

BiotecnoLógica[®]

Magazine

Revista en línea de divulgación biotecnológica



El agua y el ciclo del oxígeno

LUIS G. TREVINO QUINTANILLA ET AL.

Vol. 3, Número 6

Noviembre-diciembre 2025
www.biotmagazine.com



BIOTECNOLÓGICA MAGAZINE® año 2025, Vol. 3, No. 6, noviembre-diciembre, es una publicación de divulgación, bimestral, editada por: Dra. Norma Y. Hernández Saavedra. <http://biotmagazine.com>, biotecnologicamagazine@gmail.com. Blvd. Constituyentes 1975, L19 MzB 165, Fracc. Campestre, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23090, México. Tel. (612) 12 40674. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2024-022911435400-102, ISSN: 2992-863X; ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. El contenido de los artículos y comunicaciones es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista del Editor ni del Consejo Editorial Fundador. Queda prohibida la reproducción total o parcial del contenido por cualquier medio sin la autorización expresa del Consejo Editorial Fundador.

Crédito Fotografía Portada: wal_172619 a través de canva

Edición gráfica editorial y página web: Dra. Crisalejandra Rivera Pérez.

Revista digital de divulgación científica.

Biotecnología Magazine es la revista en línea de divulgación biotecnológica dirigida a empresas, investigadores, estudiantes y a todos los que sientan curiosidad por esta innovadora área científica y tecnológica.

Biotecnología Magazine publica artículos en el campo de la biotecnología y ciencias afines. Publica editoriales (mensaje de el o los editores), artículos, notas cortas, fotografías, infografías, y noticias de actualidad en áreas gubernamentales, académicas, empresariales e investigaciones destacadas en el campo de la biotecnología, ciencias biológicas, ciencias de la vida, y ciencias ambientales, acuícolas, agropecuarias, veterinarias y ciencias médicas y biofarmacéuticas.

ORGANISMO RESPONSABLE



Biotecnología Magazine

EDITORIA

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra

CONSEJO EDITORIAL FUNDADOR

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra

Dr. Felipe Ascencio Valle

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

EDITOR EJECUTIVO

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Ana G. Reyes Alvarado - Biotecnología agrícola e industrial.

Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez - Bioinformática

Dr. Gerzaín Avilés Polanco - Biotecnología+Sociedad+Economía+Gobernanza.

Dra. María Gorety Caamal Chan - Biotecnología ambiental.

Dra. Martha Patricia Hernández Cortés - Biotecnología de alimentos-educación

biotecnologicamagazine@gmail.com

www.biotmagazine.com

Facebook @biotecnoLogicamagazine

Instagram biotecnologicamagazine

Threads biotecnologicamagazine

ÍNDICE

VI EDITORIAL

- 1 *Armonía Microbiana: Cómo los péptidos Antimicrobianos Regulan el Ecosistema Intestinal***

Vladimir Juárez Arellano

- 13 *Acuicultura en México: Panorama, innovaciones y retos emergentes***

José Luis Juárez Morales¹, Tomas Radilla Rubí

- 26 *El agua y el ciclo del oxígeno***

Luis Gerardo Treviño Quintanilla*, Rosa Angélica Guillén Garcés, Oscar Guadarrama Pérez y Clarita Olvera Carranza

- 31 *El dilema de las licencias de patentes: su impacto en la conservación de los recursos naturales***

Felipe Ascencio

- 49 *Ojos vemos, genes no sabemos***

Arturo Sánchez Paz

EDITORIAL

Estimad@s Lector@s,

Diciembre suele invitarnos a hacer una pausa. A mirar hacia atrás, pero también a afinar la mirada hacia aquello que normalmente pasa desapercibido. El número de cierre de 2025 de BiotecnoLógica Magazine se construye precisamente desde esa invitación: observar con mayor detenimiento los procesos invisibles —biológicos, tecnológicos y sociales— que sostienen la vida, la innovación y nuestras decisiones colectivas.

Abrimos este número con “Armonía microbiana”, un texto que nos recuerda que el cuerpo humano no es una entidad aislada, sino un holobionte, un ecosistema complejo donde los microorganismos juegan un papel fundamental en nuestra salud. En particular, el microbioma intestinal y la acción reguladora de los péptidos antimicrobianos nos muestran que el equilibrio no se impone, se regula finamente. Entender estos mecanismos no solo amplía nuestro conocimiento biomédico, sino que redefine la manera en que concebimos la prevención y el tratamiento de enfermedades.

La mirada se amplía hacia los sistemas productivos con “Acuicultura en México: panorama, innovaciones y retos emergentes”, donde se expone el enorme potencial de una actividad estratégica para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico del país. Más de 60 especies cultivables conviven con desafíos tecnológicos, ambientales y sanitarios que exigen soluciones innovadoras y una visión de largo plazo. La acuicultura mexicana se encuentra en un punto crítico: su consolidación dependerá de cómo integremos ciencia, política pública y sostenibilidad.

En un giro hacia la educación científica, “El agua y el ciclo del oxígeno” nos invita a cuestionar lo que creemos saber. A partir de una experiencia cotidiana y familiar, este texto pone sobre la mesa una reflexión profunda: incluso los esquemas más difundidos en libros, aulas e internet pueden estar incompletos. Revisar el ciclo del oxígeno desde la bioquímica no es un ejercicio de corrección menor, sino un llamado a fortalecer el pensamiento crítico y a no asumir que lo más repetido es necesariamente lo más correcto.

La reflexión se vuelve ética y política en “El dilema de las licencias de patentes”, donde se analizan las tensiones entre innovación, propiedad intelectual y conservación de los recursos naturales. La biotecnología, lejos de ser neutral, tiene la capacidad de transformar modelos productivos. La pregunta central no es si debemos innovar, sino cómo y para quién. Este texto nos recuerda que la sostenibilidad no puede ser un efecto colateral, sino un objetivo explícito.

Finalmente, “Ojos vemos, genes no sabemos” cierra el número con una reflexión íntima y poderosa sobre los pequeños acontecimientos que, sin hacer ruido, moldean los grandes resultados. En biología —como en la vida— los cambios más relevantes no siempre son evidentes. Genes, interacciones y condiciones aparentemente insignificantes pueden detonar transformaciones profundas. Aprender a valorar lo imperceptible es, quizás, una de las lecciones más urgentes de nuestro tiempo.

Este número de diciembre no pretende ofrecer respuestas definitivas. Más bien, busca abrir preguntas, incomodar certezas y recordar que la ciencia avanza cuando nos detenemos a mirar con más atención. Que este cierre de año sea también una invitación a reconocer la complejidad de los sistemas que habitamos y transformamos.

Gracias por acompañarnos a lo largo de 2025. Nos leemos en 2026, con más preguntas, más ciencia y más diálogo.

Armonía Microbiana: Cómo los péptidos Antimicrobianos Regulan el Ecosistema Intestinal

Vladimir Juárez Arellano^{1*}

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, B.C.S., 23090, México

* Autor correspondiente: vjuarez@pg.cibnor.mx

Tema: El cuerpo humano funciona como un ecosistema complejo, conocido como holobionte, habitado por diversos microorganismos esenciales para mantener la salud mediante procesos como el metabolismo, la regulación hormonal y la prevención de enfermedades. El microbioma intestinal, un componente clave de este ecosistema, varía a lo largo del tracto digestivo y desempeña un papel crucial en la digestión y la defensa contra patógenos, en parte mediante la producción de péptidos antimicrobianos (PAM).

1. Introducción

El cuerpo humano se entiende hoy como un verdadero **ecosistema en sí mismo**, poblado por millones de microorganismos que habitan de manera específica en cada rincón de nuestro organismo. Por esta razón, se le denomina holobionte (del griego *holos*, 'entero', y *bionte*, 'ser vivo'), un concepto que resalta la estrecha y simbiótica relación entre nuestro cuerpo y los microorganismos que lo habitan, conocidos como microbiota (Bordenstein y Theis, 2015). Uno de los sistemas más estudiados es el microbioma intestinal, compuesto por billones de microorganismos. Se ha demostrado que este ecosistema microbiano desempeña un papel clave en la salud general del organismo, participando en procesos como la regulación del metabolismo, el equilibrio hormonal y la defensa frente a enfermedades (Chao et al., 2025).

Las comunidades de microbios que conforman la microbiota intestinal se distribuyen a lo largo del tracto digestivo y varían significativamente en su composición. Esta variación depende de

factores como la alimentación y el pH ácido del estómago, que limita la colonización de microorganismos. En cambio, en el intestino delgado y el intestino grueso, la diversidad microbiana aumenta de forma gradual (Zong et al., 2020). El microbioma no solo facilita la digestión, sino que también desempeña un papel protector frente a patógenos, al competir por recursos con microorganismos oportunistas e inhibir su crecimiento.

Uno de los mecanismos que utilizan los microorganismos para reducir la competencia por recursos con otras especies es la liberación de moléculas denominadas péptidos antimicrobianos (PAM). Estas moléculas ayudan a mantener la homeostasis de la comunidad. Por ejemplo, durante la fermentación, algunas levaduras secretan péptidos antimicrobianos que inhiben el crecimiento de otros organismos, principalmente bacterias, protegiendo así su propio espacio y recursos.

Los péptidos antimicrobianos (PAM), son pequeñas macromoléculas, generalmente

compuestas por entre 8 y 50 aminoácidos (Wang, 2022), que desempeñan un papel esencial en la defensa contra otros microorganismos. Los PAM pueden activar la respuesta inmune y atacar distintos tipos de microorganismos, como bacterias, virus, parásitos y hongos (Seyfi et al., 2020). En un contexto donde la resistencia a los antibióticos se presenta como una amenaza creciente, los PAM han ganado atención significativa por su potencial como alternativa terapéutica (Jonás et al.; 2019).

Además de combatir patógenos, los PAM cumplen un papel clave en la regulación del equilibrio entre el organismo y su microbiota. Alteraciones en esta comunidad microbiana –**conocidas como disbiosis**– están relacionadas con numerosas enfermedades humanas. Una de las causas principales de disbiosis es el uso inadecuado de antibióticos, que interfiere en el tránsito intestinal y reduce la diversidad microbiana. Esto, a su vez, aumenta la susceptibilidad a infecciones y a trastornos como la **enfermedad inflamatoria intestinal (IBD)** (Gubatan et al., 2021).

Un tipo de péptidos antimicrobianos (PAM) relacionados con la regulación del microbioma intestinal son las defensinas (péptidos ricos en cisteína) y las catelicidinas (péptidos antimicrobianos de estructura lineal). Las defensinas, en particular, son los PAM más abundantes y cumplen una función clave en el equilibrio y la regulación del microbioma intestinal. Otra clase importante de PAM son las bacteriocinas, producidas por bacterias presentes en alimentos fermentados, como los productos lácteos. Estas moléculas no solo

ejercen actividad antimicrobiana contra bacterias potencialmente dañinas para la salud humana, sino que también contribuyen a mantener la diversidad microbiana y la integridad de la barrera intestinal.

