



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.  
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898476*

RFC: ATI120618V12

**Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.**

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticaayvalores.com/>

**Año: XI      Número: 2      Artículo no.:59      Período: 1 de enero al 30 de abril del 2024**

**TÍTULO:** Algunas de las tendencias generales de avances globales y en México en biotecnología y en bioprocesos.

**AUTORES:**

1. Dr. Edgar Salgado Manjarrez.
2. Dra. Hortensia Gómez Viquez.
3. Dra. Elvia Inés García Peña.
4. Dr. Juan Silvestre Aranda Barradas.

**RESUMEN:** Las biotecnologías y los bioprocesos son campos con alto potencial para generar soluciones: la suficiencia alimentaria, la preservación de la salud humana o la conservación y recuperación de los ecosistemas, entre otros. También pueden contribuir en temas fundamentales para el sector económico como la transición energética o el desarrollo de bioeconomías. En el presente documento, se identifican varios de los factores que en principio posibilitarían el desarrollo de las biotecnologías y los bioprocesos, desde la consolidación de ambientes académicos y de investigación en esas áreas, hasta la creación de invenciones e innovación para la aceleración de transferencias tecnológicas que se traduzcan en beneficios directos para las sociedades.

**PALABRAS CLAVES:** biotecnología, bioprocesos, artículos científicos, patentes.

**TITLE:** Some of the general trends of global advances and in Mexico in biotechnology and bioprocesses.

**AUTHORS:**

1. PhD. Edgar Salgado Manjarrez.
2. PhD. Hortensia Gómez Viquez.
3. PhD. Elvia Inés García Peña.
4. PhD. Juan Silvestre Aranda Barradas.

**ABSTRACT:** Biotechnologies and bioprocesses are fields with high potential to generate solutions: food sufficiency, the preservation of human health or the conservation and recovery of ecosystems, among others. They can also contribute to fundamental issues for the economic sector such as the energy transition or the development of bioeconomies. In this document, several of the factors that in principle would enable the development of biotechnologies and bioprocesses are identified, from the consolidation of academic and research environments in these areas, to the creation of inventions and innovation for the acceleration of technological transfers, that translate into direct benefits for societies.

**KEY WORDS:** biotechnology, bioprocesses, scientific papers, patents.

**INTRODUCCIÓN.**

La revolución de las ciencias biológicas ha consistido en la rápida expansión y transferencia de los conocimientos básicos hacia procesos de interés económico y social. Las biotecnologías y otras tecnologías emergentes, como la nanotecnología y la genómica, podrían aportar avances tecnológicos, que mediante una adecuada explotación del material genético y el conocimiento, fundamenten una reestructuración de ciclos económicos productivos y permitan lograr crecimiento sostenido y sustentable, y así redefinir a las industrias existentes y crear nuevas (Morales & Amaro, 2019).

En congruencia con orígenes históricos, se entiende como concepto básico de Biotecnología, a “la producción de conocimientos, bienes o servicios, mediante el empleo de organismos vivos, partes de ellos o sus productos” (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2005, p. 9). En su acepción directamente ligada a sectores de la economía, las biotecnologías son tecnologías que utilizan procesos y subprocesos celulares para producir sustancias de alto potencial energético, sustancias

requeridas en áreas de la alimentación o la salud, o bien para eliminar sustancias que deterioren algún ecosistema; esto incluye aplicaciones que se extienden desde los conocimientos y técnicas de edición de genomas hasta el diseño de procesos de gran escala.

Las biotecnologías también representan formas distintas para generar materias primas originadas en o con materiales de origen biológico. Debido a que la Biotecnología es una multidisciplinar tecnocientífica, puede ser aplicable a muy diversos sectores con aportaciones en muy diversas áreas; así ha sido en aplicaciones para la salud humana, donde se han registrado las más reconocidas aportaciones de las biotecnologías más recientes; es decir, las derivadas del control de genomas naturales y sintéticos; particularmente, en la producción de nuevas moléculas bioactivas, vacunas recombinantes, nuevos métodos de producción basados en moléculas de alto peso molecular o nuevos métodos de diagnóstico (Amaro & Sandoval, 2019).

También en la industria química se han generado desarrollos biotecnológicos destacados, especialmente la obtención de bioenergéticos provenientes de la biomasa, como reemplazo de los combustibles derivados del petróleo y del gas; así como la catálisis mediante células o enzimas para sustituir procesos químicos con catalizadores de base inorgánica. Un sector de aplicación muy relevante ha sido el agroalimentario en lo relacionado al desarrollo de semillas y otras materias primas de uso agrícola; así como la producción de enzimas y microorganismos como insumos especiales para la industria alimentaria en general (Amaro & Sandoval, 2019).

Desde la perspectiva de sustentabilidad en el siglo XXI, se espera de las biotecnologías aportaciones notorias en tanto tecnologías del futuro, básicamente en la aproximación sucesiva a soluciones factibles para los grandes retos de la humanidad. No son nuevas disciplinas científico-tecnológicas, pero sí representan al conjunto de conocimiento que hacen que hacen “uso de estrategias y métodos para analizar y utilizar el material hereditario de los seres vivos” (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica, 2010, p. 8), así como de sus diferentes funciones biológicas celulares y subcelulares.

Los avances en los conocimientos fundamentales asociados a las biotecnologías, tales como los desarrollos en Biología Sintética, Biología Sistémica y en sistemas de edición genética; contienen el potencial de originar aplicaciones trascendentes para las sociedades humanas (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica, 2010).

El seguimiento de los avances más recientes, así como de las tendencias en campos tecno- científicos como las biotecnologías y los bioprocesos, requiere la concurrencia de estrategias de información cuantitativa y cualitativa. Si bien en el campo de las biotecnologías y los bioprocesos la información sobre la inversión y el talento humano involucrado en la producción de conocimiento es de gran importancia, el seguimiento de los resultados de actividades de investigación y desarrollo (I&D) permite detectar, con información económica adicional y con la asistencia de expertos, tendencias generales con propósitos de toma de decisiones o de prospectiva (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica, 2010).

El presente texto se propone indicar las posibles tendencias generales de la investigación y la innovación tecnológica, con base en el análisis de información sobre avances científicos junto al surgimiento industrial correspondiente de los últimos 10 ó 15 años en el mundo. También se analizan implicaciones para México, en particular en la dinámica que se puede esperar en los mercados laborales ligados al sector de las biotecnologías y los bioprocesos en el país.

Aunque se ha intentado fundamentar los análisis en indicadores cuantitativos, o en tendencias cualitativas observadas por fuentes expertas, el trabajo comprende un análisis hasta el año 2021, por lo que es innegable el cambio en las políticas públicas; no obstante, el sector biotecnológico sigue siendo prioritario. Este trabajo contribuye a tener mejores posibilidades de reanálisis e intervención a partir de escenarios iniciales como los que se presentan en este reporte.

## **DESARROLLO.**

### **Algunos antecedentes históricos y conformación actual de la Biotecnología, la Bioingeniería y los bioprocesos.**

Uno de los primeros usos registrados del término *Bioingeniería* ocurrió en 1954 por Heinz Wolff, en el Instituto Nacional para la Investigación Médica en Inglaterra, para referirse a la unión entre la Biología y las Ingenierías Eléctrica y Mecánica. La Universidad de California en San Diego fue de las primeras instituciones educativas en proponer, en el año 1965, un programa interdisciplinario en Bioingeniería (University of California, 2021) en el que también se reunían bases de la Biología con la Ingeniería Eléctrica y la Ingeniería Mecánica. El término; sin embargo, se ha ampliado para hacer referencia a temas biológicos que no están directamente relacionados con esas áreas de la ingeniería, sino que trata temáticas que se circunscriben a la combinación de métodos de diseño de Ingeniería Química aplicados a procesos biológicos de escala celular o de escala industrial.

