

# El capital humano en biotecnología: una necesidad de desarrollo de República Dominicana

## *The human capital in biotechnology: A development need for Dominican Republic*

Omar S. Solís Ramírez<sup>a</sup> ORCID: 0000-0002-7978-0649  
Alberto J. Núñez Sellés<sup>b</sup> ORCID: 0000-0002-5807-4593

Recibido: 10/10/2022 • Aprobado: 25/01/2023

**Cómo citar:** Solís Ramírez, O. S., & Núñez Selles, A. J. (2023). El capital humano en biotecnología: una necesidad de desarrollo de República Dominicana. *Ciencia y Educación*, 7(1), 41–56. <https://doi.org/10.22206/cyed.2023.v7i1.pp41-56>

### Resumen

El diseño curricular para la formación de postgrado en Biotecnología es un asunto complejo que involucra la variedad de formaciones académicas. Las universidades dominicanas, salvo alguna excepción, no tienen en su oferta académica la formación de biotecnólogos. La formación de postgrado depende de factores, tales como: (I) la existencia de una masa crítica de másteres y doctores en Ciencias, (II) la disponibilidad de infraestructuras para el desarrollo de investigaciones, y (III) el financiamiento adecuado para esos fines, donde se puedan insertar los estudiantes para el desarrollo de las actividades experimentales de sus tesis. El presente trabajo expone algunos de los factores que deben ser contemplados en el diseño de un programa de formación de postgrado en Biotecnología en República Dominicana, a partir de experiencias de otros países y de los resultados que se han alcanzado en el desarrollo de las investigaciones científicas en este campo, en el período 2005-2020.

**Palabras clave:** diseño curricular; educación de postgrado; biotecnología; investigación y desarrollo; entrenamiento en investigación.

### Abstract

Curriculum design for postgraduate training in Biotechnology is a complex issue involving the variety of academic training. Dominican universities, with some exceptions, do not have the training of biotechnologists in their academic offer. Postgraduate training depends on factors, such as I) the existence of a critical mass of Masters and PhDs, II) the availability of infrastructure for the development of biotechnological research, and III) adequate funding for these purposes, where students can be inserted for the development of experimental activities of their theses. This paper presents some factors that should be considered in the design of a postgraduate training program in Biotechnology in the Dominican Republic, based on the experiences of other countries and the results that have been achieved in the development of scientific research in this field for the period 2005-2020.

**Keywords:** Curriculum design; postgraduate education; biotechnology; research and development; research training.

<sup>a</sup> Universidad Abierta para Adultos (UAPA), Santiago de los Caballeros, República Dominicana. Correo-e: [omars.solis@gmail.com](mailto:omars.solis@gmail.com)

<sup>b</sup> Universidad Nacional “Pedro Henríquez Ureña”, Santo Domingo, República Dominicana. Correo-e: [alnunez@unphu.edu.do](mailto:alnunez@unphu.edu.do)



## **Introducción**

La Biotecnología incluye campos de estudio vitales, ya que se involucra en el mejoramiento del rendimiento de los cultivos (vegetales, frutales, granos e, incluso, forestales), la tecnología de procesamiento y conservación de los alimentos que se consumen cada día, los procesos de fabricación de medicamentos, vacunas y medios biológicos para el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las enfermedades, la preservación del medio ambiente y el tratamiento de residuales, así como de los más variados productos de consumo que se necesitan en el día a día. El amplio espectro de aplicaciones de esta nueva tecnología ha atraído la atención de gobiernos, instituciones educacionales y el sector productivo a nivel mundial, quienes han entendido que la Biotecnología tiene un elevado potencial para el desarrollo económico de cualquier país, así como los beneficios que se derivan de la creación de nuevos empleos y nuevas oportunidades de negocio. Las ventajas de la aplicación de la Biotecnología son, particularmente, importantes para comunidades y países que enfrentan retos de desarrollo, como es el caso de República Dominicana. Por estas razones, el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECYT) 2008-2018 de República Dominicana confirió al Programa de Desarrollo de la Biotecnología la más alta prioridad, además de la programación y el desarrollo de software, la mecatrónica y las nanotecnologías. (SEESCYT, 2008)

El desarrollo acelerado de la Biotecnología y su incesante crecimiento a escala industrial en la última década (2010-2020) representa un reto para los programas de educación de grado y postgrado, tanto en el contenido curricular como en las metodologías y técnicas educativas, ya que las competencias a desarrollar cubren un amplio espectro de campos del saber, dirigidos a estudiantes que pueden tener diferentes procedencias. Por ejemplo, los programas de postgrado en Biotecnología se pueden nutrir a partir de una amplia cantera de especialidades, tales como: Bioquímica, Microbiología y Genética, así como también de disciplinas como Botá-

nica, Fisiología, Zoología, Agricultura y Medicina, incluyendo tanto a licenciados como ingenieros. Los graduados de Química, Física o Biología pueden llegar también a convertirse en excelentes biotecnólogos. De ahí que el diseño curricular para la formación de postgrado en Biotecnología es un asunto complejo que involucra la variedad de formaciones académicas, cuyas percepciones e intereses pueden variar de manera considerable.

La introducción de los procesos biotecnológicos a la producción industrial, sobre todo en los países de alto nivel de desarrollo, ha conducido a la aparición de productos y tecnologías cada vez más sofisticados, que, asimismo, incrementan la necesidad de disponer de graduados calificados con un conocimiento siempre más profundo de los productos y procesos, cuyas cualidades se basan en las Ciencias de la Vida (*Life Sciences*). De ahí la necesidad de crear una fuerza de trabajo de alta calificación, que sea capaz de entender y trabajar en un amplio rango de laboratorios e industrias biotecnológicas que van surgiendo de manera creciente y emergente. La formación de dicha fuerza calificada debe ser capaz de combinar las habilidades tecnológicas con una base sólida de conocimiento de Ciencias de la Vida, que permita el pensamiento crítico, la solución de problemas y la capacidad de trabajo en equipo. (Lavrynenko et al., 2018)

La formación de postgrado en Biotecnología en República Dominicana depende de varios factores; en primer lugar, la existencia de una masa crítica de másteres y doctores en Ciencias (PhD), no solo en Biotecnología sino, además, de las especialidades relacionadas que se mencionaron con anterioridad; en segundo lugar, de la disponibilidad de infraestructuras adecuadas para el desarrollo de investigaciones biotecnológicas; y, en tercer lugar, de la estructuración de un plan de investigaciones científicas y/o tecnológicas en Biotecnología o áreas relacionadas, mediante proyectos de investigación que cuenten con el financiamiento adecuado para esos fines, en los cuales se puedan insertar los estudiantes de postgrado para el desarrollo de las actividades experimentales de sus tesis de maestría o doctorado.

