

Capítulo 11

Diagnóstico estratégico de la Ingeniería en Sistemas Biológicos del CUSUR

Dr. Jorge Enrique Pliego Sandoval.

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE20259983>



Introducción

La ciencia y tecnología ha tenido un importante avance a nivel mundial; con respecto a los sistemas biológicos, este avance se evidencia con respecto a la investigación y desarrollo de edición genética, investigación y terapia de cáncer (Zhan et al., 2019), producción de proteínas recombinantes mediante insectos (Alvarado-Madrigal et al., 2019), microchips que imitan el cerebro humano (Torres Darías, 2011) y otras investigaciones. Estos ejemplos reflejan el progreso significativo en la investigación y desarrollo de la biotecnología aplicada a sistemas biológicos.

En este sentido surge el concepto de *biología de sistemas*, el cual estudia la organización y la función biológica desde un enfoque biotecnológico. La biología de sistemas investiga las relaciones que se dan entre los componentes estructurales del sistema biológico (e.g., la célula) y su función, las características de las interacciones que se dan entre los distintos sistemas que permiten al conjunto desarrollar y mantener niveles superiores de organización estructural y función.

Su aplicación abarca diversas áreas como la biotecnología, la bioingeniería, la biomedicina, la agricultura, el medio ambiente y la producción de alimentos (Torres Darías, 2011). En este sentido, en enero del 2015 el Centro Universitario del Sur (CUSUR) de la Universidad de Guadalajara (UDEG) empezó a trabajar para crear el programa educativo de Ingeniería en Sistemas Biológicos, lo cual quedó de manifiesto en el dictamen de Consejo General Universitario (CGU) en julio del 2016 (I/2016/093) (UdeG, 2016).

En el desarrollo del programa se han obtenido importantes logros académicos, entre los que se destaca la acreditación del programa de Ingeniería en Sistemas Biológicos por parte del Consejo para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES), con una vigencia de cinco años, desde julio de 2023 hasta agosto de 2028.

En este sentido, la Ing. en Sistemas Biológicos es clave para el cumplimiento del Plan de Desarrollo CUSUR 2019-2025, ya que promueve

la innovación, el desarrollo sustentable y la vinculación con sectores estratégicos. Su enfoque en la biotecnología, la sostenibilidad y la transferencia de tecnología refuerza la misión del CUSUR de contribuir al desarrollo regional mediante la educación, la investigación y la aplicación del conocimiento (Plan de Desarrollo CUSUR, 2019).

En este contexto, el presente capítulo de libro se centra en una reseña histórica e de importancia de la Ingeniería en Sistemas Biológicos, desde una naturaleza de la innovación y el desarrollo sostenible.

Justificación

El programa de Ing. en Sistemas Biológicos es un programa clave para el desarrollo de la región, el estado, el país y a nivel internacional, ya que denota una perspectiva de formar profesionales con capacidades científico-tecnológicas hacia el área de biomedicina, bioindustrial y ambiental, lo que se hace evidente con los diferentes investigadores con los que colaboran estudiantes en el CUSUR.

Desde esta perspectiva se han generado más de 52 con temáticas como diabetes, cáncer, artritis, sobrepeso, obesidad y VPH. Con respecto al área bioindustrial y ambiental, se resaltan las tesis y artículos con las temáticas de biocontrol de plagas, biorremediación microbiana y enzimática, identificación de microorganismos patógenos en alimentos y cultivo in vitro.

Así pues se forman ingenieros con diferentes aptitudes que son apreciadas por instituciones y centros de investigación, entre los que podemos mencionar al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), Centro de Investigación Tecnológica del Estado de Jalisco (CIATEJ), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. (Cibnor) y la propia Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y empresas como Laboratorio de Análisis Clínico, empresas como Driscoll's, Bio Pappel, Ingenio Tamazula, BerryMex, CENEBA Sigma Alimentos, entre otras.

La carrera tiene un impacto significativo en las empresas del sector biotecnológico, abarcando las áreas biomédica, bioindustrial y am-

biental. A través de prácticas profesionales, desarrollo de proyectos en biotecnología y sistemas biológicos, servicio social y la integración de los egresados al campo laboral, el programa educativo contribuye al desarrollo regional.