El término *bioproceso* fue usado inicialmente en los años de las décadas de 1960 y 1970 como sinónimo de tecnología de fermentaciones, también referida como Ingeniería Bioquímica en ciertos aspectos, durante los años de 1950 y 1960, cuando se concentraba en el diseño y escalamiento de biorreactores. Más recientemente, los bioprocesos se identifican con el uso de microorganismos o sus partes para obtener productos o servicios en cadenas productivas, y no sólo con los biorreactores.

El término *bioproceso* forma entonces parte de la Biotecnología como campo disciplinar, en el que se abarcan los aspectos biológicos y de ingeniería que le son comunes también a la Bioingeniería: el uso de procesos basados en seres vivos o sus partes para proveer productos o servicios. El desarrollo de los bioprocesos involucra entonces a las ciencias de la ingeniería y las ciencias biológicas, y los aspectos fundamentales de las biotecnologías también son materia de su campo de estudio.

Un amplio número de actividades involucradas históricamente con la alimentación humana también forman parte de la Biotecnología; sin duda, las biotecnologías industriales, y por ende, los bioprocesos, encuentran sus primeros orígenes con los alimentos fermentados de las culturas antiguas. A pesar de

su extensa historia, las biotecnologías y los bioprocesos alimentarios han tenido desarrollos importantes en los últimos 15 años o más algunos de ellos. En particular, los probióticos, nutracéuticos y alimentos funcionales, han propiciado amplios estudios. Otros aspectos ilustrativos de aplicaciones industriales recientes son la revalorización de residuos de sectores agroindustriales para producir alimentos o energía, la reducción de pérdidas poscosecha y la tecnología de microencapsulamiento, que se han incrementado de manera destacada.

En el área de salud, los productos biofarmacéuticos derivados de la Biotecnología han incrementado en número desde la aparición de las biotecnologías más recientes, éstas son las relacionadas con la edición y manipulación de genomas y otras aplicaciones derivadas de la Biología Molecular. El desarrollo de proteínas terapéuticas, anticuerpos monoclonales y otros biofármacos similares aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América (*FDA*, por sus siglas en inglés), ha incrementado en los últimos años de manera destacada.

La evolución de distintas disciplinas fundamentales en las biotecnologías y los bioprocesos relacionadas con la alimentación, la salud y el medio ambiente, junto a la explosión del campo biotecnológico industrial impulsado por los resultados de la Ingeniería Genética en la década de 1980, han configurado los antecedentes de disciplinas emergentes como la Biología Sintética, que estructura de manera normalizada o estandarizada el desarrollo de organismos transformados genéticamente para su uso en ciertos bioprocesos bajo conceptos y métodos de la Bioingeniería, o la Biología de Sistemas o Biología Sistémica, que utiliza modelos matemáticos con altos niveles de predictibilidad para calcular el funcionamiento de sistemas celulares o subcelulares productivos.

Con la Biología Sintética, se busca introducir la estandarización en la modificación o creación de genomas mediante el desarrollo de partes genéticas homologadas (*biobricks* en inglés), así como el uso de un lenguaje propio que asiste al desarrollo de partes y circuitos biológicos (*SBOL* siglas en inglés para *synthetic biology open language*), entre otros avances biotecnológicos y de conocimiento, que conjuntamente con la Biología Sistémica, tienen el propósito de predecir el desempeño de los sistemas

biológicos existentes y desarrollados en el laboratorio, con la intención de capturar sus propiedades emergentes, desarrollar sistemas biológicos semisintéticos, y eventualmente, totalmente sintéticos con una fisiología definida y predecible.

En este contexto, es particularmente notable el enorme potencial de edición genética que ha proporcionado el sistema CRISPR/Cas (Wang et al., 2016). De manera similar, desde el descubrimiento del ácido ribonucleico de interferencia (ARNi) (Ortiz-Quintero, 2009), el papel de los ARN pequeños y micro en diversos procesos fisiológicos de plantas y animales, se ha revelado paulatinamente como la base de una tecnología viable para generar terapias y controlar efectivamente el desarrollo de plantas de interés agrícola (García-Ruiz et al., 2019); además, la mayor disponibilidad de capacidad de cálculo ha permitido incorporar cada vez más elementos del metabolismo y de los mecanismos de control que generan una mayor comprensión gradual de la fisiología celular y su consecuente manipulación, con lo que el uso de las células, naturales o manipuladas genéticamente, para la producción de diversas sustancias biológicas y de satisfactores sociales es cada vez más eficiente.

También destacan los trabajos concentrados en generar sistemas y productos económicos sustentables desde diversas aplicaciones de la Biotecnología, tales como biorrefinerías, biocombustibles, bioplásticos, biofármacos, alimentos funcionales, prebióticos y probióticos; así como, de una manera más fundamental y generalizada, los productos y aplicaciones de la edición de genomas y del ARN de interferencia. Estos avances, entre varios otros, constituyen la extensión prospectiva que marcará los desarrollos en Biotecnología, Bioingeniería y bioprocesos en los próximos años (Botero-Gutiérrez, *et. al.*, 2017).

### **El sector biotecnológico en la escala global.**

#### ***La Biotecnología en las economías alrededor del mundo.***

En principio, la Biotecnología permitirá generar soluciones tecnológicas factibles para problemas que

actualmente impiden el desarrollo mundial sustentable y equitativo. La importancia de la Biotecnología como sector emergente que abre potenciales oportunidades para países en desarrollo ha sido reconocida por organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (*OECD*, por sus siglas en inglés), que incluso ha adoptado el término *bioeconomía* para referir a un nuevo modelo emergente que sugiere profundas implicaciones económicas y sociales.

En consecuencia, se puede asignar una alta probabilidad al hecho de que en los próximos años, la Biotecnología se torne fundamental para el abastecimiento de alimentos, el tratamiento y la reutilización del agua, la generación de energéticos no fósiles, nuevos métodos y compuestos biológicos para el cuidado de la salud humana y de animales, la contención y eventual reducción de fenómenos asociados al cambio climático, y a los efectos desfavorables en los ecosistemas; e incluso, es posible que la Biotecnología pueda convertirse en una de las tecnologías principales para el crecimiento económico originado en nuevos paradigmas tecnológicos (Morales & Amaro, 2019).

El valor de la industria biotecnológica en el mercado global ha crecido cerca del 10% en los últimos años (Izquierdo-Tolosa & Pérez-Zazueta, 2014), y se estima que los productos biotecnológicos alcanzarán una proporción aun mayor del producto interno bruto de los países desarrollados en los próximos años. Este mercado a nivel mundial en el año 2016 tuvo un valor de \$369.6 millones de dólares de Estados Unidos, y se estimó un crecimiento anual del 7.4% anual.

A nivel global, en el hemisferio occidental, alrededor de 20 empresas dominan los mercados relacionados con la biotecnología y los bioprocesos: 11 son de origen estadounidense, 6 son europeas, una es israelí, una japonesa y una australiana (Izquierdo- Tolosa & Pérez-Zazueta, 2014).