El presente trabajo expone algunos de los factores que deben ser contemplados en el diseño de un programa de formación de postgrado en Biotecnología en República Dominicana, a partir de las experiencias de otros países y de los resultados que se han ido alcanzando en el desarrollo de las investigaciones científicas en este campo, a través del Fondo de Desarrollo de Ciencia y Tecnología (FONDOCYT), en el período 2005-2020.

### Metodología

La búsqueda de las ofertas académicas de postgrado en Biotecnología de las IES dominicanas se realizó mediante el acceso a los sitios web con el empleo del navegador Google. A los efectos de comparación, se realizó la búsqueda de ofertas académicas de postgrado en Biotecnología con la aplicación Scholar Google, a través de la utilización de las palabras clave descritas en el resumen, las cuales fueron seleccionadas del *Thesaurus* de la UNESCO. (UNESCO, 2022).

### El desarrollo de la Biotecnología

La Biotecnología ha devenido en una de las más importantes industrias en los países con mayor desarrollo de una economía basada en los sistemas de conocimiento. Para lograr ese desarrollo, los gobiernos y las empresas biotecnológicas han dedicado esfuerzos significativos, tanto a la capacitación de la fuerza laboral de las empresas biotecnológicas, como a la creación de alianzas público-privadas con las universidades para lograr que los graduados en las áreas relacionadas con la Biotecnología (Biología, Bioquímica, Química, Ingenierías, Medicina y otras) puedan convertirse en especialistas de alta calificación, con una fuerte formación en las áreas de generación de conocimiento. La formación de especialistas, másteres y doctores, con competencias y habilidades para la investigación científica en las Instituciones de Educación Superior (IES) se convierte, por tanto, en un punto importante de la agenda de desarrollo de aquellos países que quieren pasar de una economía basada

en la manufactura hacia una economía fundamentada en el conocimiento. En comparación con la primera, cuyo campo de impacto social se limita al producto manufacturado, las actividades de esta última aportan un nivel de conocimiento humano que permite crear valor por el cual la sociedad recibe nuevos productos y servicios, prácticamente en cualquier segmento productivo. A diferencia de los países que impulsan y sostienen la economía basada en el conocimiento, la infraestructura de investigación y de producción biotecnológica en países de menor nivel de desarrollo es muy débil. Las empresas biotecnológicas multinacionales de mayor volumen de capital no tienen dentro de sus prioridades invertir en países no desarrollados, donde las empresas biotecnológicas nacionales se encuentran aún en sus primeras etapas de desarrollo, o son inexistentes. Los recursos que dedican los gobiernos a la investigación-desarrollo son muy limitados y, como consecuencia, el desarrollo y avance de la formación de recursos humanos y de la consolidación del proceso de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias Básicas (Naturales, Exactas y Técnicas) se encuentra muy limitado (Aghmiuni et al., 2020). Por otra parte, un número cada vez más creciente de emprendedores, en particular de pequeñas y medianas empresas (mipymes), ha identificado que la industria biotecnológica puede ser una gran oportunidad de mercado. Por lo tanto, la creación y surgimiento de nuevas mipymes en el sector de la Biotecnología es un factor que puede contribuir al desarrollo de la industria biotecnológica de países en vías de desarrollo, para lo cual se requiere un capital humano de alta calificación.

La Biotecnología moderna requiere, cada vez más, de un enfoque multidisciplinario. El sistema de innovación y desarrollo de esta disciplina depende de la creación de redes de trabajo y alianzas estratégicas, donde las empresas interactúan para compartir el uso de infraestructuras de investigación-desarrollo y de capacidades de producción, así como de su relación con las universidades, no solo mediante relaciones contractuales, sino también a través de la colaboración no contractual para la formación del capital humano que necesitan dichas empresas, que,

posteriormente, se convertirán en científicos-biotecnólogos eminentes (Stuart et al., 2007). El grado de impacto de los productos innovadores de una empresa biotecnológica en el mercado dependerá de la fortaleza de las relaciones (contractuales y no contractuales) que dicha empresa mantenga con las universidades en el desarrollo de investigaciones y la formación de capital humano (Rothaermel & Deeds, 2006). El surgimiento, desarrollo y éxito de las empresas y organizaciones con base biotecnológica se fundamenta en tres factores claves: i) el flujo de capital, ii) la productividad, y iii) la fuerza de trabajo calificada, todas con similar peso específico, pero interdependientes una de otras, según un análisis econométrico publicado (Zbucheá et al., 2019). Este resultado destaca la importancia que tiene la formación de postgrado en Biotecnología para el éxito de las futuras empresas empleadoras del sector.

Las IES están involucradas en un amplio número de actividades. La primera, y más importante, es educar a sus estudiantes y elevar el nivel de especialización de los graduados, mediante un sistema de formación de postgrado. Al mismo nivel de importancia se encuentra el papel de las IES como generadoras y acumuladoras de conocimiento. Tradicionalmente, las universidades han sido centros de investigación básica, pero, a partir de la última década del siglo xx, se han ido involucrando cada vez más en la investigación aplicada mediante la cooperación con empresas y organizaciones productivas y de servicios (Roesler & Broekel, 2017). Sin embargo, la importancia de la actividad investigativa de las universidades para dichas organizaciones depende del tipo de conocimiento de partida de la universidad, el cual puede ser analítico, sintético o simbólico. El conocimiento sintético tiene bases sólidas en aquel fundamentado en el conocimiento de las ingenierías y las operaciones unitarias relacionadas; el conocimiento simbólico parte, de forma primaria, del pensamiento creativo y artístico que impulsa la innovación, mientras que el conocimiento analítico es el que parte del conocimiento científico (Broekel & Boschma, 2011). Evidentemente, las actividades de investigación-desarrollo (I+D) en Biotecnología

pertenecen a la categoría del conocimiento analítico, por lo que la formación de postgrado en esta especialidad tiene que partir de graduados con esa capacidad analítica. Las empresas biotecnológicas con éxito en el mercado serán aquellas que sean capaces de explotar dicho conocimiento analítico, basadas en el aprovechamiento de la colaboración científica con las universidades (Bikard et al., 2019).