Su influencia se extiende principalmente a la región sur de Jalisco, que comprende 28 municipios, entre ellos Zapotlán el Grande, Sayula, Tamazula, Tuxpan y Gómez Farías. Además, también atiende a estudiantes de diversas localidades del estado y de otros estados del país, como Michoacán, Colima, Nayarit, Guanajuato y Baja California Sur, los cuales se detallan a continuación.

Contenido

El papel de la biotecnología en la ciencia y la tecnología global

La ciencia y tecnología a nivel mundial ha tenido un importante avance; solo entre el 2014 y el 2018, el personal de la investigación aumentó a un ritmo tres veces más rápido (+13.7 %) que el crecimiento de la población mundial (+4.6 %) (Koopman, 2019).

Con respecto a la investigación y desarrollo en biotecnología, se observó un aumento del 0.9 % en el año 2020 con 2.059 millones de euros. La biotecnología se refiere a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos (Andrea Ortega-Ante, 2020).

Para entender el valor exponencial de esta nueva revolución biotecnológica, es posible mencionar algunos datos. Secuenciar un genoma humano en 2006 costaba 100 millones de dólares (USA); hoy se puede hacer por \$200 dólares (USA) (Amparo, 2022).

Producir una semilla de arroz resistente a inundaciones le tomó 10 años y \$1000 millones a la Universidad de California Davis en Estados Unidos; lograr soja resistente a herbicidas requirió 10 años de trabajo a Embrapa en Brasil y desarrollar soja resistente a sequía y salinidad le tomó 12 años a Bioceres en Argentina (Rafael Anta, 2020).

Hoy, con las técnicas de edición genética de precisión como CRISPR Cas y *prime editing*, se estima que los tiempos y costos asociados al desarrollo de esas semillas se reducirían en un 75 % (Jiménez, 2019).

Con estos avances, está emergiendo una nueva generación de bioindustrias: agricultura celular para la producción de carne sin animales (Jahir et al., 2023), fabricación de órganos y tejidos humanos para trasplantes (Boopathi y Kumar, 2024), bioplásticos y biomateriales para el embalaje y la construcción (Gbadeyan y Deenadayalu, 2024).

Así como bacterias sintéticas para limpiar la contaminación del suelo, agua y aire (Jahir et al., 2023); microalgas para la fijación de CO₂ (Cobos-Murcia y Cruz-Ortiz, 2025), uso de programas bioinformáticos, de modelación matemática y de simulación, que a partir de las bases de datos generadas por ciertas tecnologías pueden establecer modelos computacionales predictivos de los sistemas biológicos (Merelli et al., 2007).

Así mismo, describir una red de entidades interconectadas permite predecir cómo se comportará en un escenario dado y, sin duda, eso es vital para comprender el pasado, presente y futuro de la sociedad humana a nivel climático y de biopatología, entre otros muchos factores (Evolución Genesis y Evolución de la Bioingeniería y Fuentes, 2004).

El contexto de la Ingeniería en Sistemas Biológicos

Las actividades antes planteadas impulsan la economía, íntimamente ligada a los conceptos de economía verde y economía circular, e implican que debemos ser capaces de vivir dentro de los límites de lo que el planeta puede proporcionar y preservar para las generaciones futuras por medio de un desarrollo sostenible.

Para ello, más de 700 institutos de investigación a nivel mundial están trabajando en proyectos de bioeconomía, con fondos de más de 2000 millones de euros. La estrategia de bioeconomía, en países de primer mundo, forma parte de su política industrial para convertirse en líderes de base biológica (Anta, 2020).

De acuerdo con Morales y Amaro (Morales, 2019), la actividad conjunta de diversas Instituciones de Educación Superior (IES), principalmente

Universidades públicas y centros de investigación, ha dinamizado excepcionalmente el campo de la biotecnología en México a nivel académico (capacidades científicas y tecnológicas).

Muchas IES en México destacan por su compromiso académico y social por incluir la biotecnología en sus programas académicos (ver Tabla 1).

Tabla 1

Carreras de biotecnología y un enfoque de sistemas biológicos (IPN, 2025; ITESM, 2025; MIT, 2025; Stanford University, 2025; UAM, 2025; University of Cambridge, 2025).