Recientemente, las empresas biofarmacéuticas de origen chino y ruso también han mostrado capacidades productivas importantes. En biofarmacia y agroindustria, existe una estructura muy integrada de empresas globales, que dominan la cadena de valor desde la investigación básica, los procesos de innovación a nivel producción, los estudios clínicos, las estrategias de protección de la propiedad industrial para fines comerciales y la logística de la comercialización, todo a través de redes



globales de innovación instaladas en los países donde estas empresas tienen presencia.

En los países con alto índice de creación de empresas basadas en procesos biotecnológicos de frontera o alta tecnología, los desarrollos de investigaciones que se producen en el sector académico pueden originar unidades productivas incipientes sustentadas en los esquemas regulatorios y financieros que se establecen para fomentar actividad económica en los *clusters* o ecosistemas de innovación tecnológica. Estas pequeñas empresas de alta tecnología dedicadas al sector biotecnológico son adquiridas o fusionadas con las empresas globales que pueden aportar capital y otras fortalezas en la cadena de valor.

La integración de cadenas productivas con valor comercial en el sector se puede plantear desde la colaboración entre empresas comerciales con universidades y centros de investigación, por lo que el factor vinculación es fundamental para el desarrollo industrial (Morales & Amaro, 2019). Esto también implica una resignificación de la investigación y la formación de talento humano en los diversos campos de la Biotecnología y los bioprocesos, porque el desarrollo exitoso de las empresas de alta tecnología biológica depende de la disponibilidad de talento humano especializado a través de programas académicos de posgrado.

### ***Producción intelectual de biotecnologías en el mundo.***

La Biotecnología, y por ende, los bioprocesos como su campo específico de producción de bienes y servicios para la sociedad, son áreas de esencia multidisciplinaria por lo que requieren de diferentes campos del conocimiento y de la tecnología, de manera que la colaboración entre diferentes grupos de investigación es imprescindible (Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica, 2010).

La magnitud de la colaboración es indicativa indirecta del potencial incremento del mercado laboral en el que los profesionistas de alta especialización por su formación en posgrado pueden encontrar una posición. Aun a riesgo de estimación con ciertas imprecisiones, el grado de desarrollo del sector biotecnológico se puede dimensionar, además de por el desarrollo industrial en el sector por país,

mediante la productividad científica en el campo, el número de patentes, y el número de empresas relacionadas con la producción biotecnológica.

La producción científica mundial en biotecnologías, de acuerdo con la *Web of Science* (palabra clave "BIOTECH\*", consultado en agosto de 2021), ha crecido de forma importante. Del año 1996 al año 2020, se han publicado 1,223,128 artículos en biotecnologías. Del año 1980 al 1999 se publicaron el 13.16% de los artículos, mientras que entre los años 2000 y 2009 se publicó el 21.34%, y el mayor crecimiento se observa en el periodo del 2010 al 2020 (65.48%). En este periodo, las cinco principales categorías de conocimiento en las que se centraron las publicaciones son: *Biotechnology Applied Microbiology* (24.6%); *Biochemistry Molecular Biology* (16.3%); *Plant Sciences* (6.6%); *Food Science Technology* (6.4%), y *Microbiology* (5.9%).

Con base en los resultados de los tres últimos años, donde se tuvo el mayor porcentaje de artículos publicados (2020, 7.6%; 2019, 6.9%; 2018; 6.29%); se publicaron 255,384 artículos en las siguientes diez principales categorías de conocimiento: *Biotechnology Applied Microbiology* (17.7%); *Biochemistry Molecular Biology* (13%); *Multidisciplinary Sciences* (6.4%), *Chemistry Multidisciplinary* (6.3%); *Plant Sciences* (6.1%); *Food Science Technology* (5.8%); *Microbiology* (5.7%); *Pharmacology Pharmacy* (4.8%); *Cell Biology* (4.4%); y *Environmental Sciences* (3.9%); resultados que en general coinciden con lo señalado en los apartados anteriores respecto a la importancia de la Biotecnología en sectores como la salud y la agricultura.

Del total de artículos publicados en *Web of Science*, el 99.5% está en idioma inglés, el 10% en ruso, el 0.098% en chino, y sólo el 0.06% en español; no obstante, que predomina el idioma inglés, las cinco principales universidades productoras de conocimiento en biotecnologías en orden de participación son: la *Chinese Academy of Sciences* (2.8%); la *UK Research Innovation (UKRI)* por sus siglas en inglés) con 2.3%; el *Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC)* por sus siglas en inglés) con 2.1%; la *University of London* con 1.7%; y la *University of California* con 1.7%. China ha desarrollado enormes capacidades de investigación e innovación en Biotecnología, y sus volúmenes

de productividad están creciendo a una tasa mayor que la tasa de crecimiento de los Estados Unidos de América. De hecho, en el periodo del 2018 al 2019, China generó 49,265 publicaciones (19.29%), seguido por Estados Unidos de América (39,855 o sea el 15.6%), India (35,785; 14%), e Italia con 19,039 publicaciones (7.44%); posteriormente, se ubican países como Alemania, Corea del Sur, Japón, España y Francia, dato relevante, porque son también los países que dominan la generación de patentes en este sector tecnológico, como se expondrá más adelante.

Aunque los países de la Unión Europea, en particular Alemania, España y Francia también se colocan en posiciones de alto desarrollo de la producción científica, tienen volúmenes de productividad equiparables entre sí y a los de Japón, si bien representan cada uno de estos países alrededor de la quinta parte de la producción estadounidense. Otros países de Europa como Irlanda, Dinamarca y los Países Bajos se destacan en campos específicos de la Biotecnología, que aunque podrían ser similares a los de Alemania, España y Francia con base en la producción per cápita, en cantidades absolutas son definitivamente menores.

Corea del Sur es un país asiático con tasas de crecimiento notables en la publicación de artículos científicos de Biotecnología, pero aún no iguala el desarrollo de Japón en el sector. Rusia ha destacado en los últimos 10 a 15 años en el sector biofarmacéutico de alta tecnología biológica, al igual que la India, pero este último país se ha concentrado en la manufactura de biocomparables, en bioprocesos de base tecnológica de complejidad media o en la asimilación de biotecnologías importadas.

En cuanto al gasto en I&D hecho por las industrias y referido al porcentaje del valor global del sector, resaltan los países que tienen mayor participación en la generación del conocimiento: Estados Unidos de América (0.41%), Alemania (0.053%), Francia (0.22%), España (0.13%), y Corea (0.092%); por lo anterior, no es sorprendente que el mayor número de empresas en Biotecnología caracterizadas por el alto gasto en I&D estén concentradas también en esos países: Estados Unidos de América (838), Francia (1409), Alemania (646), Corea (382), y España (551) (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2021). Este tipo de industrias se caracterizan, porque el conocimiento es

uno de los principales insumos, pero también por requerir altos niveles de gasto en I&D, y en proteger sus desarrollos tecnológicos a través de patentes.

Las patentes como indicador de resultado de los esfuerzos en I&D en el sector biotecnológico, se analizan a través del PATENTSCOPE específicamente en la base del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (*PCT*, por sus siglas en inglés), puesto que el mercado biotecnológico es mundial, y la forma de registrar patentes a través de diferentes países desde un país de origen, son los PCT<sup>1</sup>. Los resultados muestran, que de 1978 al 2021, se han presentado 277,616 solicitudes de patentes vía PCT, y de éstas, 92,119 provienen de Estados Unidos de América; 53,828 de China; 43,528 de Canadá; 33,716 de Corea del Sur; 21,800 de la India; 21,800 de la oficina europea (destaca Alemania con 13,381 solicitudes), Japón con 20,378 solicitudes y México con 17,553 solicitudes, aunque sólo 647 son de solicitantes mexicanos y el resto es de no residentes, con un predominio notable de solicitantes de nacionalidad estadounidense.

