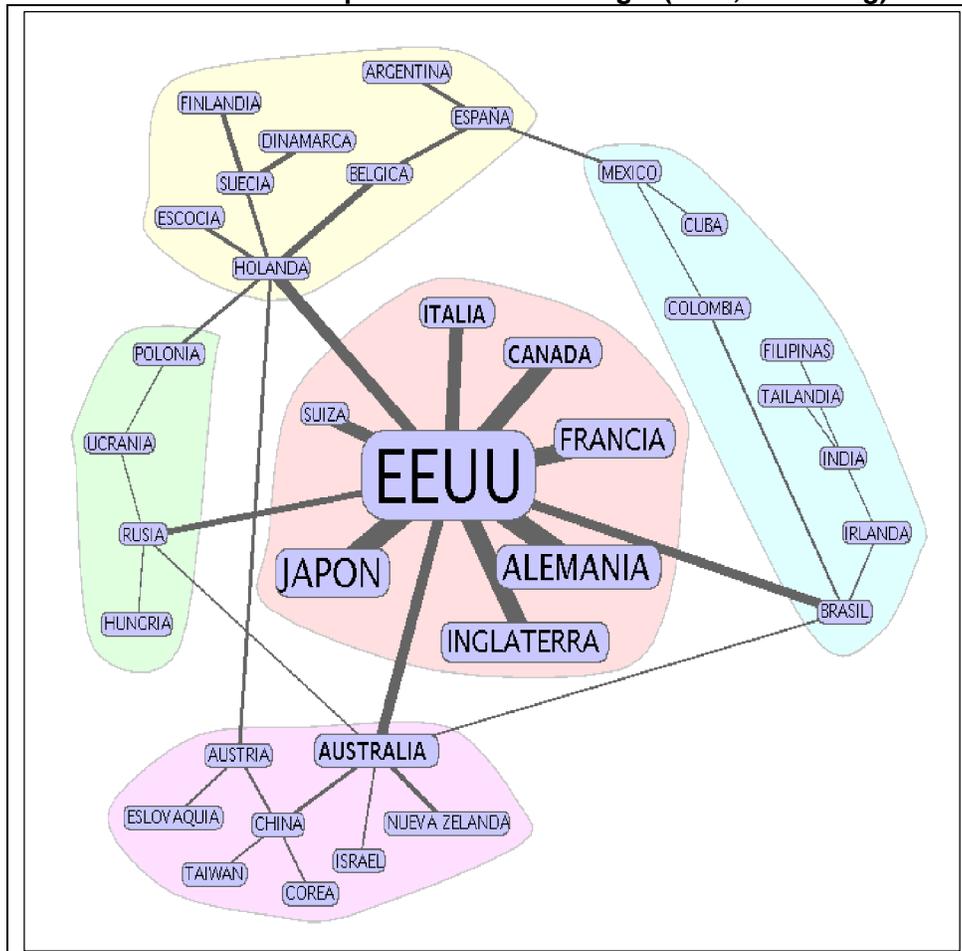
Otros países, en cambio, se inician desempeñando ese papel articulador de nuevos vínculos: Japón e Italia, que en el año 2000 sólo funcionaban como intermediarios entre Estados Unidos y otro país, en el 2008 lo hacen con cinco y dos países respectivamente.

Once de los doce países iberoamericanos presentes en la red emergente en 2008 aparecen articulados al nodo central en forma radial, con relaciones bilaterales directas de colaboración: España, Brasil, México, Portugal, Argentina, Chile, Colombia, Venezuela, Uruguay, Perú y Costa Rica.

(relacionado a su vez con su colega iberoamericano Argentina y, en otro conglomerado, con México);

- el tercero, surgido de las colaboraciones estadounidenses con Australia, que congrega a Nueva Zelanda, Israel y China (y a través de ella, a Corea, Taiwán, Austria y Eslovaquia), y
- el cuarto, emergente de los vínculos entre Estados Unidos y Rusia, que aglutina también a Hungría, Ucrania y Polonia.

Gráfico 25. Red de países en biotecnología (2000, clustering)



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

En el año 2008, como puede observarse en el Gráfico 26, Estados Unidos sigue siendo el país articulador de la red y del conglomerado principal. Como novedad, y dado su fuerte crecimiento cuantitativo, China aparece ahora integrando el *cluster* central.

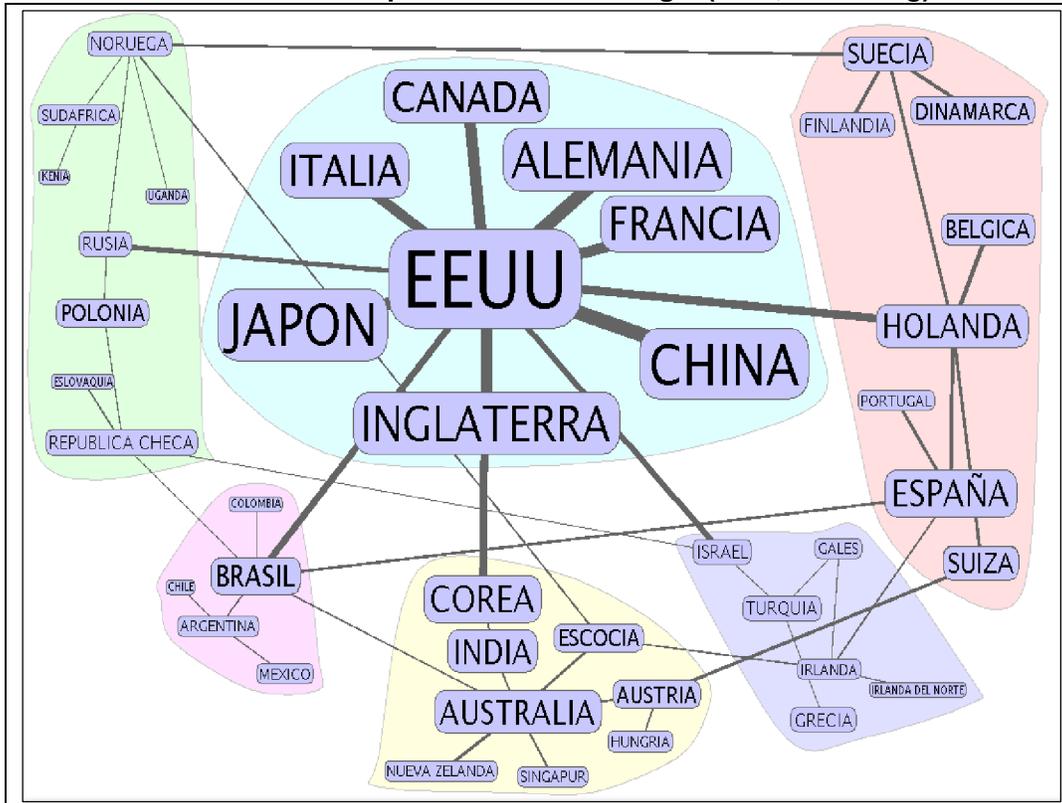
El desempeño en cuanto a redes de colaboración internacional de los países iberoamericanos registra algunas variaciones. La más importante, y siguiendo las evidencias ya mencionadas y el crecimiento de la densidad de la red iberoamericana entre 2000 y 2008, es que todos los países latinoamericanos que aparecen en el gráfico están agrupados en un mismo *cluster*, que por otra parte no contiene a ningún país extraregional. Al mismo tiempo, el lazo más fuerte con otros conglomerados (más

allá de la relación con Estados Unidos) es el de Brasil y España, que junto a Portugal se ubican en uno de los *clusters* europeos.

Por otra parte, Argentina pierde la preeminencia de su tradicional cooperación con España, para relacionarse fundamentalmente con Brasil (y, a través de él, tanto con Estados Unidos como con España), México y Chile.

Esta información da cuenta del nivel de integración de los países iberoamericanos en el contexto mundial. Sin embargo, siendo ésta una región de grandes heterogeneidades, en su interior se dan patrones de colaboración y tendencias que ofrecen pistas para explicar también las características de la inserción del espacio iberoamericano en la comunidad científica internacional en el campo de la biotecnología.

Gráfico 26. Red de países en biotecnología (2008, clustering)



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

3.4 Las redes de colaboración iberoamericanas

En el apartado anterior se presentó la posición ocupada por los países iberoamericanos en las redes internacionales de investigación en biotecnología. Para profundizar el análisis de las interacciones entre los países de la región, se detalla a continuación el panorama de la colaboración, plasmada en la firma conjunta de artículos científicos, entre los propios países iberoamericanos. A diferencia de los gráficos de la red mundial, en este caso no se han recortado los lazos existentes. Se han tomado los años que enmarcan el período considerado, para dar cuenta de la evolución de este espacio de interacción en la producción de conocimiento en el campo de la biotecnología.

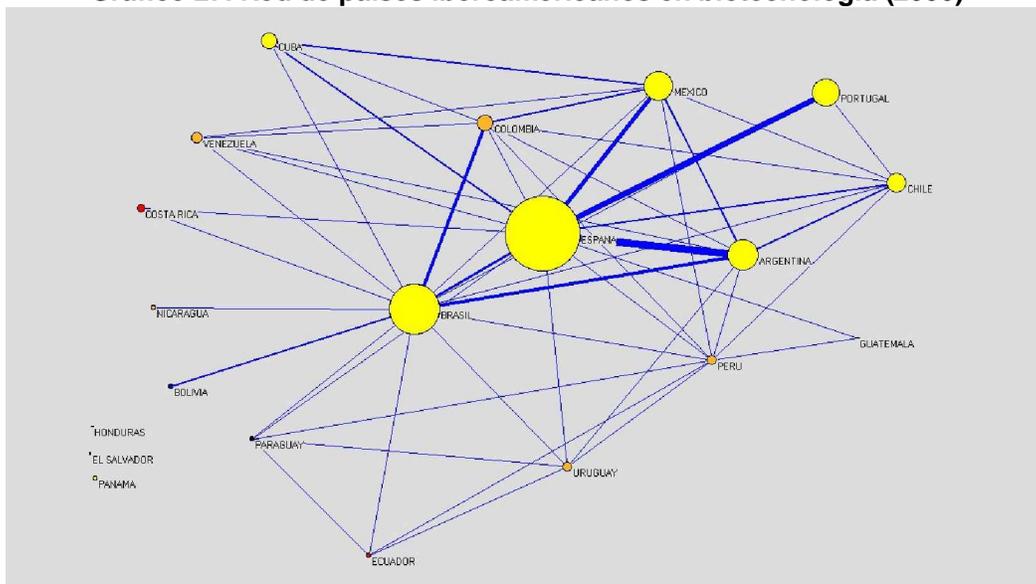
El Gráfico 27 muestra la composición de la red de colaboración científica regional en biotecnología en 2000. El diámetro de los círculos representa la cantidad de artículos publicados, mientras que el grosor de las líneas da cuenta de la cantidad de publicaciones en común. Los colores de los nodos señalan la proporción de la colaboración iberoamericana en relación al total de la producción.

En ese año, la red presentaba un grupo central de 17 países, fuertemente conectado entre sí e integrado por todos los países de mayor producción de la región, junto con algunos de menor volumen de producción en posiciones periféricas. Por último, aparecen tres países, también de volumen menor, sin conexión con otros países iberoamericanos.

Los principales lugares en la red eran ocupados por España, Brasil, Argentina y México, tanto en cuanto a la cantidad de publicaciones en colaboración como a la densidad de sus relaciones con otros países iberoamericanos. Asimismo se pueden observar muy sólidas relaciones bilaterales entre España y Argentina, y entre España y Portugal; en menor medida, también entre Brasil y Argentina. Los dos principales países iberoamericanos en producción en biotecnología en ese año, España y Brasil, muestran una relación entre ambos relativamente débil si se la considera en relación al volumen total de su producción en la temática y a sus relaciones con otros países.

Los países de mayor producción en biotecnología en Iberoamérica son también aquellos para los que la colaboración con el resto de la región representa un porcentaje menor de su producción: España, Brasil, México, Portugal, Argentina, Chile y Cuba tienen valores inferiores al 20%. Exceptuando los países que tienen menor producción en biotecnología en la región (con participación menor al 0,8% de la producción global iberoamericana en la temática, ver Tabla 1) que carecen de masa crítica para este análisis, se observa que los países de desarrollo intermedio son los de mayor presencia de cooperación iberoamericana: Colombia, Venezuela, Perú y Uruguay presentan valores entre el 20% y el 40%.

Gráfico 27. Red de países iberoamericanos en biotecnología (2000)



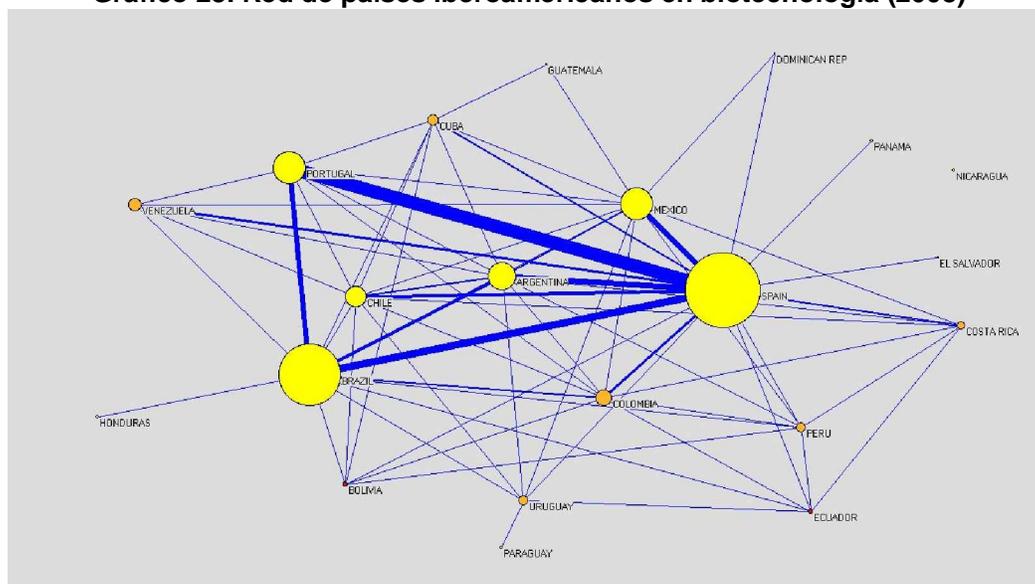
Colaboración Ibero / Producción nacional
< 20%
>20% <40%
>40% <60%
>60% <80%
>80%

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

En 2008 (Gráfico 28), el papel de España se consolidó 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, entre los cuales se destacan Portugal, Argentina, México y Chile. Las relaciones de

colaboración bilateral entre España y Brasil, además, se fortalecen muy considerablemente. Por otra parte, la densidad general de la red iberoamericana resulta muy superior a la de 2000, observándose sólo un país (Nicaragua) sin conexiones con otros países de la región en este año. Argentina desempeña un importante papel en el proceso de integración iberoamericana, incrementando la intensidad de sus relaciones de colaboración científica con España y Brasil, y articulándose también a México, Chile, Portugal, Colombia, Cuba, Venezuela y Uruguay.

Gráfico 28. Red de países iberoamericanos en biotecnología (2008)



Colaboración Ibero / Producción nacional
< 20%
>20% <40%
>40% <60%
>60% <80%
>80%

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

Con el propósito de medir 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.

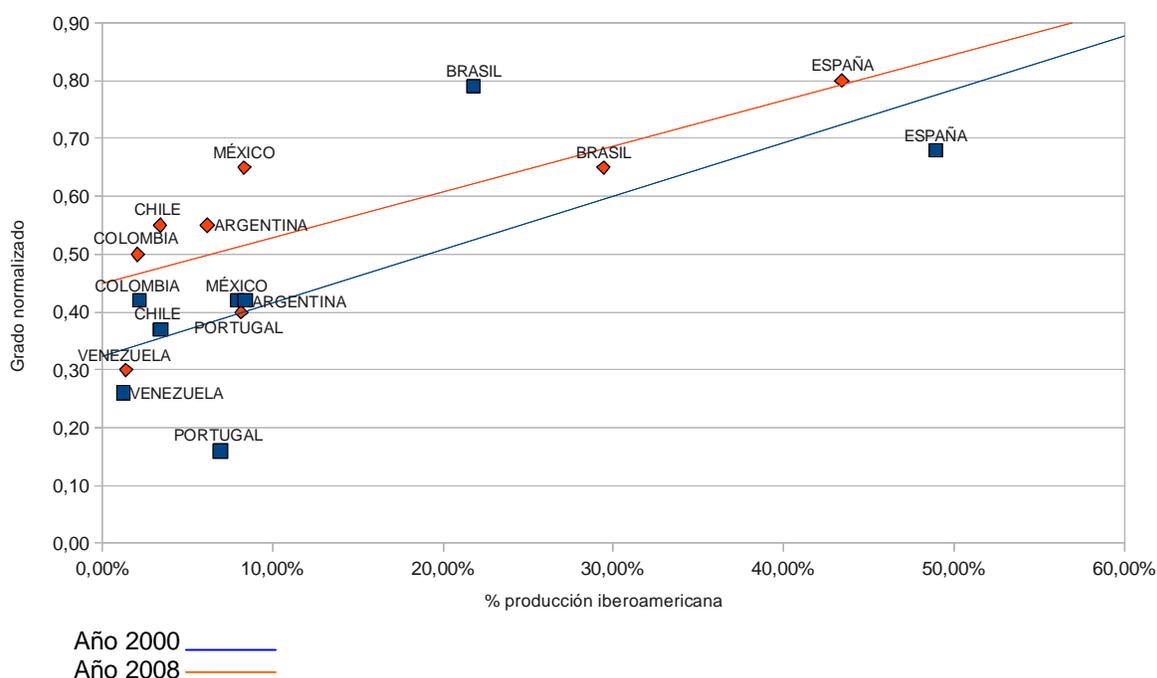
El Gráfico 29 presenta la distribución de los principales países iberoamericanos en materia de publicaciones en biotecnología en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y el grado normalizado de cada nodo en el eje y. Para observar la evolución de cada país en el contexto de la red, los datos correspondientes a 2000 se presentan en azul y los correspondientes a 2008 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 completos que dan origen al gráfico, pero para la totalidad de los países iberoamericanos con producción en biotecnología en ambos años, se presentan en la Tabla 1.

Se destaca la evolución de Brasil, cuyo crecimiento en el campo de la biotecnología lo lleva a participar del 30% de la producción iberoamericana en 2008, mientras que en 2000 lo hacía en el 20%. Sin embargo, su centralidad en la red regional disminuye tanto en términos absolutos (pasando de 0,79 a 0,65) como en relación a los demás países, apareciendo en el último año analizado levemente por debajo de la línea de regresión.

España, en cambio, disminuye proporcionalmente su participación en la producción de la región (del 49% al 43% durante 2000-2008) pero aumenta considerablemente su centralidad en la red, pasando de un grado normalizado de 0,68 al comienzo del período a uno de 0,80 hacia el final del mismo.

Gráfico 29. Grado normalizado y participación en la producción iberoamericana en biotecnología



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

Nota: Se incluyen sólo aquellos países con más de 50 artículos en 2008.

Los siguientes países en cuanto a volumen de producción científica en biotecnología no presentan crecimientos significativos en su participación relativa en la producción iberoamericana (o, como en el caso de Argentina, hasta registran una disminución), aunque sí incrementaron fuertemente sus relaciones dentro de la región. Son, fundamentalmente, los casos de México, Portugal, Argentina, Chile y Colombia, de creciente centralidad en la conformación de redes iberoamericanas de producción científica en la temática. Este incremento generalizado en la centralidad de los países

iberoamericanos da cuenta de que el proceso de integración observado es de carácter regional y no se trata de un fenómeno aislado, relacionado con particularidades de nivel nacional.