El Foro Económico Mundial ha presentado a la Biotecnología como una de las tecnologías que manejarán el futuro de las fuerzas laborales, lo cual significa un incremento sustantivo de la demanda de profesionales calificados en este campo (World Economic Forum, 2021). El poder de la digitalización ha permitido a la Biotecnología el desarrollo de nuevos productos y procesos a partir del procesamiento de la información genética de los microorganismos, lo cual seguirá intensificándose en el futuro (Ustundag & Cevikcan, 2018). Las nuevas demandas de los biotecnólogos “digitales” se han previsto en siete campos fundamentales (Massabni & da Silva, 2019):

- 1) Control de calidad y análisis de materiales, con el uso de laboratorios automatizados con Sistemas de Gerencia Integrados (LIMS: *Laboratory Integrated Management Systems*).
- 2) Asuntos regulatorios que le permita al biotecnólogo navegar por el complejo mundo de la burocracia y las agencias regulatorias, e interpretar la legislación.
- 3) Consultores científicos dentro de un escenario cada vez más complejo en los procesos de clonación del ADN, los procesos fermentativos y la interpretación automatizada de los datos genéticos.
- 4) Manejo y tratamiento de residuales (aéreos, líquidos y sólidos), de acuerdo con las políticas gubernamentales y la legislación del país en materia de Bioseguridad.
- 5) Ingeniería Medioambiental que permita asegurar la preservación y sostenibilidad del medio ambiente, dentro de una política pública cada vez más presionante en el futuro.

- 6) Bioinformática para los estudios de correlación de la información genética en el desarrollo de nuevos fármacos y vacunas.
- 7) Telemedicina como parte de una estrategia *One Health* para el acceso universal a los procesos de diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

La formación de postgrado en Biotecnología en las universidades dominicanas debe tener en cuenta la inclusión de estas competencias antes descritas en los programas que se desarrollen para alcanzar una especialidad, maestría o doctorado en alguna de esas tendencias de desarrollo futuro.

### La formación de postgrado en Biotecnología

El objetivo general de la educación de postgrado, en cualquier rama de las Ciencias y modalidades de postgrado, es alcanzar un conocimiento científico de los conceptos y herramientas básicas de la disciplina (técnicas, procedimientos y procesos), que le permitan un cierto nivel de independencia para su aplicación en la solución de problemas, tanto productivos y económicos, como sociales (Nielsen, 2012). Si se reconoce que el conocimiento y la innovación son partes decisivas que contribuyen al bienestar económico, tanto desde el punto de vista personal como de la nación en su conjunto, la educación de post-

grado asume una significación importante dentro del concepto general de “*desarrollo del capital humano*”.

En el caso particular de la Biotecnología y sus áreas relacionadas, el contenido de todo plan de formación de postgrado debe ser revisado y adaptado de forma constante, debido al rápido y continuo desarrollo de la disciplina, que incorpora nuevos conceptos y descubrimiento tecnológicos, que, a su vez, se traducen en la adquisición de competencias cada vez más complejas. A manera de ejemplo, se ha propuesto una malla curricular adaptativa que tenga la capacidad de ir incorporando los nuevos conceptos y avances que se van produciendo en el campo de la Biotecnología (Fossey, 2012). La Figura 1 muestra el diseño de dicha malla curricular.

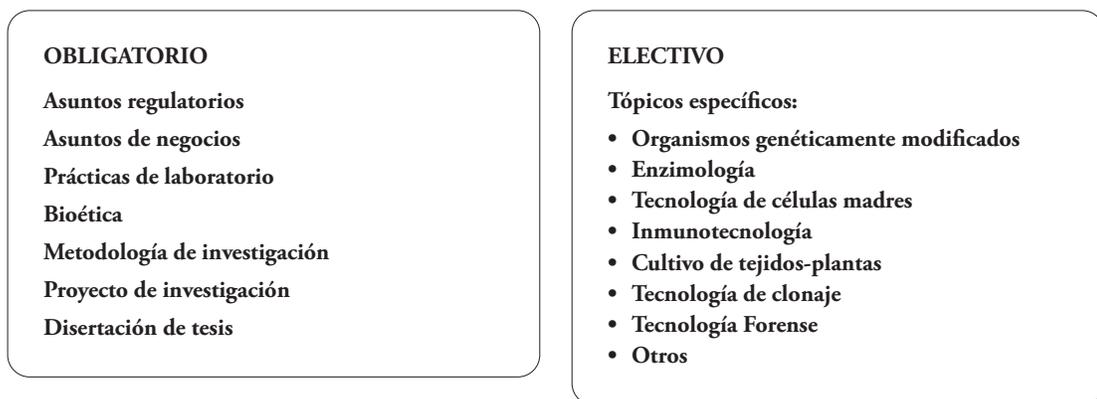
Las ventajas del diseño de la malla curricular adaptativa en Biotecnología son las siguientes:

- a) Brinda una formación que se puede adaptar a cualquier industria empleadora.
- b) Permite incorporar los nuevos conceptos y desarrollos que se van produciendo en la Biotecnología.
- c) Incorpora un mayor conocimiento de las necesidades de las empresas empleadoras.

Sería, por tanto, recomendable que este concepto de diseño se aplique en la formación de postgrado en Biotecnología de las IES dominicanas.

**Figura 1**

*Malla curricular adaptativa para la formación de postgrado en Biotecnología (Sudáfrica)*



Nota. Fossey (2012).

Un factor importante en la formación de postgrado en Biotecnología es la demanda de habilidades que requieren los empleadores para dichos especialistas, másteres o doctores en Biotecnología. Las habilidades que se requieren por las compañías biotecnológicas de Estados Unidos y el Reino Unido, clasificadas de acuerdo a habilidades duras, blandas y digitales, para la contratación de empleados, por orden de importancia, son las que se muestran en la Tabla 1 (Lavrynenko et al., 2018).

Un estudio reciente acerca de la formación de postgrado en Biotecnología en Turquía (Gurkan & Kahraman, 2022) analizó 120 tesis de postgrado (55 de másteres y 65 de doctores), seleccionadas dentro de un conjunto de universidades turcas en el período 2000-2020, con la utilización de los términos de búsqueda “biotecnología”, “ingeniería genética”, “clonación/copia”, “organismos genéticamente modificados”, “ADN recombinante” y “genoma”. La mayor proporción (45.4 %) se relacionó con conceptos y aplicaciones generales de la Biotecnología, organismos genéticamente modificados (28 %) e ingeniería genética (13.4 %), para un total del 86.8 % en esas tres categorías, provenientes de varias carreras (Biología, Química, Ingenierías y Educación). Ese resultado demuestra que los programas de postgrado desarrollados en ese período no se actualizaron de forma sistemática para incorporar los nuevos avances de la Biotecnología, sobre todo aquellos con temas relacionados a la biomedicina y la biofarmacéutica.