Es de destacar, que entre los titulares solicitantes resaltan: *The Regents of the University of California* (3,934), *Hoffmann la Roche* (2,103), *Genentech Inc* (1443), *Novartis* (1,420), *Novozymes* (1,267), *Massachusetts Institute of Technology* (1,212), *The Johns Hopkins University* (1,053), *Centre National de la Recherche Scientifique* (1,049). Es de notar, que si bien en general los países se posicionan como

---

<sup>1</sup> Se realizó la búsqueda por tópico *Biotech\**, con la aplicación de lexemas a fin de ubicar todas las patentes relacionadas a la temática, y con la traducción simultánea de todos los idiomas en los que haya solicitudes de patentes registradas, utilizando la Clasificación Internacional de Patente, específicamente las clases que aplican a este sector acorde con la OCDE [B.V. Beuzekom, A. Arundel, *Biotechnology patents*, in: *OECD Biotechnology Statistics 2009*, OECD Publishing, Paris, 2009, p. 103, doi: 10.1787/9789264073937-en]. Estrategia de búsqueda: (ic:A01H1 OR ic:A01H4 OR ic:A61K38 OR ic:A61K39 OR ic:A61K48 OR ic:C02F3/34 OR ic:C07G11 OR ic:C07G13 OR ic:C07G15 OR ic:C07K4 OR ic:C07K14 OR ic:C07K16 OR ic:C07K17 OR ic:C07K19 OR ic:C12M\* OR ic:C12N\* OR ic:C12P\* OR ic:C12Q\* OR ic:C12S\* OR ic:G01N27/327 OR ic:G01N33/53 OR ic:G01N33/531 OR ic:G01N33/532 OR ic:G01N33/533 OR ic:G01N33/534 OR ic:G01N33/535 OR ic:G01N33/536 OR ic:G01N33/537 OR ic:G01N33/538 OR ic:G01N33/539 OR ic:G01N33/54 OR ic:G01N33/541 OR ic:G01N33/542 OR ic:G01N33/543 OR ic:G01N33/544 OR ic:G01N33/545 OR ic:G01N33/546 OR ic:G01N33/547 OR ic:G01N33/548 OR ic:G01N33/549 OR ic:G01N33/55 OR ic:G01N33/551 OR ic:G01N33/552 OR ic:G01N33/553 OR ic:G01N33/554 OR ic:G01N33/555 OR ic:G01N33/556 OR ic:G01N33/557 OR ic:G01N33/558 OR ic:G01N33/559 OR ic:G01N33/57 OR ic:G01N33/571 OR ic:G01N33/572 OR ic:G01N33/573 OR ic:G01N33/574 OR ic:G01N33/575 OR ic:G01N33/576 OR ic:G01N33/577 OR ic:G01N33/578 OR ic:G01N33/579 OR ic:G01N33/68 OR ic:G01N33/74 OR ic:G01N33/7 OR ic:G01N33/78 OR ic:G01N33/88 OR ic:G01N33/92). Por familia de patentes, considerando todos los idiomas, 8 de septiembre de 2021.

líderes, en cuanto a las empresas la concentración de solicitudes de patentes es dispersa; es decir, no hay una empresa que domine de manera definitiva el mercado tecnológico de la Biotecnología, lo cual es lógico, dada la variedad de aplicaciones y sectores que se han visto beneficiados por este tipo de desarrollos tecnológicos.

Por otra parte, los desarrollos tecnológicos, medidos por patentes, se concentran en su mayor parte en las industrias farmacéutica y química. Los resultados muestran que las clasificaciones de patentes más frecuente están en la A61K (anticuerpos, inmunoglobulinas y suero inmune; 120,056 patentes), C12N (modificado por la introducción de material genético extraño; 109,058 patentes) C07K (contra-receptores, antígenos de superficie celular o determinantes de superficie celular; 103,189 patentes), A61P (actividad terapéutica específica de compuestos o preparaciones medicinales; 92,176 patentes), G01N (investigación o análisis de materiales para determinar sus propiedades 66,738 patentes), C12Q (medición o prueba de procesos que involucran enzimas; 53,049 patentes), y C12P (procesos de fermentación o enzimáticos para la síntesis de compuestos químicos; 22,586 patentes) principalmente. Es importante resaltar, que el mayor crecimiento de este sector se registró desde los años 2000, aunque se tiene registro de solicitudes desde 1981.

Los grupos de investigación, los investigadores activos, los centros de excelencia académica y tecnológica, al igual que los programas académicos de posgrado en biotecnologías, bioprocesos y áreas similares, continúan en incremento; por tanto, las biotecnologías y los bioprocesos se consideran como campos vigorosos.

De acuerdo con la *Web of Science* (palabra clave “BIOPROCESS\*”, consultado en agosto de 2021), las universidades e instituciones con mayor productividad científica en materia de bioprocesos para el avance anual del 2021 son: *Agency for Science Technology Research Astar, Bioprocessing Technology Institute, Indian Institute of Technology System, Chinese Academy of Sciences, University of London, Centre National de la Recherche Scientifique*. Otras universidades se han destacado por sus líneas de investigación innovadoras en biotecnologías y bioprocesos, como por ejemplo: *California Institute of*

*Technology, Stanford University, University of Manchester, Columbia University, Arizona State University, University of Liverpool, University of California, Harvard University, University of Michigan, University of Sheffield, Norwegian University of Science and Technology, Universidade de Sao Paulo, y Universidade de Lisboa.*

Si se consideran otras características adicionales, como el reconocimiento de la universidad por sus capacidades tecnológicas, medidas por patentes, y su visibilidad asociada al sector; entre las universidades más destacadas en el campo de la Biotecnología en el mundo están las siguientes *Korea Research Institute of Bioscience and Biotech, University of Maryland Biotech Institute, The National Institute for Biotech in the Negev Ltd, Mogam Biotech Research Institute, The Salk Institute Biotech/Industrial Associates Inc, y Michigan Biotech Institute.*

La actividad académica en el sector biotecnológico también se refleja en la existencia de asociaciones que relacionan el potencial creativo de las universidades con el potencial de absorción de las empresas. A manera ilustrativa, se mencionan entre las más importantes la *Biotechnology Innovation Organization* ([www.bio.org](http://www.bio.org)), fundada en 1993; la *European Federation of Biotechnology* ([www.efbiotechnology.org](http://www.efbiotechnology.org)), creada en 1978, y la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería ([www.smbb.mx](http://www.smbb.mx)), que inició actividades en 1982.

## **La Biotecnología en Iberoamérica.**

### ***Generalidades del desarrollo industrial biotecnológico en Iberoamérica.***

Un enorme reto para el desarrollo económico y social en los países iberoamericanos es que a diferencia de las empresas tecnológicas donde existen equipos integrados para investigación y desarrollo, en las instituciones educativas y centros de investigación donde gran parte de las innovaciones en Biotecnología se producen, generalmente se requieren recursos humanos, financieros e infraestructura adicionales; esto parece no ser una situación exclusiva de Iberoamérica, sino estar presente en diferentes grados alrededor del mundo (Flores-Jasso & Avendaño-Vázquez, 2019). En este tenor, “es

fundamental que los países destinen recursos a la investigación y desarrollo, y que existan estrategias que faciliten el paso de las biotecnologías en el ámbito académico a la aplicación comercial.