Los antibióticos nos han salvado la vida a millones de personas, pero no son un bisturí: a veces actúan como una escoba que, además de barrer a las bacterias peligrosas, arrastra a muchas de las que viven de forma natural en nuestro intestino. Ese “vecindario” microbiano –el microbioma intestinal– ayuda a digerir alimentos, entrenar al sistema inmunitario y mantenernos sanos. Cuando se altera su equilibrio, nuestra salud puede resentirse. Al mismo tiempo, el mundo enfrenta un problema creciente: cada vez más bacterias se vuelven resistentes a los antibióticos tradicionales.

En este contexto han cobrado protagonismo los péptidos antimicrobianos (PAM), a veces llamados “antibióticos naturales”. Son pequeñas moléculas producidas por distintos organismos que pueden eliminar microbios dañinos y, a la vez, favorecer la recuperación de una comunidad intestinal equilibrada. Por eso se consideran una alternativa prometedora para prevenir infecciones y algunas enfermedades crónicas, con menos de los efectos indeseados que puede traer el uso prolongado de antibióticos convencionales (Jonás et al.; 2019).

2. Clasificación y Funciones de los Péptidos Antimicrobianos

Los péptidos antimicrobianos se pueden clasificar de distintas formas, dependiendo de

su forma, origen o función en el organismo. Esta variedad refleja su gran importancia en la investigación médica actual.

Desde el punto de vista de su estructura, los PAM están formados por combinaciones de los 20 aminoácidos que componen todas las proteínas del cuerpo. Esto les permite tener muchas formas y funciones distintas.

Una característica muy importante en su clasificación es la **presencia o ausencia de puentes disulfuro**, que son un tipo de enlace químico creado por el aminoácido cisteína. Estos enlaces ayudan a doblar la cadena de aminoácidos, dándole una forma tridimensional específica que influye en cómo actúan dentro del cuerpo (Figura 1). Es como doblar un alambre en forma de gancho para recoger unas llaves caídas en una alcantarilla: la forma define la función. De la misma manera, la forma que adopta un péptido determina si puede atacar a ciertas bacterias, proteger nuestras células o ayudar a mantener el equilibrio de los microbios en nuestro intestino.

Estas estructuras específicas permiten que los péptidos antimicrobianos (PAM) se unan a distintas partes de las células, como los canales iónicos, las membranas celulares, las mitocondrias (encargadas de producir energía), el núcleo celular o incluso determinadas proteínas esenciales. Al interactuar con estos componentes, los PAM pueden alterar su funcionamiento y, de este modo, influir en procesos vitales de la célula (Figura 2).

Gracias a esta capacidad de reconocer y actuar sobre objetivos celulares concretos, los PAM se están investigando como posibles tratamientos para enfermedades como la **epilepsia**, los **trastornos autoinmunes** o incluso algunos tipos de **dolor crónico**.

Una de las características más importantes de algunos péptidos antimicrobianos es que tienen carga positiva, lo que les permite adherirse fácilmente a las membranas de las bacterias, que suelen tener carga negativa.

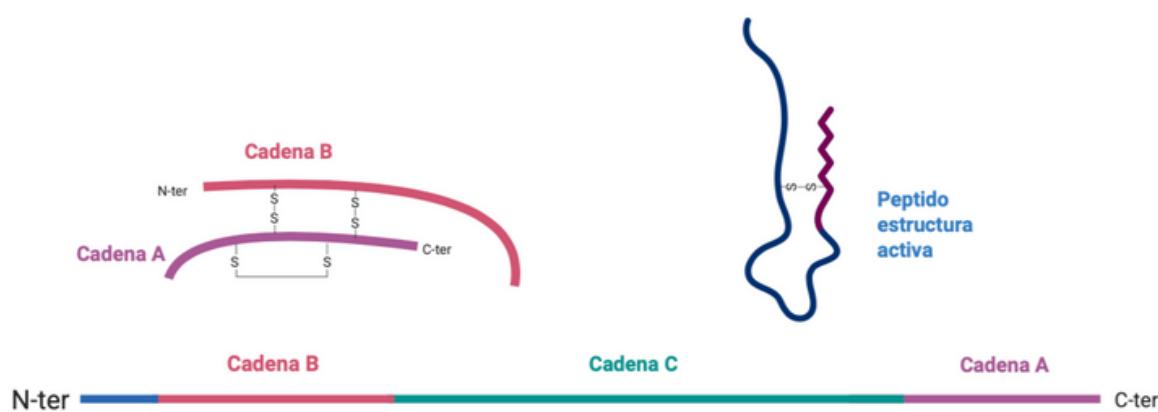


Figura 1. Representación esquemática de la organización estructural de un péptido antimicrobiano. Las cadenas (A, B y C) se pliegan y estabilizan mediante puentes disulfuro, dando lugar a una conformación tridimensional activa. Al igual que doblar un alambre en forma de gancho permite rescatar unas llaves de una alcantarilla, la forma que adopta un péptido determina su función: atacar bacterias, proteger las células del huésped o contribuir al equilibrio de la microbiota intestinal.

Blanco de acción de PAMs

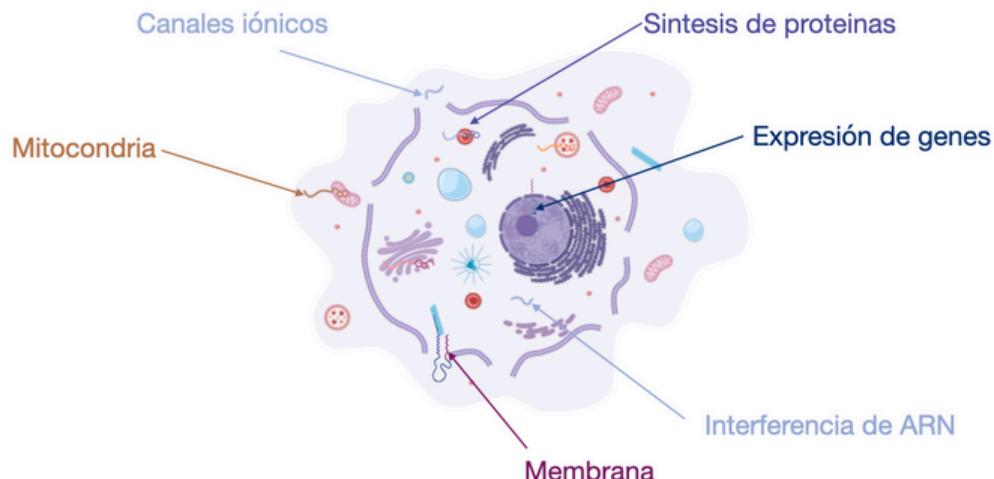


Figura 2. Blancos de acción de los péptidos antimicrobianos (PAM). Los PAM pueden actuar en múltiples estructuras celulares, interfiriendo en canales iónicos, membranas, mitocondrias, síntesis de proteínas, expresión génica e incluso procesos de interferencia de ARN. Estos mecanismos permiten desestabilizar a los microorganismos patógenos y regular la respuesta inmunológica del huésped.

Esta propiedad es clave para que puedan atacar y destruir microorganismos dañinos. Otros PAM, menos comunes, tienen **carga ácida** y cumplen funciones distintas, como ayudar a regular el sistema inmunológico. Además de clasificarse según su estructura, los péptidos antimicrobianos (PAM) también se agrupan de acuerdo con su origen. Algunos son de origen natural y forman parte de los sistemas de defensa de diversos organismos, desde plantas hasta seres humanos. Otros, en cambio, han sido diseñados en laboratorio mediante modelos computacionales, lo que permite crear moléculas con funciones específicas, como atacar determinados tipos de bacterias o modular la respuesta inmune.

Los PAM naturales están presentes en casi todos los organismos vivos y ayudan a defenderse de infecciones. Por ejemplo, durante la **fermentación alcohólica**, una enzima llamada **gliceraldehído-3-fosfato**

deshidrogenasa puede romperse en fragmentos que se convierten en péptidos antimicrobianos.

Estos nuevos péptidos ayudan a eliminar microbios invasores que compiten por los mismos nutrientes, reforzando así la protección del organismo o del ecosistema donde se generan (Branco et al., 2014).

Los péptidos sintéticos representan un gran avance gracias al desarrollo de herramientas computacionales. A diferencia de los naturales, estos péptidos se diseñan en laboratorio para cumplir funciones muy específicas, lo que abre un amplio abanico de posibles aplicaciones en medicina.

Un ejemplo destacado es el péptido Iztli, desarrollado mediante algoritmos computacionales.

Este péptido fue diseñado para tener **carga positiva (catiónica)**, lo que le permite **atravesar membranas celulares** y unirse a moléculas clave involucradas en la producción de energía dentro de las células (Rodriguez Plaza et al., 2012). Gracias a estas propiedades, Izatlí ofrece un enfoque innovador para tratar **enfermedades infecciosas como la tuberculosis** (Pelaez Coyotl et al., 2020), un problema de salud que sigue afectando a millones de personas en todo el mundo.

La **diversidad y funcionalidad** de los péptidos antimicrobianos resaltan su enorme potencial como **herramientas terapéuticas**. Comprender cómo se clasifican y cuáles son sus propiedades es fundamental para desarrollar **nuevas estrategias contra enfermedades infecciosas**, así como para **regular el microbioma y modular el sistema inmunológico**. Todo esto convierte a los PAM en un campo clave dentro de la investigación biomédica actual, con aplicaciones que podrían transformar la medicina del futuro (Cardoso et al., 2022).

Sin embargo, mantener el equilibrio del microbioma intestinal no es tarea sencilla. Factores como la predisposición genética, alteraciones en el sistema inmunológico, una dieta poco saludable, la edad o el uso inadecuado de antibióticos pueden afectar la estabilidad de estas comunidades microbianas. Cuando esto ocurre, puede producirse un desequilibrio llamado disbiosis, una condición que se ha relacionado con varias enfermedades inflamatorias del intestino, como la enfermedad inflamatoria intestinal (IBD), la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn.

Estas afecciones están estrechamente vinculadas al tipo de microbios presentes, a su actividad dentro del intestino y al estado del sistema inmunológico de la persona (Gubatan et al., 2021). Diversos estudios también han mostrado que la microbiota influye en nuestro estado de ánimo, y en un experimento con ratones se comprobó que aquellos que recibieron la microbiota de animales sometidos a estrés crónico desarrollaron más conductas de ansiedad y depresión que los controles; además, su microbiota intestinal estaba empobrecida en bacterias beneficiosas como Lactobacillus y aumentada en otras como Akkermansia, lo que coincidía con una mayor inflamación en el hipocampo del cerebro y la activación de mecanismos asociados a la alteración de neurotransmisores, evidenciando que un desequilibrio en el eje intestino-cerebro puede favorecer la aparición de síntomas depresivos y ansiosos (Li et al., 2019).