Nombre de la Carrera	Universidad de Origen	Perspectiva del programa	Referencia
Science in Biological Engineering	Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	Análisis cuantitativo basado en la ingeniería, el diseño y la síntesis en el estudio de la biología moderna desde el nivel molecular hasta el nivel de sistemas.	(MIT, 2025)
Bioengineering or Biomedical Computation	Universidad de Stanford	La especialización en Bioingeniería (BioE) permite a los estudiantes adoptar la biología como un nuevo paradigma de ingeniería y aplicar los principios de la ingeniería a los problemas médicos y a los sistemas biológicos.	(Stanford University, 2025)
Life Sciences Bioengineering	Universidad de Cambridge	Programas de Grado en Ciencias de la Vida Bioingeniería Un estudiante de bioingeniería aprende los diversos principios de la ingeniería en su relación con la biología y la biomedicina.	(University of Cambridge, 2025)
Ingeniería Biotecnológica	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	Diseñar, desarrollar, operar y optimizar bioprocesos para la producción y recuperación de productos biotecnológicos.	(IPN, 2025)

Nombre de la Carrera	Universidad de Origen	Perspectiva del programa	Referencia
Ingeniería Biotecnológica	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	Diseñar, desarrollar, operar y optimizar bioprocesos para la producción y recuperación de productos biotecnológicos.	(IPN, 2025)
Ingeniería en Biotecnología	T e c n o l ó g i c o de Monterrey (ITESM)	Disciplina de la ciencia más trascendentes e importantes que existen, ya que está basada en la aplicación de la tecnología en procesos que utilizan sistemas biológicos y organismos vivos para innovar en una amplia gama de industrias, como la farmacéutica, la ambiental, la de alimentos, la de salud, la energética, entre otras.	(ITESM, 2025)

Desde hace más de dos siglos, en Jalisco se creó la UDEG con la finalidad de atender la demanda educativa, por medio de una institución benemérita, pública, laica y autónoma, con compromiso social y vocación internacional, que promueve la investigación científica y tecnológica.

La UDEG es una institución pública de educación media superior y superior, la segunda Universidad más antigua de México, decimoséptima de América del Norte y decimocuarta de América Latina. Desde 1994, opera a través de un modelo de red para organizar sus actividades académicas en todo el estado de Jalisco.

La Red Universitaria está integrada por 17 centros universitarios, un Sistema de Educación Media Superior y la Administración General de la institución.

De esta manera, la UDEG, a través de CUSUR, ha contribuido al desarrollo económico, social y cultural del sur del Estado, generando aportes en los ámbitos antes mencionados.

El CUSUR ha preparado a una gran cantidad de técnicos, profesionales, humanistas y científicos, que buscan cubrir las demandas de esta región geográfica y que fomentan simultáneamente la construcción de una ciudadanía crítica, fortaleciendo con ello el ecosistema social del que forma parte.

En este contexto, en enero de 2015, el CUSUR inició la gestión para la creación del programa educativo de Ingeniería en Sistemas Biológicos. Este proceso se formalizó mediante el dictámen Núm. I/2016/093 del CGU en julio de 2016, en colaboración con el Centro Universitario de los Valles en Ameca.

Así, el programa busca ofrecer a la sociedad una amplia diversidad de servicios relacionados con el análisis de problemas asociados a diferentes sistemas vivientes mediante el uso de la biotecnología, formando recursos humanos especializados con conocimientos en tecnología genómica, proteómica, metabolómica y computacional, capaces de construir y analizar sistemas biológicos, que permitan generar herramientas de diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades de distintos organismos, así como para la síntesis de compuestos de valor para la industria, diseño de materiales, desarrollo de nuevos dispositivos, procesos y sustentabilidad ambiental.

Desarrollo de la Ingeniería en Sistemas Biológicos: Enfoque en profesores y estudiantes

Muchos profesores e investigadores han sido clave en la creación y mantenimiento del programa en los primeros años de su formación. Entre los cuales se puede mencionar a la Dra. Laura Elena Iñiguez Muñoz, la Dra. María Luisa Pita López, la Dra. Zyanya Reyes Castillo, la Dra. Jessica del Pilar Ramírez Anaya y la Dra. Nelly Margarita Macías Gómez, el Dr. Jorge Enrique Pliego Sandoval, el Mtro. David Cruz Cruz, el Dr. Francisco Ochoa Cárdenas y el Dr. Luis Alberto Reyes Nava, entre otros.

Su dedicación y experiencia han sido esenciales para el éxito continuo del programa, garantizando la calidad académica y la formación integral de los estudiantes, lo que ha contribuido de manera significativa a la consolidación y reconocimiento del programa de Ingeniería en Sistemas Biológicos en el ámbito educativo.