Un ejemplo interesante de la organización de los cursos de másteres en Biotecnología con enfoque hacia la Biomedicina y la Biofarmacéutica se puede hallar en la Universidad Autónoma de Madrid-UAM (España) (Díaz-Nido & del Peso, 2010). La UAM adoptó un Programa de Biociencias Moleculares, que comprende tres menciones de maestría:

- a) Maestría en Biología Molecular y Celular, orientada hacia las investigaciones básicas en Biología Molecular de la Estructura de Proteínas, Biología Molecular de los Genes y la Biología Molecular de las Células.
- b) Maestría en Biomedicina Molecular, orientada hacia las investigaciones aplicadas en los estudios

en cáncer, enfermedades inmunes e inflamatorias, neurológicas, defectos congénitos del metabolismo, endocrinas y cardiovasculares.

- c) Maestría en Biotecnología, orientada hacia las aplicaciones industriales para el desarrollo de productos relacionados con la salud, la agricultura, el medio ambiente y, en general, la industria biotecnológica y nano-biotecnológica.

Todas las Maestrías incluyeron un módulo curricular inicial común, denominado “*Metodología de la Investigación en Biociencias Moleculares*”, enfocado hacia la adquisición de habilidades críticas relacionadas con bioseguridad, bioinformática y la comunicación científica, y culminan con la presentación de los resultados de una investigación desarrollada durante el transcurso de la maestría. Estos cursos han graduado anualmente alrededor de 50 másteres en cada una de las especialidades, con una elevada aceptación por parte de estudiantes y profesores.

La importancia y relevancia de la formación del capital humano para la Biotecnología depende también del contexto nacional y de la existencia de un sistema de gerencia del conocimiento acorde a políticas nacionales definidas. Cuando el contexto nacional no es favorable, o no existe dicho sistema gerencial, la formación de postgrado y el desarrollo del capital humano no se encuentra dentro de los objetivos principales del sistema productivo biotecnológico, como se muestra en un estudio reciente sobre la Biotecnología en Rumania (Zbucnea et al., 2019). Es decir, para que un programa de formación de postgrado en Biotecnología en cualquier IES dominicana tenga éxito, es necesario que este se articule con la política de Ciencia y Tecnología del Estado dominicano (Ley 139, 2001), sobre todo en los aspectos relacionados con la creación y fortalecimiento de la infraestructura productiva del sector, principal fuente empleadora de los egresados.

Sería muy importante estudiar la correlación existente entre la formación de postgrado en Biotecnología, presente y futura, con la demanda real del mercado laboral en República Dominicana, para

lo cual no existen datos que lo puedan sustentar. Un estudio realizado sobre esta correlación en el estado de Río de Janeiro (Brasil), en el período 2009-2013, demostró que entre cuatro (4) universi-

dades formaron 60 biotecnólogos (especialistas), 45 másteres y 35 doctores en Biotecnología, y que las capacidades ofertadas en dichos cursos solo fueron cubiertas al 45 % (Muñiz de Pádua et al., 2018).

**Tabla 1**

*Habilidades más demandadas por empresas empleadoras en Biotecnología*

Estados Unidos	Reino Unido
<b>Habilidades duras</b>	
Experiencia en desarrollo de productos	Experiencia en desarrollo de productos
Habilidad en técnicas de purificación	Habilidades en aseguramiento de calidad
Experiencia en desarrollo de procesos	Habilidades en control de calidad
Habilidades en control de calidad	Análisis de datos de secuenciación
Conocimiento amplio de ensayos <i>in vitro</i>	Habilidad en técnicas de purificación
Experiencia en desarrollo de ensayos	Conocimiento amplio de ensayos <i>in vitro</i>
Habilidades en aseguramiento de calidad	Reacción en cadena de polimerasa (PCR)
Reacción en cadena de polimerasa (PCR)	Descubrimiento de nuevos anticuerpos
Conocimiento de Buenas Prácticas de Lab.	Experiencia en desarrollo de ensayos
Análisis de datos de secuenciación	Técnicas de extracción de ADN/ARN
Descubrimiento de nuevos anticuerpos	Conocimiento de Buenas Prácticas de Lab.
HPLC (Cromatografía Líquida)	ELISA (Inmunoanálisis)
ELISA (Inmunoanálisis)	Detección selectiva por espectrom. Masas
Citometría de flujo	Conocimiento amplio de ensayos <i>in vivo</i>
<b>Habilidades blandas</b>	
Capacidad de trabajo en equipo	Capacidad de trabajo en equipo
Capacidades organizativas	Capacidades de comunicación
Capacidades de comunicación	Capacidades organizativas
Motivación	Motivación
Habilidades de análisis de datos	Manejo del tiempo
<b>Habilidades digitales</b>	
Herramientas de análisis de información biomédica	Herramientas de análisis de información biomédica
Ms Excel	Ms Excel
Phyton	Phyton
Sistema de gerencia de laboratorio (LIMS)	Sistema de gerencia de laboratorio (LIMS)
SQL	MatLab
MatLab	C++
Perl	SQL
Linux	PHP
Unix	Power Point
C++	Perl

*Nota.* Lavrynenko et al. (2018).

De manera significativa, solo el 17 % de los egresados de dichos cursos de postgrado consideraron que la formación brindada se correspondió con las necesidades del mercado laboral, mientras que casi el 50 % de los egresados consideraron que no se correspondió (13 %) o que dicha correspondencia era baja (33 %). Los principales empleadores de dichos graduados se encontraban en el sector público, principalmente en universidades y otras instituciones educativas, como profesores o investigadores. Es decir, la formación de postgrado no influyó, de forma significativa, en el sector productivo. El hallazgo más importante fue que no hubo una correlación entre las políticas de formación de postgrado y la política de expansión industrial auspiciada por el gobierno del Estado de Río de Janeiro, y que no existía correspondencia entre los diseños curriculares de dichos cursos y las demandas específicas del mercado industrial de la Biotecnología.

La Autoridad de Calificación de Sudáfrica (SAQA: *South African Qualifications Authority*) estableció en el 2010 los atributos que debían reunir los postgraduados de másteres en Biotecnología, requeridos por los empleadores de la industria biotecnológica sudafricana, que se reflejan en la Tabla 2 (Van Koller, 2010).

Uno de los logros alcanzados en la formación de postgrado en Sudáfrica ha sido la incorporación de los másteres y doctores en diversas ramas de las Ciencias al desarrollo de la Bioinformática, gracias al apoyo brindado por la financiación gubernamental para la creación de infraestructura y formación del capital humano en esa área de la Biotecnología (Mulder et al., 2016).