Tabla 1. Grado normalizado y participación en la producción en biotecnología

PAIS	Participación en la producción iberoamericana – 2000	Grado 2000	Participación en la producción iberoamericana – 2008	Grado 2008
ESPAÑA	48,93%	0,68	43,43%	0,80
BRASIL	21,79%	0,79	29,41%	0,65
MÉXICO	7,91%	0,42	8,31%	0,65
PORTUGAL	6,91%	0,16	8,15%	0,40
ARGENTINA	8,38%	0,42	6,13%	0,55
CHILE	3,40%	0,37	3,37%	0,55
COLOMBIA	2,15%	0,42	2,06%	0,50
VENEZUELA	1,20%	0,26	1,39%	0,30
CUBA	2,25%	0,21	0,98%	0,40
PERÚ	0,84%	0,53	0,69%	0,40
URUGUAY	0,84%	0,32	0,69%	0,35
COSTA RICA	0,47%	0,11	0,54%	0,35
BOLIVIA	0,21%	0,05	0,19%	0,30
ECUADOR	0,26%	0,21	0,19%	0,30
PANAMA	0,26%	0,00	0,12%	0,05
HONDURAS	0,05%	0,00	0,06%	0,05
NICARAGUA	0,16%	0,05	0,06%	0,00
PARAGUAY	0,16%	0,26	0,06%	0,05
GUATEMALA	0,05%	0,11	0,04%	0,10
EL SALVADOR	0,05%	0,00	0,02%	0,05

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

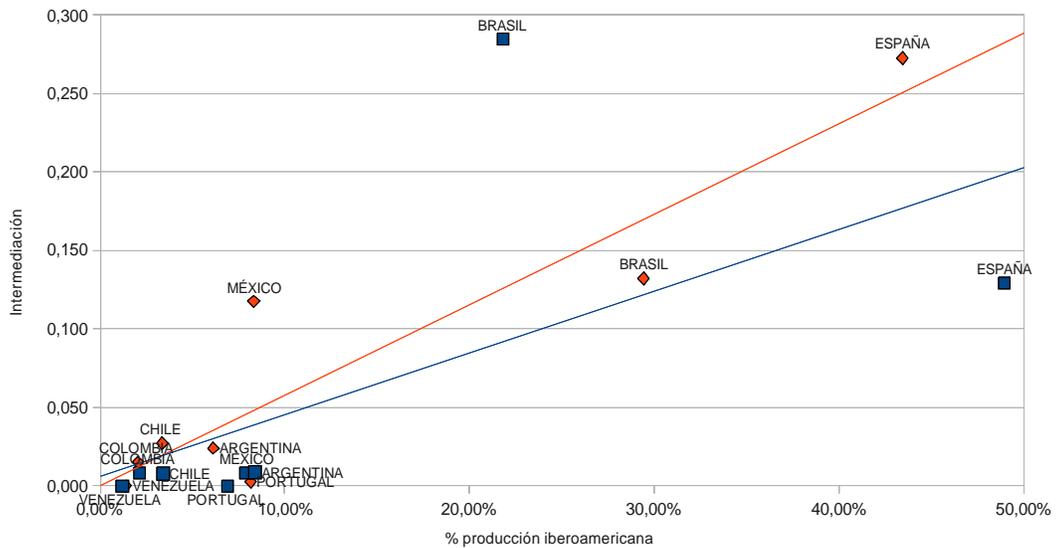
Otra forma de conocer la centralidad de los países en la red de colaboración es en términos de su intermediación en los caminos de la información. El indicador de intermediación da cuenta de la frecuencia con que un nodo aparece en el camino más corto entre otros dos, medida que puede interpretarse como 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.

El Gráfico 30 presenta la distribución de los países iberoamericanos con mejor desempeño en materia de producción científica en biotecnología en un plano definido por la participación porcentual en la producción regional total en el eje x y su intermediación en el eje y. Como en el gráfico anterior, es posible 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 2008 en rojo, trazándose la línea de regresión para poder visualizar 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 biotecnología en los dos años considerados.

La primera evidencia a destacar es que, complementariamente a lo observado en el indicador de grado, la intermediación de España, a pesar del leve descenso de su participación en la producción regional entre 2000 y 2008, se ha incrementado fuertemente y en desmedro de la de su seguidor Brasil (pasando, durante esos años,

de 0,12 a 0,27 en el caso español y de 0,28 a 0,13 en el caso brasileño). De esta manera, la posición de España en la red se ha vuelto más crítica al tiempo que la del líder latinoamericano ha disminuido (podría pensarse que como resultado de consolidar un patrón de producción menos iberoamericano que nacional y extraregional). Por otra parte, se observa que existen hacia 2008 más caminos que unen a los demás países de la región entre sí, aunque aún pasando muchos de ellos por el de mayor producción, pero en un proceso de creciente integración del espacio iberoamericano del conocimiento.

Gráfico 30. Intermediación y participación en la producción en biotecnología



Año 2000 ———
Año 2008 ———

Nota: Se incluyen sólo aquellos países con más de 50 artículos en 2008.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.

México, Portugal, Argentina, Chile y Colombia aumentan fuertemente su intermediación en términos absolutos, adquiriendo hacia 2008 una posición de articulación más importante que la que tenían hacia 2000 dentro de la red iberoamericana y sirviendo de puente para la conexión de otros países con menor desarrollo relativo en esta materia.

Tabla 2. Grado normalizado y participación en la producción en biotecnología

PAIS	Participación en la producción iberoamericana – 2000	Intermediación 2000	Participación en la producción iberoamericana – 2008	Intermediación 2008
ESPAÑA	48,93%	0,129	43,43%	0,272
BRASIL	21,79%	0,285	29,41%	0,132
MÉXICO	7,91%	0,008	8,31%	0,118
PORTUGAL	6,91%	0,000	8,15%	0,003
ARGENTINA	8,38%	0,009	6,13%	0,024
CHILE	3,40%	0,008	3,37%	0,027
COLOMBIA	2,15%	0,008	2,06%	0,015
VENEZUELA	1,20%	0,000	1,39%	0,000
CUBA	2,25%	0,000	0,98%	0,030
PERÚ	0,84%	0,056	0,69%	0,008
URUGUAY	0,84%	0,005	0,69%	0,098
COSTA RICA	0,47%	0,000	0,54%	0,004
BOLIVIA	0,21%	0,000	0,19%	0,003
ECUADOR	0,26%	0,000	0,19%	0,007
PANAMA	0,26%	0,000	0,12%	0,000
HONDURAS	0,05%	0,000	0,06%	0,000
NICARAGUA	0,16%	0,000	0,06%	0,000
PARAGUAY	0,16%	0,001	0,06%	0,000
GUATEMALA	0,05%	0,000	0,04%	0,000
EL SALVADOR	0,05%	0,000	0,02%	0,000

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

En conclusión, analizando el conjunto de las redes, 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 biotecnología. Además, es importante destacar que la colaboración regional es aún más importante para los países de desarrollo medio en la temática, que parecen encontrar en la cooperación iberoamericana una valiosa oportunidad para la consolidación de sus capacidades en investigación y desarrollo.

3.5 Entramado institucional de la biotecnología iberoamericana

Previamente se han podido detectar patrones y tendencias en la colaboración entre los países iberoamericanos, así como su inserción en redes a nivel mundial. De la misma manera, el análisis de las copublicaciones entre las instituciones más productivas de Iberoamérica, ofrece un interesante panorama del entramado que conforma la investigación en biotecnología a nivel regional.

La cooperación internacional en ciencia y tecnología ha cobrado importancia por el aumento de los desafíos de alcance mundial, tales como la intensificación de la globalización económica o la aparición de nuevos actores mundiales. Se ha vuelto necesario contar con infraestructuras de gran escala para hacer avanzar la investigación en numerosas áreas, lo que requiere cada vez mayor vinculación con instituciones a nivel internacional. Además la integración en redes de colaboración permite a los investigadores participar en discusiones e intercambiar ideas, unirse a equipos para el desarrollo de proyectos, contrastar, adoptar y mejorar el uso de técnicas y metodologías. Esa interacción es interesante para las comunidades científicas, particularmente para las que se encuentran en desarrollo, ya que les facilita incrementar sus capacidades y su integración, propiciando la movilidad de profesionales, la visibilidad y posibilidades de su quehacer científico.

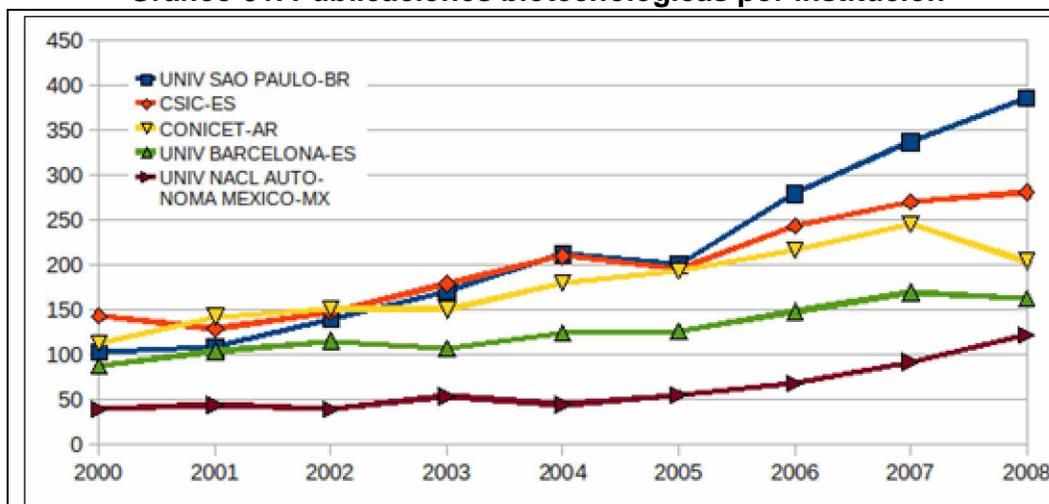
Cinco instituciones iberoamericanas dedicadas a la investigación y desarrollo se destacan del resto por su producción científica en biotecnología durante el período 2000-2008 (Gráfico 31). En primer lugar y de acuerdo a su cantidad reciente de publicaciones en la temática, sobresale la brasileña Universidad de San Pablo (USP), que asciende a ritmo sostenido (con sólo una pequeña disminución hacia 2005) desde el tercer puesto en 2000 a ocupar el primero en 2008 como resultado del crecimiento entre puntas más importante (275%) registrado en el grupo.

En segundo lugar, se destaca el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) español, conformado por distintos institutos y centros ejecutores de I+D con una presencia muy fuerte en la producción científica nacional. Además de su importancia relativa en la producción iberoamericana en biotecnología, presenta un fuerte ascenso que lo lleva a casi duplicar sus publicaciones durante el período considerado.

A continuación aparece, con una trayectoria relativamente similar y volúmenes de producción cercanos a su par español, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) argentino. Cabe señalar que, como en el caso del CSIC, ese Consejo argentino agrupa una multiplicidad y diversidad de centros ejecutores de I+D y tiene un fuerte solapamiento institucional con las distintas universidades de ese país, tanto por ser sede de numerosos centros mixtos con el Consejo como por ser lugar de trabajo de investigadores financiados por él. El CONICET registra un crecimiento sostenido hasta 2008 (año en que decae cerca de un 20% con respecto al año anterior), contabilizando un ascenso del 82% entre puntas.

Completando los primeros cinco lugares se encuentran otras dos instituciones universitarias, una española y otra mexicana: la Universidad de Barcelona (UB) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ambas con trayectorias muy parejas aunque con un crecimiento más marcado de la segunda (212%, frente al 87% de la primera).

Gráfico 31. Publicaciones biotecnológicas por institución



Nota: Se presentan las cinco instituciones de mayor producción en 2008.

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

El Gráfico 32 presenta la red de colaboración entre las veinticinco instituciones iberoamericanas con mayor producción científica en biotecnología en 2008. El volumen de los nodos da cuenta de la cantidad de publicaciones, mientras que los lazos representan artículos firmados en común y su grosor la cantidad de copublicaciones. Los artículos firmados por más de una institución han sido contabilizados por entero para ambas. Los colores de los distintos nodos han sido asignados de acuerdo al país de la institución a la que pertenecen: naranja para España, rojo para Brasil, negro para México, azul para Portugal y amarillo para Argentina.

En la elaboración de la red 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. Por la aplicación de este algoritmo, el centro del gráfico es ocupado por los nodos más conectados y los nodos más conectados entre sí tienden a agruparse en el espacio.

Consecuentemente, el centro del gráfico de red es compartido por la brasileña Universidad de San Pablo y el CSIC español, las instituciones más productivas en 2008 y con mayor número de enlaces, siendo –fundamentalmente la institución española– las principales articuladoras de la colaboración iberoamericana en biotecnología.

Al mismo tiempo, se observa que 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 española Universidad de Granada, cuyos fuertes lazos con instituciones brasileñas y argentinas y una universidad mexicana la desplazan levemente de las articulaciones con instituciones de su país.

Entre las veinticinco instituciones iberoamericanas más importantes presentes en la red, once son españolas y ocho brasileñas; sólo tres son portuguesas (vinculadas entre sí y con pares brasileñas y españolas fundamentalmente), dos argentinas y la

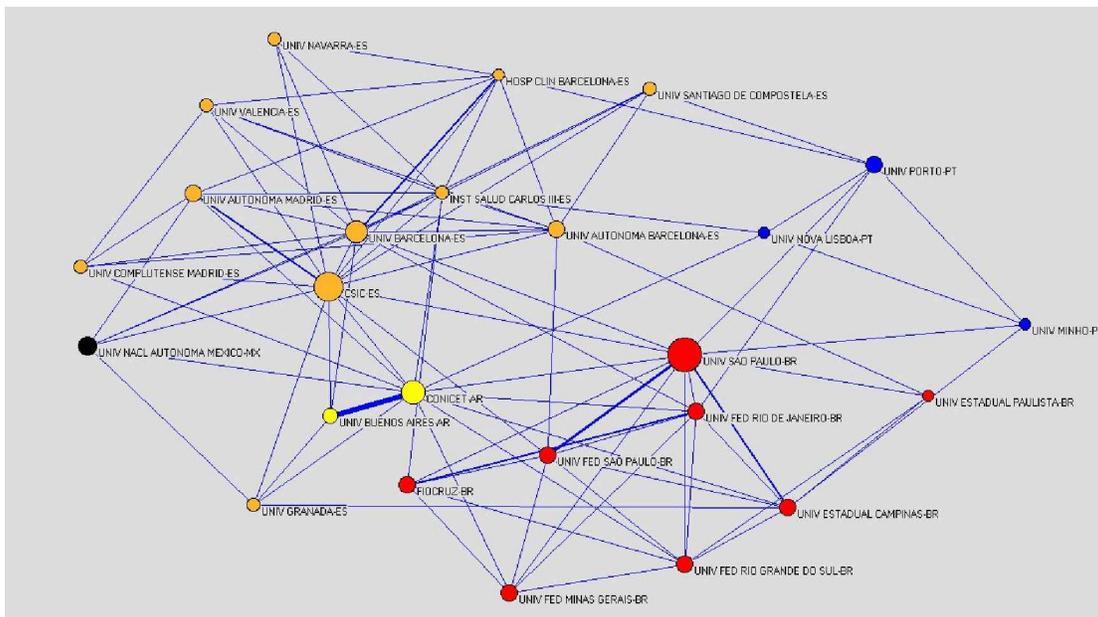
restante mexicana (la UNAM, vinculada a instituciones españolas y al CONICET argentino).

Cinco de las instituciones españolas presentes tienen vinculación directa con colegas argentinos, cuatro con sus pares brasileñas y mexicanas, y tres con colegas portugueses. Se trata, naturalmente, del CSIC y la UB, junto con la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad de Granada y el madrileño Instituto de Salud Carlos III. Otras universidades como la Autónoma de Madrid, la de Valencia, de Navarra y de Santiago de Compostela, con volúmenes de producción superiores o muy similares a las dos últimas mencionadas, muestran un patrón de colaboración científica en la temática mucho más nacional entre las diferentes comunidades autonómicas de España.

Las instituciones brasileñas presentes en este conjunto se encuentran fuertemente conectadas, tanto entre ellas como a nivel internacional. Luego de la líder iberoamericana USP se destacan cinco casas de altos estudios, la Universidad Federal de San Pablo (UNIFESP), la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), la Universidad Federal de Río Grande do Sul (UFRGS), la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ) y la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), junto con la prestigiosa institución de ciencia y tecnología en salud pública Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), cada una de ellas con un centenar de publicaciones en biotecnología en 2008.

Las instituciones argentinas son el CONICET, que articula una importante porción de las relaciones dentro de la red iberoamericana, y la Universidad del Buenos Aires (UBA). Mientras que a nivel internacional la UBA se conecta en forma directa sólo con el CSIC, la Universidad de Barcelona y la Universidad de Granada, el CONICET tiene vinculación con seis instituciones brasileñas (la USP, la UFRJ, la UNICAMP, la UFRGS, la UFMG y FIOCRUZ), cuatro instituciones españolas (el CSIC, la Universidad Autónoma de Madrid, la Universidad Complutense de Madrid y el Instituto de Salud Carlos III), la UNAM mexicana y la portuguesa Universidad Nova de Lisboa (UNL).

Gráfico 32. Red de instituciones a partir de la copublicación



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

Nota: Año 2008. Se presentan las veinticinco instituciones de mayor producción en ese año.

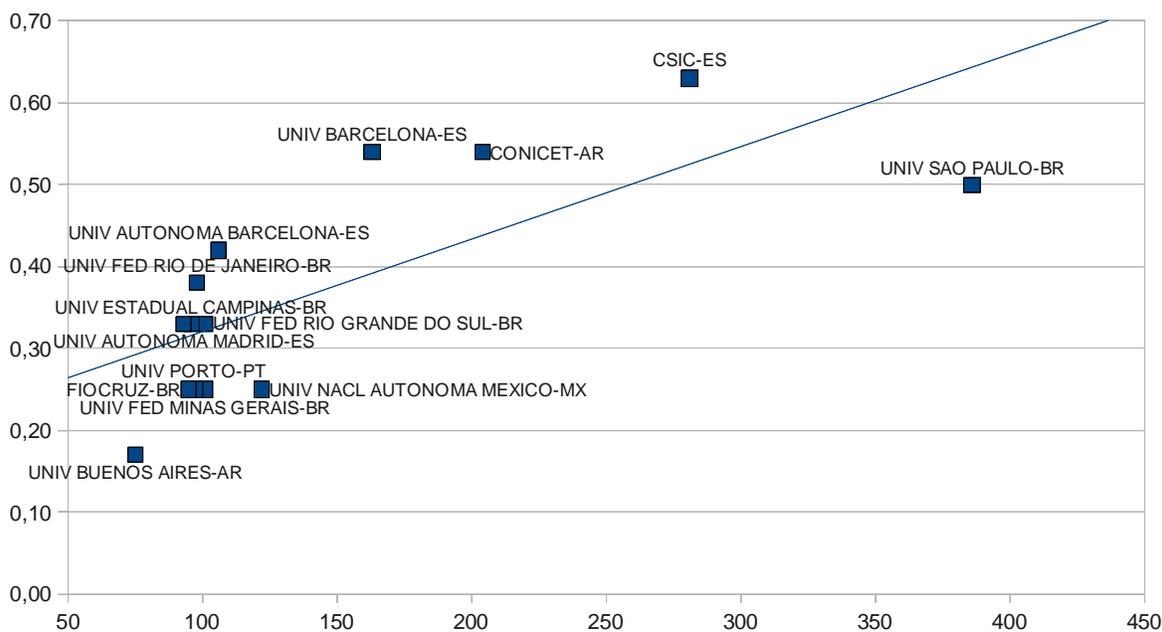
Como en el análisis de las redes internacionales de colaboración, y con el fin de dar cuenta de la relación entre el volumen de publicaciones de una institución y sus vinculaciones, el Gráfico 33 presenta la distribución de las quince instituciones iberoamericanas más productivas (los datos para la totalidad de las instituciones observadas en este apartado se presentan en la Tabla 3) en un plano definido por la cantidad de artículos publicados en SCI durante 2008 en el eje x y el grado normalizado (calculado como la cantidad de relaciones que tiene una institución, sobre el número total relaciones posibles si estuviera conectado con todo el resto de los participantes) 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.