El programa educativo de la Ingeniería en Sistemas Biológicos está diseñado principalmente para el estudio y la aplicación de tecnología en medicina molecular, biología sintética, recursos naturales, medio ambiente y bioenergía. Este programa incluye asignaturas en biología celular y molecular, informática, modelado y, además, tópicos para la comprensión de sistemas y sus interacciones a diferentes niveles jerárquicos.

También incluye el estudio de herramientas bioinformáticas como el desarrollo de lenguaje computacional para representar procesos biológicos, para la comunicación de redes y modelos de intercambio y simulación, además de la construcción, edición y mantenimiento de bases de datos comunes en biología (GenBank y Protein Data Bank).

Por lo tanto, el programa busca formar ingenieros e ingenieras en sistemas biológicos con conocimientos de ingeniería para el estudio y fabricación de Sistemas biológicos con propiedades útiles y novedosas.

Desde este enfoque, el Ingeniero en Sistemas Biológicos debe ser un profesional interdisciplinario con un dominio profundo de los principios de estructura y dinámica de los sistemas biológicos, entendimiento y aplicación de herramientas avanzadas como la genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica.

Estas tecnologías le permitirán diseñar, modificar y fabricar sistemas biológicos con un enfoque de ingeniería de precisión, aprovechando el poder de la inteligencia artificial, la simulación avanzada, los gemelos digitales y el modelado computacional, optimizando procesos sin depender del ensayo y error tradicional (García, 2024).

En cuanto a los logros académicos, se destaca la aprobación de la opción de titulación mediante el Examen General para el Egreso de la Licenciatura en Biología (EGEL-Biología) y la titulación de al menos 4 estudiantes por esta opción de titulación.

Además, un logro significativo ha sido la acreditación del programa de Ingeniería en Sistemas Biológicos por parte del Consejo para la Evaluación de la Educación Superior (CIEES), con una vigencia de cinco años, desde julio de 2023 hasta agosto de 2028. Estos hitos subrayan el compromiso del CUSUR con la calidad académica.

Así pues, los estudiantes de la carrera destacan por los trabajos relacionados con el área biomédica con temáticas como diabetes, cáncer,

artritis, sobrepeso, obesidad y adicciones, en los cuales han egresado ingenieros con diferentes aptitudes, que son apreciadas por instituciones y centros de investigación, entre los que podemos mencionar al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), al Centro de Investigación Tecnológica del Estado de Jalisco (CIATEJ) y la propia Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Cabe resaltar que muchos de los egresados han sido empleados en diversas áreas de la región, ya sea en el ramo agrícola, en la parte de investigación o en áreas de análisis clínico, donde se aplican técnicas de biología y marcadores moleculares para detección de enfermedades. Las mismas habilidades han sido aplicadas en el laboratorio de biotecnología biomédica para la detección de enfermedades emergentes como COVID-19, dengue, influenza, entre otras (Tovar, 2020).

Con respecto al área bioindustrial y ambiental, se resaltan estudiantes que han generado tesis con las temáticas de biocontrol de plagas, biorremediación microbiana y enzimática, identificación de microorganismos patógenos en alimentos y cultivo *in vitro*.

De forma específica, el programa educativo de Ingeniería en Sistemas Biológicos del CUSUR ha demostrado su excelencia a través de destacados estudiantes que han contribuido significativamente a diversas áreas de investigación.

Patricia Magaña Cuevas sobresalió al realizar un estudio pionero en la determinación cristalográfica de una cicloglucanotransferasa de tres dominios, revelando hallazgos innovadores en los dominios de actividad de proteínas.

Otros estudiantes, como Rafael Vázquez Solórzano, exploraron la relación de autoanticuerpos anti-leptina con la composición corporal y el riesgo cardiovascular, mientras Dionisio Alfredo Mendoza Aguirre investigó la prevalencia de genes de citomegalovirus en pacientes con lesiones neoplásicas cervicales.

Arturo Alejandro Díaz Barbosa y Cristófer Osmar Pinto Pérez desarrollan un biosensor para la detección de triglicéridos de bajo costo y portable (Pliego-Sandoval et al., 2023). Reyes Anzaldo hizo un análisis de leche cruda de vaca utilizada para la elaboración de productos artesanales (Iñiguez-Muñoz et al., 2022), entre otras investigaciones que denotan la calidad de la investigación en el programa.

La diversidad temática y la relevancia de los hallazgos reflejan el impacto positivo que estos futuros profesionales están teniendo en la comprensión y abordaje de problemáticas científicas.