El **microbioma intestinal**, formado por una enorme variedad de bacterias y otros microorganismos, cumple un papel esencial en el **equilibrio general del organismo**. Actúa como una **barrera protectora** frente a agentes dañinos y participa activamente en la **regulación del entorno interno**, influyendo en funciones tan importantes como la digestión, la respuesta inmunológica y la producción de compuestos beneficiosos para la salud.

3. ¿Cómo Funcionan los Péptidos Antimicrobianos?

En el vasto mundo de los organismos vivos, existe una asombrosa variedad de péptidos, pequeñas cadenas de aminoácidos con funciones muy diversas. Entre ellos, los PAMs

destacan por su papel fundamental en la defensa natural del organismo: forman parte del sistema inmunológico innato y tienen la función de combatir microorganismos potencialmente dañinos.

¿Cómo eliminan a los microorganismos?

Los PAM actúan principalmente de dos maneras:

1. Rompen las membranas de las células invasoras
2. Una de las estrategias más comunes de estos péptidos es atacar directamente la envoltura externa de bacterias u otros microorganismos. Imagina una especie de "pinchazo" en la membrana celular: los PAM crean pequeños agujeros que desequilibran el interior de la célula, lo que provoca un colapso en su funcionamiento y, finalmente, su muerte.
3. Interfieren con los procesos vitales dentro de la célula
4. Además de perforar membranas, algunos PAM pueden entrar al interior de las células patógenas y desactivar funciones clave. Por ejemplo, pueden:
 - Impedir la replicación y reparación del ADN
 - Bloquear la producción de proteínas
 - Interrumpir canales que regulan el paso de iones
 - Afectar la respiración celular, un proceso esencial para obtener energía
 - Incluso, pueden unirse a proteínas críticas para el metabolismo, actuando con gran precisión y eficacia.

Gracias a esta versatilidad y especificidad, los PAM se consideran una alternativa muy prometedora a los antibióticos tradicionales, sobre todo ante la creciente amenaza de la resistencia antimicrobiana, un problema de salud global.

Pero para entender mejor su impacto y potencial, también es importante considerar el escenario donde muchos de estos péptidos cumplen su función: el microbioma intestinal, un ecosistema complejo y esencial para nuestra salud (Seyfi et al., 2020).

4. ¿Qué es el Microbioma Gastrointestinal?

En nuestro intestino habitan alrededor de 100 billones de microorganismos, la mayoría de ellos beneficiosos. Este conjunto, conocido como microbioma gastrointestinal, cumple funciones fundamentales para la salud: ayuda a digerir los alimentos, regula el metabolismo, produce vitaminas y, lo más importante, fortalece el sistema inmunológico.

4.1 Un ecosistema en constante cambio.

El microbioma no es igual en todas las partes del intestino. Su composición varía según la sección del tracto digestivo y depende en gran medida de factores como la dieta, el estilo de vida y el ambiente. Por eso, se puede considerar al intestino como un ecosistema dinámico, que se adapta continuamente a los cambios en nuestra alimentación y entorno.

4.2 ¿Cómo se forma el microbioma desde el nacimiento?

Desde el momento en que nacemos, comenzamos a establecer una relación íntima con los microbios que nos rodean. Este proceso, llamado colonización microbiana, empieza al pasar por el canal de parto, donde los bebés entran en contacto con bacterias provenientes de la madre.

Estudios recientes han demostrado que los bebés nacidos por parto vaginal adquieren una microbiota más diversa y saludable, lo que les proporciona una mejor protección inmunológica en el futuro. En cambio, los bebés nacidos por cesárea, al nacer en un entorno más estéril, tienen un contacto inicial más limitado con estos microorganismos beneficiosos. Esta diferencia podría influir en el desarrollo del sistema inmune y aumentar el riesgo de sufrir alergias, asma u otras enfermedades inmunológicas más adelante (Stinson et al., 2018).

Ante la evidencia sobre las diferencias en el microbioma según el tipo de parto, diversos estudios han resaltado la **importancia de implementar estrategias que promuevan una colonización microbiana saludable**, especialmente en bebés nacidos por cesárea. Entre estas prácticas se encuentran la llamada "**inoculación vaginal**" —que consiste en exponer al recién nacido a bacterias vaginales de la madre— y, de manera especialmente relevante, la **lactancia materna**, que aporta no solo nutrientes esenciales, sino también microorganismos beneficiosos y compuestos que estimulan su crecimiento.

Estas medidas pueden ayudar a compensar la *falta de contacto inicial con las bacterias maternas* y favorecer el establecimiento de un *microbioma más equilibrado*. Todo ello refuerza el *papel fundamental del microbioma en la salud a lo largo de la vida* y subraya la *importancia de adoptar prácticas que promuevan su desarrollo saludable desde los primeros días de vida* (Stinson et al., 2018).

4.3 El delicado equilibrio del microbioma y su relación con la salud

Aunque el microbioma intestinal es sorprendentemente resistente a agresiones puntuales —como una infección o el uso temporal de antibióticos—, los **cambios prolongados en el estilo de vida**, y en especial en la dieta, pueden modificarlo de manera más profunda y duradera.

Por ejemplo, **una alimentación rica en fibra** estimula el crecimiento de bacterias beneficiosas, mientras que **dietas altas en azúcares y grasas** pueden generar desequilibrios asociados con **trastornos metabólicos**, como la obesidad o la diabetes. Estos hallazgos refuerzan la importancia de adquirir **hábitos alimentarios saludables desde la infancia**, con una dieta variada y rica en nutrientes esenciales, para fomentar un microbioma robusto que contribuya a **un sistema inmunológico equilibrado** y a la **prevención de enfermedades crónicas** (Lynch et al., 2023).

4.4 ¿Cómo se estudia un ecosistema tan complejo?

Uno de los desafíos más grandes para la ciencia ha sido **entender a fondo la composición del microbioma**, ya que este varía mucho entre individuos, y muchas de sus bacterias **no pueden cultivarse fácilmente en laboratorio**.

Aquí entra en juego una herramienta revolucionaria: la **metagenómica**. Esta técnica permite analizar directamente todo el **material genético (ADN)** presente en una muestra de un entorno natural —como el intestino humano— sin necesidad de aislar ni cultivar cada

microbio por separado. Gracias a la metagenómica, los científicos pueden estudiar la **diversidad microbiana completa**, descubrir nuevas especies, y también identificar **moléculas bioactivas**, como los **péptidos antimicrobianos** (Paulsen et al., 2014).

5. Los PAM, más que defensores, reguladores del ecosistema intestinal

Algunos de estos PAM son producidos por las propias bacterias del microbioma. Más allá de eliminar patógenos, cumplen funciones clave dentro de la comunidad microbiana: regulan la competencia entre especies, permitiendo que ciertas bacterias dominen un microambiente al inhibir a sus competidoras. De esta forma, contribuyen a mantener la estabilidad y funcionalidad del ecosistema intestinal (Ma et al., 2022).

Este mecanismo natural de control bacteriano ha despertado gran interés en el ámbito médico. A diferencia de los antibióticos convencionales, que muchas veces destruyen tanto bacterias patógenas como beneficiosas, los PAM podrían actuar como antibióticos naturales de nueva generación, capaces de eliminar microorganismos dañinos sin alterar el equilibrio del microbioma. En otras palabras, podrían ayudarnos a tratar infecciones respetando la salud microbiana del organismo (Tabla1).

5.1 El Poder de los Péptidos Antimicrobianos: Una Nueva Frontera en la Salud

Los péptidos antimicrobianos, producidos principalmente por las células epiteliales del intestino, son pequeñas moléculas que cumplen funciones vitales dentro del sistema

inmunológico innato. Más allá de actuar como defensa frente a microorganismos patógenos, los PAM participan activamente en el mantenimiento del equilibrio del microbioma intestinal, ayudando a controlar el crecimiento de bacterias oportunistas y protegiendo la integridad de la barrera intestinal.

Además, estos péptidos actúan como potentes moduladores inmunológicos, atrayendo células defensivas —como neutrófilos y linfocitos— hacia los sitios de infección. Este papel doble, como agentes antimicrobianos y señales inmunes, es clave para mantener la homeostasis del organismo, es decir, su equilibrio interno.

Sin embargo, cuando la producción de PAM se ve alterada, las consecuencias pueden ser graves. Niveles anómalos de estas moléculas se han asociado con enfermedades inflamatorias intestinales como la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn (Wehkamp et al., 2005), donde el desequilibrio favorece la inflamación crónica y el deterioro de los tejidos (Figura 3). Una menor producción de PAM también puede debilitar nuestras defensas, favoreciendo infecciones y alteraciones en el microbioma que se han vinculado no solo a trastornos intestinales, sino también a enfermedades metabólicas, cardiovasculares e incluso psiquiátricas, como la ansiedad y la depresión (Fan y Pedersen, 2021).

Frente a estos desafíos, los PAM emergen como **una herramienta innovadora en medicina**. Su capacidad para atacar selectivamente a microorganismos dañinos, sin afectar negativamente a las bacterias

Tabla 1. Principales péptidos y proteínas antimicrobianas presentes en el intestino humano. Se muestran ejemplos representativos, el tipo de célula que los produce, su estructura básica, mecanismo de acción y los microorganismos frente a los que actúan. Estas moléculas forman parte de la defensa innata intestinal y contribuyen tanto a la eliminación de patógenos como al equilibrio de la microbiota.

Tipo de AMP	Ejemplo	Fuente	Estructura	Mecanismo de acción	Microbios objetivo
α-Defensinas	HD5, HD6	Células de Paneth	Hojas β triples con puentes disulfuro	Formación de poros en membrana / atrapamiento de patógenos	Bacterias G(+), G(-), virus
β-Defensinas	HBD1, HBD2, HBD3	Células de Paneth / epitelio intestinal	Hojas β triples con puentes disulfuro	Modulan la microbiota / alteran la membrana / perturban la pared celular	Bacterias G(+), G(-), virus, hongos
Catelicidinas	LL-37	Células epiteliales colónicas	Hélice α desde estructura desordenada	Formación de poros / activación inmunológica	G(+), G(-), virus
Lisozima	Lyz	Células de Paneth	Globular tridimensional	Degradoación de la pared bacteriana (peptidoglicano)	Bacterias G(+), virus
Lectinas	RegIIIγ, RegIIIβ	Células de Paneth / enterocitos	Reconocimiento de carbohidratos	Unión a peptidoglicano / formación de poros	G(+), G(-)
Galectinas	Galectina-1, -3, -9	Epitelio intestinal	Dominios de reconocimiento de carbohidratos	Activación inmunológica	Virus
Proteínas tipo resistina (RELMs)	mRELMβ	Células caliciformes	Motivos cisteina-cargados	Formación de poros espaciales / modulación inmunológica	G(-), virus

beneficiosas, los convierte en candidatos prometedores para desarrollar **antibióticos de nueva generación**, especialmente en un contexto de creciente resistencia a los tratamientos convencionales. Además, su potencial para modular la respuesta inmune abre nuevas vías en el tratamiento de enfermedades inflamatorias, autoinmunes y alérgicas.