La USP brasileña, la institución con mayor producción a nivel regional, tiene una centralidad medida mediante el grado normalizado que la sitúa bajo la línea de regresión. El CSIC español, en cambio, aunque cuenta con un volumen de artículos menor, presenta la mayor centralidad de Iberoamérica, dando cuenta de sus fuertes relaciones científicas con los demás países de la región en el campo de la biotecnología.

Otras instituciones se destacan por la significativa diversidad de sus vínculos regionales en relación con el volumen de su producción: el CONICET argentino, las españolas Universidad de Barcelona y Universidad Autónoma de Barcelona, y las brasileñas Universidad Federal de Río de Janeiro y Universidad Estadual de Campinas.

Por el contrario, la institución que menos vinculaciones presenta en la red de las quince más productivas en biotecnología es la argentina UBA. Otros casos institucionales de escasa vinculación regional son la mexicana UNAM, las brasileña Universidad Federal de Minas Gerais y Fundación FIOCRUZ, y la portuguesa Universidad de Porto.

Gráfico 33. Cantidad de publicaciones y grado normalizado



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

Nota: Año 2008. Se presentan las quince instituciones de mayor producción en ese año.

Tabla 3. Publicaciones y grado normalizado de la red institucional

Instituciones	Cantidad de publicaciones	Grado normalizado
UNIV SAO PAULO-BR	386	0,50
CSIC-ES	281	0,63
CONICET-AR	204	0,54
UNIV BARCELONA-ES	163	0,54
UNIV NACL AUTONOMA MEXICO-MX	122	0,25
UNIV AUTONOMA BARCELONA-ES	106	0,42
UNIV FED MINAS GERAIS-BR	101	0,25
UNIV FED RIO GRANDE DO SUL-BR	101	0,33
UNIV FED SAO PAULO-BR	101	0,33
UNIV FED RIO DE JANEIRO-BR	98	0,38
UNIV PORTO-PT	97	0,25
UNIV ESTADUAL CAMPINAS-BR	96	0,33
FIOCRUZ-BR	95	0,25
UNIV AUTONOMA MADRID-ES	93	0,33
UNIV BUENOS AIRES-AR	75	0,17
UNIV VALENCIA-ES	70	0,25
UNIV GRANADA-ES	67	0,21
INST SALUD CARLOS III-ES	66	0,50
UNIV NAVARRA-ES	66	0,17
UNIV SANTIAGO DE COMPOSTELA-ES	62	0,21
UNIV COMPLUTENSE MADRID-ES	57	0,25
UNIV ESTADUAL PAULISTA-BR	52	0,17
HOSP CLIN BARCELONA-ES	51	0,33
UNIV MINHO-PT	45	0,17
UNIV NOVA LISBOA-PT	43	0,17

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

Nota: Año 2008.

3.6 La composición disciplinar de la biotecnología

La biotecnología es un campo de una importante interdisciplinariedad, siendo un ejemplo clásico de la ruptura de las divisiones temáticas tradicionales. En la biotecnología, las capacidades existentes en diferentes disciplinas -pertenecientes por ejemplo a la biología y la química, pero también a la ingeniería y la medicina- se entrelazan con la mirada puesta en la solución de problemas complejos y transversales a la ciencia.

Esas capacidades específicas en diferentes disciplinas le dan a la investigación biotecnológica enfoques particulares en cada grupo de investigación, institución o país. En ese sentido, contar con un mapa que dé cuenta de la manera en que esas relaciones disciplinarias se articulan permite obtener un panorama de las tendencias globales de la investigación, pero también de los enfoques particulares a nivel nacional dentro de la región o a nivel general dentro del espacio iberoamericano del conocimiento.

Para la construcción de estos mapas, o redes de disciplinas, es posible valerse de las citas a otros documentos que los autores incluyen en sus trabajos científicos, ya que de ellas puede inferirse el marco de referencia temático sobre el que se centra cada artículo. Al mismo tiempo, es posible determinar la disciplina de los trabajos citados, ya que pertenecen también a revistas indexadas en SCI, y que por lo tanto cuentan también con disciplinas asignadas. Por ejemplo, si un autor cita en un mismo trabajo

artículos de biología celular y de inmunología, es posible asumir es posible asumir que se trata de disciplinas vinculadas en la investigación contenida en el trabajo analizado.

El Gráfico 34 presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para el total de los artículos en biotecnología publicados en el mundo en 2008. 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. Al mismo tiempo, para hacer posible la visualización, en todas las redes de disciplinas presentadas en este estudio, se presentan sólo el centenar de disciplinas con mayor frecuencia de citas en cada caso.

Fundamentalmente en términos de la gran cantidad de citas que reciben, pero también, en varios casos, de la fuerte intensidad de las relaciones existentes entre ellas, se destacan fuertemente doce disciplinas: Biología celular (37.561 citas), Biométodos (22.020), Medicina e Investigación (21.927), Oncología (20.953), Inmunología (19.135), Microbiología (17.312), Biofísica (16.906), Farmacología y Farmacia (16.704), Hematología (13.222), Medicina interna y general (12.191), Biología (10.910), y Química analítica (10.543).

La *Biología Celular* es la disciplina encargada del estudio de las células en cuanto a sus propiedades, estructura, funciones, órganos que contienen, su interacción con el ambiente y su ciclo vital. En la actualidad, las diversas disciplinas de las investigaciones científicas en ciencias biológicas y biomédicas, entre otras, son estudiadas en su mayoría a través de técnicas de biología celular gracias a los avances y las posibilidades que estas metodologías permiten. Este hecho explica por qué es la disciplina con más citas y funciona como núcleo central del entramado general. Ella presenta fuertes relaciones directas con diez de las once importantes disciplinas antes mencionadas; en orden decreciente, se trata de: Oncología, Medicina e Investigación, Biométodos, Biofísica, Inmunología, Farmacología y Farmacia, Hematología, Biología, Microbiología, y Medicina interna y general. A su vez, esta disciplina troncal está vinculada con varias áreas más pequeñas: Neurociencias (y a través de ella, con Neurología clínica, Psiquiatría, y Ciencias del comportamiento), Endocrinología y Metabolismo, Patología, y Fisiología (y a través de ella, con Medicina deportiva), entre otras.

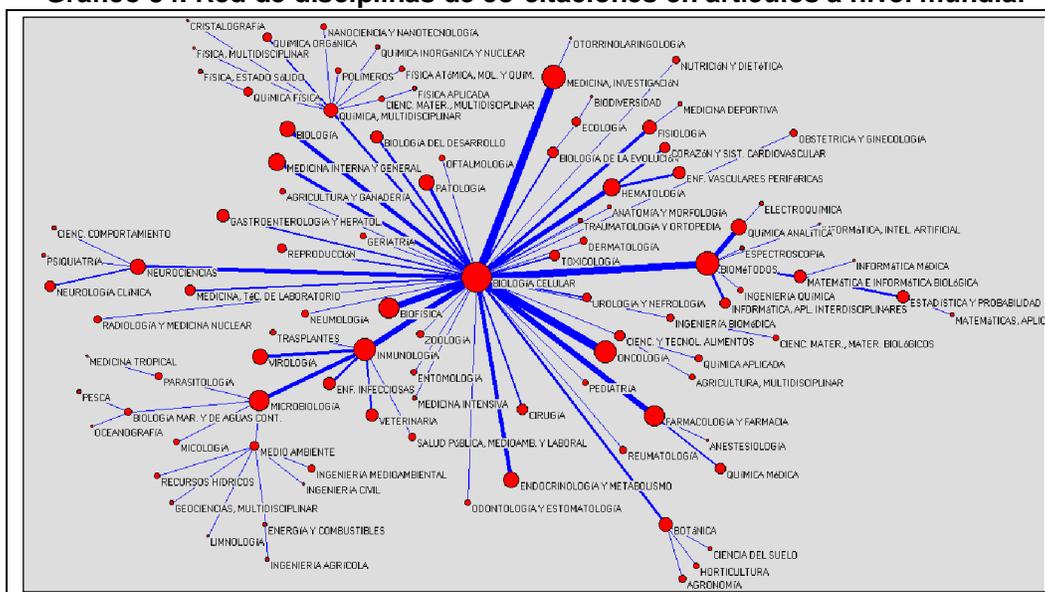
Se destacan, además, tres bloques temáticos que mantienen estrechas relaciones directas con Biología celular y presentan estructuras fuertemente ramificadas. El primero de esos bloques está liderado por otras dos importantes disciplinas antes referidas: *Inmunología* y *Microbiología*, fuertemente conectadas entre sí. Inmunología mantiene, a su vez, relaciones radiales con otras cinco disciplinas: Virología; Enfermedades infecciosas; Veterinaria; Salud pública, medioambiental y laboral; y Trasplantes, en orden decreciente de citas recibidas. Microbiología se vincula con otras catorce áreas: Medio ambiente (y a través de ella, con Ingeniería medioambiental, Recursos hídricos, Energía y combustibles, Ingeniería agrícola, Geociencias multidisciplinar, Limnología, e Ingeniería civil), Biología marina y de aguas continentales (y a través de ella, con Pesca, y Oceanografía), Parasitología (a su vez relacionada con Medicina tropical) y Micología, también en orden decreciente de citas recibidas.

Un segundo bloque temático directamente articulado a la disciplina troncal de la producción científica en biotecnología del mundo se organiza alrededor de *Biométodos*. Esta disciplina tiene estrechas relaciones, a su vez, con diez áreas: Química analítica (conectada por su parte con Electroquímica), Matemática e

Informática biológica (articulada con disciplinas conexas tales como Estadística y Probabilidad, Matemática aplicada, e Informática médica), Aplicaciones interdisciplinarias de la Informática, Ingeniería química, Inteligencia artificial informática, y Espectroscopía.

Finalmente, es posible distinguir un tercer bloque temático directamente vinculado a Biología celular y articulado alrededor de *Química multidisciplinar*, con vínculos casi en su totalidad de tipo radial con once áreas pequeñas. En orden decreciente de citas recibidas, ellas son: Química orgánica; Química física (a su vez conectada con Física del estado sólido); Ciencia de los materiales multidisciplinar (a su vez articulada con Física aplicada); Polímeros; Nanociencia y nanotecnología; Física atómica, molecular y química; Química inorgánica y nuclear; Cristalografía; y Física multidisciplinar.

Gráfico 34. Red de disciplinas de co-citaciones en artículos a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SCI-WOS.
Nota: Año 2008.

En el Gráfico 35 se presenta la red de disciplinas científicas emergente de las co-citaciones para los artículos en biotecnología del conjunto de Iberoamérica publicados en 2008. Se trata de una red temática muy similar a la del total mundial, tanto por las disciplinas referenciadas (casi en su totalidad 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 diferencias analíticamente interesantes en sus ramificaciones que podrían estar mostrando, como se verá, cierta especificidad regional en materia de especialización temática.

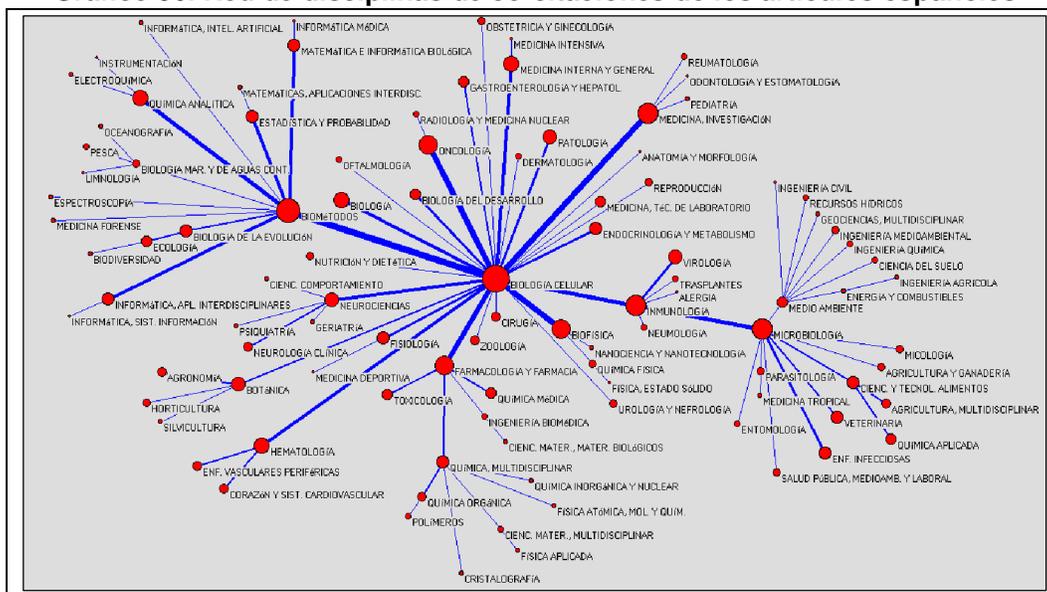
Las disciplinas principales en la red iberoamericana son, siguiendo la tendencia internacional, en primer lugar Biología celular (2.469 citas), en el segundo Microbiología (1.899, séptima en la red mundial), en el tercero Biométodos (1.863, segunda en la red mundial), en el cuarto lugar Inmunología (1.577, quinta en la red mundial), en el quinto Medicina e Investigación (1.555), en el sexto Oncología (1.166), en el séptimo Biofísica (1.129), en el octavo Farmacología y Farmacia (1.127), en el noveno Medicina interna y general (1.004, décima en la red mundial), en el décimo

- directamente con Biología celular; y
- Biología marina y de aguas continentales (239 citas) está articulada en forma directa a Ecología (y, en forma indirecta, a Biología de la evolución y a Biométodos) en la red iberoamericana, mientras en la red mundial aparece directamente relacionada con Microbiología.

Los Gráficos 36 a 40 presentan las redes temáticas actuales correspondientes a los cinco principales países de Iberoamérica en materia de producción científica en biotecnología. 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 36 se muestra la red temática resultante de las co-citaciones correspondientes a los artículos españoles en biotecnología en 2008. Como es lógico, dado el peso de la producción española en el total regional, su composición temática y estructura de nodos centrales resultan casi idénticas a las observadas en la red del conjunto de Iberoamérica, pero con algunas pequeñas diferencias que la acercan a la red del total mundial.

Gráfico 36. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos españoles



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

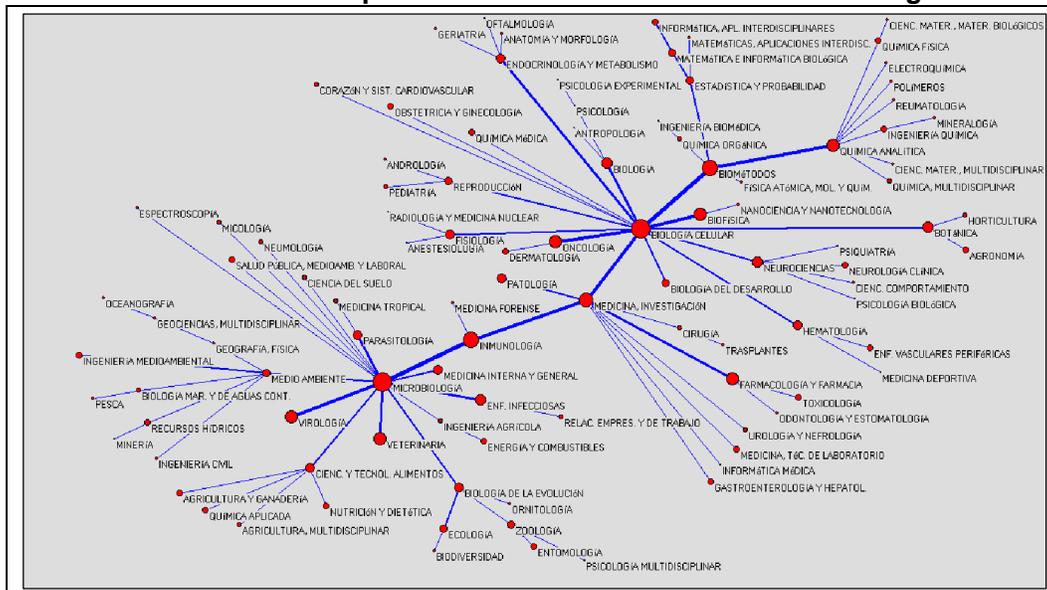
Nota: Año 2008.

Entre tales diferencias cabe destacar que:

- Virología aparece fuertemente conectada a Inmunología, siguiendo el patrón mundial y marcando una divergencia con la red del conjunto iberoamericano

encuentran, nuevamente, en la posición de algunas áreas, como es el caso de Farmacología y Farmacia, que está vinculada a Medicina e Investigación (en lugar de a Biología celular); y en la mayor ramificación relativa de algunas disciplinas y sub-disciplinas científicas, como es el caso de Química analítica en la red argentina (que aparece directamente conectada con Ingeniería Química –y, a través de ella, con Mineralogía-, Ciencia de los materiales multidisciplinar, Química multidisciplinar, Reumatología, Polímeros, Electroquímica, Química física –y, a través de ella, Ciencia de los materiales y materiales biológicos-).

Gráfico 40. Red de disciplinas de co-citaciones de los artículos argentinos



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

Nota: Año 2008.

Cabe destacar que Microbiología ocupa un muy importante papel en la red de producción científica en biotecnología de Argentina, en tanto presenta la mayor cantidad de ramificaciones entre las treinta y ocho disciplinas y sub-disciplinas científicas que agrupa. Se observan varias ramas fundamentales de este árbol temático, organizadas fundamentalmente alrededor de Ciencia y tecnología de los alimentos, Biología de la evolución, Medio ambiente, Enfermedades infecciosas y otras áreas y sub-áreas pertenecientes a los campos de la salud y a las tecnologías o ingenierías.

4. Desarrollo tecnológico en biotecnología

Mientras que las publicaciones ofrecen un panorama detallado de los patrones y tendencias en investigación en el campo de la biotecnología, las patentes de invención posibilitan un análisis equivalente enfocado en el desarrollo tecnológico. Se trata, sin embargo, de una fuente de información que debe ser manejada con ciertos cuidados.

El patentamiento es, en las empresas de base tecnológica, una herramienta que no sólo sirve para proteger los resultados de la I+D, sino también un elemento importante de sus estrategias comerciales. La decisión de patentar o no una invención, dónde hacerlo y bajo la titularidad de quién, son cuestiones relacionadas con las características de los mercados, el potencial económico del invento, pero también la situación de los competidores. En algunos casos, las empresas optan por el secreto industrial como forma de protección o presentan sus solicitudes bajo la titularidad de subsidiarias, con el objetivo de valorizarlas o de no hacer evidentes sus estrategias a los competidores.

Estos comportamientos son particularmente importantes en el campo de la biotecnología, caracterizada por una fuerte competencia, la presencia de empresas de gran envergadura y dinamismo, un importante potencial económico y un marco legal que varía considerablemente entre países. Por ese motivo, en este campo es conveniente obtener un primer panorama a partir de la observación complementaria de diversas bases de datos. Para ello, se han tomado en este estudio las tres principales fuentes para el estudio de patentes a nivel mundial, y que dan cuenta de las características de la protección industrial en los mercados más importantes del mundo.

La primera de ellas es 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). La solicitud y el mantenimiento de patentes internacionales registradas mediante el tratado PCT son costosos en términos económicos y de gestión, en particular para los países de menor desarrollo relativo de Iberoamérica, por lo que sólo suelen registrarse allí los inventos con un potencial económico o estratégico importante. La selección y priorización de esta fuente a lo largo del presente análisis se basó en ese criterio de calidad, de modo de relevar con la mayor precisión posible los avances tecnológicos de punta a nivel mundial, teniendo a la vez menos sesgos que otras fuentes para una comparación regional.