La formación de postgrado está unida, de manera insoluble, a la creación de capacidades de investiga-

ción en los estudiantes, lo que constituye una etapa de tránsito a partir de sus estudios de grado. Toda tesis de maestría o doctorado se inserta dentro de un proyecto de investigación, que debe reunir los atributos de rigor metodológico, ética científica y resultados experimentales que le permitan al estudiante demostrar las habilidades y competencias adquiridas durante sus estudios. Por lo tanto, es un requisito imprescindible que los contenidos teóricos se combinen con las actividades experimentales de investigación, propias del campo de la Biotecnología (Liu et al., 2021). Finalmente, el grado superlativo de la formación del postgraduado en Biotecnología, es decir, su capacidad de innovar y generar nuevos conocimientos, se debe medir por la actividad inventiva, cuyo indicador es la generación de una patente. Esta capacidad inventiva depende del área de la Biotecnología donde el futuro máster o doctor ha desarrollado su actividad, tal como se refleja en la Tabla 3 (Barragán-Ocaña et al., 2020). El 37.8 % de las patentes biotecnológicas publicadas por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) pertenecen a la clasificación de procesos de fermentación o enzimáticos para la síntesis de un compuesto químico, una mezcla de composición definida o la separación de isómeros ópticos de una mezcla racémica, mientras que el 32.1 % son de la clasificación de composición de medios de cultivo para la propagación, preservación o el mantenimiento de nuevos microorganismos, mutantes o ingeniería genética. Es decir, casi el 70 % de la actividad innovadora de la Biotecnología, con relación al número de patentes publicadas, se concentran en estas dos áreas de la disciplina. Fuera de esas dos áreas, la posibilidad de generar una patente es menor del 6 %.

**Tabla 2***Competencias genéricas y disciplinarias de los graduados en cursos de másteres en Biotecnología (Sudáfrica)*

Competencias genéricas	Competencias disciplinarias
Demostrar las habilidades para la solución de problemas con el uso de las habilidades especializadas para identificar, diseñar y conceptualizar.	Demostrar una capacidad del conocimiento adquirido en el entendimiento de teorías, metodologías de investigación, técnicas y métodos relevantes, disciplina y la capacidad de aplicar ese conocimiento en un contexto particular.
Capacidad de implementar métodos de búsqueda para la solución de problemas complejos que significan un reto dentro de su área de especialización.	Capacidad de involucrarse y criticar investigaciones y prácticas de investigación de manera específica, para alcanzar una formación de máster en Biotecnología.
Capacidad para entender las consecuencias de las soluciones o ideas generadas dentro del contexto de su especialidad.	Capacidad de integrar el conocimiento de diversas fuentes de información en un área específica de especialización.
Habilidades para diseñar e implementar una estrategia para el manejo y procesamiento de la información.	Evaluar los procesos de producción de conocimiento en su área de especialización.
Habilidades para utilizar los recursos académicos y profesionales a su alcance, para comunicar y defender ideas y resultados del producto de su trabajo de investigación.	Seleccionar el proceso más apropiado de búsqueda del conocimiento en su área de especialización.
Demostrar las capacidades para comunicarse con auditorios diversos en cuanto al nivel de experiencia y conocimiento en su campo.	Capacidad para entender las complejidades e incertidumbres en la selección, aplicación y transferencia de procedimientos estandarizados, técnicas y procesos de problemas no comunes en su área de especialización.
Habilidades para realizar intervenciones al nivel apropiado, sobre la base de las relaciones jerárquicas, y la capacidad de abordar las consecuencias de sus intervenciones.	Demostrar las habilidades para diseñar, seleccionar y aplicar técnicas, métodos, procesos o tecnologías para la solución de problemas complejos, teóricos y prácticos.
Capacidad de interactuar efectivamente dentro de un grupo profesional de trabajo.	
Capacidad de gerencia del aprendizaje para desarrollar sus propias estrategias profesionales de una manera independiente y asumir la responsabilidad de los resultados de su trabajo.	

*Nota.* Van Koller (2010).

**Tabla 3***Patentes aplicadas a la Biotecnología publicadas por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) en el período 2010-2019*

Código	Cantidad de patentes (%)	Clasificación
C12P	735 (37.8)	Procesos de fermentación o enzimáticos para la síntesis de un compuesto químico, una mezcla de composición definida o la separación de isómeros ópticos de una mezcla racémica
C12N	623 (32.1)	Composición de medios de cultivo para la propagación, preservación o el mantenimiento de nuevos microorganismos, mutantes o ingeniería genética
C12M	114 (5.9)	Aparatos para la microbiología o la enzimología
C07C	82 (4.2)	Compuestos acíclicos o carbocíclicos
A61K	81 (4.2)	Preparaciones para usos médicos, dentales o cosméticos
C12R	78 (4.0)	Esquemas de clasificación asociados con subclases relacionadas con microorganismos
C02F	76 (3.9)	Tratamiento de aguas, aguas residuales y lodos
C07K	54 (2.8)	Péptidos
B01D	51 (2.6)	Métodos de separación
C07H	47 (2.4)	Azúcares y sus derivados, nucleósidos, nucleótidos y ácidos nucleicos

*Nota.* Barragán-Ocaña et al. (2020).

## **La investigación científica en Biotecnología. Caso República Dominicana**

La República Dominicana ha creado una masa crítica de investigadores desde la creación del FONDOCYT en el año 2005. En la actualidad, existen más de 800 investigadores principales y coinvestigadores que han trabajado en más de 400 proyectos de investigaciones científicas, de los cuales más del 10 % ostentan el grado de Doctor en Ciencias (PhD) (Gómez Ramírez et al., 2019). Estos proyectos han generado resultados importantes para el país, que se han traducido en publicaciones en revistas científicas, tanto nacionales como internacionales, y se han presentado en reuniones y eventos científicos. Sin embargo, esto aún resulta insuficiente en términos de la formación de recursos humanos para la investigación científica, cuando se toman en cuenta los indicadores trazados en el PECYT 2008-2018 (SEESCYT, 2008). El porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) que dedica el país a la I+D es del 0.01 %, uno de los más bajos de América Latina y el Caribe, y lejos aún del 0.5 % estimado en el PECYT para ser alcanzado en el año 2018, según se puede apreciar en la Tabla 4 (RICYT, 2021). La mayor causa de este bajo porcentaje es la escasa financiación del sector productivo privado a la I+D, sin lo cual no es posible traducir la investigación en desarrollo y la generación de nuevos productos. Ese constituye el primer reto y la gran oportunidad para promover el desarrollo científico-tecnológico en un país que, básicamente, depende de los productos primarios para sus exportaciones. El incremento de las capacidades de exportación de la República Dominicana requiere de un flujo de caja sostenido, en términos de la inversión en I+D de ambos sectores, público y privado.