A lo largo de los últimos ocho años, los estudiantes del programa de Ingeniería en Sistemas Biológicos han demostrado un compromiso destacado al participar activamente en diversos eventos académicos, congresos y seminarios, consolidando así su presencia en la escena científica y tecnológica.

Entre estos eventos se incluyen el Congreso Internacional del XXVII Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico en 2022, el 8o. Congreso Nacional de Ciencias Químico-Biológicas en 2020 y el VI Encuentro Internacional sobre Biotecnología en la UAT, XVI Coloquio de Investigación para Estudiantes Universitarios y el VIII Coloquio Internacional de Investigación Universitaria (CIU), Congreso Internacional de Biotecnología Aplicada en 2021, Séptimo Foro de Investigación “De la Observación al Método” en 2021.

Adicionalmente, se han organizado Jornadas académicas de la División de Ciencias Exactas, Naturales y Tecnológicas, ediciones 2016-2024, con una participación por jornada superior a los 120 alumnos, lo que corresponde a porcentajes superiores al 90 % de la matrícula de la carrera.

Estas jornadas académicas, congresos y seminarios han enriquecido significativamente la formación de los estudiantes, proporcionándoles oportunidades únicas de aprendizaje y crecimiento en su camino hacia la excelencia académica.

Ciencia, Innovación y compromiso social de la Ingeniería en Sistemas Biológicos

De las potencialidades y problemáticas regionales enunciadas en el Plan de Desarrollo del Centro Universitario del Sur, se plasman estrategias para incidir en el aprovechamiento del potencial de la región, resolviendo necesidades y demandas de educación, cultura, economía, tecnología, salud y desarrollo sustentable.

La carrera tiene impacto en las empresas del ramo biotecnológico en el área biomédica, bioindustrial y ambiental con la realización de prácticas

profesionales y desarrollo de proyectos biotecnológicos y de sistemas biológicos, servicio social y la integración de los egresados al campo laboral, por lo cual el programa educativo impacta principalmente a la región sur de Jalisco con sus 28 municipios: Zapotlán el Grande, Sayula, Tamazula, Tuxpan, Gómez Farías, por mencionar algunos. Además de diferentes municipios del estado, también atiende estudiantes de diferentes estados, entre los cuales es posible mencionar Michoacán, Colima, Nayarit, Guanajuato y Baja California Sur.

Las áreas de oportunidad de aplicación en las regiones Sur y Sureste de Jalisco debido a la presencia de dos Áreas Naturales Protegidas: Parque Nacional Volcán Nevado de Colima y Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, las cuales ocupan una superficie de 402.82 km², lo que equivale al 4.8 % de la superficie total de la región.

Asimismo, las Áreas Naturales Protegidas, Parque Estatal Bosque Mesófilo Nevado de Colima, Parque Ecológico Municipal Las Peñas y Parque Ecológico Municipal Los Ocotillos se encuentran en su totalidad en la Región Sur, ocupando una superficie de 73.8 km², en donde los ingenieros en sistemas biológicos pueden aplicar sus áreas de conocimiento para su preservación o restauración de estas zonas.

El Inventario Nacional de Energías Renovables (INERE) presenta datos de aprovechamientos actuales de los recursos naturales, en donde los ingenieros en sistemas biológicos pueden impactar, así como sitios con potencial para generar energía por medio de fuentes renovables.

Se encuentran sitios de producción de energía, dos que producen energía a partir de biomasa utilizando los recursos de licor negro y bagazo de caña, y tres que producen energía hidráulica utilizando las corrientes de agua.

Conforme a la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del Instituto Nacional de Estadística y Geográfica (INEGI), la región Sur cuenta con 15,226 unidades económicas en 2018 y su distribución revela dos sectores de impacto para el programa educativo, con 11.8 % en la industria y 0.1 % en la agricultura (DENUE, 2018).

El valor de la producción agrícola en el periodo 2009-2015 representó el 14.67 % del total estatal y registró un crecimiento anual de 18.9 %.

Desde la perspectiva de bioprocesos, se resalta el agave como principal producto agrícola y materia prima para la producción de tequila, con un valor de la producción de 1 048 711 000 pesos al año 2015; le sigue la producción de aguacate con 925 860 000 pesos y el maíz grano con 858 031 000 pesos.