Pero los avances no terminan ahí. Investigaciones recientes sugieren que algunos PAM podrían incluso tener actividad antitumoral, actuando contra células cancerosas y abriendo un nuevo campo de estudio en terapias oncológicas (Zare-Zardini et al., 2024).

En conjunto, los péptidos antimicrobianos no solo son guardianes silenciosos de nuestra salud intestinal: representan una **puerta de entrada a soluciones terapéuticas del futuro**. Profundizar en su estudio nos permitirá no solo combatir enfermedades, sino también promover un **bienestar integral**, basado en la armonía entre nuestro sistema inmunológico, nuestro microbioma y el entorno que los rodea (Ra y Bang, 2024).

Glosario

- **Microbiota:** Conjunto de microorganismos (bacterias, virus, hongos y arqueas) que habitan en distintas partes del cuerpo, como el intestino, la piel o la boca, y que cumplen funciones esenciales para la salud.
- **Microbioma:** Es el conjunto de genes de todos los microorganismos que conforman el microbiota. Representa la “información genética” de esas comunidades.
- **Holobionte:** Concepto que describe al ser humano (u otro organismo) junto con todos los microorganismos que viven en él, funcionando como una unidad ecológica integrada.
- **Péptidos antimicrobianos (PAM):** Pequeñas moléculas formadas por cadenas cortas de aminoácidos que ayudan a defender al organismo contra bacterias, virus, hongos y parásitos. Son parte de la inmunidad innata.
- **Homeostasis:** Equilibrio interno que mantiene estable el funcionamiento de un organismo o de una comunidad microbiana.
- **Disbiosis:** Desequilibrio del microbiota intestinal, en el que disminuyen las bacterias beneficiosas y aumentan las potencialmente dañinas. Se asocia con diversas enfermedades.
- **Defensinas:** Tipo de péptidos antimicrobianos ricos en el aminoácido cisteína. Son muy abundantes y juegan un papel central en la regulación del microbiota intestinal.
- **Catelicidinas:** Otro tipo de péptidos antimicrobianos, lineales, que ayudan a proteger contra infecciones y a modular la respuesta inmune.
- **Bacteriocinas:** Péptidos antimicrobianos producidos por bacterias, especialmente en alimentos fermentados como el yogur o el queso. Actúan contra bacterias dañinas y ayudan a mantener la diversidad microbiana.
- **Metagenómica:** Técnica científica que permite analizar directamente el material genético (ADN) de todos los microorganismos presentes en una muestra, sin necesidad de cultivarlos en laboratorio.
- **Inmunidad innata:** Primer nivel de defensa del cuerpo contra agentes dañinos. Está presente desde el nacimiento y actúa de forma rápida y general contra microorganismos.
- **Barreras epiteliales:** Capas de células que recubren órganos como el intestino o la piel, funcionando como una frontera de protección frente a patógenos.
- **Enfermedad inflamatoria intestinal (EII o IBD, por sus siglas en inglés):** Grupo de enfermedades crónicas del intestino, como la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn, relacionadas con inflamación persistente y alteraciones en la microbiota.
- **Colonización microbiana:** Proceso por el cual los microorganismos comienzan a habitar el cuerpo desde el nacimiento, influyendo en el desarrollo del sistema inmune.

7. Referencias

- Bordenstein, S. R., Theis, K. R. (2015). Host Biology in Light of the Microbiome: Ten Principles of Holobionts and Hologenomes. *PLoS Biol*, 13(8), e1002226. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002226>
- Branco, P., Francisco, D., Chambon, C., Hebraud, M., Arneborg, N., Almeida, M. G., Caldeira, J., Albergaria, H. (2014). Identification of novel GAPDH-derived antimicrobial peptides secreted by *Saccharomyces cerevisiae* and involved in wine microbial interactions. *Appl Microbiol Biotechnol*, 98(2), 843-853. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5411-y>
- Cardoso, M. H., Meneguetti, B. T., Oliveira-Junior, N. G., Macedo, M. L. R., Franco, O. L. (2022). Antimicrobial peptide production in response to gut microbiota imbalance. *Peptides*, 157, 170865. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2022.170865>
- Chao, J., Coleman, R. A., Keating, D. J., Martin, A. M. (2025). Gut Microbiome Regulation of Gut Hormone Secretion. *Endocrinology*, 166(4). <https://doi.org/10.1210/endocr/bqaf004>
- Fan, Y., Pedersen, O. (2021). Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nat Rev Microbiol*, 19(1), 55-71. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0433-9>
- Gubatan, J., Holman, D. R., Puntasecca, C. J., Polevoi, D., Rubin, S. J., Rogalla, S. (2021). Antimicrobial peptides and the gut microbiome in inflammatory bowel disease. *World J Gastroenterol*, 27(43), 7402-7422. <https://doi.org/10.3748/wjg.v27.i43.7402>
- Lynch, C. M. K., Cowan, C. S. M., Bastiaanssen, T. F. S., Moloney, G. M., Theune, N., van de Wouw, M., Florensa Zanuy, E., Ventura-Silva, A. P., Codagnone, M. G., Villalobos-Manriquez, F., Segalla, M., Koc, F., Stanton, C., Ross, P., Dinan, T. G., Clarke, G., Cryan, J. F. (2023). Critical windows of early-life microbiota disruption on behaviour, neuroimmune function, and neurodevelopment. *Brain Behav Immun*, 108, 309-327. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2022.12.008>
- Ma, Y., Guo, Z., Xia, B., Zhang, Y., Liu, X., Yu, Y., Tang, N., Tong, X., Wang, M., Ye, X., Feng, J., Chen, Y., Wang, J. (2022). Identification of antimicrobial peptides from the human gut microbiome using deep learning. *Nat Biotechnol*, 40(6), 921-931. <https://doi.org/10.1038/s41587-022-01226-0>
- Paulsen, I. T., Holmes, A. J., Springer Science+Business Media. (2014). *Environmental microbiology : methods and protocols* (Second edition. ed.). Humana Press.
- Pelaez Coyotl, E. A., Barrios Palacios, J., Mucino, G., Moreno-Blas, D., Costas, M., Montiel Montes, T., Diener, C., Uribe-Carvajal, S., Massieu, L., Castro-Obregon, S., Espinosa, O. R., Mata Espinosa, D., Barrios-Payan, J., Leon Contreras, J. C., Corzo, G., Hernandez-Pando, R., Del Rio, G. (2020). Antimicrobial Peptide against *Mycobacterium Tuberculosis* That Activates Autophagy Is an Effective Treatment for Tuberculosis. *Pharmaceutics*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics12111071>
- Ra, Y. E., Bang, Y. J. (2024). Balancing Act of the Intestinal Antimicrobial Proteins on Gut Microbiota and Health. *J Microbiol*, 62(3), 167-179. <https://doi.org/10.1007/s12275-024-00122-3>
- Rodriguez Plaza, J. G., Villalon Rojas, A., Herrera, S., Garza-Ramos, G., Torres Larios, A.,

- Amero, C., Zarraga Granados, G., Gutierrez Aguilar, M., Lara Ortiz, M. T., Polanco Gonzalez, C., Uribe Carvajal, S., Coria, R., Pena Diaz, A., Bredesen, D. E., Castro-Obregon, S., del Rio, G. (2012). Moonlighting peptides with emerging function. *PLoS One*, 7(7), e40125. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040125>
- Seyfi, R., Babaeipour, V., Kahaki, F., Ebrahimi, T., Montazersaheb, S., Eyvazi, S., Tarhriz, V. (2020). Antimicrobial Peptides (AMPs): Roles, Functions and Mechanism of Action. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. <https://doi.org/10.1007/s10989-019-09946-9>
- Stinson, L. F., Payne, M. S., Keelan, J. A. (2018). A Critical Review of the Bacterial Baptism Hypothesis and the Impact of Cesarean Delivery on the Infant Microbiome. *Front Med (Lausanne)*, 5, 135. <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00135>
- Wang, G. (2022). Unifying the classification of antimicrobial peptides in the antimicrobial peptide database. *Methods Enzymol*, 663, 1-18. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2021.09.006>
- Wehkamp, J., Salzman, N. H., Porter, E., Nuding, S., Weichenthal, M., Petras, R. E., Shen, B., Schaeffeler, E., Schwab, M., Linzmeier, R., Feathers, R. W., Chu, H., Lima, H., Jr., Fellermann, K., Ganz, T., Stange, E. F., Bevins, C. L. (2005). Reduced Paneth cell alpha-defensins in ileal Crohn's disease. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 102(50), 18129-18134. <https://doi.org/10.1073/pnas.0505256102>
- Zare-Zardini, H., Saberian, E., Jenca, A., Ghanipour-Meybodi, R., Jenca, A., Petrasova, A., Jencova, J. (2024). From defense to offense: antimicrobial peptides as promising therapeutics for cancer. *Front Oncol*, 14, 1463088.
- Zong, X., Fu, J., Xu, B., Wang, Y., Jin, M. (2020). Interplay between gut microbiota and antimicrobial peptides. *Anim Nutr*, 6(4), 389-396. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.09.002>

Sobre el autor:

Vladimir Juárez Arellano, Doctor en Ciencias Bioquímicas, es especialista en el desarrollo de **péptidos antimicrobianos** y en **análisis bioinformáticos**. Ha liderado investigaciones sobre terapias con **células troncales mesenquimales** y **biología computacional**, enfocándose en el diseño racional de moléculas bioactivas y en la integración de datos para el descubrimiento de péptidos antimicrobianos a partir de organismos marinos.

CITA:

Juárez Arellano, V. (2025). Armonía Microbiana: Cómo los péptidos Antimicrobianos Regulan el Ecosistema Intestinal. Biotecnología Magazine, 3(6), 1-12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18328706>

Acuicultura en México: Panorama, innovaciones y retos emergentes

José Luis Juárez Morales^{1*}, Tomas Radilla Rubí²

1) IxM- Secihti, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., Km. 1 Carretera a San Juan de La Costa "EL COMITAN" La Paz, BCS 23205, México.

2) Maestría en Recursos Naturales y Ecología, Universidad Autónoma de Guerrero
Av. Gran Vía Tropical No. 20 Fracc. Las Playas Acapulco, Gro. 39390, México.