Quizás el reto y la oportunidad más importante de desarrollo de República Dominicana será traducir la capacidad investigativa que ha sido creada en una fuerza de desarrollo de productos innovadores, con un alto valor agregado. Para ello, se requiere fortalecer la protección de los derechos de propiedad industrial, mediante la presentación de patentes y otras formas de protección, antes de publicar los resul-

tados en revistas científicas, que le permita a las IES y empresas dominicanas disponer de un activo intangible, que hasta la fecha no ha sido explotado (véase coeficiente de invención de la República Dominicana en la Tabla 4). En el caso particular de las investigaciones en Biotecnología en República Dominicana, se han desarrollado 123 proyectos, según se puede apreciar en la Tabla 5 (FONDOCYT, s. f.).

El desglose de estos 123 proyectos por las diferentes áreas de la Biotecnología es el siguiente, de acuerdo a la clasificación de la OMPI mencionada con anterioridad, con relación a la capacidad inventiva:

1. Procesos de fermentación o enzimáticos para la síntesis de un compuesto químico, una mezcla de composición definida o la separación de isómeros ópticos de una mezcla racémica: 25 proyectos (20.3 %)
2. Composición de medios de cultivo para la propagación, preservación o el mantenimiento de nuevos microorganismos, mutantes o ingeniería genética: 57 proyectos (46.3 %), de los cuales la mayor proporción (49 proyectos) se relaciona con el área de la Biotecnología Vegetal.
3. Aparatos para la microbiología o la enzimología: cinco proyectos (4.1 %)
4. Compuestos acíclicos o carbocíclicos: un proyecto (0.8 %)
5. Preparaciones para usos médicos, dentales o cosméticos: tres proyectos (2.4 %)
6. Esquemas de clasificación asociados con subclases relacionadas con micro-organismos: nueve proyectos (7.3 %)
7. Tratamiento de aguas, aguas residuales y lodos: dos proyectos (1,6 %)
8. Péptidos: un proyecto (0.8 %)
9. Azúcares y sus derivados, nucleósidos, nucleótidos y ácidos nucleicos: dos proyectos (1,6 %).

Las IES dominicanas, salvo alguna excepción, no tienen en su oferta académica la formación de biotecnólogos, estas habilidades deben ser adquiridas

en programas de formación de postgrado (máster y/o doctor en Ciencias), cuya presencia es escasa en las ofertas de postgrado. Sin embargo, existe una marcada influencia al desarrollo de investigaciones en Biotecnología Vegetal, en lo cual han jugado un papel protagónico dos universidades (Universidad Autónoma de Santo Domingo-UASD y el Instituto Superior Agropecuario-ISA) y dos instituciones gubernamentales (Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria-IIBI y el Instituto Dominicano de Investigaciones Agroforestales-IDIAF). De estas cuatro instituciones, solo el ISA cuenta con un plan de formación de postgrado (Maestría en Biotecnología Vegetal) (Universidad-ISA, s. f.). En la actualidad, no existe ningún plan de formación para doctores en Biotecnología (o alguna de sus áreas relacionadas) en ninguna universidad dominicana. Los profesionales con grado doctoral (Ph. D.) en Biotecnología que trabajan en el país han sido formados en universidades extranjeras, mediante acuerdos de colaboración (MESCyT, 2021).

Uno de los sectores donde quizás sea posible cambiar la situación antes descrita es el de la industria biofarmacéutica y el desarrollo de productos y equipos biomédicos, en lo cual deberían jugar un papel protagónico las IES dominicanas con mayor tradición en sus Escuelas o Facultades de Medicina, mediante planes de formación postgraduada como el descrito con anterioridad de la Universidad Autónoma de Madrid (Díaz-Nido & del Peso, 2010). Solo una IES dominicana (Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra - PUCMM) oferta la Maestría en Investigación Biomédica, con un enfoque dinámico, que la sitúa a la vanguardia en este campo de la Biotecnología en República Dominicana (Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, s. f.). La creciente demanda del sector salud ha hecho que el sector farmacéutico haya mostrado un notable incremento de sus ventas en el mercado nacional, además de algunas acciones puntuales exitosas de exportación, dentro de un mercado internacional muy competitivo. Actualmente, la producción de equipos y dispositivos médicos en las zonas francas de República Dominicana es el sector que aporta el mayor porcentaje a las exportaciones de estas zonas

(Consejo Nacional de Zonas Francas de Exportación, s. f.). Las soluciones innovadoras en el sector biofarmacéutico dependen, fundamentalmente, de la actividad de investigación-desarrollo (I+D) y de la adopción de modelos de negocios con las universidades y otros sectores (públicos y privados), que permitan incrementar la competitividad mediante nuevos productos de alto valor agregado (Núñez Sellés, 2014). Un ejemplo: más del 60 % de los ensayos clínicos de los productos de las grandes compañías farmacéuticas internacionales se realizan fuera del país donde radican, pero solo el 3 % de ellos (9,250 ensayos) se llevan a cabo en países de América Latina (National Institute of Health, 2021). Esta tendencia de las grandes empresas farmacéuticas ha incrementado el número de investigadores clínicos registrados por la Agencia Federal del Medicamento de los Estados Unidos (FDA: *Food and Drug Administration*) en los países latinoamericanos, lo que ha permitido, de forma indirecta, aumentar la calidad de los servicios médicos y aportar recursos de alta tecnología a los hospitales donde se llevan a cabo dichos ensayos clínicos. República Dominicana tiene la oportunidad de entrar en las fases de desarrollo clínico, tanto de medicamentos desarrollados por laboratorios farmacéuticos nacionales, como de las grandes farmacéuticas transnacionales, campo que no ha sido explotado. Los sitios de investigación clínica para ensayos fase I son, prácticamente, inexistentes y el número de agencias de investigación por contrato en cualquier rama de las Ciencias es muy reducido. Esta situación, no permite colocar a República Dominicana entre los países a ser elegidos con preferencia por las empresas transnacionales para la realización de ensayos clínicos u otro tipo de investigación científica. Contar con una dotación de másteres y doctores en Biotecnología debería significar un estímulo efectivo para la puesta en marcha y soporte de un plan para la creación de sitios de investigación clínica, de la amplitud y diversidad que fueran necesarias, con asiento primordialmente en las universidades y hospitales, así como para la determinación de incentivos a entidades particulares que fomenten la generación de conocimiento a través de la investigación biotecnológica.