En particular, la región Sur de Jalisco tiene influencia en la producción mundial de berries, que está en continuo crecimiento, por ejemplo, en 2020 alcanzará una producción de 895 771 toneladas. México ocupó el segundo lugar en producción, después de la Federación de Rusia, con una producción total de 146 350 toneladas, con base en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2022).

En particular, Jalisco ocupa el primer lugar, con una producción de frambuesa con 104 080 toneladas (SIAP, 2020) así pues, es posible observar que son requeridos estudios de biorremediación, optimización de procesos, análisis molecular de enfermedades, entre otras herramientas que pueden ser y en algunos casos son proporcionados por egresados de la Ingeniería en Sistemas Biológicos.

Por tal motivo, la carrera de Ingeniería en Sistemas Biológicos se alinea estratégicamente con las potencialidades y desafíos regionales enunciados en el Plan de Desarrollo del Centro Universitario del Sur. Con estrategias que abordan las necesidades de educación, cultura, economía, tecnología, salud y desarrollo sostenible en la región sur de Jalisco, impactando a municipios como Zapotlán el Grande, Sayula, Tamazula, Tuxpan, Gómez Farías, así como otros estados como Michoacán, Colima, Nayarit, Guanajuato y Baja California Sur.

Conclusiones

En conclusión, la trayectoria del programa de Ingeniería en Sistemas Biológicos ha sido un viaje lleno de logros significativos y contribuciones valiosas al campo académico y científico. Desde su concepción en 2015 hasta la actualidad, hemos presenciado la dedicación de profesores e investigadores, así como el destacado desempeño de los estudiantes en diversas áreas.

La participación en congresos, jornadas académicas y eventos especializados ha fortalecido el conocimiento y la visibilidad del programa a nivel nacional e internacional.

Las reformas curriculares y la obtención de acreditaciones, como la del CIEES por 5 años, demuestran el compromiso continuo con la excelencia educativa. Además, la diversidad de proyectos e investigaciones realizadas por los estudiantes e investigadores refleja la calidad y relevancia de la formación proporcionada.

Aunque solo se ha explorado una fracción de los éxitos y contribuciones de los estudiantes destacados, queda claro que la Ingeniería en Sistemas Biológicos en el CUSUR se erige como un pilar fundamental en la promoción del conocimiento y la innovación en esta disciplina.

Referencias

- Alvarado-Madrigal, M. F., Chavarría-Quirós, T., Leiva-Montero, B., & Mora-Román, J. J. (2019). Producción de proteínas recombinantes a partir de animales transgénicos: Sistemas y aplicaciones. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i4.4798>
- Amparo, T. (2022, 5 de julio). *Novedades en la carrera hacia la secuenciación de genomas humanos a 100 dólares*. Genotipia. https://genotipia.com/genetica_medica_news/ultima-genomics-secuenciacion-de-genomas/
- Andrea Ortega-Ante, D. I. (2020). Enfoque de la biotecnología industrial en Ecuador y la provincia de Esmeraldas. *Pacífico*, 5(8), 1228–1239. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1655>
- Anta, R. (2020, 10 de marzo). *Biotecnología: ¿Llegamos a tiempo a esta revolución?* Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://blogs.iadb.org/innovacion/es/biotecnologia-bioeconomia-desarrollo-america-latina/>
- Boopathi, S., & Kumar, P. (2024). Advanced bioprinting processes using additive manufacturing technologies: Revolutionizing tissue engineering. En A. Kumar, P. Kumar, N. Sharma, & A. K. Srivastava (Eds.), *Digital manufacturing, artificial intelligence, industry 4.0* (pp. 95–118). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111215112-005>
- Choi, G., Yang, H. Y., Cho, S., Kwon, D., Kim, D. W., & Ko, S. (2024). Brain-on-a-chip based on human pluripotent stem cell-derived neurons and astrocytes for neurotoxicity testing: Communicative astrocyte–