En la actualidad, los principales motores de la I&D en Biotecnología son las instituciones académicas, el sector público” (Izquierdo-Tolosa & Pérez- Zazueta, 2014, p. 4) y en ciertos aspectos, el sector privado. En todos los sectores, es indispensable la generación de una masa crítica de expertos que impulsen integralmente al sector biotecnológico.

### ***Productividad científica y propiedad industrial sobre Biotecnología en la región.***

De acuerdo con la *Web of Science*, en Biotecnología y con la misma estrategia de búsqueda que en la sección precedente, para la región iberoamericana considerada como conjunto, el total de publicaciones fue de alrededor de 92,544 lo cual representa un crecimiento promedio anual del 2000 al 2020 del 10.85%, en tanto que a nivel mundial, la tasa fue de 8.43%. Ahora bien, de la producción mundial en el 2000, la producción de Iberoamérica representaba el 5%, en tanto que para el 2020 alcanza el 9.52% ; es decir, ha presentado un mayor dinamismo.

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. Iberoamérica es un bloque que presenta un creciente grado de integración, medido a partir de la autoría conjunta de publicaciones en instituciones de la región. Aún con estas tendencias en la integración de la cooperación científica, un análisis de las publicaciones científicas en Biotecnología entre los países iberoamericanos refleja importantes desigualdades.

En ese contexto, resaltan los casos de España, Brasil, Portugal y México, que concentran el 91.56% de la producción Iberoamericana, y entre estos, sólo España produce el 40.22% de las publicaciones. En un segundo bloque se encuentran Argentina, Chile, Cuba y Colombia; y el resto de los países de Iberoamérica, en un tercer bloque, aun considerando co-publicaciones entre naciones, apenas

concentran el 4.4% (14 países). Lo anterior es reflejo de la desigualdad entre los países iberoamericanos.

México, Portugal y Argentina presentan situaciones muy similares entre sí. Los restantes países presentan una menor productividad científica. México y Portugal, que ocupan el tercer y el cuarto lugar en la región respectivamente, presentaron incrementos relativos importantes, aunque ninguno de ellos alcanza siquiera a la tercera parte del volumen total de artículos científicos en biotecnologías generados por Brasil. Argentina se encuentra en quinto lugar en la región. Las tendencias generales en la productividad científica de estos países han continuado en crecimiento los últimos 10 años y las frecuencias de colaboración para la investigación muestran una tendencia creciente en ese periodo, y así se han mantenido hasta el 2020. Es de destacar, que en el conjunto de las publicaciones de Iberoamérica, las colaboraciones con autores de nacionalidades de Estados Unidos de América, Reino Unido, Alemania, Francia e Italia tienen un porcentaje importante (alrededor del 40%).

La presencia de inventores en la región asociados a las biotecnologías es mucho mayor que la de los titulares de la propiedad industrial, lo que indica fortalezas en la formación de investigadores y tecnólogos, pero una cierta debilidad en las redes empresariales y académico-industriales, principalmente locales.

En el periodo de 1991 a 2020, Argentina aparece como un caso destacado, con 659 patentes solicitadas vía PCT con titulares de su nacionalidad; sin embargo, también prevalece la participación de individuos (los inventores) como titulares, lo cual se percibe como patentes que no necesariamente llegan a la industria. Por otra parte, está Chile, con 468 solicitudes vía PCT con titulares de su nacionalidad, y Brasil con 1,172 solicitudes de patentes, en tanto que Colombia tiene 329 solicitudes. En el resto de los países iberoamericanos se presentan cifras aún menores, excepto en España que presenta 4,314 solicitudes vía PCT. La producción de patentes en la región ha continuado con una tendencia semejante hasta la actualidad.



*Un sector con desarrollo limitado en México, pero con alto potencial. La industria mexicana de biotecnologías y bioprocesos.*

La industria biotecnológica en México se ha desarrollado con una organización general que se describe esencialmente mediante dos componentes. Por una parte, un primer grupo o segmento reúne a las grandes empresas globales que desarrollan su propia investigación o adquieren desarrollos de los países líderes en la generación de conocimiento y patentes, y que disponen de todas las componentes de la cadena productiva a través de sus redes globales de innovación, así como del capital necesario para la generación de productos biotecnológicos rentables. En este segmento se concentran empresas transnacionales farmacéuticas y de alimentos, cuya presencia en México representa, en cierta medida, un elemento de desarrollo para la industria biotecnológica.

En un segundo grupo, se pueden conjuntar las empresas nacionales que generan nuevas líneas de negocio centradas en las biotecnologías, aunque su actividad principal se desarrolle en otro sector económico, pero que pueden insertarse en el mercado biotecnológico. En este caso, las empresas identificadas son medianas a pequeñas, y desarrollan procesos biotecnológicos relativamente poco demandantes de conocimiento y capital, o bien son procesos de patente no vigente. Este potencial industrial empata progresivamente con las agendas estatales de innovación consideradas por los gobiernos locales, lo cual posibilita aún más el crecimiento de la base industrial biotecnológica en el país (Figura 1).



Figura 1. Sectores de la Biotecnología identificados como estratégicos en las Agendas Estatales de Innovación (Elaboración propia con información de CONACyT, 2014)

Aunque en el caso de México, la Biotecnología aún no es un sector industrialmente consolidado, “existen ciertas áreas con un potencial claro de expansión y con la calidad para competir a nivel internacional, pero aún es insuficiente la cantidad de organizaciones, instituciones y recursos destinados” (Amaro, 2019, p. 214) a ese propósito.

Como se ha expuesto, el sector industrial biotecnológico se encuentra segmentado; por un lado, pequeñas y medianas empresas concentradas en nichos especializados o con líneas de negocios ampliadas a procesos biotecnológicos, cuya actividad depende de la vinculación con otras empresas u organismos públicos y privados; por el otro lado, grandes empresas verticalmente integradas con poder de mercado que dictan las pautas de competencia en áreas y productos determinados.

En países en vías de desarrollo como México, las primeras muestran una dependencia muy alta del financiamiento público o del mercado determinado por el sector público, así como de la vinculación efectiva con centros de educación superior; mientras que las segundas son generalmente filiales de empresas transnacionales que crean mercados oligopólicos a nivel país, o bien, son empresas nacionales que logran dominar mercados locales o incluso internacionales, pero que generan productos o procesos muy específicos (Morales & Amaro, 2019, pp. 37 – 38).

En México predomina la escasa oportunidad que tienen las pocas empresas emergentes, generalmente locales, de tomar participación en los mercados. Esta situación remarca la importancia estratégica de asegurar la formación de talento humano altamente especializado en Biotecnología y áreas relacionadas con la apertura del sector respecto a mercados nacionales, si se considera que las regiones que ofrecen mayor disponibilidad de talento humano especializado y de centros de investigación científica y tecnológica, representan zonas de atracción para la localización de empresas que buscan mejorar su competitividad y eventualmente su capacidad de innovación. Además de la disponibilidad de insumos tangibles y de la existencia de mercados financieros aportadores de capital, la disponibilidad de insumos intangibles como el talento humano y el conocimiento, constituyen condiciones favorables a la innovación en el sector biotecnológico (Villavicencio-Carbajal, 2019).