*Autor por correspondencia

Tema: La acuicultura en México se ha convertido en un área estratégica para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico. Con más de 60 especies cultivables que abastecen tanto al mercado nacional como al de exportación, esta actividad presenta grandes desafíos que afectan su productividad. Solucionar estos retos será clave para garantizar su competitividad y solidez a largo plazo.

1. Introducción

La acuicultura en México ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, convirtiéndose en una actividad crucial para la economía, la seguridad alimentaria y el desarrollo rural del país. En los últimos años, esta actividad ha posicionado al país como uno de los líderes en producción pesquera global, particularmente en la producción de camarón y tilapia (CONAPESCA, 2023a). Sin embargo, la acuicultura de México enfrenta diversos retos en cuestiones de normatividad, principalmente en sustentabilidad ambiental, sanidad acuícola, y en estancamiento y diversidad en las especies de producción, entre otras. A pesar de estos desafíos, el futuro de esta actividad es prometedor, en particular si se adoptan prácticas sustentables e innovaciones tecnológicas. Este artículo describe de una forma general y comprensible la situación actual, los desafíos y perspectivas futuras de la acuicultura en México.

Acuicultura en México.

Debido a su ubicación geográfica, la extensión de su territorio y litorales (7,828 kilómetros en el litoral del Pacífico y cerca de 3,294 kilómetros en el litoral del Golfo de México y el Mar Caribe) hacen que México cuente con un área considerable para la realización de actividades pesqueras y acuícolas (DOF, 2018).

En los últimos años, la producción pesquera y acuícola del país ha experimentado un crecimiento considerable en volumen y valor. De acuerdo con CONAPESCA (2024a), en el 2023 se produjeron más de 1 millón 900 mil toneladas de peso vivo, con un valor de producción de más de 42 mil millones de pesos, principalmente en especies marinas y de agua dulce como camarón, atún, tilapia y trucha.

Actualmente, la pesca y la acuicultura en México están orientadas al abastecimiento del mercado interno y en la exportación. México ocupa el puesto 14 entre los mayores productores de productos de acuicultura y

pesca del mundo de acuerdo con la FAO (2018), es el tercer productor de pulpo a nivel mundial con más de 26 mil toneladas y con un valor de más de 1400 millones de pesos y el segundo productor de camarón en América Latina (CONAPESCA, 2017 y 2024b).

Nivel de intensificación y la escala de la industria acuícola en México.

El sector acuícola en México aún puede ser considerado una industria en desarrollo, con una producción a menor escala y dirigida principalmente al mercado interno, comparado con la de otros países, especialmente países como Ecuador o países asiáticos como China e India (Tabla 1).

Producción acuícola en México: Especies y Estados clave.

En México se cultiva un total de 61-70 especies en todos los tipos de ambiente acuático (marino, salobre y de agua dulce); de estas especies, alrededor de 40 son nativas y 21 son de origen exótico, habiendo sido introducidas al país (FAO, 2025; Vázquez-Vera y Chávez-Carreño, 2022) (Fig.1).

El camarón, principalmente el camarón patiblanco (*Litopenaeus vannamei*), es la especie de mayor importancia comercial en la industria acuícola del país. México es uno de los mayores

exportadores de camarón de cultivo a nivel mundial, en particular al mercado estadounidense. Así mismo, la tilapia que se cultiva tanto en estanques artificiales (hechos de geomembrana o concreto) o rústicos (excavados en el suelo) de agua dulce en sistemas semi-intensivos, el cual es combina el sistema extensivo (p. ej. la cría al aire libre) y el sistema intensivo (p. ej. alimentación controlada). La tilapia es la segunda especie acuícola más importante en México debido a su alta tasa de crecimiento, resistencia a las enfermedades y su capacidad para prosperar en diversos ambientes (p. ej. diferentes rangos de temperatura, bajos niveles de oxígeno en el agua, diferente pH en el agua, diferentes niveles de salinidad), además es uno de los productos acuícolas más consumidos a nivel mundial. (CONAPESCA, 2018).

Después del camarón y la tilapia, otras especies acuícolas como la carpa (*Cyprinus carpio*), el bagre (*Ictalurus punctatus*) y la trucha (*Onchorhynchus mykiss*), que mantienen producciones de 4,000, 5,000 y 8,000 toneladas anuales, son las más explotadas en el país. México también es un productor destacado de bivalvos, especialmente en estados costeros como Baja California, Sonora y Veracruz; Baja California

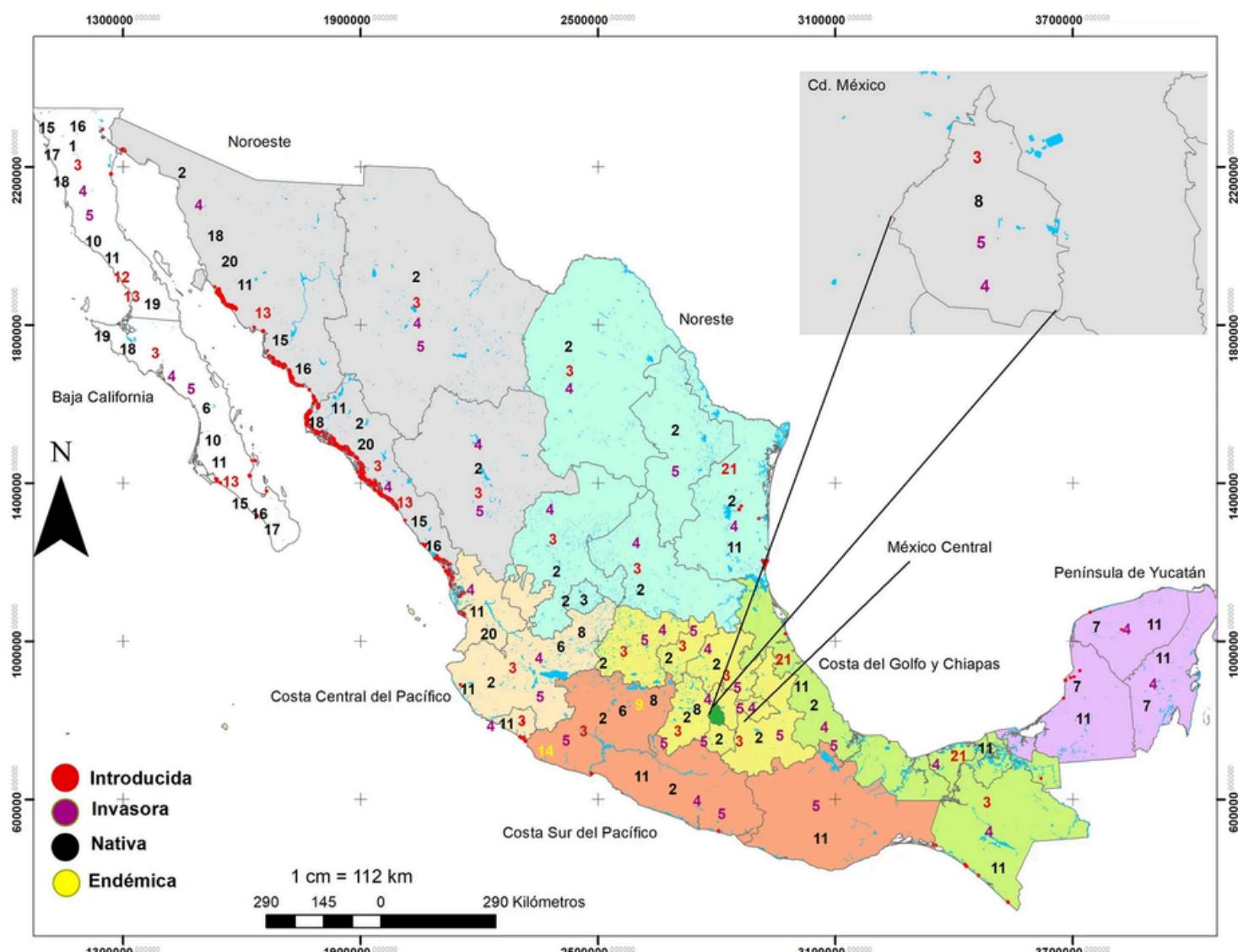
Tabla 1. Cuadro comparativo de la producción acuícola en México, Asia y Ecuador.

Ecuador y Asia tienen un sistema de intensificación masiva con uso de tecnología avanzada para competir en un mercado internacional de exportación; en México, la acuicultura está más enfocada a la explotación de diversas especies, con la mayoría de sus productos consumidos en el mercado nacional (Salinas A., 2024; Noti. Mx., 2025; Wolf M., 2025).

	Intensificación	Escala de Producción	Especies Principales	Mercado	Tecnología y Prácticas
México	Principalmente sistemas extensivos y semi-intensivos con perspectivas hacia la intensificación.	Producción en menor escala pero constante, con menor volumen total comparada con la global.	Tilapia (especie más explotada), camarón, ostión y carpa.	Principalmente el mercado nacional, con el camarón de cultivo siendo el más consumido internamente.	Aplicación de diversas tecnologías, aplicación de estándares internacionales para aumentar la competitividad.
Asia (ej. China, India)	Líder mundial en intensificación y aplicación de tecnología de punta, uso de sistemas diversos, desde estanques tradicionales hasta sistemas de recirculación avanzada.	Domina la producción. Representa alrededor del 91% de la producción acuícola mundial.	Explora una gran diversidad de especies, p. ej.: carpas, tilapias, moluscos y peces marinos, con China como el mayor productor.	Consumo interno masivo y exportación global impulsando las cadenas de suministros mundiales.	Innovación constante en genética, formulación de alimento balanceado y manejo de enfermedades, gran inversión en infraestructura.
Ecuador	Altamente intensificada, especialmente en el cultivo de camarón con un enfoque en la eficiencia y altos rendimientos.	Enorme volumen de producción, líder mundial en la exportación de camarón, superando a competidores asiáticos en este rubro en años recientes.	Principalmente en camarón blanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>) del cual es el mayor exportador del mundo.	Exportación a mercados internacionales, EE.UU., Europa y Asia.	Inversiones significativas en tecnología y asistencia técnica para fortalecer la sostenibilidad.

Sur es líder nacional en la producción de ostión japonés con cerca de 2 mil toneladas de ostión al año generando cerca de 152 millones de pesos (Gobierno del Edo. de BCS, 2025). Las especies marinas más comúnmente capturadas incluyen sardinas, atunes, pargos y meros, junto con el camarón, la jaiba y varios moluscos como ostión, caracol y almeja, los cuales se cultivan tanto en medios salobres como marinos, y son producto de exportación a América del Norte y Europa (Vázquez-Vera y Chávez-Carreño, 2022) (Fig.1).