Las otras dos fuentes que se han consultado son la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos (USPTO) y la Oficina Europea de Patentes (EPO). La primera de estas fuentes está directamente relacionada con la comercialización de productos en el mercado norteamericano, que resulta por ello una meta fundamental para quienes ofrecen productos innovadores en este campo. La segunda fuente brinda una valiosa mirada del desarrollo tecnológico en el contexto de la Unión Europea como región, en particular de aquellas invenciones que por su potencial económico buscan ser registradas como patentes y explotadas de manera simultánea en la totalidad de los países europeos.

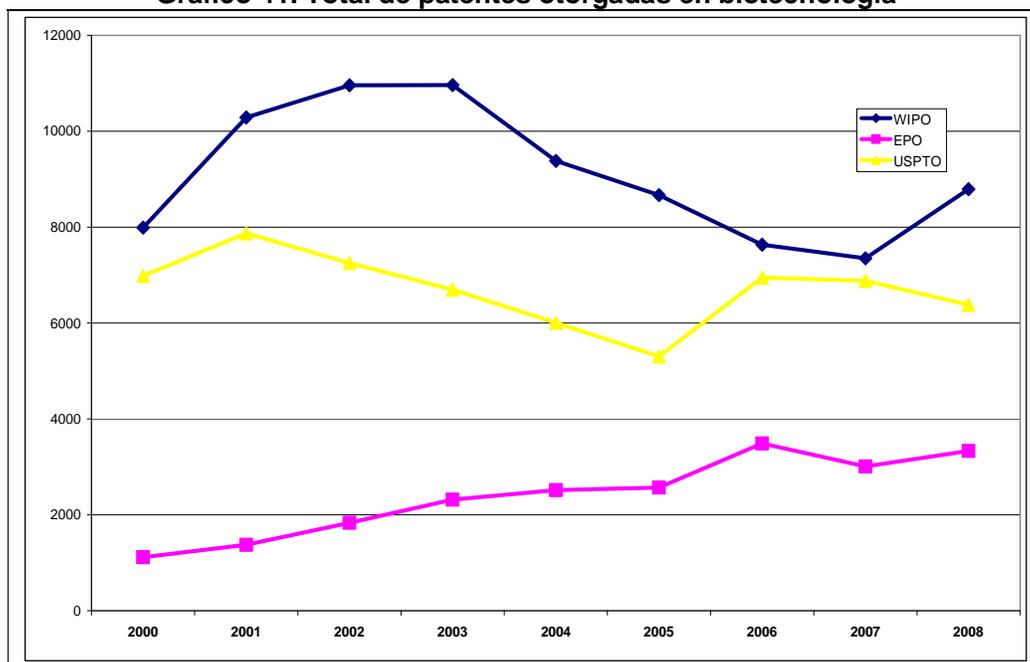
4.1 Evolución del patentamiento en biotecnología

Como se puede observar en el Gráfico 41, de acuerdo a WIPO se trata de un campo que luego del importante crecimiento registrado durante el bienio 2000-2001 (cuando pasó de 7.989 a 10.287 patentes, un incremento del 29% en apenas dos años) y mantenerse estable durante 2002, a partir del año siguiente empieza una caída tan constante como pronunciada. Hacia el año 2006 se registran, incluso, valores inferiores a los de inicio de la serie, para concluir en 2007 con una cifra aún menor. Sin embargo, en el último año de la serie la tendencia se revierte llamativamente, pasando a la publicación de 8.763 patentes y volviendo a valores similares a los de 2005.

En términos comparativos, los comportamientos observados a partir de las restantes fuentes de información, difieren de lo observado en WIPO. De acuerdo a la USPTO, luego de un crecimiento inicial se observa una caída constante hasta 2006, año en que se produce un fuerte aumento que se mantiene durante 2007. Finalmente, el volumen de patentes biotecnológicas otorgadas por la oficina estadounidense desciende levemente en 2008, aunque mantiene aún valores muy superiores a los de 2005.

De acuerdo a la EPO, en cambio, la tendencia es levemente creciente durante todo el período considerado (2000-2008). Cabe destacar que ambas fuentes de información registran un fuerte crecimiento del patentamiento en biotecnología hacia el año 2006, cuyos contenidos de especialización tecnológica serán explorados analíticamente en clave comparativa más adelante.

Gráfico 41. Total de patentes otorgadas en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Si bien la búsqueda de documentos se ha realizado con criterios completamente homogéneos en todas las fuentes, siguiendo la definición de la OCDE basada en códigos de clasificación internacionales, la disparidad de comportamientos entre

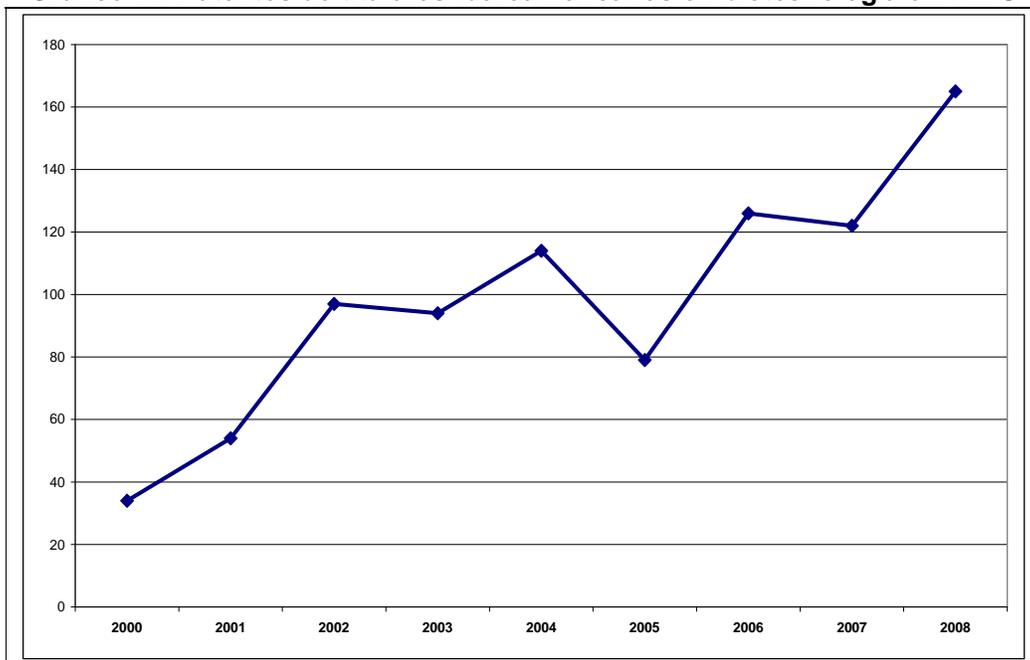
fuentes está relacionada con aspectos normativos y prácticos de protección de los desarrollos en biotecnología en los diferentes países y regiones.

Si bien los requisitos objetivos para el otorgamiento de una patente de invención (esto es, novedad, altura inventiva y aplicación industrial) tienen una extensión universal, los criterios con los que cada uno de los países los evalúa difieren en la práctica. Pese a existir acuerdos internacionales que definen pautas comunes de verificación práctica de la existencia de los requisitos de patentabilidad en productos y procesos concretos, aún persiste la ausencia de un criterio homogéneo para caracterizar una invención y su diferencia con un descubrimiento. Mientras la primera es definida como toda creación humana que permita transformar materia o energía para su aprovechamiento por el hombre, el segundo implica el hallazgo de un nuevo conocimiento dado en la naturaleza. Esta discrepancia no es menor porque para el derecho de Estados Unidos el término invención se aplica tanto a las invenciones propiamente dichas como a los descubrimientos y, en consecuencia, ambas categorías pueden ser protegidas jurídicamente.

Como se puede observar, esta diferencia de definiciones engrosa de manera relevante los índices de patentes en favor de este país con criterios de protección más amplios y flexibles respecto del alcance de la materia que puede ser objeto de la misma. La flexibilidad del sistema de patentes norteamericano radica principalmente en la laxitud con la que se aplica el criterio de actividad o altura inventiva, es decir, en la evaluación de la participación del ingenio humano en el resultado, lo cual ha sido explícitamente habilitado por la *Patent Reform Act* hacia 2005. Esta modificación explica el marcado cambio de tendencia, fuertemente ascendente en 2006, verificado en la USPTO.

Mientras que el número total de patentes publicadas en la WIPO presenta altibajos, los documentos bajo titularidad de iberoamericanos presentan una tendencia al crecimiento casi constante, con un único descenso significativo en 2005 (Gráfico 42). La tendencia, por otra parte, muestra un crecimiento irregular en gran medida por el número relativamente bajo de patentes identificadas en este campo. A pesar de ello, el crecimiento es muy significativo, pasando de 34 documentos publicados por la WIPO en 2000 a 165 en 2008, marcando un aumento del 385%.

Gráfico 42. Patentes de titulares iberoamericanos en biotecnología en WIPO



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Estos valores dan cuenta del ingreso de los países iberoamericanos en el desarrollo tecnológico en biotecnología durante el período estudiado y que ha alcanzado un dinamismo importante, aunque siempre con un volumen claramente limitado. Al mismo tiempo, ese destacado impulso observado desde 2000 no queda exento de las tendencias generales del patentamiento a nivel mundial.

El Gráfico 43 ofrece una descripción de las tendencias comparadas del total de patentes biotecnológicas a nivel mundial y de las producidas en el marco del espacio iberoamericano, tomando como base el año 2000. Esta forma de representación iguala los valores al primer año, para trazar a partir de allí su variación anual con respecto al año anterior. De esta manera es posible comparar las tendencias en la evolución de variables con volúmenes muy distintos.

Es posible notar cómo la fuerte pendiente positiva iberoamericana observada hasta el año 2002 se da en un contexto de expansión internacional en el campo de la biotecnología. Los años posteriores, en los que el patentamiento total en el área desciende, presentan una desaceleración a nivel regional, con una caída significativa en 2005. De la misma manera, la recuperación mundial del patentamiento biotecnológico en la WIPO registrada en el último año, tiene un impacto significativo en la producción tecnológica iberoamericana.

Gráfico 43. Patentes biotecnológicas y total de titulares iberoamericanos (WIPO)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

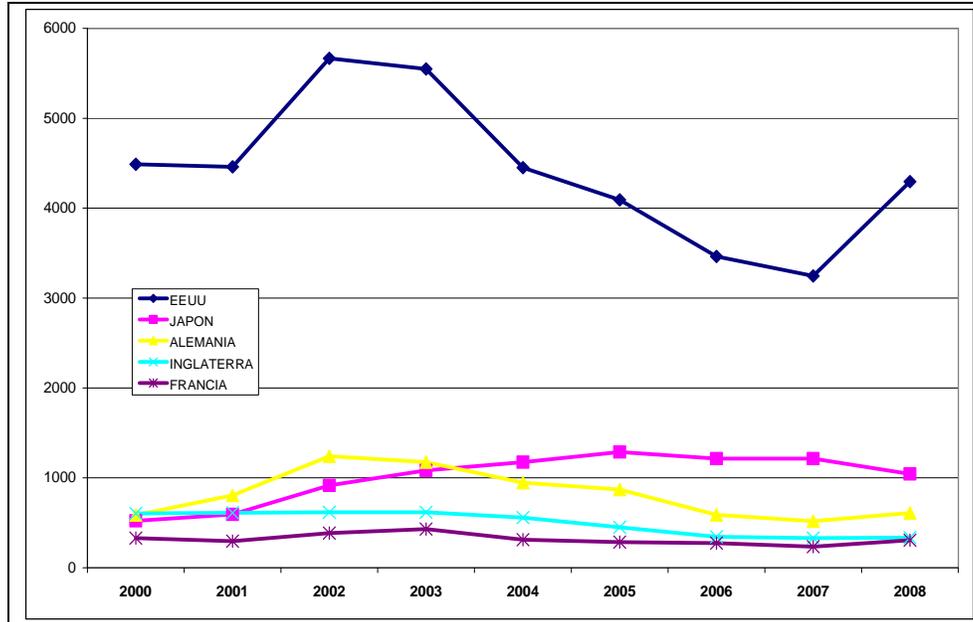
Nota: Base 2000=100

Al analizar, nuevamente a partir de los datos de la WIPO, los países más importantes en materia de desarrollo tecnológico en el campo de la biotecnología, resulta claro que el primer lugar lo ocupa Estados Unidos por un amplio margen. Con participación en la titularidad de 39.708 registros, ese país reúne el 48% de las patentes totales consideradas en este estudio. El Gráfico 44 presenta la evolución, entre 2000 y 2008, de las patentes registradas por los seis países con mayor frecuencia acumulada durante el período, de acuerdo a la nacionalidad de uno o todos sus titulares.

Dado el amplio volumen de patentamiento estadounidense, su evolución durante el período considerado guarda una gran similitud con la del total mundial. Cabe señalar, sin embargo, que difiere de ella en que su crecimiento se concentra en el año 2001 y la caída, pronunciada y constante como la observada para el total general, comienza un año antes. Al mismo tiempo, sus titulares son responsables en gran medida de la espectacular recuperación del campo en 2008.

Los siguientes cuatro países que encabezan el ranking mundial del patentamiento en este campo lo completan Japón, Alemania, Inglaterra y Francia, en ese orden. Sin embargo, como se señaló anteriormente, todos ellos tienen un volumen de patentes obtenidas notoriamente menores al que posee Estados Unidos y mayor estabilidad en la evolución de su número de patentes durante el período de referencia. Constituyen excepciones a esta observación Alemania (que sostiene un ritmo relativo de crecimiento durante 2000-2002) y fundamentalmente Japón que, contrariamente al resto de los países líderes, aumenta lenta pero sostenidamente sus patentes en biotecnología hasta 2007, para luego descender su volumen en 2008, nuevamente contra la tendencia general.

Gráfico 44. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

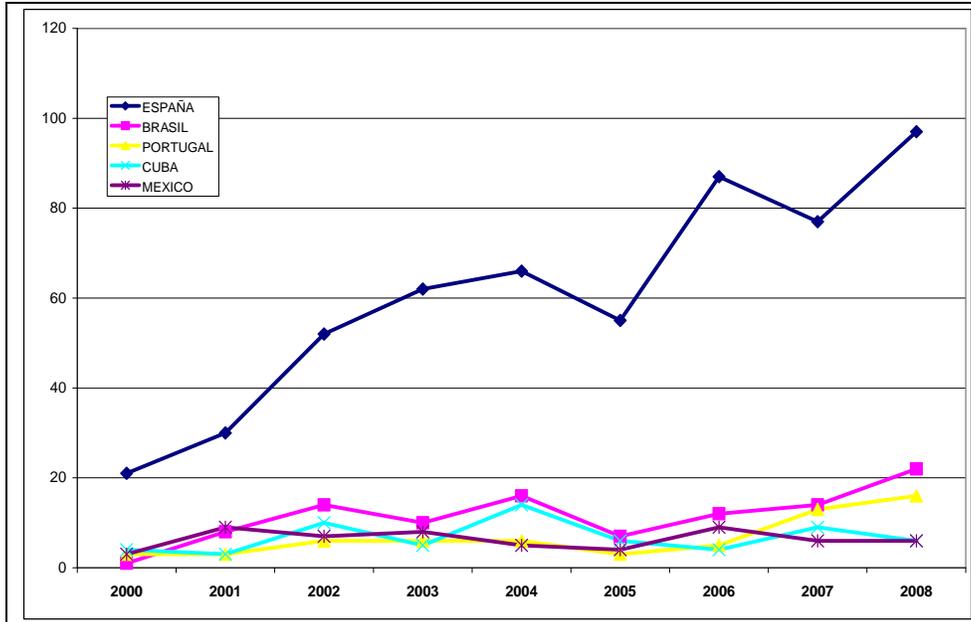
Más allá de las tendencias, los líderes mundiales en patentamiento en el área de la biotecnología son los mismos que en términos de publicaciones, con una excepción: China, país que aparece segundo en el recuento de publicaciones en esta temática, mientras que en cuanto a la titularidad de patentes aparece recién en el octavo lugar.

A nivel iberoamericano, mientras tanto, los cinco países con mayor presencia entre los titulares son España, Brasil, Portugal, Cuba y México (Gráfico 45). La presencia europea es muy significativa en este tipo de documentos, con una marcada supremacía española que está cerca de quintuplicar la cantidad de patentes anuales publicadas por la WIPO durante el período considerado, pasando de 21 patentes en 2000 a 97 en 2008. Portugal, en cambio, tiene una presencia menor pero destacada en relación a su tamaño, apareciendo en el tercer lugar, no lejos de Brasil.

Los países latinoamericanos tienen una presencia mucho menor, que no se condice con su desempeño en otros indicadores de ciencia y tecnología, como las publicaciones e incluso su esfuerzo en I+D. Brasil es el que presenta la titularidad del mayor número de documentos, y con un crecimiento sostenido desde 2005, aunque el volumen total de las patentes bajo su titularidad en el período es de poco más de cien.

México, por su parte, presenta una conducta muy estable, promediando durante todo el período apenas cinco patentes al año. Es llamativo el caso de Cuba, que presenta un desempeño muy bueno en la titularidad de patentes, superando a México en varios años y acercándose incluso a Brasil entre 2002 y 2005. Se trata de un área muy fuerte en la isla, con una fuerte orientación al patentamiento, que pone a este país en una posición mucho mejor en términos de documentos de propiedad industrial que de publicaciones científicas.

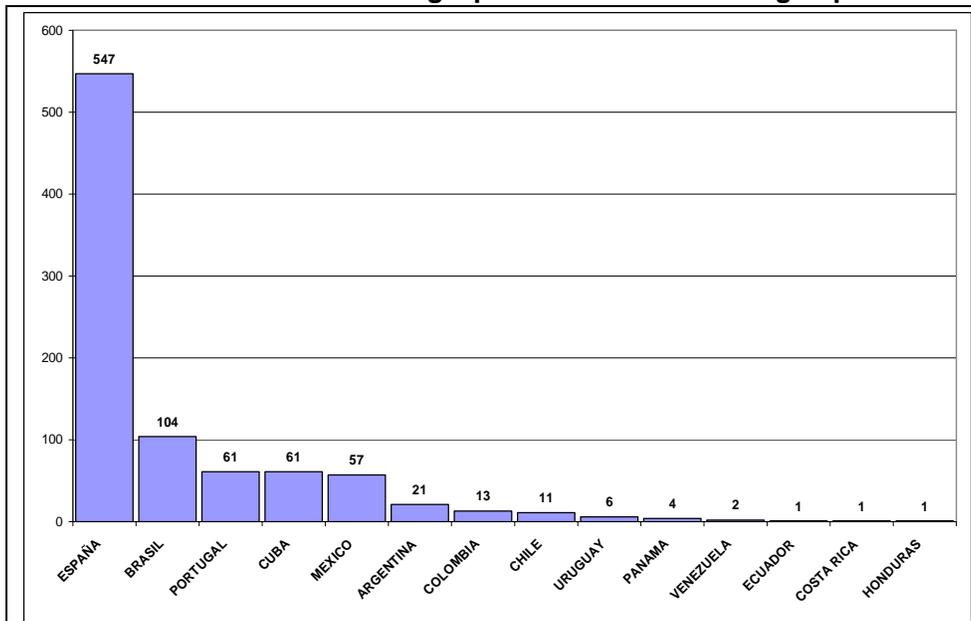
Gráfico 45. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Otra de las características del patentamiento en el área de la biotecnología a nivel iberoamericano es su marcada concentración. El Gráfico 46 presenta el total de patentes publicadas por la WIPO, acumuladas en el período 2000-2008, bajo la titularidad de países de la región. España, con 547 registros, acumula más del 60% del total regional, mientras que si se suman los cinco países de mayor presencia se cubre casi el 95% del total iberoamericano.