“Las empresas productoras de bienes y servicios biotecnológicos se concentran en los estados con alto desarrollo económico relativo, la Ciudad de México tiene 25% de las empresas del país, seguida del Estado de México con 15% y Puebla con 13%” (Díaz-Rodríguez & Morales-Sánchez, 2019, p. 250). Un factor que ayuda a comprender esta centralización es la prioridad que las empresas otorgan a la disponibilidad de talento humano especializado y buscan establecerse en sitios de relativa abundancia local. En México, “los estados del territorio nacional con mayor número de programas de licenciatura y posgrado en Biotecnología son justamente el Estado de México con 90 programas académicos, la Ciudad de México con 74 programas, y Puebla con 72 programas” (Díaz-Rodríguez & Morales-Sánchez, 2019, p. 250). Los estados de Morelos, Nuevo León y Jalisco también presentan una correlación semejante.

### ***La generación de biotecnologías y conocimientos sobre Biotecnología en México.***

México tiene capacidades de generación de conocimiento suficientes para impulsar el surgimiento de empresas de base tecnológica media y alta. En un plan estratégico, se requiere reforzar la disponibilidad de talento humano de alta capacitación técnica en biotecnologías y bioprocesos para la innovación.

De acuerdo con datos de *Web of Science*, utilizando la misma estrategia de búsqueda que en los casos global e Iberoamérica, México generó el 0.8% de las publicaciones relacionadas con Biotecnología, respecto al total mundial. Las áreas de conocimiento que concentraron las publicaciones son: *Biotechnology Applied Microbiology* (32.106%); *Biochemistry Molecular Biology* (12.534%); *Plant Sciences* (7.890%); *Food Science Technology* (7.616%); y *Microbiology* (6.673%), lo que muestra que el país está contribuyendo dentro de las principales áreas de investigación en el mundo. Entre las instituciones con mayor número de publicaciones se encuentran la Universidad Nacional Autónoma de México (30.11%), el Instituto Politécnico Nacional (13.62%), el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (12.22%), la Universidad Autónoma Metropolitana (9.73%), y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (6.55%). Por último, es de notar, que el 91.22% de las publicaciones se han generado del año 2000 a la fecha.

En cuanto a patentes, el comportamiento es incipiente, vía PCT. De 1991 al 2020, México tuvo en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, 647 solicitudes a través del citado tratado, con predominio de solicitudes de empresas transnacionales. De hecho, en el conjunto de las solicitudes de residentes de México en el 2020, en 220 se tiene una colaboración de co-titularidad con Estados Unidos de América, 117 con China, y 70 con India.

En cuanto a los solicitantes, destaca la Universidad Nacional Autónoma de México (con 31), el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (con 17), y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey con una reducida participación del Instituto Politécnico Nacional y la Universidad Autónoma Metropolitana; por otra parte, en cuanto a la concentración de las tecnologías predominan las mismas que a nivel mundial: A61K, C12N, C07K, G01N y C12Q, lo cual es consistente con las colaboraciones en co-titularidad reportadas. La investigación generadora de conocimiento se realiza fundamentalmente en universidades y centros de investigación, principalmente del sector público, así como en diversas empresas y a distintas escalas (Amaro & Sandoval, 2019).

En esta actividad, el margen de riesgo en obtención de resultados rápidamente transferibles es muy alto. Desde la generación del conocimiento básico hasta la generación de un prototipo o desarrollo tecnológico con nivel de avance tecnológico factible (*Technology Readiness Level, TRL*, por sus siglas en inglés) pueden mediar hasta 10 o más años de trabajo, y estos tiempos extensos pueden significar un alto costo de oportunidad, así que se espera que las empresas biomanufactureras y los laboratorios de patente busquen estrategias de riesgo compartido con instituciones de educación e investigación para acelerar la generación de tecnología (Flores-Jasso & Avendaño-Vázquez, 2019); así es cada vez más necesario el impulso eficiente a modelos de vinculación industria-académica-gobierno- entidades de financiamiento.

El estado mexicano a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) organizó los esfuerzos de investigación en torno a problemáticas nacionales concretas, que por su importancia y gravedad, requieren de una atención urgente y de una solución integral, profunda y amplia en los Programas Nacionales Estratégicos (ProNacEs) (CONACyT ProNacEs, 2021). Estos programas pretenden generar la colaboración y la convergencia de la comunidad académica y tecnológica, para permitir un uso más eficaz y eficiente de los recursos públicos en beneficio de la población o el ambiente, y el objetivo es que conduzcan a una mayor independencia en la atención de retos nacionales.

En cada uno de los Programas Nacionales Estratégicos se propone una agenda general con los Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (ProNaii), que abordan los problemas en su complejidad estructural y dinámica, no sólo para comprender sus determinaciones múltiples y heterogéneas, sino para proponer, generar o acompañar la realización de acciones concretas y bien estructuradas que incidan lo más profunda y ampliamente posible en las causas de los problemas y en sus dinámicas de reproducción (CONACyT ProNacEs, 2021). Los ProNacEs en los que directamente inciden las áreas de las biotecnologías y los bioprocesos son los de salud, agua, soberanía alimentaria, agentes tóxicos y procesos contaminantes, así como en los de energía y

cambio climático.

Cuatro instituciones desarrollan la investigación con mayor impacto científico-tecnológico en Biotecnología: la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional y el Instituto Politécnico Nacional. Por el número de investigadores, la antigüedad de sus grupos académicos, la infraestructura y el equipamiento de análisis del que disponen, conforman la infraestructura más importante para la Biotecnología en México (Oliver-Espinosa & Stezano-Pérez, 2019). También la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, la Universidad de Guadalajara, la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey realizan investigaciones destacadas en biotecnologías, bioprocesos y áreas relacionadas.

Otro sistema importante de investigación en Biotecnología a nivel nacional es el que conforman los centros CONACyT, cuya misión está asociada a la I&D en Biotecnología. Algunas universidades, institutos tecnológicos y universidades politécnicas también constituyen grupos de impacto en la Biotecnología, aunque más orientados a la docencia y la formación de talento humano principalmente en el nivel de estudios de licenciatura.

Es interesante notar, que los resultados de los autores citados son vigentes. Esto se puede constatar con la distribución de investigadores miembros del Sistema Nacional de Investigadores que están especializados en el área de la Biotecnología, como se puede observar en la figura 2.