La costa del Pacífico cuenta con condiciones ambientales idóneas y acceso a recursos hídricos (agua dulce y salobre) para el cultivo y producción de diferentes especies, especialmente el camarón patiblanco (*L. vannamei*) el cual se cultiva en estanques a gran escala y en las áreas costeras. Entre los estados clave que contribuyen considerablemente a la producción acuícola se encuentran Sinaloa (91 mil 378 toneladas), Sonora (96 mil 282 toneladas) y Nayarit (13 mil 286 toneladas),



PECES	
1	Atún aleta azul o atún cimarrón (<i>Thunnus orientalis</i>)
2	Bagre de canal (<i>Ictalurus punctatus</i>)
3	Carpa común (<i>Cyprinus carpio communis</i>), Carpa barrigona (<i>C. c. rubrofuscus</i>), Carpa espejo (<i>C. c. specularis</i>) y Carpa herbívora (<i>Ctenopharyngodon idella</i>)
4	Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)*
5	Trucha arcoiris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
6	Huachinango del Pacífico (<i>Lutjanus peru</i>)
7	Pargo canane (<i>Ocyurus chrysurus</i>)
8	Pescado blanco (<i>Chiostoma humboldtianum</i>)
9	Pescado blanco (<i>Chiostoma estor</i>)

MARISCOS	
10	Abulón rojo (<i>Haliotis rufescens</i>)
11	Camarón blanco del Pacífico y camarón patiblanco (<i>Litopenaeus vannamei</i>)
12	Mejillón mediterráneo (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)
13	Ostión japonés (<i>Crassostrea gigas</i>)
14	Ajolote de pazcuaro (<i>Ambystoma dumerili</i>)
15	Almeja globosa (<i>Panopea globosa</i>)
16	Almeja generosa (<i>Panopea generosa</i>)
17	Almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>)
18	Callo de hacha (<i>Pinna maura</i>)
19	Camaron azul (<i>Litopenaeus stylostris</i>)
20	Ostión del placer (<i>Crassostrea corteziensis</i>)
21	Ostión del este (<i>Crassostrea virginica</i>)

Figura 1. México, sus regiones y sus especies aprovechables.

Se representa México dividido en 9 regiones: Baja California (blanco), Noroeste (gris), Noreste (verde esmeralda), Costa central del pacífico (naranja claro), Costa sur del pacífico (naranja), México Central (amarillo), Costa del golfo y Chiapas (verde), Península de Yucatan (violeta), Cd. México (inset gris). Los números indican las especies aprovechables en el país. El color en cada número indica si es la especie es introducida, invasora, nativa o endémica. Los sitios en el país donde se practica la acuicultura general están representados con puntos rojos de acuerdo con los datos del INEGI (2021). La fuente que se utilizó para la realización de este Mapa es: DOF. ACUERDO mediante el cual se aprueba la actualización de la Carta Nacional Acuícola. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5615929&fecha=15/04/2021&print=true

estos estados son responsables de más del 60% de la producción nacional acuícola, y son parte importante de las exportaciones de México, especialmente de camarón. Otros dos estados importantes de esta región son Baja California y Baja California Sur, que aportan 8 mil 961 toneladas y 4 mil 800 toneladas a la producción, respectivamente. Con respecto a la producción de captura los estados con mayor producción son: Sonora con 656 mil 552 toneladas; Baja California, 334 mil 739 toneladas; Sinaloa, 320 mil 944 toneladas; Baja California Sur, 197 mil 105 toneladas (CONAPESCA, 2025).

En el Golfo de México, uno de los estados más importantes en la producción de especies de agua dulce como la tilapia y el camarón es Veracruz, con una producción de 14 mil 485 toneladas (CONAPESCA, 2025). Este estado cuenta con una infraestructura bien establecida para el procesamiento y exportación de productos acuícolas. En la región Sur-Sureste, los estados de Chiapas (11 mil 514 toneladas) y Tabasco (10 mil 512 toneladas) son importantes para la acuicultura de agua dulce, en particular para el cultivo de tilapia y camarón (CONAPESCA, 2025) (Fig.2).

Normatividad mexicana para regular las actividades acuícolas.

En México, existen dos órganos principales que regulan las actividades acuícolas: la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) es el máximo órgano encargado de la política agrícola, ganadera, pesquera y de desarrollo rural del país, y es la responsable de coordinar la ejecución y seguimiento del Programa Nacional de Pesca y Acuacultura Sustentables; por otra parte, la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA) es la autoridad responsable de ejecutar las políticas públicas de pesca y acuacultura, concede permisos y autorizaciones para el desarrollo de actividades acuícolas y asegura el cumplimiento de la Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables (LGPAS).

Otros órganos nacionales reguladores incluyen el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuacultura Sustentables (IMIPAS), encargado de dirigir y coordinar investigación científica y tecnológica en áreas de investigación acuícola, y la Secretaría de Marina (SEMAR), que en

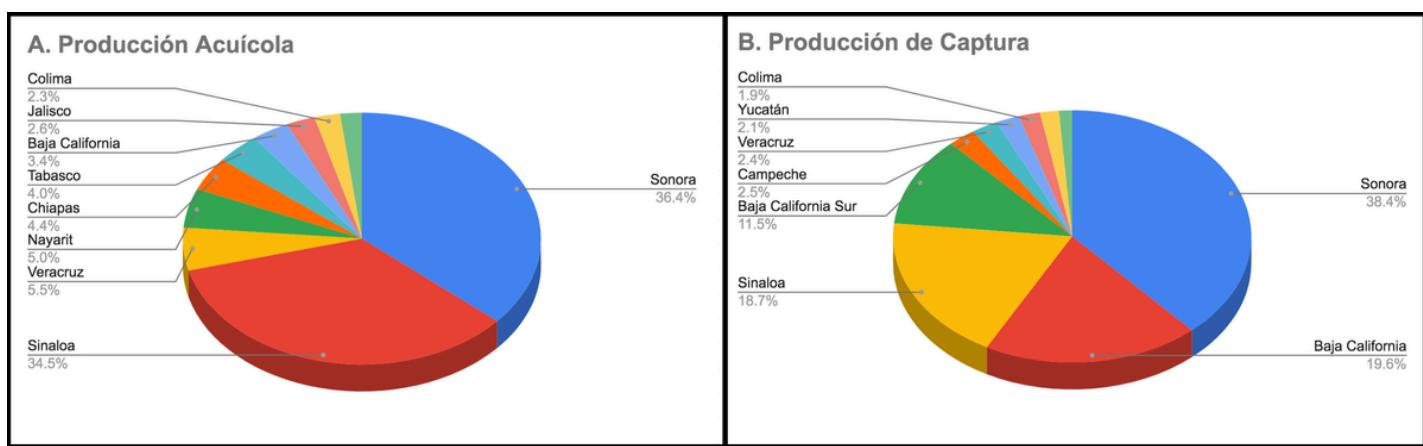


Figura 2. Producción acuícola y de Captura en México.

Estados con mayor producción acuícola en el país. Sonora y Sinaloa producen cerca del 76% (187,660) de la producción total. B) Estados con mayor captura en el país. Sonora, Baja California y Sinaloa capturan cerca del 77% (1,312,235t). Fuente: CONAPESCA, comunicado del 02 de enero de 2025, <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/cierra-agricultura-2024-con-resultados-positivos-en-pesca-y-acuacultura-387149>. Los datos han sido adaptados en porcentaje.

coordinación con la SADER está encargada de proteger y vigilar los recursos pesqueros y acuícolas. Finalmente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) gestiona el uso de recursos naturales relacionados con el área acuícola.

Como se mencionó, en el marco legal, México está regido por la LGPAS y por las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs); la LGPAS regula y administra el aprovechamiento sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas del país; otra de sus funciones es el apoyo y mejora en la calidad de vida de pescadores y acuicultores, fijar medidas para la protección de especies y establecer infracciones y sanciones, entre otras. Las NOMs son documentos técnicos que establecen principios específicos y de cumplimiento obligatorio con aspectos referentes a la pesca y la acuacultura, por ejemplo, regulación en el uso de embarcaciones y técnicas de pesca, requisitos sanitarios (uso y tipo de químicos en los alimentos, envasado, refrigeración, etc.), explotación de especies específicas, etc. (CONAPESCA, 2016; CONAPESCA, 2023b; DOF, 2024).

Si bien son muchos los órganos que regulan el sector acuícola del país, aún falta normativa en diferentes áreas. Por ejemplo, definir y delimitar las funciones que tienen las distintas secretarías como la SEMARNAT, CONAPESCA, CONAGUA para evitar duplicidad de trámites o carencia de medidas de regulación y agilizar trámites administrativos; establecer normas específicas para los diferentes tipos de acuicultura (ambientes marinos, continentales o estuarios); implementar normas de sanidad tanto para la salud humana, animal y ambiental (p. ej., prevención y control de enfermedades en

peces, zoonosis, manejo de efluentes), desarrollar planes de financiamiento para proporcionar apoyos económicos que lleguen a los productores y que garanticen la sostenibilidad del sector acuícola.

Comités de sanidad acuícola.

La aplicación de buenas prácticas sanitarias dentro de la acuicultura mexicana se lleva a cabo por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, a través de SENASICA; estos órganos se encargan de establecer los lineamientos y programas para mantener y mejorar la inocuidad y sanidad de los productos acuícolas y pesqueros del país.

Estas prácticas sanitarias se llevan a cabo por medio de los comités de sanidad acuícola, los cuales son organizaciones de productores que colaboran con la SENASICA. Entre sus principales funciones están las de capacitar a los productores en la reducción de riesgos de contaminación durante la producción y manufactura de los productos, y proporcionarles apoyo para el cumplimiento de las normas oficiales, además de monitorear y controlar enfermedades en los cultivos y dar seguimiento a cualquier tipo de enfermedades (SENASICA, 2017). Actualmente, existen en el país 28 comités estatales dependientes del SENASICA para el empleo de las buenas prácticas de sanidad acuícola (Ver: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/116774/Directorio_OASAS_marzo_2016.pdf).

Centros de producción de semilla, alevines y larvas.

La producción de semilla, alevines y larvas ha permitido incrementar la producción y productividad acuícola a nivel nacional, favoreciendo a las unidades de producción, principalmente a las de mayor escala; la mayoría de estos centros de producción están operados por CONAPESCA y están registrados en el Padrón de Centros Proveedores de Semilla Acuícola, que cada año se actualiza de acuerdo a las reglas de operación del año en curso por el Gobierno Federal. La función de estos centros es principalmente asegurar un abastecimiento constante y controlado de organismos a las unidades de producción, además de desarrollar tecnologías de reproducción, mejora genética y cultivo de diferentes especies, apoyando así la diversificación de especies de valor comercial, pero también en la conservación de especies, creando programas de repoblación de especies nativas o en peligro de extinción (CONAPESCA, 2023c).