Gráfico 46. Patentes en biotecnología publicadas en WIPO según país del titular



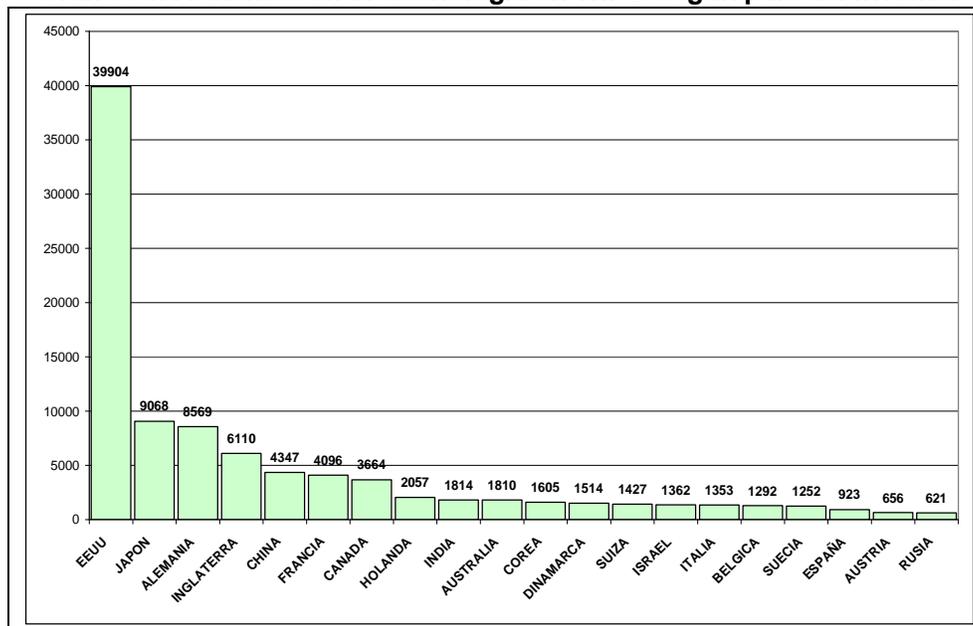
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

En los documentos de patente, además de la información referida a los titulares de cada invención –quienes tienen los derechos exclusivos de su explotación y licenciamiento- se cuenta con datos referidos a el o a los inventores que participaron de su concepción. Aunque sólo se trata de un reconocimiento al trabajo desarrollado, sin derechos de propiedad sobre la explotación comercial del invento, este dato informa acerca de la actividad de los tecnólogos de cada país en el campo bajo estudio, aunque ellos puedan tener lugar de trabajo dentro o fuera de su país de origen.

El Gráfico 47 muestra la cantidad de patentes publicadas por la WIPO entre 2000 y 2008 con presencia de inventores de cada país. Las tendencias no difieren demasiado a lo que se puede observar en relación a la titularidad. La excepción más llamativa es la de China, que aparece en el quinto lugar del ranking mundial confeccionado a partir de la nacionalidad de los inventores, mientras que en el de titulares aparece en el octavo.

Gráfico 47. Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor

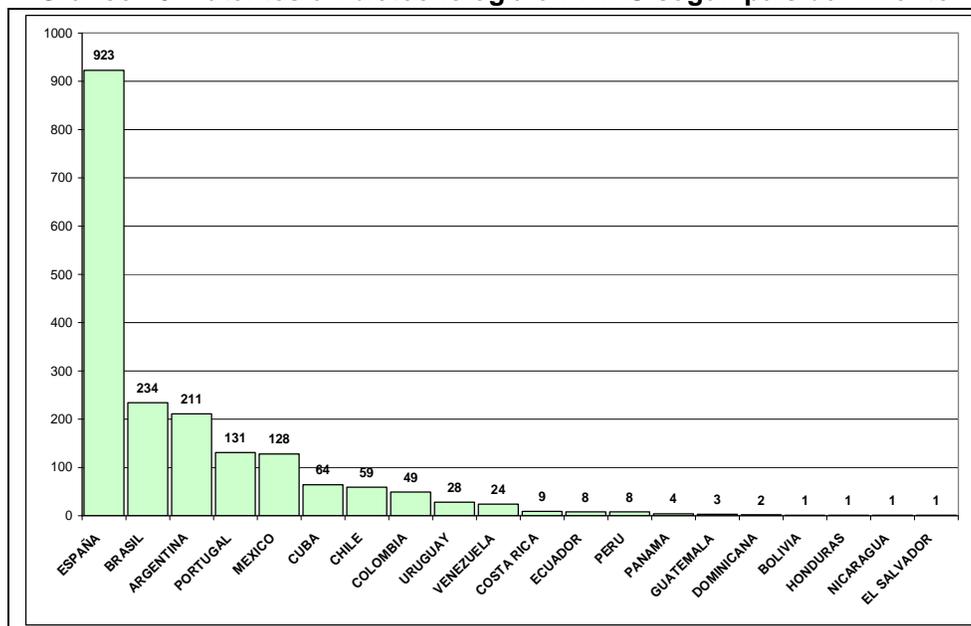


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

A nivel iberoamericano sucede algo parecido, como se aprecia en el Gráfico 48. En este caso, la excepción está dada por Argentina, que aparece en el sexto lugar de acuerdo a la cantidad de patentes de su titularidad, mientras que ocupa el tercero de acuerdo a la presencia de inventores de esa nacionalidad.

Gráfico 48. Patentes en biotecnología en WIPO según país del inventor

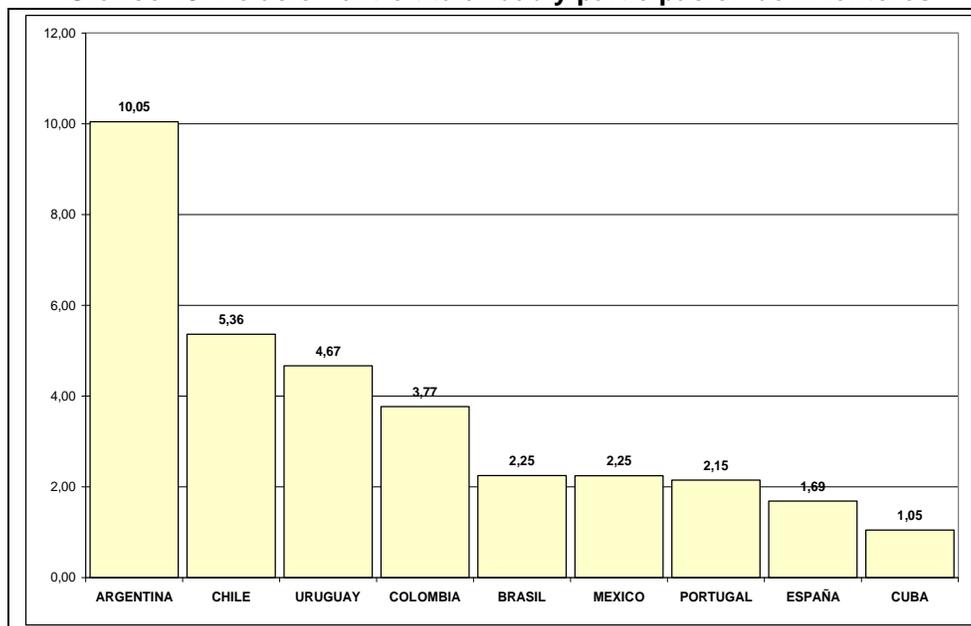


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.
 Nota: Acumulado 2000-2008.

Esta información se aprecia más claramente en el Gráfico 49, que presenta la relación entre la titularidad y la participación entre los inventores de algunos países iberoamericanos seleccionados. Argentina aparece como un caso llamativo, con más de 10 patentes con inventores por cada una de su titularidad. Chile, en segundo lugar, tiene algo más de 5. Brasil, el país más desarrollado de América Latina, tiene 2.25 al igual que México.

Los países ibéricos presentan relaciones aún más bajas, con 2.15 en el caso de Portugal y 1.69 en el caso de España. Cuba, en cambio, muestra una relación casi de 1 a 1, dando cuenta de que la presencia de investigadores cubanos en patentes extranjeras es casi nula.

Gráfico 49. Relación entre titularidad y participación de inventores



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008. Países con más de cinco patentes de su titularidad.

Estos patrones diferenciados son interesantes de analizar. Por un lado, la escasa cantidad de patentes de la región -particularmente entre los latinoamericanos- da cuenta de un nivel de aplicación industrial restringido de la biotecnología. Al mismo tiempo, la participación de recursos humanos altamente capacitados de estos países en patentes de titularidad extranjera da cuenta de la existencia de capacidades tecnológicas generadas localmente.

En los países más desarrollados, como Estados Unidos o Japón, la relación entre inventores y titulares es casi de 1 a 1, mientras que en otros, como Alemania o Inglaterra, las diferencias son menores, en gran medida generadas por la presencia de más de un inventor en cada patente.

Posiblemente, los patrones observados sean una evidencia más de la debilidad del sector privado de base tecnológica de la mayoría de los países de Iberoamérica, y particularmente de América Latina, que expulsan investigadores altamente capacitados hacia países con mayor capacidad de absorción de conocimiento aplicado, reflejado en las patentes de invención.

4.2 Principales titulares de patentes en biotecnología

La biotecnología es un terreno que se caracteriza por una marcada cercanía entre la investigación científica y la aplicación industrial. Se trata a la vez de un mercado altamente competitivo, principalmente en el ámbito farmacéutico, en el que intervienen grandes empresas multinacionales que invierten importantes sumas en I+D.

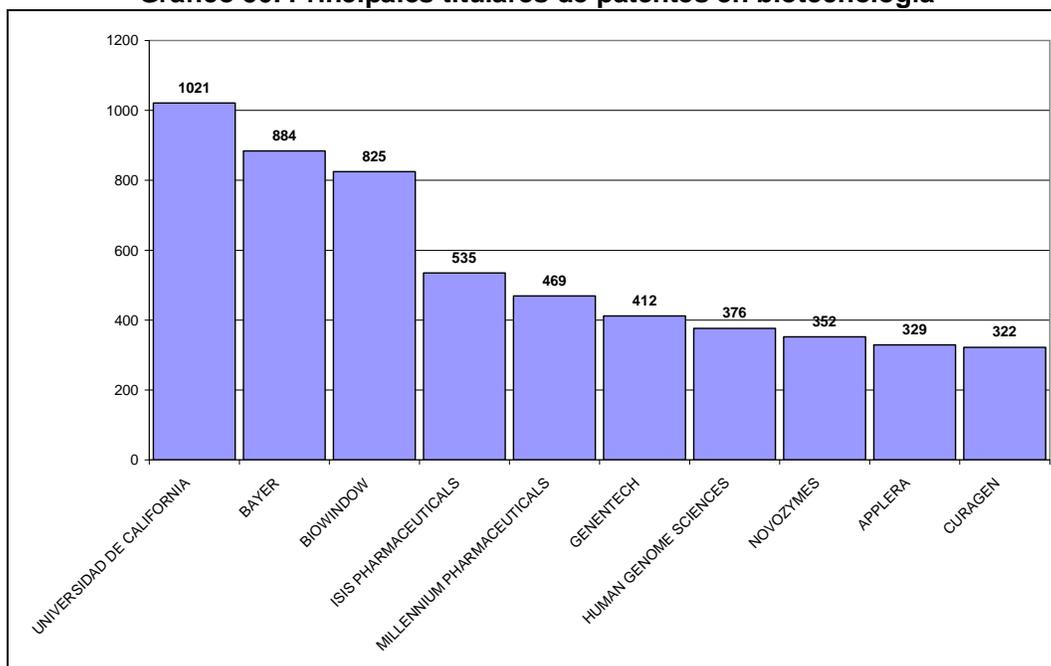
Por estos motivos, los principales titulares de patentes incluyen tanto instituciones de investigación como empresas privadas. Al mismo tiempo, el seguimiento de las empresas titulares de invenciones resulta una tarea compleja, dado que los documentos suelen registrarse a nombre de diferentes filiales, como parte de las

estrategias empresariales. Este comportamiento tiene por objetivo tanto dificultar el seguimiento de las actividades de investigación por parte de la competencia como facilitar la comercialización de licencias, en un mercado en el que el comercio del conocimiento contenido en los registros de propiedad intelectual es de gran importancia económica.

Una evidencia de la importancia del sector académico en la industria biotecnológica se presenta en el listado de los principales titulares de patentes en biotecnología, acumuladas entre 2000 y 2008. El máximo titular de patentes es la Universidad de California, con un total de 1.021 patentes. El resto de los diez máximos titulares está integrado por empresas privadas, en su mayoría pertenecientes al sector farmacéutico (Gráfico 50).

En el segundo lugar aparece Bayer, con 884 títulos de su propiedad. El tercer lugar, muy cerca con 825 patentes, lo ocupa la empresa Biowindow, de origen chino. Con niveles de patentamiento acumulado entre 2000 y 2008 entre los 535 y los 468, aparecen las farmacéuticas Isis y Millenium. La lista se completa con las empresas Genentech, Human Genome Sciences, Novozymes, Applera y Curagen.

Gráfico 50. Principales titulares de patentes en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

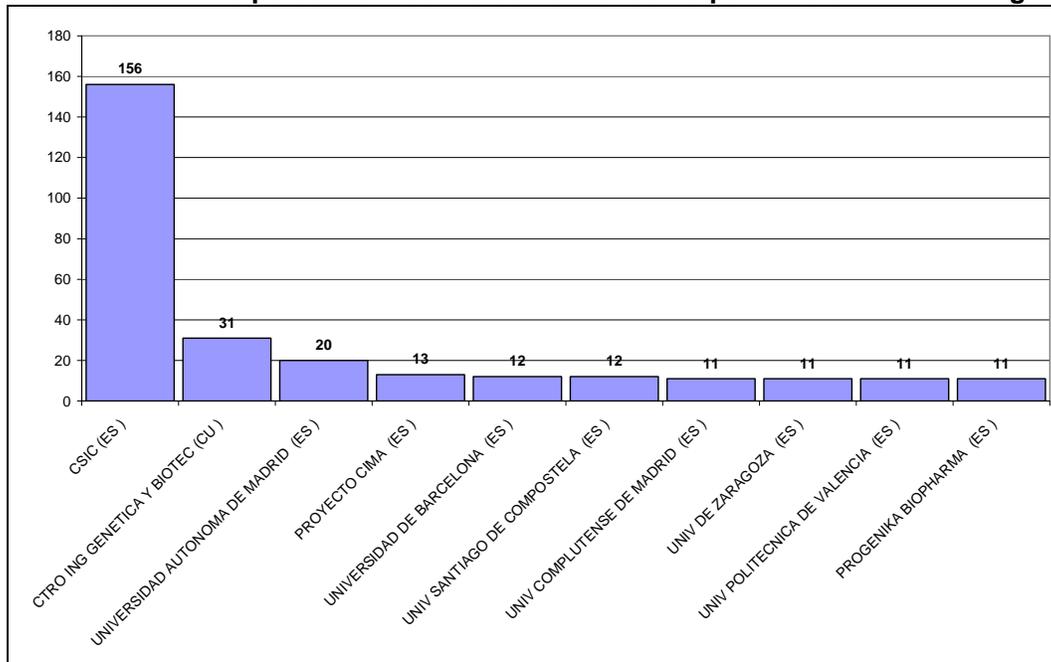
Nota: Acumulado 2000-2008.

Un enfoque similar, sobre los países iberoamericanos, pone en claro patrones muy distintos y característicos de la región. En primer lugar, nueve de los diez principales titulares son españoles, mientras que el restante es de origen cubano. Al mismo tiempo, dentro de los titulares españoles, la diferencia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) con el resto es abismal (Gráfico 51).

El CSIC cuenta con 156 patentes publicadas mediante el convenio PCT entre 2000 y 2008, mientras que el resto de las instituciones españolas rondan la docena de títulos acumulados en el mismo período. Se trata de universidades, entre las que se destaca

la Universidad Autónoma de Madrid, con 20 registros y en el tercer lugar a nivel regional, seguida por el Proyecto Cima –titular de las patentes surgidas de la actividad de Centro de Investigación de Medicina Aplicada de la Universidad de Navarra- con 13 registros de propiedad industrial.

Gráfico 51. Principales titulares iberoamericanos de patentes en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

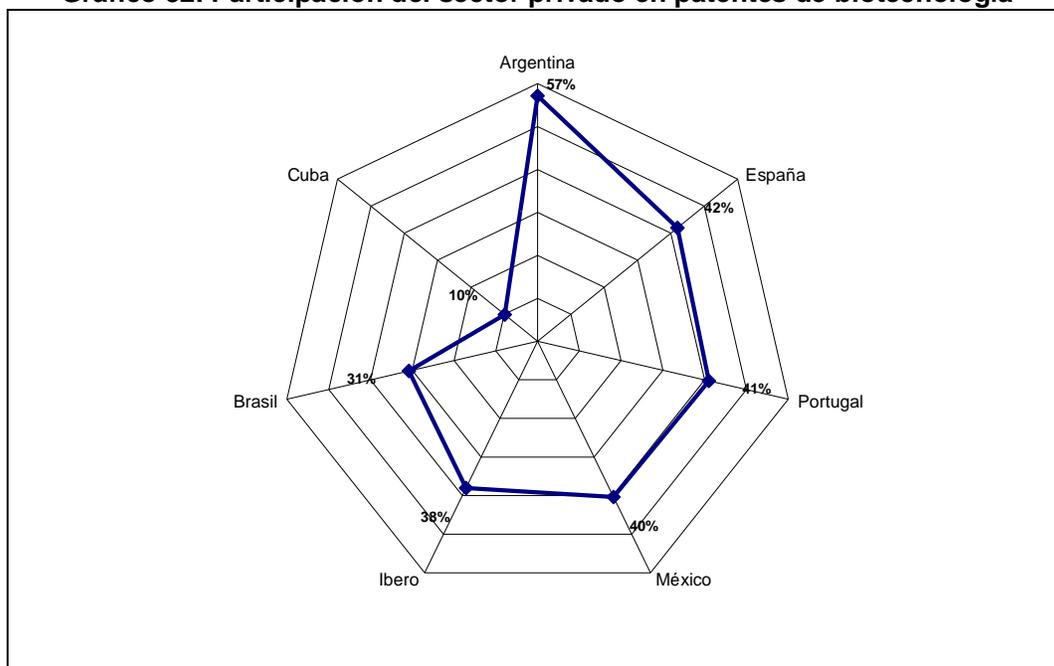
Nota: Acumulado 2000-2008.

En segundo lugar se ubica una institución cubana, país con una marcada especialización en la biotecnología, en particular orientada al campo de la salud humana. Se trata del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, con 31 patentes publicadas dentro del convenio PCT.

Es de destacar también que entre los diez máximos titulares de patentes a nivel iberoamericano sólo se identifica una empresa del sector privado. Se trata de la española Progenika Biopharma, con once títulos de propiedad industrial acumulados entre 2000 y 2008.

La debilidad del sector privado en el área de biotecnología a nivel iberoamericano es una característica que puede apreciarse también en otros campos del desarrollo tecnológico. Esto se hace evidente, incluso a nivel general, en el mejor desempeño de la región en término de publicaciones que de patentes, en comparación con los países más desarrollados. De hecho, como se puede observar en el Gráfico 52, tan sólo el 38% de las patentes de titularidad iberoamericana registradas en el convenio PCT entre 2000 y 2008 corresponden al sector privado, incluyendo también aquellos documentos presentados bajo el nombre de personas físicas.