**Tabla 4**

*Indicadores de I+D en América Latina (publicaciones de acuerdo al Science Citation Index (SCI) y patentes otorgadas en 2018)*

<b>País</b>	<b>Publicaciones en SCI</b>	<b>Índice/habitante</b>	<b>% crecimiento*</b>	<b>Patentes otorgadas**</b>	<b>Coficiente de invención</b>	<b>% PIB para I+D***</b>
Argentina	12,413	27.9	39.8	1,524	0.99	0.46
Barbados	102	35.7	13.3	-	-	-
Bolivia	238	3.2	0	63	0.53	0.16
Brasil	59,744	28.6	52.8	5,647	3.55	1.16
Chile	11,733	62,5	106.9	1,490	2.31	0.34
Colombia	7,022	14.1	121.7	1,630	0.84	0.23
Costa Rica	918	18.4	90.5	235	0.68	0.39
Cuba	912	8,1	0	89	0.24	0.55
República Dominicana	170	1.6	98.7	158	0.21	0.01
Ecuador	2,034	11.9	155.7	17	0.17	0.44
Guatemala	320	1.9	164.4	29	0.10	0.03
Guyana	56	7.2	94.7	6	0.26	-
Haití	131	1.2	122	-	-	-
Honduras	135	1.5	77.6	85	0.16	0.04
Jamaica	260	9.5	0	2	0.51	0.34
México	19,522	9,7	76.4	8,264	1.03	0.28
Nicaragua	126	1,9	63.6	-	-	0.03
Panamá	604	14.5	33	133	0.80	0.15
Paraguay	245	3.5	30.8	28	0.22	0.14
Perú	2,320	7.2	194.4	713	0.42	0.16
El Salvador	105	1,25	363	73	0.19	0.17
Trinidad & Tobago	259	19.0	34.9	68	0.07	0.08
Uruguay	1,520	43.6	85.8	58	0.66	0.53
Venezuela	1,007	3.2	0	68	0.06	0.44
América Latina y el Caribe	111,344	17.4	144.1	22,661	1.64	0.56

*Nota.* \* Referido a publicaciones SCI en el año 2011. \*\*Otorgadas a residentes y no residentes. \*\*\*Último año reportado. Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT). *Indicadores (2021)*.

**Tabla 5**

*Los proyectos de investigación en Biotecnología de las Instituciones de Educación Superior dominicanas (FONDOCYT)*

IES	Área de la Biotecnología									Total
	Vegetal	Biomedicina	Alimentaria	Animal	Agroforest	Industrial	Bioenergía	Ambiental	Forense	
UASD	8	6	5	3	-	2	1	-	-	25
IIBI	21	5	6	1	-	-	2	-	-	35
ISA	11	-	-	2	4	1	-	-	-	18
INTEC	2	1	-	1	2	-	-	-	-	6
UTESA	-	6	-	-	-	-	-	-	-	6
UNEV	-	2	1	1	-	1	-	1	-	6
IDIAF	5	-	-	-	-	-	-	-	-	5
UNIBE	-	2	-	-	-	1	-	-	-	3
LOYOLA	1	-	-	-	-	-	1	1	-	3
UAFAM	1	-	-	-	1	-	-	-	-	2
CINBIOCLI	-	2	-	-	-	-	-	-	-	2
UCE	-	1	-	1	-	-	-	-	-	2
CEDAF	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
UNPHU	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
UFHEC	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
O&M	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
IOES	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
CEMADOJA	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
JBN	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
ALIMENTEC	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
Museo del Hombre	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
TOTALES	49	29	12	11	9	6	4	2	1	123

*Nota.* La ubicación de los proyectos en las ramas de la Biotecnología se realizó de acuerdo con las definiciones de la literatura (Orozco, 2019).

## Conclusiones

Las IES dominicanas, salvo alguna excepción, no ofertan programas de formación de postgrado (especialistas, másteres y doctores) en Biotecnología, lo cual está, probablemente, condicionado por factores tales como: I) la no existencia de una masa crítica de másteres y doctores en Ciencias (Ph. D.), no solo en Biotecnología sino, además, de las especialidades relacionadas cuya oferta académica en las IES dominicanas es escasa, II) la insuficiencia de la infraestructura de investigación científica y tecnológica que permita acometer los proyectos de investigación de importancia nacional, sobre todo en las áreas priorizadas por el PECYT (2008-2018); y III) la falta de financiamiento adecuado para la investigación científica vinculada a los programas de postgrado que permita la inserción de los estudiantes en el desarrollo de las actividades experimentales de sus tesis de maestría o doctorado. El impetuoso desarrollo de esta tecnología y la incorporación creciente de nuevos enfoques, técnicas y metodologías ha cambiado, de forma significativa, la formación de postgrado en Biotecnología que le permita su inserción dentro de la llamada era digital, por lo que ya se habla de biotecnólogos “digitales”. Según la experiencia de otros países, el diseño curricular de la formación de postgrado en las IES dominicanas debe responder a esta constante evolución de la Biotecnología, considerando tanto los aspectos genéricos que debe tener la formación de todo postgraduado, como aquellos aspectos disciplinarios que se encuentran en un movimiento constante. El impulso brindado por FONDOCYT a la investigación científica y biotecnológica en los últimos 15 años constituye un punto de partida para incrementar y fortalecer la masa crítica de especialistas, másteres y doctores en Biotecnología que se necesita, lo cual constituye el factor esencial para el desarrollo de la industria biotecnológica de República Dominicana. No obstante, este desarrollo científico-tecnológico se ha concentrado, en más del 80 % de los proyectos FONDOCYT, en el área de la

Biotecnología Vegetal, por lo que se requiere priorizar el desarrollo de proyectos de investigación en las áreas de Biotecnología Farmacéutica y Biomedicina, con énfasis particular en el desarrollo de la Bioinformática, como piedra angular de estas dos disciplinas de la Biotecnología.

## Agradecimientos

A los Dres. Plácido Gómez Ramírez y Rodolfo Núñez Musa, por el tiempo dedicado a la revisión del manuscrito y sus valiosas opiniones.

## Referencias

- Aghmiuni, S. K., Siyal, S., Wang, Q. & Duan, Y. (2020). Assessment of factors affecting innovation policy in biotechnology. *Journal of Innovation & Knowledge*, 5(3), 180-190. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.10.002>
- Barragán-Ocaña, A., Silva-Borjas, P., Olmos-Peña, S., & Polanco-Olguín, M. (2020). Biotechnology and bioprocesses: Their contribution to sustainability. *Processes*, 8(4), 436. <https://doi.org/10.3390/pr8040436>.
- Bikard, M., Vakili, K., & Teodoridis, F. (2019). When collaboration bridges institutions: The impact of university–industry collaboration on academic productivity. *Organization Science*, 30(2), 426-445. <https://doi.org/10.1287/orsc.2018.1235>
- Broekel, T., & Boschma, R. (2011) The cognitive and geographical composition of ego-networks of firms—and how they impact on their innovation performance. *Papers in Evolutionary Economic Geography*, 11, 18. <http://econ.geo.uu.nl/peeg/peeg1118.pdf>
- Consejo Nacional de Zonas Francas de Exportación (s. f.). <https://www.cnzfe.gob.do/transparencia/index.php/datos-abiertos/category/640-estadisticas-de-la-evolucion-de-los-sectores-electricos-y-electronicos-dispositivos-medicos-y-farmaceuticos-calzados-call-centers-joyeria-tabaco-textil-2003-2021>