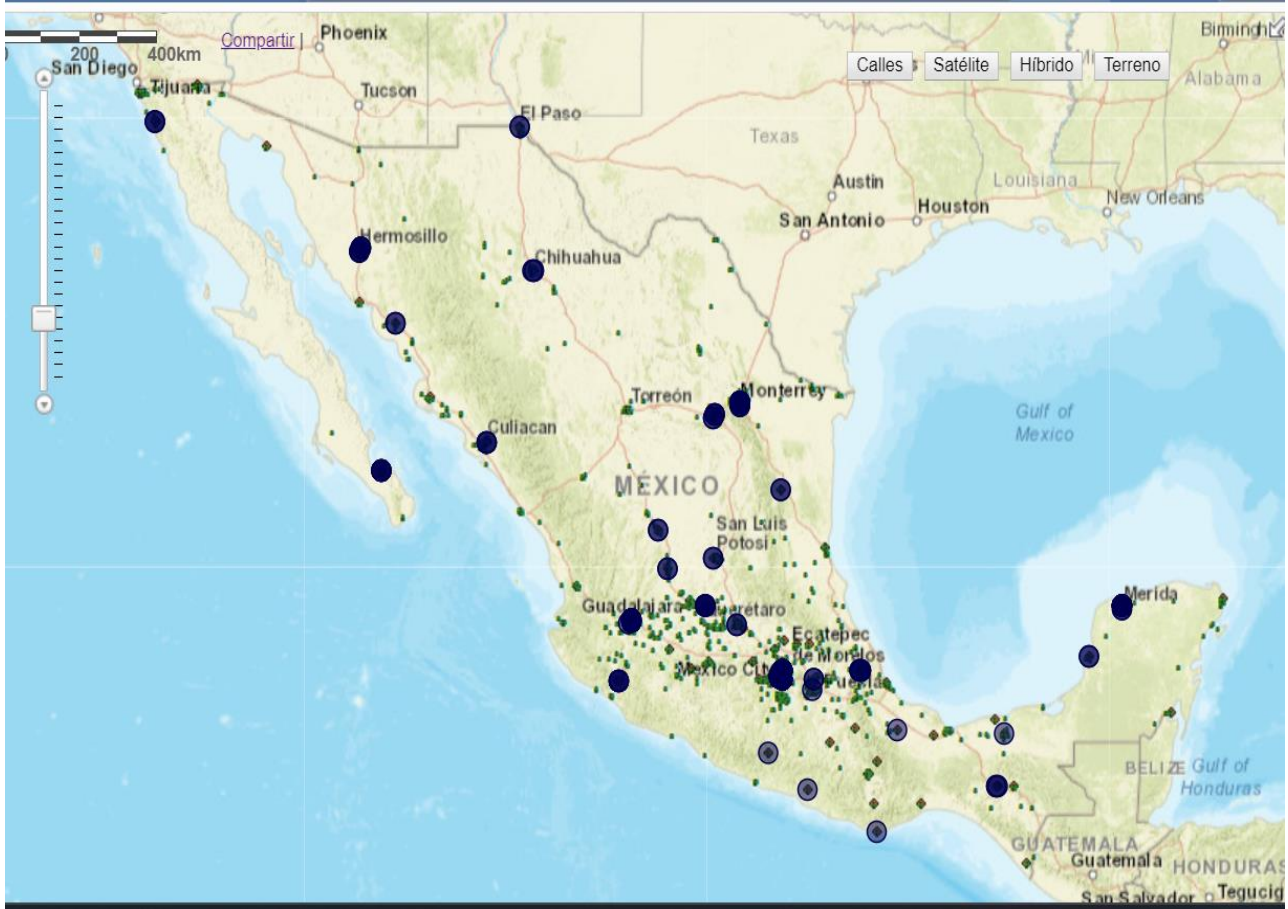


Figura 2. Investigadores con especialidad en biotecnología

(<http://mapas.centrogeo.org.mx/website/siicyt/dev2010b/siicyt.html?pSel=237> Investigadores con especialidad en biotecnología).

A nivel nacional, se han mantenido los esfuerzos de inversión en fortalecer las capacidades científicas en biotecnología. De acuerdo con el SIICYT del CONACyT, en el año 2016 en el área de conocimiento VI del SNI (Biotecnología y Ciencias Agropecuarias), se registraron 2842 investigadores; en tanto, que en el 2020 se tuvo registro de 4409 investigadores nacionales. En esta misma área, en CONACyT se contó con 217 posgrados, y 5658 becarios nacionales en el 2015. En tanto que en el 2020, se tuvieron 225 posgrados y 8127 becas nacionales; es decir, se mantuvo la inversión. Estos recursos humanos de alto valor agregado también dan muestra de la capacidad científica en el país.

Si bien en México el sector biotecnológico industrial es aún incipiente, se pueden identificar indicios que demostrarían un potencial de desarrollo creciente en la próxima década. Las aplicaciones en

productos agroalimentarios se incrementarán, dado que este mercado aumenta de manera proporcional al crecimiento poblacional, además del desarrollo de nuevos mercados de consumo de productos orgánicos, y por tanto, presentan oportunidades tanto para grandes transnacionales como para empresas locales o regionales.

En materia de aplicaciones en bioprocesos ambientales, los problemas de contaminación ambiental regularmente requieren estudios locales, lo que genera oportunidades empresariales igualmente locales o regionales para la recuperación o remediación de sitios o ecosistemas, e inclusive se pueden abrir oportunidades para asociaciones entre empresas locales e internacionales, aunque las aplicaciones ambientales se demandan siempre a un nivel local específico. En el sector biocombustibles, aun es necesaria la participación de esfuerzos de investigación y de empresas nacionales como un asunto estratégico de seguridad energética.

Por otra parte, debido a que la generación de talentos en el campo de la Biotecnología se encuentra en proceso de consolidación, el sector académico y de investigación se constituye también como un segmento importante para el desarrollo profesional de maestros y doctores en distintas áreas de la Biotecnología o los bioprocesos.

En el sector gubernamental, el talento humano especializado puede contribuir en posiciones de asesoría o toma de decisión relativas a proyectos de gobierno en materia de las biotecnologías aplicadas a la salud, la alimentación, la preservación del ambiente o la producción de bioenergéticos. En particular, las áreas de regulación, certificación y autorización sanitarias son espacios que requieren de las competencias adquiridas o desarrolladas en los programas académicos de alto nivel tanto en biotecnologías como en bioprocesos.

Lo anterior da evidencia, de que es un mercado que está en crecimiento en nuestro país, por lo que demandará capital humano de alto valor agregado, condición que existe en México; por lo que se esperaría que los egresados de esta área de conocimiento se coloquen en el mercado laboral.



## **CONCLUSIONES.**

La descripción realizada de estado del arte general sobre biotecnologías y bioprocesos indica su importancia a nivel mundial para el entendimiento extenso de problemas relacionados con la salud y la alimentación humanas, con la preservación o recuperación de los recursos naturales, la biorremediación de ecosistemas contaminados o la producción de bioenergéticos; al tiempo que permite identificar campos y estudios emergentes para la generación de tecnologías dirigidas a resolver esas problemáticas.

En la actualidad, se han incorporado avances tanto en el conocimiento de genomas y sistemas de control genético, como en las tecnologías holísticas para la comprensión de los sistemas proteicos y metabólicos del funcionamiento celular, así como su representación matemática crecientemente más precisa. Se vislumbra un horizonte de aplicación de los bioprocesos que se extiende a los conceptos de bioeconomía, como alternativa al desgaste de recursos y ecosistemas, que resta sustentabilidad a las sociedades y compromete la viabilidad del planeta; al tiempo que pueden generar satisfactores sociales imprescindibles en materia de salud y alimentación para la humanidad.

La dinámica internacional en el desarrollo de biotecnologías y bioprocesos ha implicado una amplia interacción científica en el mundo, cuya importancia radica en que el grado de interacción entre investigadores en colaboración se relaciona con indicadores normalmente asociados al desarrollo potencial del sector biotecnológico en el nivel local, indicadores tales como la generación de patentes o la productividad científica conjunta. En general, estos indicadores dan soporte al potencial de innovación estimado para un país o región respecto a su sistema de generación de conocimiento en Biotecnología y a su industria biotecnológica.