Gráfico 52. Participación del sector privado en patentes de biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

Sin embargo, la presencia de titulares del sector privado en las patentes -incluyendo aquellas que son registradas a nombre de personas particulares- es mayor que el promedio en los países ibéricos, más desarrollados que los latinoamericanos. España muestra presencia del sector privado en el 42% de las patentes PCT registradas entre 2000 y 2008, mientras que en Portugal el mismo indicador alcanza el 41%. En este último país, al igual que en España, los principales titulares son universidades. En primer lugar aparecen el Instituto Superior Técnico de la Universidad Técnica de Lisboa, con cinco patentes, y la Universidad de Minho, con la misma cantidad. Recién en el cuarto y quinto lugar aparecen empresas privadas: Stab Vida y Actual Farmacéutica, con cuatro y tres patentes acumuladas en el período respectivamente.

En el caso mexicano, donde el 40% de las patentes pertenecen al sector privado, se observa una gran atomización. Sólo cinco titulares tienen más de una patente en el período estudiado. El principal es la Universidad Nacional Autónoma de México, con nueve registros bajo su titularidad. En segundo y tercer lugar aparecen titulares privados, una empresa del sector agrícola y un titular privado, ambos con tres patentes cada uno.

Brasil, por su parte, muestra una presencia del sector privado bastante menor al promedio iberoamericano, con el 31%. En este caso, los principales titulares son la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de San Pablo (FAPESP) y la Fundación Oswaldo Cruz, con diecisiete y quince registros respectivamente. La principal empresa es Alellyx con nueve registros. Entre los titulares del sector público también se destacan el CNPq y EMBRAPA.

En el caso cubano, la presencia del sector privado es mínima, con tan sólo el 10%. Las patentes biotecnológicas se concentran en centros públicos, encabezados por el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología, que con 31 registros PCT entre 2000 y

2008, es la segunda institución a nivel iberoamericano. Los escasos privados son personas particulares que aparecen en la titularidad de las patentes.

Por último, el caso argentino –sexto en volumen a nivel regional- presenta una llamativa presencia de privados, alcanzando un 57% del total. Sin embargo, al igual que en el caso mexicano, se observa una gran atomización: sólo tres de los veintitrés titulares de patentes PCT detectados entre 2000 y 2008 poseen más de un registro. Se trata, en primer lugar, de la empresa Immunotech con cuatro, seguida por el CONICET y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), con tres y dos respectivamente. La alta presencia del sector privado se explica, principalmente, por la presencia de inventores que registran sus productos de manera particular, sin pertenecer en principio a ninguna empresa que pueda llevar el desarrollo a escala industrial.

Este panorama general muestra una cierta falta de consolidación en el sector privado, particularmente en los países de menor desarrollo relativo. Resulta muy llamativa la presencia de personas físicas como titulares de patentes y, consecuentemente, algo incierta la posterior explotación comercial de las invenciones registradas.

4.3 Los campos de aplicación de la biotecnología

Con el objeto de dar cuenta de los campos de aplicación tecnológica de las patentes recopiladas en este estudio, se puede utilizar los códigos internacionales de clasificación de patentes (IPC). Se trata de una clasificación de carácter jerárquico y que tiene una profundidad de hasta seis dígitos, por lo que la información puede manejarse a niveles de desagregación variables.

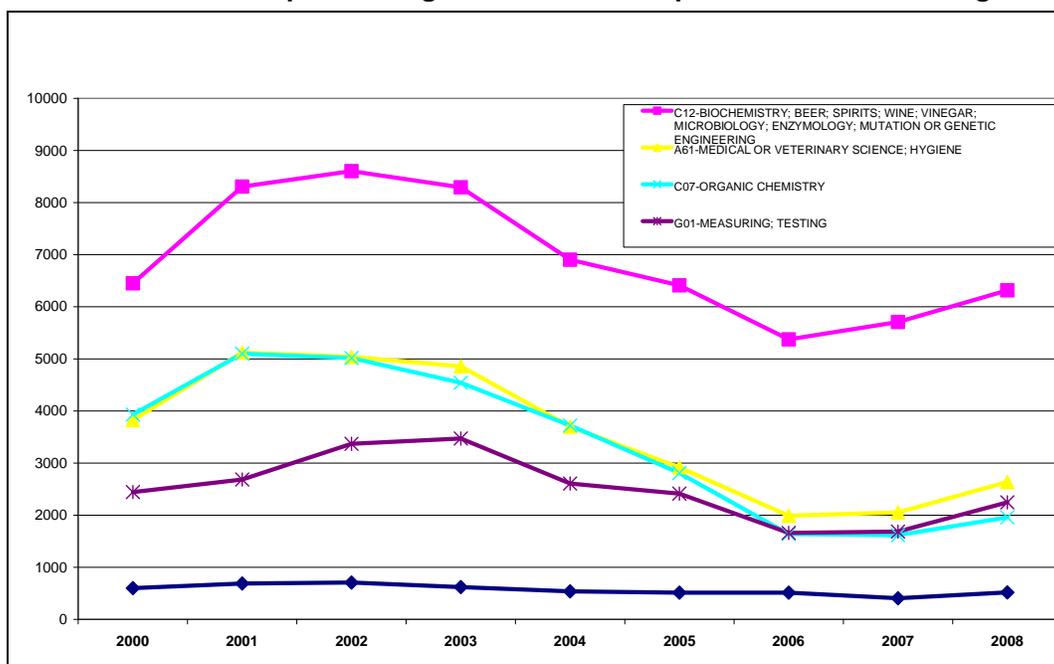
En el Gráfico 53 se presenta la evolución de los cinco principales códigos IPC a tres dígitos del total de patentes en biotecnología registrado para 2000-2008 en la base del convenio PCT. Dado que una misma patente puede poseer varios códigos IPC, muchas veces estos códigos se superponen; este análisis se realiza sobre la base de la consideración de todos los códigos IPC en los que cada una de las patentes analizadas ha sido técnicamente clasificada, para más adelante exponer las redes temáticas conformadas por tales interrelaciones.

Considerando el volumen acumulado para el período, en orden decreciente los principales campos de aplicación de las patentes de invención en biotecnología son: *Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética* (C12, con 62.365 registros), *Ciencias médicas y veterinaria* (A61, con 32.138), *Química orgánica* (C07, con 18.751 patentes), *Medición y testeo* (G01, con 22.580), y *Agricultura, Bosques y Ganadería* (A01, con 5.097 registros). Continúan el listado de los campos de aplicación más frecuentes entre los títulos de propiedad industrial en biotecnología bajo análisis, aunque con valores significativamente inferiores a los recién referidos (la mitad o menos que los observados en el campo que ocupa el quinto lugar), las siguientes cinco áreas temáticas: *Procesos físicos o químicos* (B01), *Alimentos* (A23), *Computación* (G06), *Componentes orgánicos macromoleculares* (C08) y *Tratamiento del agua* (C02).

Tanto Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética, el campo de aplicación de la biotecnología dominante a nivel mundial en todos los años analizados, como sus cuatro seguidores Ciencias médicas y veterinaria, Química orgánica, Medición y testeo, y Agricultura, Bosques y Ganadería, registran una tendencia creciente durante el primer trienio del período o bien, en algunos casos, sólo durante el primer bienio, luego muestran un descenso sostenido hasta 2006, para luego reiniciar una curva de

crecimiento que, sin embargo, los posiciona por debajo de los valores iniciales. Sin embargo, Agricultura, Bosques y Ganadería, es el que mantiene una participación relativamente más estable a lo largo del período, aunque siguiendo la tendencia general del conjunto.

Gráfico 53. Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología



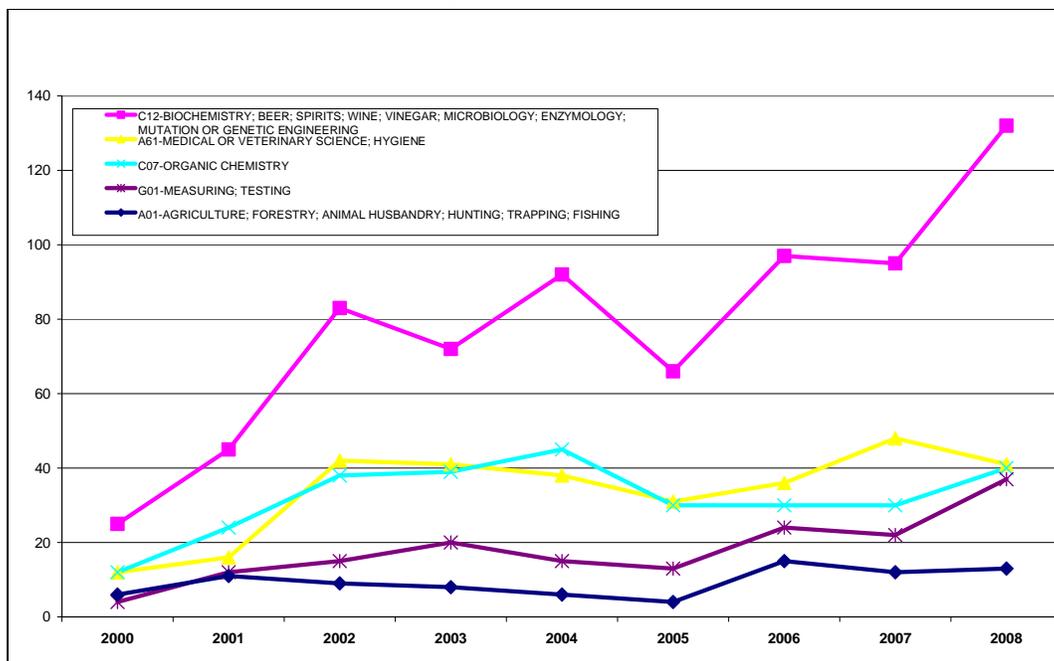
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

En Iberoamérica y considerando nuevamente el volumen acumulado para el período, como se muestra en el Gráfico 54 los cinco primeros campos de clasificación de las patentes en biotecnología son los mismos que los observados para el total mundial. Esto es, *Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética* (C12, con 707 registros), *Ciencias médicas y veterinaria* (A61, con 305), *Química orgánica* (C07, con 288), *Medición y testeo* (G01, con 162), y *Agricultura, Bosques y Ganadería* (A01, con 84). Con 34 títulos o menos, completan el listado de los diez primeros lugares en aplicaciones más frecuentes en las patentes iberoamericanas en biotecnología *Alimentos* (A23, en el sexto lugar en el total mundial), *Procesos físicos o químicos* (B01, quinto en el total mundial), *Componentes orgánicos macromoleculares* (C08, noveno en el total mundial), *Tratamiento del agua* (C02, décimo en el total mundial) y, finalmente, compartiendo el décimo puesto (aunque sólo con 5 patentes cada uno), dos campos de aplicación que en el conjunto total mundial aparecían por fuera de los diez principales IPCs a tres dígitos: *Fertilizantes* (C05) y *Producción de papel y celulosa* (D21).

La evolución de los cinco principales campos de aplicación de las patentes biotecnológicas iberoamericanas es, sin embargo, notablemente más irregular que la de sus pares del total mundial. Excepto en el caso de Agricultura, Bosques y Ganadería (que sube durante el primer trienio), los otros cuatro tienen un ascenso durante el bienio inicial del período; luego de ello, los cinco descienden y ascienden escalonadamente. Pese a esas irregularidades, todos crecen entre puntas: Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética, el líder de la región, más de cuatro

veces entre 2000-2008; Ciencias médicas y veterinaria, Química orgánica, y Agricultura, Bosques y Ganadería más de dos veces; mientras que Medición y testeo crece más de ocho veces.

Gráfico 54. Principales códigos IPC en Iberoamérica en biotecnología

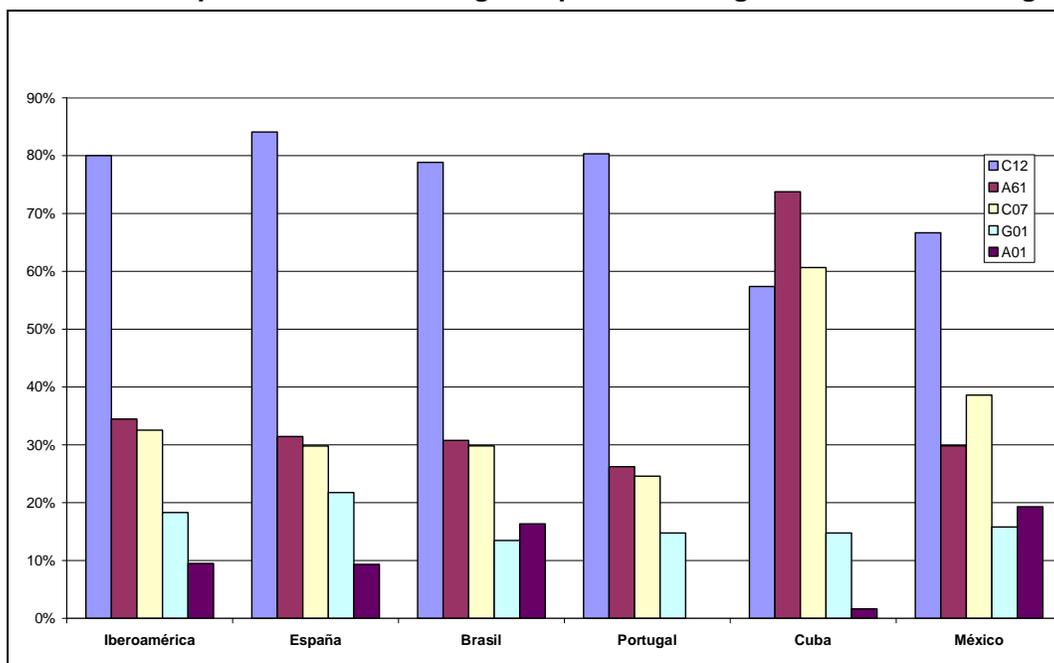


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

En el Gráfico 55 se presenta la composición comparada de campos de aplicación a tres dígitos de Iberoamérica y sus principales países en materia de desarrollo en biotecnología durante 2000-2008. 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 Portugal, que no cuenta con patentes clasificadas con el código A01, *Agricultura, Bosques y Ganadería*). 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 C12 (*Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética*) concentra cuartas quintas partes o más de las patentes en biotecnología de Iberoamérica como región (80%), España (84%), Brasil (79%) y Portugal (80%). Sin embargo, se ubica, con el 57%, en el tercer lugar en el caso de Cuba, país latinoamericano que muestra la mayor especialización temática en los campos de aplicación A61 (*Ciencias médicas y veterinaria*, 74% de las patentes de ese país) y C07 (*Química orgánica*, 61%), campos que en los demás países de la región se ubican entre el 25 y el 40%. El campo G01 (*Medición y testeo*) sólo tiene una presencia superior a la media iberoamericana en España (22%), girando en torno al 15% en el resto de los casos. Finalmente, el código A01 (*Agricultura, Bosques y Ganadería*), como se señaló anteriormente el gran ausente de Portugal, se destaca relativamente en la especialización tecnológica en biotecnología de México (19%) y Brasil (16%), ubicándose en valores inferiores al 10% en los demás países considerados.

Gráfico 55. Especialización tecnológica a partir de códigos IPC en biotecnología

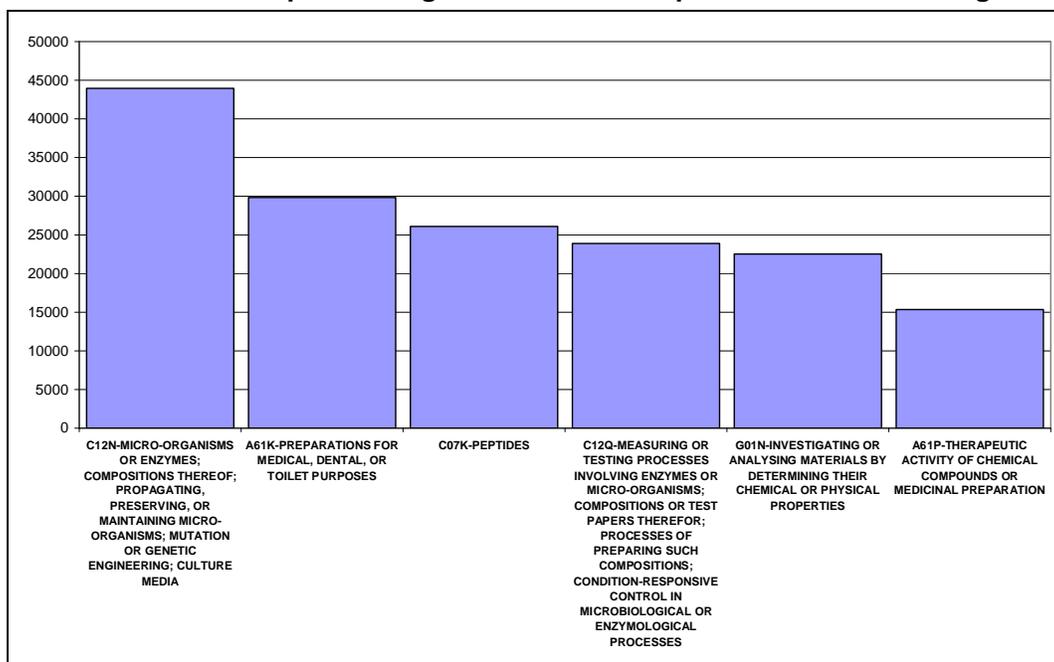


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

En el Gráfico 56 se pueden observar los principales campos de aplicación a cuatro dígitos del total de patentes en biotecnología correspondientes al período 2000-2008. Se destacan especialmente seis temáticas: *Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética* (C12N, con 43.951 registros de propiedad industrial), *Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos* (A61K, con 29.833 títulos), *Péptidos* (C07K, con 26.090), *Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos* (C12Q, con 23.887 registros), *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas* (G01N, con 22.519) y, por último, *Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas* (A61P, con 15.342 patentes).

Gráfico 56. Principales códigos IPC en total de patentes en biotecnología



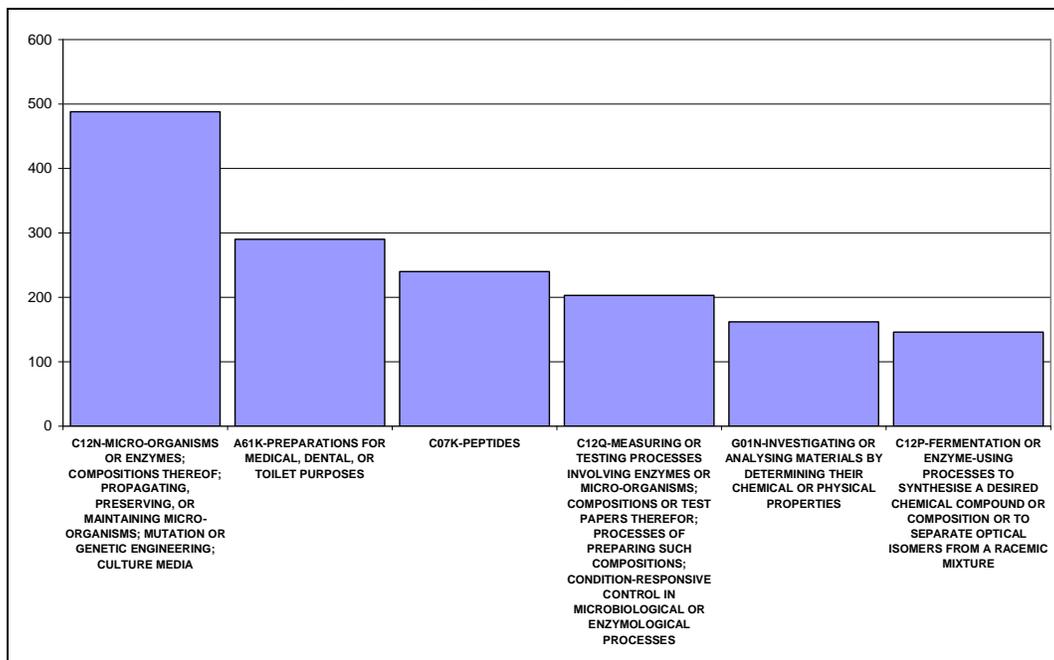
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

En Iberoamérica como conjunto y durante el mismo período, se observa idéntica especialización temática en la clasificación de IPCs a 4 dígitos registrada anteriormente para el total mundial (Gráfico 57), tanto a nivel de los primeros seis campos de aplicación presentes en sus patentes en biotecnología como a sus posiciones relativas.

Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética (C12N) acumula 488 patentes durante 2000-2008 en la región iberoamericana; Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos (A61K) suma 290 títulos; Péptidos (C07K) reúne 240 registros de propiedad industrial; Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos (C12Q) cuenta con 203 patentes; Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas (G01N) tiene 162; y Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas (A61P) suma 146 títulos.

Gráfico 57. Principales códigos IPC en patentes iberoamericanas



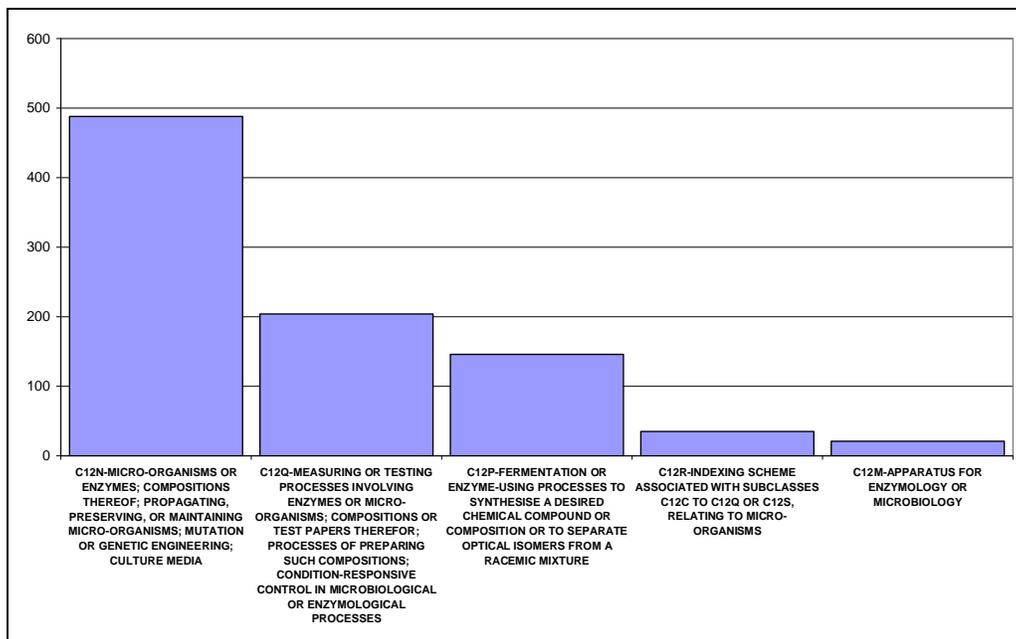
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

Resulta interesante analizar con más detalle la composición de los cuatro primeros campos de aplicación tecnológica de las patentes iberoamericanas en biotecnología recuperados para 2000-2008 a tres dígitos, examinando los campos de aplicación a cuatro dígitos que ellos contienen.

El Gráfico 58 presenta los campos de aplicación a cuatro dígitos que se destacan en *Bioquímica, Microbiología e Ingeniería genética* (C12). Ellos son fundamentalmente *Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética* (C12N), *Procesos de medición o testeado que incluyen enzimas o microorganismos* (C12Q) y *Fermentación o procesos que utilizan enzimas para la síntesis de compuestos químicos* (C12P).

Gráfico 58. Principales códigos IPC dentro de C12 en patentes iberoamericanas

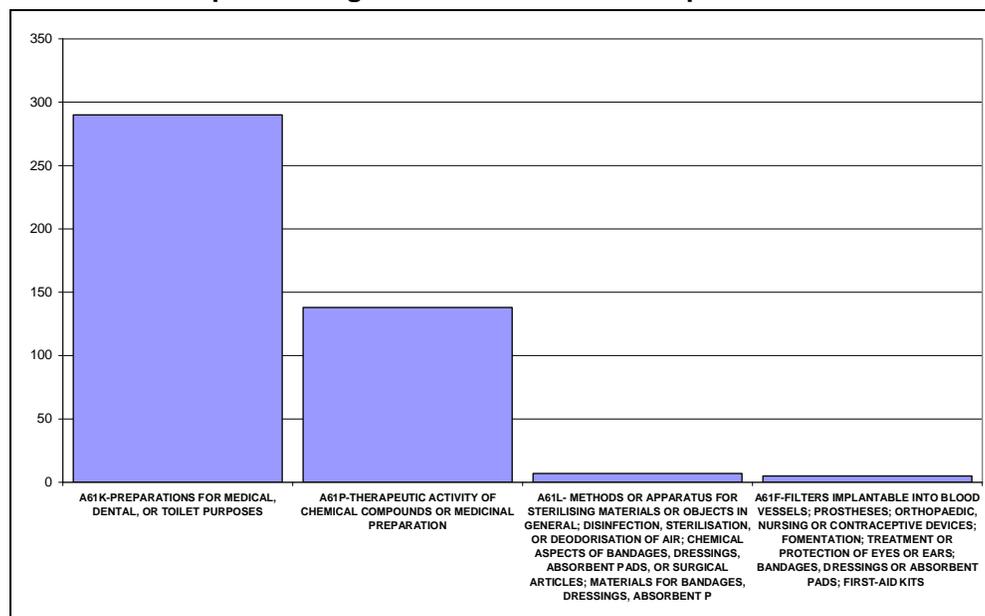


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

El Gráfico 59 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) y *Actividad terapéutica de compuestos químicos o preparaciones médicas* (A61P).

Gráfico 59. Principales códigos IPC dentro de A61 en patentes iberoamericanas

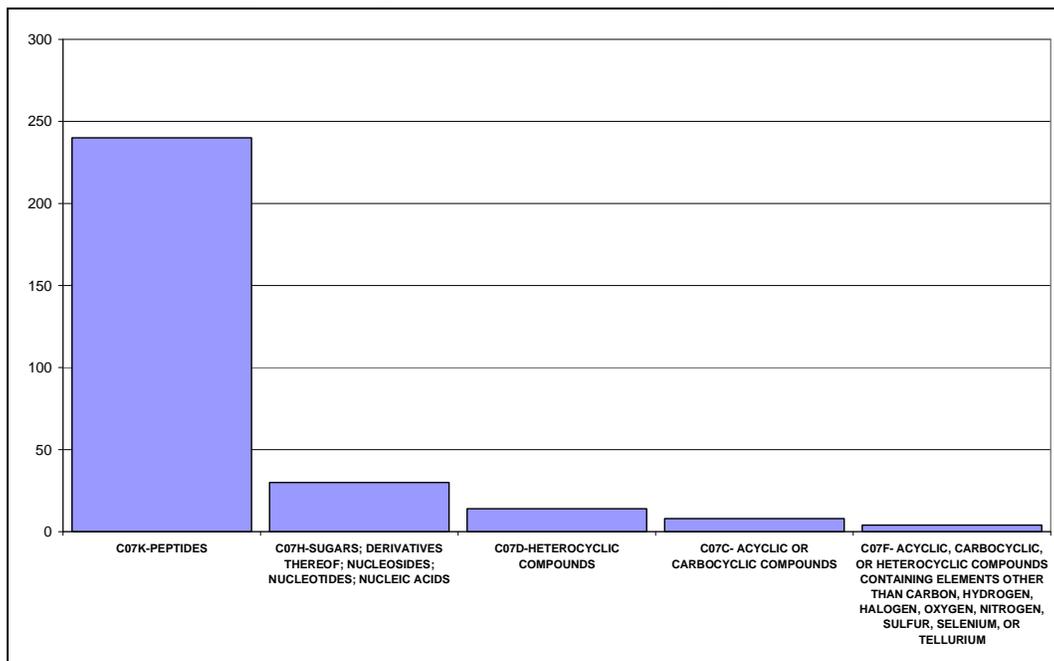


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

El Gráfico 60 permite observar la concentración de campos de aplicación a cuatro dígitos incluidos en *Química orgánica* (C07): se trata casi únicamente de *Péptidos* (C07K) y, en una muy pequeña proporción, de *Azúcares* (C07H) y otras temáticas conexas.

Gráfico 60. Principales códigos IPC dentro de C07 en patentes iberoamericanas

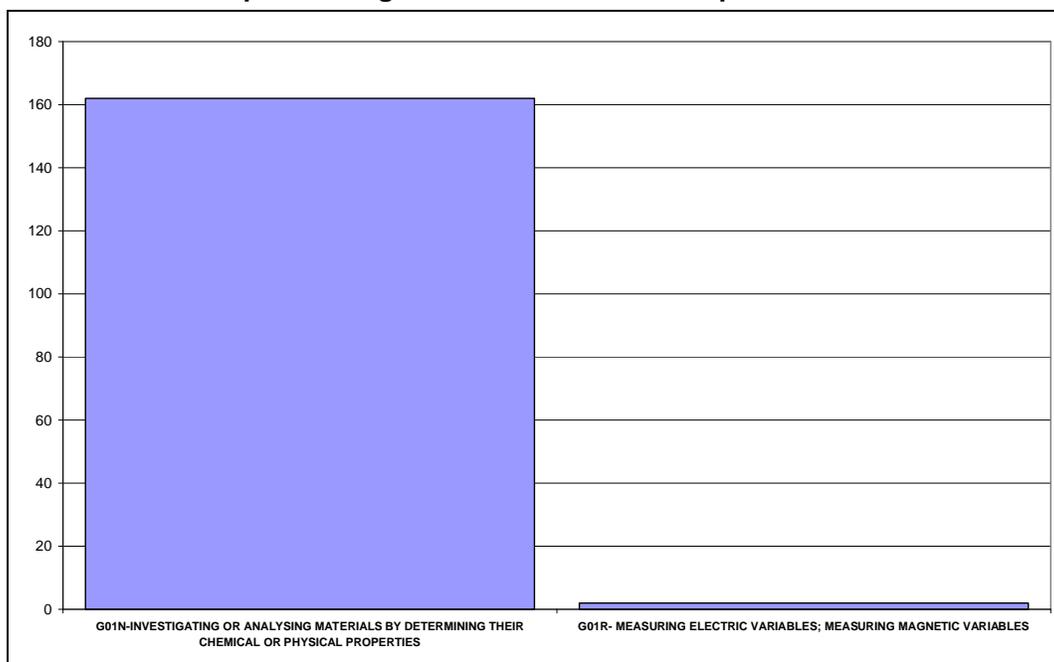


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

En el Gráfico 61 se observan los principales IPCs a cuadro dígitos contenidos en *Medición y testeo* (G01). La concentración es prácticamente absoluta en un solo campo de aplicación: *Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas* (G01N), quinto en el conjunto de las patentes iberoamericanas en biotecnología.

Gráfico 61. Principales códigos IPC dentro de G01 en patentes iberoamericanas



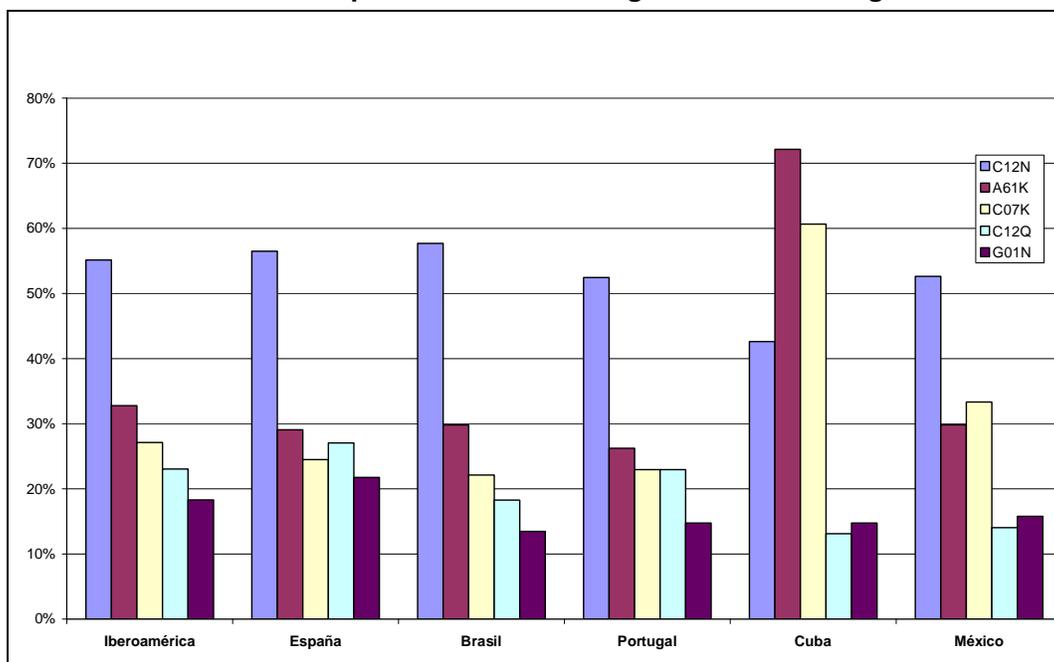
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

El Gráfico 62 presenta la composición comparada de los campos de clasificación a cuatro dígitos de Iberoamérica y sus cinco principales países en patentamiento en biotecnología durante 2000-2008. 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. Algunas diferencias aparecen, no obstante, en el peso relativo que tienen las distintas temáticas.

En función de los conocimientos adquiridos y los desarrollos en técnicas de ingeniería genética que facilitaron el desarrollo de organismos genéticamente modificados y su aplicación en la industria, el campo de aplicación C12N (*Propagación, preservación o mantenimiento de microorganismos, mutación o ingeniería genética*) concentra más de la mitad de las patentes iberoamericanas en biotecnología (55%), proporción que se mantiene en cuatro de los cinco principales países de la región y sólo resulta diferente en Cuba (que tiene un 43% de sus patentes biotecnológicas en este campo). En este último país, superan el 50% dos campos de aplicación que en todos los demás casos considerados se ubican entre el 13% y el 33%: se trata de los códigos A61K (*Preparaciones para propósitos médicos, dentales o higiénicos*) y C07K (*Péptidos*), que reúnen, respectivamente, al 72% y al 61% de las patentes cubanas en esta temática. El código C12Q (*Procesos de medición o testeo que incluyen enzimas o microorganismos*) aparece como una temática tecnológica de cierta importancia en España (27%) y Portugal (23%), con valores entre el 13% y el 18% en los demás países analizados. Por último, el campo G01N (*Investigación o análisis de materiales incluyendo determinaciones de sus propiedades químicas o físicas*) tiene una presencia significativa en España (22%), agrupando títulos de propiedad industrial en torno al 15% en el resto de los países.

Gráfico 62. Especialización tecnológica en biotecnología



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

Una perspectiva complementaria a la descripción de los ámbitos de clasificación presentes en las patentes del campo de la biotecnología, integrado por diferentes disciplinas que se relacionan entre sí, pueden ofrecerla las herramientas de análisis de conglomerados o *clustering*. Este tipo de herramientas ofrecen un panorama detallado de la trama básica de la especialización tecnológica mundial e iberoamericana presente en el corpus de patentes analizado.

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 biotecnología existentes a nivel mundial e iberoamericano en la WIPO para el período 2000-2008, 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 concurren 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.

A nivel mundial (Gráfico 63), se observa una gran diferencia de magnitud entre los códigos IPC agrupados en el conglomerado central y el resto. El principal de ellos es el C12N, que abarca la definición de microorganismos y enzimas, dando nombre a este conjunto. A partir de él se encadena la principal industria relacionada con la biotecnología: la farmacéutica, cuyos productos se incluyen en el código A61K (*preparations for medical, dental, or toilet purposes*), relacionados a la vez con los del A61P, que abarca las actividades químicas de los anteriores.

Aunque con presencia en un número mucho menor de documentos, dos códigos de la clasificación A01, que abarca principalmente invenciones relacionadas con el sector

agrícola y ganadero. Se trata de A01K (*animal husbandry; care of birds, fishes, insects; fishing; rearing or breeding animals, not otherwise provided for; new breeds of animals*) y A01H (*new plants or processes for obtaining them; plant reproduction by tissue culture techniques*). Si bien su volumen es menor al resto de los códigos presentes en este *cluster*, su presencia señala la importancia que tiene el sector en el desarrollo tecnológico de la biotecnología.

El resto de los conglomerados reúnen códigos de clasificación de una presencia mucho menor a los del conjunto principal, presentando una gran variedad de aplicaciones de la biotecnología en ramas muy variadas de la industria. A continuación se detallan las características de algunos de ellos, ya sea por su interés intrínseco como por su valor en la comparación con lo que se observará luego a nivel de espacio iberoamericano del conocimiento.

El conglomerado B, por ejemplo, abarca la producción de alimentos. Teniendo como nexo al conjunto principal al código C12P, dedicado a los procesos de fermentación, y centrado en el código A23L (*foods, foodstuffs, or non-alcoholic beverages, their preparation or treatment, modification of nutritive qualities, physical treatment; preservation of foods or foodstuffs*). En este grupo se incluyen también los productos y procesos relacionados con los alimentos funcionales, sector que está registrando un interesante desarrollo en los últimos tiempos.

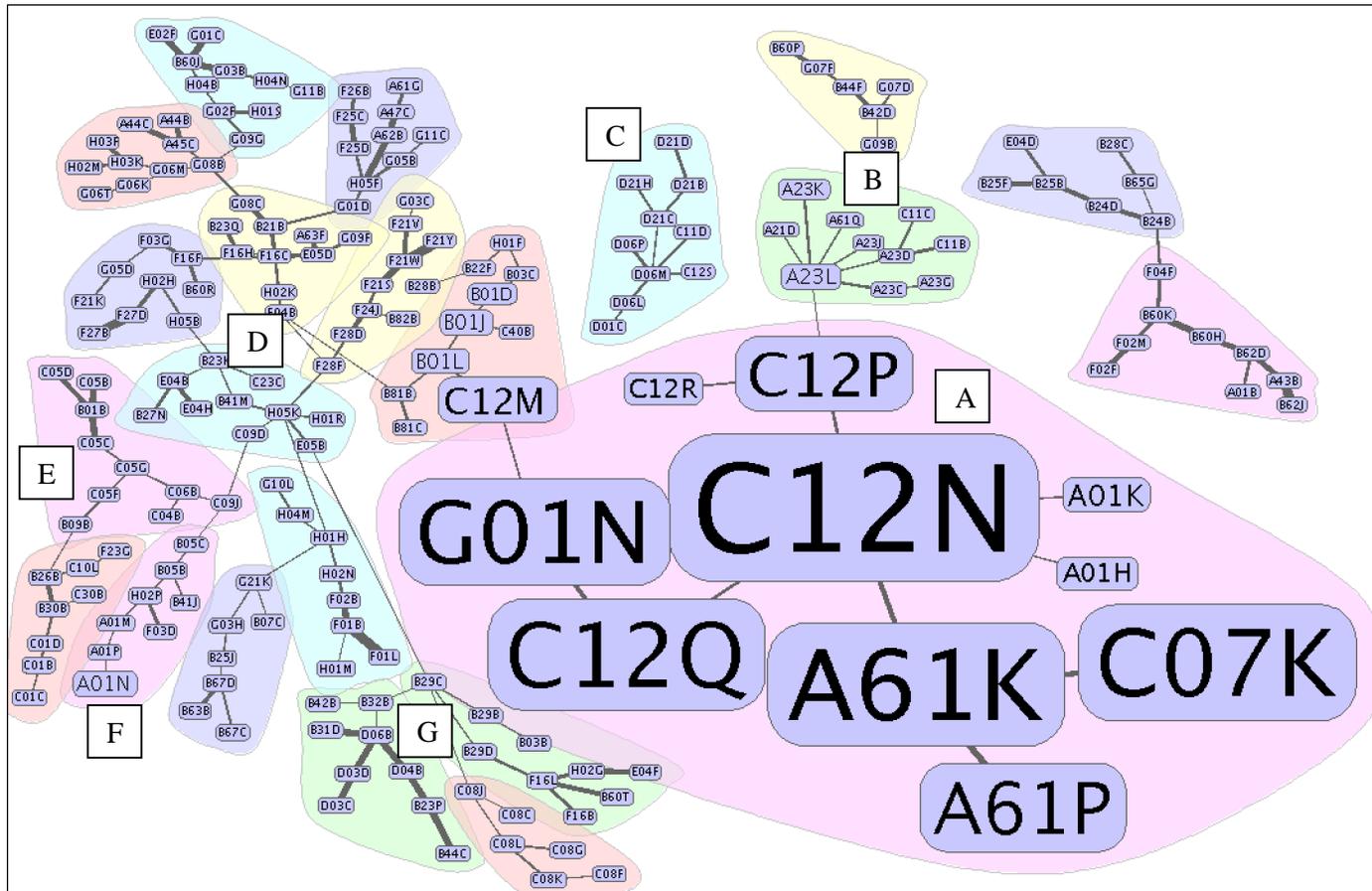
Sin conexión en otros *clusters* aparece el grupo C, que reúne una serie de códigos de clasificación relacionados con las industrias textiles y del papel. La categoría D21, dedicado a la producción de papel y celulosa, se organiza en torno al código D21C (*production of cellulose by removing non-cellulose substances from cellulose-containing materials; regeneration of pulping liquors; apparatus therefor*), mientras que la producción tecnológica de la industria del papel se organiza a partir del código D06M (*treatment of fibres, threads, yarns, fabrics, feathers, or fibrous goods made from such materials*).