- Díaz-Nido, J., & Del Peso, L. (2010). The new postgraduate studies in molecular biosciences and biotechnology at the “Universidad Autónoma de Madrid”. En *ICERI2010 Proceedings*, (pp. 757-766). IATED.
- FONDOCYT. (s. f.). Base de Datos de Proyectos FONDOCYT. <https://mescyt.gob.do/programas/fondocyt/>
- Fossey, A. (2012). Conceptualising postgraduate training in biotechnology at universities of technology. *South African Journal of Higher Education*, 26(2), 358-371. <https://hdl.handle.net/10520/EJC123983>.
- Gómez Ramírez, P. F., Incháustegui, S. J., & Rodríguez Peña, C. M. (2019). *Apuntes sobre Ciencia e Investigación Científica en República Dominicana: Génesis y Evolución del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCYT) 1998-2018*. Santo Domingo, MESCYT. ISBN 978-9945-9201-1-6.
- Gurkan, G., & Kahraman, S. (2022). Trends of postgraduate theses conducted in the field of science education in biotechnological concepts in Turkey for the last 20 years: A content analysis. *Burtin UNIVERSITY Journal of Faculty of Education*, 11(2), 307-327. <https://doi.org/10.14686/buefad.938293>
- Lavrynenko, A., Shmatko, N., & Meissner, D. (2018). Managing skills for open innovation: the case of biotechnology. *Management Decision*. <https://doi.org/10.1108/MD-04-2017-0301>. [www.emeraldinsight.com/0025-1747.html](http://www.emeraldinsight.com/0025-1747.html)
- Ley 139 (2001). Se crea el Sistema Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología, y la Secretaría de Estado de Educación Superior, Ciencia y Tecnología. 13 de agosto de 2001. G. O. No. 10097.
- Liu, X. Y., Wang, X., Jia, S., Li, T., Zhang, Y., Lu, C., Wen, H., Jin, H., Hui, Z., Qing, D., Hou, C., Liu, Y., Li, D., & Wang, Y. F. (2021). LEPPA: A teaching modality of biotechnology course for postgraduate students in biomedical majors. *Innovations in Education and Teaching International*, 1-11. <https://doi.org/10.1080/14703297.2021.1997783>
- Massabni, A. C., & da Silva, G. J. (2019). Biotechnology and Industry 4.0: The professionals of the future. *International Journal of Advanced Medical Biotechnology*, 2(2), 45-53. <https://doi.org/10.25061/2595-3931/IJAMB/2019.v2i2.39>
- MESCyT. (2021). Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT). Dirección de Estadísticas. <https://mescyt.gob.do/transparencia/estadisticas-institucionales/>
- Mulder, N. J., Christoffels, A., De Oliveira, T., Gamielien, J., Hazelhurst, S., Joubert, F., Kumuthini, J., Pillay, C.S., Snoep, J. L., & Tiffin, N. (2016). The development of computational biology in South Africa: Successes achieved and lessons learnt. *PLoS Computational Biology*, 12(2), e1004395. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004395>
- Muñiz de Pádua, V. L., Uziel, D., Folly, E., Reinert, F., Stephens, P. R. S., Queiroz, R.A., Silva Gomes, C. V., Paes, M., Alves Baptista, T., Salerno, A. P., & Cavalcanti, A. M. (2018). Human resources in biotechnology: Institutions, training and employment market in the state of Rio de Janeiro. *Sinergia (São Paulo)*, 19(2), 126-134. <https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/sinergia/article/view/303>
- National Institute of Health. (2021). *Clinical Trials Data Base*. <https://www.clinicaltrials.gov>
- Nielsen, J. A. (2012). Science in Discussion: An analysis of the use of science content in socio-scientific discussions. *Science Education*, 96(3), 428-456. <https://doi.org/10.1002/sce.21001>
- Núñez Sellés, A. J. (2014). Pharma R&D in Latin America. *Pharmaceutical Policy & Law* 16, 267-275. <https://doi.org/10.3233/PPL-140382>
- Orozco-Ugarriza, M. E. (2019). Reflexiones sobre la Biotecnología en Colombia. *RIADS: Revistas de Investigación Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 4(1), 7-8. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/riads/article/view/2011>

- Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM). (s. f.). *Maestría en Investigación Biomédica*. <https://www.pucmm.edu.do/postgrado/Paginas/Biom%C3%A9dica.aspx>
- RICYT. (2021). Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (2021). *Indicadores (2021)*. <http://www.ricyt.org/category/indicadores/>
- Roesler, C., & Broekel, T. (2017). The role of universities in a network of subsidized R&D collaboration: The case of the biotechnology-industry in Germany. *Review on Regional Research*, 37(2), 135-160. <https://doi.org/10.1007/s10037-017-0118-7>
- Rothaermel, F. T., & Deeds, D. L. (2006). Alliance type, alliance experience and alliance management capability in high-technology ventures. *Journal of Business Venturing*, 21(4), 429-460. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2005.02.006>
- SEESCYT. (2008). Secretaría de Estado de Educación Superior, Ciencia y Tecnología. *Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2018: Construyendo la economía del conocimiento y la innovación en la República Dominicana*. Editora Alfa y Omega. <https://www.intec.edu.do/downloads/documents/institucionales/planes/plan-estregico-seescyt-web.pdf>
- Stuart, T. E., Ozdemir, S. Z., & Ding, W. W. (2007). Vertical alliance networks: The case of university–biotechnology–pharmaceutical alliance chains. *Research Policy*, 36(4), 477-498. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.016>
- UNESCO. (2022). <https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>
- Universidad Instituto Superior Agropecuario (ISA). (s. f.). *Maestría en Biotecnología*. <http://isa.edu.do/es/programas-de-estudio/maestrias-y-especialidades/maestrias/maestria-en-biotecnologia>
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Industry 4.0: Managing the digital transformation. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- Van Koller, J. F. (2010). The Higher Education Qualifications Framework: A review of its implications for curricula. *South African Journal of Higher Education*, 24(1), 157-174. <https://journals.co.za/doi/pdf/10.10520/EJC37585>
- World Economic Forum. (2021). The future of jobs employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Future\\_of\\_Jobs.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf)
- Zbucnea, A., Pinzaru, F., Busu, M., Stan, S. O., & Bârgăoanu, A. (2019). Sustainable knowledge management and its impact on the performances of biotechnology organizations. *Sustainability*, 11(2), 359. <https://doi.org/10.3390/su11020359>