- neuron dynamics (CANDY) chip. *Advanced Materials Technologies*, 9(11). <https://doi.org/10.1002/admt.202400107>
- Cobos-Murcia, J. A., & Cruz-Ortiz, L. (2025). Fitoplancton: Una solución prometedora para capturar y almacenar CO₂. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 12(24), 18–21. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i24.12070>
- DENUE. (2018, 2 de agosto). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
- Evolución Génesis y Evolución de la Bioingeniería, G. Y., & Fuentes, O. (s. f.). *The beginnings and evolution of bioengineering*.
- FAOSTAT. (2022, 1 de julio). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (FAO). www.fao.org/statistics/es
- Gbadeyan, O. J., & Deenadayalu, N. (2024). Possible applications of developed bioplastics. En O. J. Gbadeyan & N. Deenadayalu (Eds.), *Biomass-based bioplastic and films: Preparation, characterization, and application* (pp. 151–174). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71859-5_9
- Iñiguez-Muñoz, L. E., Valencia-Botín, A. J., Anaya-Esparza, L. M., Anzaldo-Ortega, R. E., Pliego-Sandoval, J. E., Reyes-Nava, L. A., & Méndez-Robles, M. D. (2022). Leche cruda de vaca destinada a la elaboración de productos artesanales: Calidad microbiológica y fisicoquímica. *Biotecnia*, 24(3), 28–34. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1635>
- Instituto Politécnico Nacional (IPN). (2025, 12 de febrero). *Ingeniería Biotecnológica*. www.upiit.ipn.mx/oferta-educativa/ver-carrera.html?lg=es&id=35&nombre=ingenier%C3%ADa-biotecnol%C3%B3gica
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). (2025, 12 de febrero). *Ingeniería en Biotecnología*. <https://tec.mx/es/bioingenieria-y-procesos-quimicos/ingenieria-en-biotecnologia>
- Jahir, N. R., Ramakrishna, S., Abdullah, A. A. A., & Vigneswari, S. (2023). Cultured meat in cellular agriculture: Advantages, applications and challenges. *Food Bioscience*, 53, 102614. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102614>

- Jiménez, J. (2019, 2 de julio). *Hace 15 años secuenciar el genoma costó 2.700 millones de dólares. Hoy cuesta 599, menos que un móvil de alta gama*. Xataka. www.xataka.com/medicina-y-salud/puedes-secuenciar-tu-genoma-completo-que-vale-movil-gama-alta
- Koopman, R. (2019). *Examen estadístico del comercio mundial*. Organización Mundial del Comercio. www.wto.org/spanish/res_s/statis_s/wts2019_s/wts2019_s.pdf
- Merelli, E., Armano, G., Cannata, N., Corradini, F., d'Inverno, M., Doms, A., Lord, P., Martin, A., Milanesi, L., Möller, S., Schroeder, M., & Luck, M. (2007). Agents in bioinformatics, computational and systems biology. *Briefings in Bioinformatics*, 8(1), 45–59. <https://doi.org/10.1093/bib/bbl014>
- Massachusetts Institute of Technology (MIT). (2025, 12 de febrero). *Science in Biological Engineering*. <https://be.mit.edu/undergraduate-program>
- Morales, M. A. (2019). Panorama general de la biotecnología en México y el mundo. En D. Villavicencio (Coord.), *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México* (1ª ed., Vol. 1).
- Plan de Desarrollo CUSUR 2019-2025. (s.f.). Visión 2030. www.cusur.udg.mx/es/sites/default/files/adjuntos/PDC_CUSUR%202023.pdf
- Pliego-Sandoval, J. E., Díaz-Barbosa, A., Reyes-Nava, L. A., Angeles Camacho-Ruiz, M., Iñiguez-Muñoz, L. E., & Pinto-Pérez, O. (2023). Development and evaluation of a low-cost triglyceride quantification enzymatic biosensor using an Arduino-based microfluidic system. *Biosensors*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/bios13080826>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SIAP). (2020, 13 de diciembre). www.gob.mx/siap
- Stanford University. (2025, 12 de febrero). *Bioengineering or Biomedical Computation*. <https://bioengineering.stanford.edu/academics/undergraduate-programs>
- Torres Darias, N. (2011). ¿Qué es la biología de sistemas?
- Tovar, G. (2020, 3 de septiembre). *Inauguran laboratorio en CUSur para la detección de Covid-19 y otras enfermedades*. El Suspica. <https://elsuspica.com/inauguran-laboratorio-en-cusur-para-la-deteccion-de-covid-19-y-otras-enfermedades>

University of Cambridge. (2025, 12 de febrero). *Life Sciences Bioengineering*. www.bachelorstudies.ng/bachelor/bioengineering/united-kingdom/england/cambridge

Zhan, T., Rindtorff, N., Betge, J., Ebert, M. P., & Boutros, M. (2019). CRISPR/Cas9 for cancer research and therapy. *Seminars in Cancer Biology*, 55, 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2018.04.001>