El conglomerado D concentra los desarrollos relacionados con distintos aspectos de la impresión. Eso incluye las aplicaciones vinculadas con los circuitos impresos en la industria electrónica y con diversos aspectos del copiado. Los primeros se articulan a partir del código H05K (*printed circuits; casings or constructional details of electric apparatus; manufacture of assemblages of electrical components*), y los segundos a través de la clasificación B41M (*printing, duplicating, marking, or copying processes; colour printing*).

Los conjuntos E y F, que se encuentran muy cercanos, se relacionan con la aplicación de la biotecnología en el sector agrícola. El primero de ellos reúne diversos códigos de la clasificación C05, específica de la producción de fertilizantes, mientras que el segundo está dominado en volumen por la clasificación A01N (*preservation of bodies of humans or animals or plants or parts thereof; biocides, disinfectants, pesticides, herbicides; pest repellants or attractants; plant growth regulators*). El puente entre esta clasificación y el resto del mapa, a través del conglomerado que reúne a los fertilizantes, está dado por métodos relacionados con la aplicación de estos productos, bajo los códigos B05 (*spraying or atomising in general; applying liquids or other fluent materials to surfaces, in general*).

El último conglomerado destacado es el G, que abarca la producción de materiales plásticos clasificados bajo el código B29. Es interesante la presencia en este conjunto de patentes bajo la clasificación F16L, relacionada con aislantes eléctricos y térmicos.

Gráfico 63: Mapa de códigos IPC en el total de patentes en biotecnología

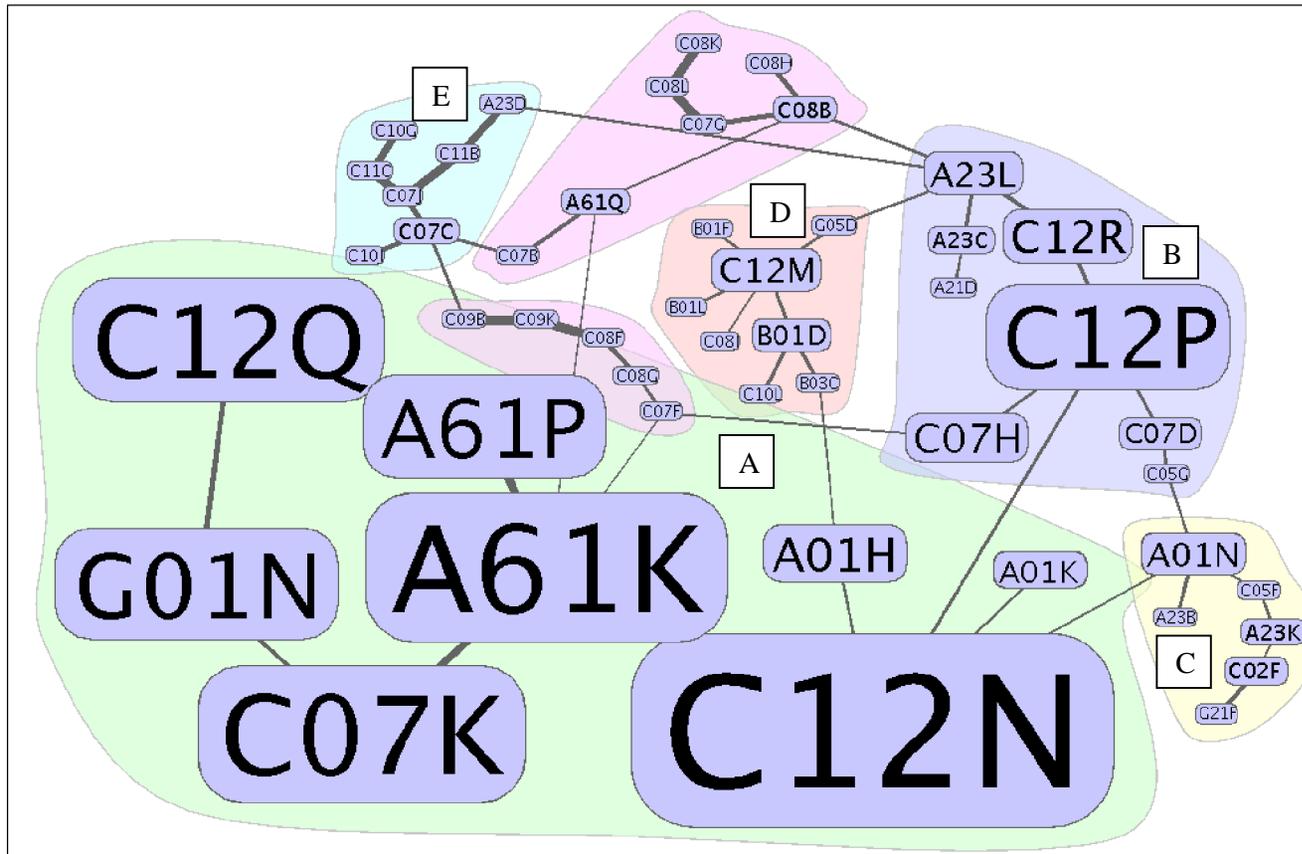


A	Microorganismos y enzimas
B	Alimentos
C	Papel y textil
D	Impresión
E	Fertilizantes
F	Pesticidas
G	Plásticos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

Gráfico 64: Mapa de códigos IPC en el total de patentes iberoamericanas en biotecnología



A	Microorganismos, enzimas y medicamentos
B	Alimentos
C	Pesticidas
D	Procesos y aparatos
E	Aceites

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Delphion.

Nota: Acumulado 2000-2008.

A nivel iberoamericano (Gráfico 64) el mapa resultante del análisis de la coocurrencia de códigos de clasificación presenta un nivel de complejidad mucho menor. El conjunto central contiene clasificaciones similares al *cluster* central a nivel mundial, aunque en este caso la presencia de la industria farmacéutica, contenida en la clasificación A61K, tiene una presencia relativa mayor a nivel regional.

El resto de los conjuntos presentados están fuertemente centrados en la producción agropecuaria y de alimentos. Incluso dentro del *cluster* A, la presencia de los códigos de la rama A01, relacionados con la crianza de animales y el desarrollo de plantas transgénicas, tienen una presencia relativa mucho mayor que en el mapa obtenido para el total mundial de las patentes en el campo.

El conjunto B está relacionado con la producción de alimentos y bebidas. Si bien el código de mayor volumen es el C12P (*fermentation or enzyme-using processes to synthesise a desired chemical compound or composition or to separate optical isomers from a racemic mixture*), relacionado con la fermentación y el uso de enzimas, su relación con los códigos A23, la relacionan con la producción de alimentos. Estos son A23L (*foods, foodstuffs, or non-alcoholic beverages, their preparation or treatment, modification of nutritive qualities, physical treatment; preservation of foods or foodstuffs*) y A23C (*dairy products, e.g. milk, butter, cheese; milk or cheese substitutes; making thereof*).

El conglomerado C también está relacionado con la producción agropecuaria. Se trata principalmente de desarrollos relacionados con la producción de pesticidas, que se agrupan bajo el código A01N (*preservation of bodies of humans or animals or plants or parts thereof; biocides, disinfectants, pesticides, herbicides; pest repellants or attractants; plant growth regulators*). Otros dos códigos son importantes dentro de este *cluster*, se trata del A23K, que contiene invenciones relacionadas con la producción de forrajes, y C02F, relacionado con el tratamiento de aguas.

Por otra parte, con fuertes conexiones con los conjuntos A y B, aparece el conglomerado D, que agrupa desarrollos relacionados con la producción de procesos y aparatos. El código central en este conjunto es el C12M (*apparatus for enzymology or microbiology*), que se articula con el *cluster* de alimentos mediante el código C05D, centrado en la producción de fertilizantes. Su relación con el *cluster* central está dada a través de los códigos B01D y B03C, ambos relacionados con la separación de materiales.

Por último, el conglomerado E está centrado en la producción de aceites, agrupado en los códigos de la rama C11. Mantiene, además, vinculación con el *cluster* centrado en alimentos, mediante las patentes de la clasificación A23D (*edible oils or fats, e.g. margarines, shortenings, cooking oils*).

5. Conclusiones. Potencialidades y desafíos para la biotecnología iberoamericana

A lo largo del desarrollo de este informe ha sido posible observar un panorama general francamente positivo para la biotecnología iberoamericana, aunque con diferencias, a veces muy significativas, entre los diferentes países. Más allá de la información sobre producción científica aquí analizada, otra información disponible permite confirmar este

diagnóstico.

La superficie sembrada con OGM ha crecido sostenidamente en la región, al igual que las ofertas de formación de posgrado, la cantidad de grupos de investigación y de investigadores activos, la cantidad de empresas y de centros de excelencia. Desde esta perspectiva, se trata de un campo vigoroso, probablemente de los más dinámicos dentro de las actividades científicas y tecnológicas en la mayoría de los países.

En este contexto, España se destaca claramente por el volumen de su producción científica, tanto en publicaciones como en patentes. En estas últimas, su diferencia con el resto de los países iberoamericanos es cualitativa. En el continente americano le sigue Brasil, que además ostenta el mayor índice de crecimiento en el período analizado. Ambos casos reflejan políticas de estado sostenidas en el tiempo, dirigidas a la promoción de la investigación científica en general y de la biotecnología en particular.

Se han observado también interesantes patrones en términos de cooperación científica, señalando un importante dinamismo en el campo científico. La cooperación internacional es una de las maneras de complementar las necesidades de equipamiento y de capacidades técnicas de los diferentes grupos de investigación, sólo parcialmente satisfechas en los países con menores recursos. Este estudio muestra una tendencia creciente a establecer vínculos de cooperación reflejados en las publicaciones conjuntas entre países de Iberoamérica y de otras partes del mundo; principalmente, Estados Unidos y algunos países de Europa.

Los análisis de los trabajos en colaboración entre países iberoamericanos y aquellos no incluidos en esta región parecen reflejar tanto la existencia de convenios de cooperación científica y fuentes de financiación a las que pueden acceder los científicos de Iberoamérica, como también a los lazos establecidos por científicos que realizaron estancias posdoctorales en los países que aparecen más representados en las colaboraciones.

Sin embargo, la transferencia de tecnología, proceso sobre el que las patentes pueden ofrecer indicios, aparece como un aspecto menos atendido. En términos de protección de la propiedad intelectual, un aspecto aún poco desarrollado en la mayoría de los países de Iberoamérica, se destaca el caso de Cuba. Es probablemente un ejemplo de actividad en I+D fuertemente orientada y de una política efectiva y sostenida.

Por otra parte, siendo la agricultura una actividad económica de máxima importancia en la mayoría de los países iberoamericanos, no llama la atención una predominancia de patentes sobre organismos genéticamente modificados; sin embargo, debe reconocerse que esas patentes corresponden a compañías multinacionales y no han sido originadas en su gran mayoría en actividades de I+D financiadas en los países de la región.

La interacción entre las empresas y los centros de investigación científica aparece también como un fenómeno poco extendido. Si bien las fuentes aquí analizadas no permiten abordar el tema de forma directa, muestran una cierta debilidad del sector privado a nivel regional. Es llamativa la presencia de instituciones públicas de I+D y personas físicas entre los titulares de patentes en un campo como la biotecnología, donde la producción industrial requiere niveles de inversión significativos.

Como dato alentador, sin embargo, existen en varios países de la región en la actualidad indicios de un incremento en las iniciativas de pequeñas y medianas empresas que apuntan al desarrollo y comercialización de productos biotecnológicos

de alto valor agregado. La capacidad técnica conocimiento y recursos humanos formados para impulsarlas parece disponible, resulta entonces un desafío ofrecerle a estos emprendimientos un entorno propicio para su consolidación.

Pero la explotación del amplio potencial de la biotecnología no recae exclusivamente en el sector privado. El gran desafío de los países iberoamericanos es establecer políticas que apunten a mejorar la disponibilidad local de infraestructuras y el financiamiento, para aprovechar de manera plena los recursos humanos y aportar a la solución de problemas de alto impacto social. Por ejemplo, la atención de la salud pública, a través de la disponibilidad de reactivos de diagnóstico, medicamentos y vacunas, no siempre pueden ser atractivos para empresas de capitales privados.

En ese sentido, la adquisición de grandes equipamientos es un tema crítico en los países iberoamericanos, con la exclusión de España y, quizás, Brasil. En este sentido, se están adquiriendo en la actualidad equipos para estudios de proteómica y genómica en varios países latinoamericanos, que serán capaces de satisfacer las necesidades de varias instituciones. Estas tecnologías de última generación tendrán un alto impacto en los campos de relacionados con la medicina y la producción agropecuaria. Un desafío adicional, paralelo al esfuerzo económico de adquisición del equipamiento, recae en agilizar sus procesos de importación e instalación. El retraso de uno o dos años en la puesta en operación de este equipamiento puede significar la pérdida de competitividad en algunos rubros estratégicos, dentro de un campo de investigación en el que la región demuestra tener mucha capacidad de desarrollo.

Bibliografía

Barrere, Rodolfo; D'Onofrio, María Guillermina; Matas, Lautaro; Marcotrigiano, Gerardo; Salvarezza, Roberto; Briones Fernandez-Pola, Fernando (2008); *“La nanotecnología en Iberoamérica. Situación actual y tendencias”*; en “El Estado de la Ciencia. Principales indicadores de ciencia y tecnología Iberoamericanos / Interamericanos 2008”, RICYT, Buenos Aires.

Glänzel, Wolfgang et al. (2003), *Domain Study “Biotechnology”. An Analysis based on Publications and Patents*, Steunpunt O&O Statistieken, Leuven.

OECD (2005), *A Framework for Biotechnology Statistics*, OECD, París.

OCDE (1997), "Directrices propuestas para la recogida e interpretación de los datos sobre innovación tecnológica - Manual de Oslo", OCDE, Paris.

OCDE (2002), "Propuesta de norma práctica para encuestas de investigación y desarrollo experimental - Manual de Frascati", OCDE, Paris.

Van Looy, Bart; Magerman, Tom y Debackere, Koenraad (2007), “Developing technology in the vicinity of science: An examination of the relationship between science intensity (of patents) and technological productivity within the field of biotechnology”, en *Scientometrics*, Vol. 70, No. 2, pp. 441-458.

Zica, Eleni et al. (2007), *Consequences, Opportunities and Challenges of Modern Biotechnology for Europe*, Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS), Luxemburgo.

Anexos

Anexo 1. Palabras clave utilizadas para la delimitación del campo en publicaciones científicas

biotechnology
DNA sequencing
DNA synthesis
DNA amplification
RNA sequencing
RNA synthesis
RNA amplification
genomics
pharmacogenomics
gene probes
genetic engineering
gene expression profiling
antisense technology
peptide sequencing
protein sequencing
peptide synthesis
protein engineering
proteomics
biodesulphurisation
bioremediation
biofiltration
phytoremediation
gene vector
gene therapy
viral vectors
bioinformatics
nanobiotechnology
transcriptomics
subunit vaccine
recombinant protein
virus like particle
recombinant antigen
metabolic engineering
gene delivery
siRNA
PCR
RT-PCR
miRNA
Microarray DNA
Microarray protein

Anexo 2. Estrategia de la OCDE para la delimitación del campo en patentes

Códigos IPC	Títulos
A01H 1/00	Processes for modifying genotypes
A01H 4/00	Plant reproduction by tissue culture techniques
A61K38/00	Medicinal preparations containing peptides
A61K 39/00	Medicinal preparations containing antigens or antibodies
A61K 48/00	Medicinal preparations containing genetic material which is inserted into cells of the living body to treat genetic diseases; Gene therapy
C02F 3/34	Biological treatment of water, waste water, or sewage: characterised by the micro-organisms used
C07G 11/00	Compounds of unknown constitution: antibiotics
C07G 13/00	Compounds of unknown constitution: vitamins
C07G 15/00	Compounds of unknown constitution: hormones
C07K 4/00	Peptides having up to 20 amino acids in an undefined or only partially defined sequence; Derivatives thereof
C07K 14/00	Peptides having more than 20 amino acids; Gastrins; Somatostatins; Melanotropins; Derivatives thereof
C07K 16/00	Immunoglobulins, e.g. monoclonal or polyclonal antibodies
C07K 17/00	Carrier-bound or immobilised peptides; Preparation thereof
C07K 19/00	Hybrid peptides
C12M	Apparatus for enzymology or microbiology
C12N	Micro-organisms or enzymes; compositions thereof
C12P	Fermentation or enzyme-using processes to synthesise a desired chemical compound or composition or to separate optical isomers from a racemic mixture
C12Q	Measuring or testing processes involving enzymes or micro-organisms; compositions or test papers therefor; processes of preparing such compositions; condition-responsive control in microbiological or enzymological processes
C12S	Processes using enzymes or micro-organisms to liberate, separate or purify a pre-existing compound or composition processes using enzymes or micro-organisms to treat textiles or to clean solid surfaces of materials
G01N 27/327	Investigating or analysing materials by the use of electric, electro-chemical, or magnetic means: biochemical electrodes

G01N 33/53*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: immunoassay; biospecific binding assay; materials therefore
G01N 33/54*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: double or second antibody: with steric inhibition or signal modification: with an insoluble carrier for immobilising immunochemicals: the carrier being organic: synthetic resin: as water suspendable particles: with antigen or antibody attached to the carrier via a bridging agent: Carbohydrates: with antigen or antibody entrapped within the carrier
G01N 33/55*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: the carrier being inorganic: Glass or silica: Metal or metal coated: the carrier being a biological cell or cell fragment: Red blood cell: Fixed or stabilised red blood cell: using kinetic measurement: using diffusion or migration of antigen or antibody: through a gel
G01N 33/57*	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: for venereal disease: for enzymes or isoenzymes: for cancer: for hepatitis: involving monoclonal antibodies: involving limulus lysate
G01N 33/68	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving proteins, peptides or amino acids
G01N 33/74	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving hormones
G01N 33/76	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: human chorionic gonadotropin
G01N 33/78	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: thyroid gland hormones
G01N 33/88	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving prostaglandins
G01N 33/92	Investigating or analysing materials by specific methods not covered by the preceding groups: involving lipids, e.g. cholesterol