Por ejemplo, para este año 2025, los centros de producción de semilla para tilapia fueron 22, y participaron los siguientes estados: Campeche, Chiapas, Colima, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco y Veracruz (para conocer los centros proveedores de semilla consultar: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/975783/Padr_n_03032025.pdf). También existen centros de producción que no están registrados en el padrón de centros proveedores de semilla acuícola, pero contribuyen al desarrollo acuícola; algunos de ellos son empresas privadas, pequeños productores y centros educativos. Algunos de

esos centros realizan donativos a comunidades rurales en el país, incrementando la economía de los pueblos de México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural e IMIPAS, 2025).

Tecnologías y biotecnologías para la mejora en la producción acuícola.

La adopción de tecnologías y biotecnologías ha permitido el crecimiento acuícola y económico; estas tecnologías pueden ser sostenibles o tecnologías de bajo impacto ambiental. Entre las tecnologías sostenibles está el uso de sensores electrónicos, como lo son las sondas multiparamétricas, las cuales permiten monitorear el oxígeno disuelto, pH y temperatura del agua y medir varios parámetros fisicoquímicos simultáneamente.

Recientemente, la aplicación de tecnologías de última generación incluye el uso de inteligencia artificial, sensores de monitoreo en tiempo real con microcontroladores de parámetros fisicoquímicos, redes de sensores inalámbricas, drones y drones submarinos. Estas nuevas tecnologías permiten el diagnóstico temprano de enfermedades, mantener un ambiente controlado en granjas y cultivos y optimizar operaciones (Dena dos Santos, L., 2025).

Otras tecnologías utilizadas para el desarrollo acuícola son los sistemas de recirculación acuícola (RAS), los cuales permiten la optimización del agua en espacios reducidos. El sistema de recirculación recupera el 90% del agua, utilizando filtros mecánicos, sedimentadores, filtros biológicos y esterilización por medio de luz ultravioleta (UV) (Valenti, et al., 2021; Olszewski, V., 2025).

Otros sistemas de producción con desarrollos tecnológicos incluyen el sistema biofloc (BFT) y acuapónico. El sistema biofloc es uno de los sistemas acuícolas más sostenibles en la acuicultura. En términos generales, se utiliza una fuente de carbono externa (comúnmente melaza) para estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas, principalmente bacterias heterotróficas que forman flóculos (agregados bacterianos) que ayudan a reducir compuestos nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos), el alimento no consumido y las heces de los peces, manteniendo la calidad del agua y el equilibrio de nutrientes.

Los sistemas acuapónicos son otros métodos de producción sostenible; se caracterizan por cultivar dos tipos de alimento, plantas y peces, creando un ecosistema simbótico sin la necesidad de utilizar fertilizantes químicos. Los desechos de los peces son procesados por bacterias beneficiosas para convertirlos en alimento para las plantas; aunque es un sistema difícil de iniciar, una vez alcanzado el equilibrio, es de fácil mantenimiento (Estrada et al., 2023).

Así como en otras áreas de producción de alimentos como cultivos (cereales, frutas y verduras) y ganadería (mayor producción de carne y leche de alta calidad), en la acuicultura también se utiliza el mejoramiento genético para obtener individuos resistentes a enfermedades, aumentar la talla de los individuos, acelerar el crecimiento, por medio de administración de hormonas; por ejemplo, la utilización de la hormona 17-MT o 17 α -metiltestosterona, es un andrógeno sintético que reverte el sexo de los peces, utilizada comúnmente en cultivos de tilapia, esta hormona de masculinización produce

poblaciones monosexuales que crecen y alcanzan un tamaño mayor mucho más rápido que una población normal de peces (Sarker et al., 2022).

Actualmente, un nuevo método empleado para manipular el genoma y permitir el mejoramiento genético es la tecnología de Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas Regularmente Interespaciadas o CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats, sus siglas en inglés), la cual permite modificar, eliminar o insertar genes de interés en el genoma de los organismos para mejorar características como la tasa de crecimiento, la resistencia a enfermedades, el perfil nutricional (p. ej., aumentando el contenido de ácidos grasos en el cuerpo del animal). Otras aplicaciones de esta tecnología son el estudio de enfermedades y procesos de desarrollo en modelos animales bien establecidos como el pez cebra, lo que ayuda a entender y mejorar las especies de cultivo. Aunque este método de edición genómica es una tecnología con muchas aplicaciones, enfrenta desafíos técnicos, éticos y de regulación pública, por tratarse de organismos genéticamente modificados (OMG) (Puthumana et al., 2024) (FIG. 3).

Cultivo de algas marinas para uso acuícola.

Aunque en México el cultivo de algas marinas se encuentra aún en una fase de crecimiento y desarrollo, este tipo de cultivos representa una fuente valiosa de alimento para uso agrícola y acuícola, debido a su alto valor nutricional. Por ejemplo, en la acuicultura, las microalgas son esenciales en la dieta de larvas de moluscos, crustáceos y algunas especies de peces, aparte de que ayudan a mejorar la calidad del agua al

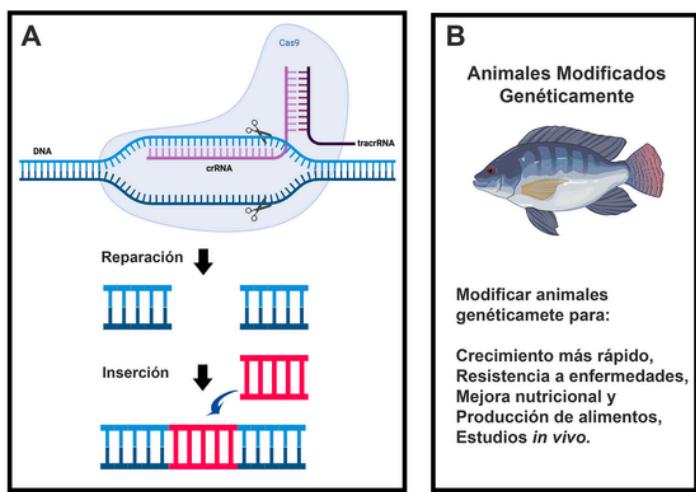


Figura 3. Tecnología CRISPR y aplicaciones en acuicultura. A. El sistema CRISPR consiste en: crRNA (molécula de RNA guía) y tracrRNA (RNA CRISPR transactivador) guían la proteína Cas9 ("tijeras moleculares") corta el DNA en un lugar específico. El proceso de edición se lleva a cabo cuando el crRNA se une a una secuencia específica del ADN; la enzima Cas9 unida al crRNA y tracrRNA corta el DNA en un sitio específico; la célula repara el corte provocando una modificación de la secuencia de DNA original. Estas modificaciones pueden desactivar un gen, insertar una nueva secuencia de DNA o corregir o eliminar un gen defectuoso. B. La tecnología CRISPR permite modificar el genoma de los organismos para mejorar rasgos de las especies de interés.

reducir nutrientes producidos por otras especies en cultivo como el camarón u ostión. En México, las especies de algas más utilizadas son el alga roja (*Gracilaria spp.*), utilizada para la producción de agar y como alimento en cultivos de abulón; la lechuga de mar (*Ulva spp.*) y *Enteromorpha spp.*, las cuales son comestibles y están siendo estudiadas como aditivos en la dieta de peces. Otras especies de algas de interés comercial, especialmente en Baja California, son el sargazo gigante o kelp (*Macrocystis pyrifera*) y las algas rojas (*Gelidium robustum* y *Gigartina canaliculata*), utilizadas para la producción de alginatos y forraje marino, y para la producción de polisacáridos naturales (ficocoloides) como el agar, respectivamente, los

cuales son ampliamente usados en la industria alimentaria (Aguilar-Rosas, R., 1998; Guzmán-del Prío S., 1993; Arbaiza Quispe et al., 2021).

Retos de la acuicultura en México.

Los avances tecnológicos y nuevas iniciativas de sostenibilidad han permitido un crecimiento considerable de la actividad acuícola del país, sin embargo, este sector enfrenta varios desafíos, como cuestiones ambientales que incluyen contaminación de los recursos hídricos, producción de desechos y deterioro de ecosistemas. Otros retos incluyen el control de enfermedades; el cambio climático, regulación en la calidad y seguridad de los productos, entre otros.

El impacto de la acuicultura en el medio ambiente puede crear ventajas y desventajas en el desarrollo de los ecosistemas. Los problemas ambientales ocasionados por las actividades acuícolas incluyen la contaminación del agua, la destrucción del hábitat y la propagación de enfermedades; por ejemplo, en la camaronicultura se emplean más de 5.16 millones de hectáreas costeras en el mundo para la producción. La rápida expansión de la cría de camarones en áreas costeras ha generado preocupación por la destrucción de los bosques de manglares y otros ecosistemas sensibles. Estos impactos pueden provocar la pérdida de biodiversidad y la interrupción de la pesca local (Fonseca-Moreno, 2010; Boyd et al., 2021). En la última década se tiene registro de más de 80 mil hectáreas de territorio nacional utilizadas para el cultivo de camarón en zonas costeras, destruyendo casi el 2 % del ecosistema de manglares del país; los estados más afectados por esta actividad son Sonora y Nayarit (Berlanga Robles et al., 2011).

Los brotes de enfermedades pueden afectar en gran medida la producción acuícola, provocando pérdidas financieras y aumento en los costos de operación. Enfermedades virales como el síndrome de la mancha blanca (WSS) y el síndrome de mortalidad temprana (EMS), que afectan principalmente a la cría de camarones, pueden provocar pérdida total de los cultivos (Mugunthan et al., 2025; De Schryver et al., 2014). Por otra parte, enfermedades como la estreptococosis, causada por cepas bacterianas como *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus iniae* y *Streptococcus dysgalactiae*, son comunes en tilapias y en otras especies tanto de agua dulce como marina, la cual también provoca altas tasas de mortalidad y enormes pérdidas económicas en los cultivos acuícolas (Arita, J.D., 2022). A pesar de que la implementación y actualización de técnicas de sanidad acuícola han permitido prevenir, diagnosticar y controlar enfermedades, estas siguen siendo un desafío constante para los acuicultores.

Contribución de la acuicultura al cambio climático.

Los efectos del cambio climático a nivel global también afectan el sector acuícola, efectos como la acidificación de los océanos, el aumento en la temperatura del mar, los cambios en la salinidad del agua o la precipitación (inundaciones o sequías) afectan negativamente a las especies acuáticas y la productividad de las granjas, propician la pérdida de biodiversidad y la transmisión de enfermedades. La planificación a largo plazo, como estrategias para la reducción de gases con efecto invernadero, desarrollo de tecnologías para cultivos sostenibles y la implementación de estrategias de gestión adaptativa, como el

desarrollo de cultivos más resistentes a cambios ambientales, serán esenciales para el futuro de esta industria.