En el caso específico de México, la interacción académico-científica ha crecido notablemente en los últimos años, así como las aportaciones mexicanas al avance mundial del conocimiento, estimadas mediante el número de artículos científicos que se generan en las áreas de la Biotecnología. Esto es indicio, de que la formación de talento humano vinculada a la investigación en Biotecnología se ha

incrementado en el país, tanto como para sustentar una incipiente industria biotecnológica. Lo anterior significa, que como industria estratégica en México, existen condiciones para la consolidación de la industria biotecnológica en diferentes áreas, con lo cual surgiría un dinamismo en el mercado laboral del sector, pero para esto es esencial incrementar y consolidar la formación de masas críticas de talento humano altamente especializado en biotecnologías y bioprocesos.

Las probabilidades de éxito dependen directamente de que existan no sólo el número suficiente de profesionistas capaces de integrarse a los mercados biotecnológicos actuales, sino también el número suficiente de estos profesionistas capaces de crear y desarrollar nuevos mercados, lo que implica que se debería crear una amplia oferta educativa.

Los sistemas educativos universitarios continuarán como un elemento central de la impartición y generación de conocimiento. La formación de especialistas en biotecnologías y bioprocesos continuará en un posicionamiento de desarrollo estratégico en todas las naciones. El talento humano es un activo sustancial, por eso, las universidades crean programas de posgrado en campos específicos del conocimiento como la Biotecnología y sus áreas colindantes, y con ello, proveen de talento humano especializado, mientras que los centros de investigación científica básica y aplicada desarrollan proyectos de investigación y desarrollo (Villavicencio-Carbajal, 2019).

En México, los esfuerzos por fortalecer el recurso humano de alto valor agregado, poseedor del conocimiento y fuente de desarrollo tecnológico, es consistente con los elementos clave que detonarán la industria biotecnológica en México, a saber: i) la posibilidad de que los proyectos que generen desarrollos tecnológicos transferibles produzcan beneficios a los inventores, sin importar que pertenezcan al sector público, y ii) que se establezcan condiciones para el crecimiento del mercado financiero de capitales de riesgo como medio de inversión privada para financiar proyectos e iniciativas empresariales en Biotecnología a partir de contar con desarrolladores de tecnología.

Todo lo anterior requiere de trabajos coordinados entre los integrantes del modelo triple hélice, bajo la premisa de que existe suficiencia del talento humano con los perfiles profesionales demandados en el

sector.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Amaro, M. & Sandoval, S. (2019). Concentración y oportunidades para empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos. En: La Biotecnología en México. Morales M A & Amaro M (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 127 – 170.
2. Amaro, M. (2019). Biotecnología Agroindustrial y Alimentaria en México, entre grandes empresas y pequeños productores. En: La Biotecnología en México. Morales M A & Amaro M (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 211 – 242.
3. Biotechnology Innovation Organization. (Sf) <https://www.bio.org>
4. Botero-Gutiérrez, Ch. D., Restrepo-Serna, D.L. & Cardona Alzate, C. A. (2017). A comprehensive review on the implementation of the biorefinery concept in biodiesel production plants. *Biofuel Research Journal*. 15: 691 – 703. [https://www.biofueljournal.com/article\\_49783.html](https://www.biofueljournal.com/article_49783.html)
5. Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (2010). La Biotecnología en Iberoamérica: Situación actual y tendencias. Organización de los Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura, España.
6. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (2014). Agendas estatales de investigación. <http://www.agendasinnovacion.org/>
7. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (2021). Programas Nacionales Estratégicos (pronaces) ¿Qué son los pronaces? <https://conahcyt.mx/que-son-los-pronaces/>
8. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (2016). Mapa nacional de instituciones SIICY. Instituciones científicas y tecnológicas. <http://mapas.centrogeo.org.mx/website/siicyt/dev2010b/siicyt.html?pSel=237>
9. Díaz-Rodríguez HE & Morales-Sánchez M. (2019). El sector biotecnológico en México: Estructura, entorno y política industrial para su desarrollo, un análisis de Teoría de Grafos. En: La

- Biotecnología en México. Morales, M. A. & Amaro, M. (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 234 – 270.
10. European Federation of Biotechnology. (Sf) <http://www.efbiotechnology.org/>
  11. Flores-Jasso, C.F. & Avendaño-Vázquez, S.E. (2019). Breve panorama de la innovación biotecnológica en México. En: La Biotecnología en México. Morales, M. A. & Amaro, M. (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 94 – 126.
  12. García-Ruiz, H., García-Ruiz, M. T., Gabriel, S.M., Miravel, C.B. & El-Mounadi, K. (2019). Mechanisms, applications, and perspectives of antiviral RNA silencing in plants. *Mexicana de Fitopatología*. 34(3): 287 – 307. <https://www.redalyc.org/pdf/612/61247022006.pdf>
  13. Izquierdo-Tolosa, A. G. & Pérez-Zazueta, G. (2014). Biotecnología, Colección ProMéxico Inversión y Comercio. Secretaría de Economía, México.
  14. Morales, M. A. & Amaro, M. (2019). La Biotecnología en México: Conclusiones. En: La Biotecnología en México, Morales, M. A. & Amaro, M. (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 321 – 330.
  15. Oliver-Espinosa, R. & Stezano-Pérez, F. A. (2019). Capacidades y desempeños de innovación en empresas biotecnológicas de México. En: La Biotecnología en México. Morales, M. A. & Amaro, M. (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 271 – 320.
  16. Organisation for Economic Co-operation and Development (2005) A framework for biotechnology statistics. OECD, Francia.
  17. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021) <https://www.oecd.org/innovation/inno/keybiotechnologyindicators.htm>
  18. Ortiz-Quintero, B. (2009). RNA de Interferencia: Origen y aplicación en el silenciamiento de genes. *Revista de Investigación Clínica*. 61(5): 412 – 427.
  19. Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. (Sf). Obtenido de: <https://smbb.mx/>
  20. University of California San Diego. (2021). Obtenido de: <http://be.ucsd.edu/about-us>

21. Villavicencio-Carbajal, D. H. (2019). Los desafíos de las políticas de innovación en México. En: La Biotecnología en México. Morales, M. A. & Amaro, M. (coord). Facultad de Economía UNAM, México, pp. 53 – 92.
22. Wang H, La Russa, M. & Qi, L. (2016) CRISPR/Cas9 in genome editing and beyond. Annu. Rev. Biochem. 85: 227 – 264. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27145843/>

#### **DATOS DE LOS AUTORES.**

1. **Edgar Salgado Manjarrez.** Doctor en Ciencias en Ingeniería de Procesos. Profesor investigador en el Departamento de Bioingeniería, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: [edd.salgado@gmail.com](mailto:edd.salgado@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5568-0168>.
2. **Hortensia Gómez Viquez.** Doctora en Economía Social. Profesor investigador en el posgrado del Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: [hgomezv@ipn.mx](mailto:hgomezv@ipn.mx); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1820-1877>. Autor de Correspondencia.
3. **Elvia Inés García Peña.** Doctora en Biotecnología. Profesor investigador en el Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: [inesppu3@yahoo.com.mx](mailto:inesppu3@yahoo.com.mx); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-86253693>
4. **Juan Silvestre Aranda Barradas.** Doctor en Ingeniería en Procesos. Profesor investigador en la Escuela de Ingeniería y Ciencias, Departamento de Bioingeniería, ITESM, y profesor investigador en el Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, México. Correo electrónico: [juan.s.aranda@gmail.com](mailto:juan.s.aranda@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4570-0783>.

**RECIBIDO:** 6 de septiembre del 2023.

**APROBADO:** 3 de noviembre del 2023.