En relación con esto, la acuicultura también tiene contribuciones positivas al ambiente, especialmente al cambio climático, mediante el cultivo de macroalgas y bivalvos para la producción de proteínas bajas en carbono. Estos cultivos permiten la captura de carbono del agua y la atmósfera, lo que permite la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Además, estos cultivos pueden crear refugios o hábitats para otras especies; a esto se le conoce como acuicultura para la restauración. Al ser una fuente controlada de productos del mar, la acuicultura también permite la protección y conservación de especies, especialmente aquellas en peligro de extinción (Vázquez-Vera et al., 2022).

Otros retos que enfrenta la industria acuícola se centran en el cumplimiento de las leyes y las normas regulatorias tanto nacionales como internacionales, como el uso de antibióticos, los estándares de calidad y seguridad sanitaria y las normas ambientales, a esto se suman las barreras comerciales, como la implementación de aranceles o las tensiones geopolíticas que pueden afectar los mercados de exportación.

La implementación de nuevas y mejores estrategias en las áreas de tecnología y prácticas sostenibles y la adopción de certificaciones internacionales ayudarán a resolver estos problemas. A medida que los productores mexicanos puedan adaptarse a estas nuevas prácticas, se verá contribuido de manera significativa en el desarrollo económico y la seguridad alimentaria del país.

Conclusión.

La acuicultura en México es una industria importante y en crecimiento, con una contribución significativa al desarrollo económico y a la seguridad alimentaria del país. Sin embargo, el éxito de esta actividad enfrenta retos significativos como la sustentabilidad ambiental, la sanidad acuícola, el impacto del cambio climático y el cumplimiento de normas nacionales e internacionales. Para hacer frente a estos desafíos y garantizar la competitividad internacional y un mayor desarrollo de este sector, se requerirá la implementación de mejores prácticas productivas sostenibles, el fortalecimiento en bioseguridad y la adopción de innovaciones tecnológicas. De esta forma, la implementación de estrategias integrales que equilibren el crecimiento económico, la conservación ambiental y la seguridad alimentaria será clave para el futuro de la acuicultura mexicana.

REFERENCIAS

- CONAPESCA. (2023a). Ocupa México el 14vo lugar a nivel mundial en producción pesquera. Comunicado: 21 de noviembre de 2023.
<https://www.gob.mx/conapesca/prensa/ocupa-mexico-el-14vo-lugar-a-nivel-mundial-en-produccion-pesquera?idiom=es>
- Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas, Política Nacional de Mares y Costas de México, Diario Oficial de la Federación, México, 30-11-2018, consultado en www.dof.gob.mx.
- CONAPESCA. (2024a). Produce México más de 1 millón 900 mil toneladas de especies pesqueras y acuícolas en 2023. Comunicado: 17 de enero de 2024.
- FAO (2018). Crece la pesca en México, impulsada por la pesca en aguas dulces.
<https://www.fao.org/mexico/noticias/detail-events/ru/c/1144778/#:~:text=En%202016%20M%C3%A9xico%20se%20coloc%C3%B3%20comer%20el,puesto%2014%20entre%20los%20mayores%20pa%C3%ADses%20productores>
- CONAPESCA. (2017). México se ubica como tercer productor de pulpo a nivel mundial. Comunicado: 31 de julio de 2017.
<https://www.gob.mx/conapesca/prensa/mexico-se-ubica-como-tercer-productor-de-pulpo-a-nivel-mundial?idiom=es-MX#:~:text=Con%20una%20producci%C3%B3n%20de%20m%C3%A1s%20de%2038,mexicanos%2C%20y%20cuya%20temporada%20de%20capturas%20iniciar%C3%A1>
- CONAPESCA. (2024b). Se posiciona México como el segundo mejor productor de camarón en Latinoamérica. Comunicado: 26 de enero de 2024.
<https://www.gob.mx/conapesca/prensa/se-posiciona-mexico-como-el-segundo-mejor-productor-de-camaron-en-latinoamerica?idiom=es-MX#:~:text=Especific%C3%B3n%20la%20dependencia%20que%20la%20producci%C3%B3n%20nacional,m%C3%A1s%20de%20mil%20800%20millones%20de%20pesos>
- Salinas, A. (2024). Estancamiento del crecimiento de la acuicultura en México: factores y ejemplos comparativos. Publicado

- por Panorama Acuícola. Recuperado de <https://panoramaacuicola.com/2024/09/12/estancamiento-del-crecimiento-de-la-acuicultura-en-mexico-factores-y-ejemplos-comparativos/#:~:text=6.%20Promoci%C3%B3n%20de%20productos%20nacionales%20como%20alternativa%20de%20calidad>.
- Agencia Noti.Mx. (2025). Acuicultura: el futuro de la industria camaronera en México. Publicado por Agencia Noti.Mx. Recuperado de <https://noti.mx/2025/01/23/en-mexico-la-industria-acuicola-es-relativamente-nueva-en-comparacion-con-el-progreso-que-tiene-en-otros-paises-del-mundo-como-ecuador-china-e-india-aqui-su-desarrollo-es-constante-y-posee-un-enorm/>
- Wolf, M. (2025). China es el número uno. Publicado por DLG Mitteilungen. Recuperado de https://www-dlg-org.translate.goog/en/magazine/aquaculture-china-is-number-one?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=China%20as%20the%20centre%20of,for%2091%25%20of%20total%20producton
- FAO (2025). México. Text by Montero Rodríguez, M.. In: Fisheries and Aquaculture. [Cited Sunday, September 14th 2025]. <https://www.fao.org/fishery/en/countrysector/mx/es>
- Gobierno del Estado de Baja California Sur. (2025). BCS, Líder Nacional en Producción de Ostión: Genera 2 Mil Toneladas al Año. Recuperado de <https://www.bcs.gob.mx/bcs-lider-nacional-en-produccion-de-ostion-genera-2-mil-toneladas-al-ano/#:~:text=BCS%2C%20L%C3%8CDER%20NACIONAL%20EN%20PRODUCCI%C3%93N%20DE%20OSTI%C3%93N;,de%20seguridad%20para%20las%20siembras%20de%20organismo>.
- Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). Diagnóstico de la acuacultura en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México. ISBN: 978-607-99061-5-3 [https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Libro%20Acuacultura_2022.pdf#:~:text=Otras%20especies%2C%20como%20la%20carpa%20\(Cyprinus%20carpio\)%2C,camar%C3%B3n%20tilapia%20\(FIGS.%2013%20y%2014\)](https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Libro%20Acuacultura_2022.pdf#:~:text=Otras%20especies%2C%20como%20la%20carpa%20(Cyprinus%20carpio)%2C,camar%C3%B3n%20tilapia%20(FIGS.%2013%20y%2014)).
- CONAPESCA. (2018). Acuacultura Tilapia. Anuarios Estadísticos: 21 de marzo de 2018. <https://www.gob.mx/imipas/acciones-y-programas/acuacultura-tilapia>
- CONAPESCA. (2025). Cierra Agricultura 2024 con resultados positivos en pesca y acuacultura. Comunicado: 02 de enero de 2025. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/cierra-agricultura-2024-con-resultados-positivos-en-pesca-y-acuacultura-387149>
- CONAPESCA. (2023b). ¿Qué es la CONAPESCA?. 30 de junio de 2023. <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/que-es-la-conapesca#:~:text=La%20CONAPESCA%20es%20el%20%C3%B3rgano,de%20la%20pesca%20y%20acuacultura>
- CONAPESCA. (2016) Normas Oficiales Mexicanas Pesqueras y Acuícolas. 13 de abril de 2016. <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/normas-oficiales-mexicanas-pesqueras-y-acuicolas-30453#:~:text=NOM%2D009%2DSAG/PESC,d%20los%20Estados%20Unidos%20Mexicanos>.
- DOF (2024). PROGRAMA Nacional de Pesca y Acuacultura 2020-2024. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5609194#:~:text=En%20este%20marc

- o%2C%20la%20Comisi%C3%B3n,Acuacultura%20Sustentables%2020202024%202020%202024.
- Foro económico de pesca y acuacultura (2017). Sanidad e inocuidad en acuicultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (**SENASICA**). https://foroeconomico.conapesca.gob.mx/historial/paginas/historial/2017/assets/img/ponentes/ENRIQUE_SANCHEZ_CRUZ_SANIDAD_E_INOCUIDAD.pdf
- CONAPESCA. (2023c). Produce Conapesca más de tres millones de alevines en sus Centros Acuícolas. Comunicado: 22 de noviembre de 2023, <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-conapesca-mas-de-tres-millones-de-alevines-en-sus-centros-acuicolas?idiom=es-MX#:~:text=Cr%C3%ADAs%20de%20diversas%20especies%20dulceacu%C3%ADcolas%20como%20carpa%2C,tres%20millones%20de%20alevines%2C%20inform%C3%B3Octavio%20Almada>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural e IMIPAS. (2025). Padrón de Centros Proveedores de Semilla Acuícola. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/975783/Padr_n_03032025.pdf
- Dena dos Santos, L. (2025). Revolución acuícola: inteligencia digital. Publicado por All Aquaculture. Recuperado de <https://allaquaculture.com/entrada/revolucion-acuicola-inteligencia-digital-55808>
- Valenti, W.C.; Barros, H.P. Moraes-Valenti P.; Bueno, W.G.; Cavalli, R.O. (2021). Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports* 19(4):100611. DOI:10.1016/j.aqrep.2021.100611
- Olszewski, V. (2025). Tecnología e innovación en acuicultura: el futuro sostenible de la producción acuícola. Publicado por All Aquaculture. Recuperado de [https://allaquaculture.com/entrada/tecnologia-e-innovacion-en-acuicultura-el-futuro-sostenible-de-la-produccion-acuicola-55805#:~:text=Los%20sistemas%20de%20alimentaci%C3%B3n%20automatizados%2C%20intergrados%20con,las%20tasas%20de%20conversi%C3%B3n%20alimenticia%20\(FAO%2C%202020%2020\)](https://allaquaculture.com/entrada/tecnologia-e-innovacion-en-acuicultura-el-futuro-sostenible-de-la-produccion-acuicola-55805#:~:text=Los%20sistemas%20de%20alimentaci%C3%B3n%20automatizados%2C%20intergrados%20con,las%20tasas%20de%20conversi%C3%B3n%20alimenticia%20(FAO%2C%202020%2020)).
- Estrada, M. D. L. L. S., Rabell, V. C., Aguilar, P. S. F., & Zarazúa, G. M. S. (2023). Tecnologías para optimizar el agua en la acuicultura. *Revista Nthe*, 41: pp. 19 - 26, ISSN: 2007-9079
- Sarker, B., Das, B., Chakraborty, S., Hossain, M. A., Alam, M. M. M., Mian, S., & Iqbal, M. M. (2022). Optimization of 17α-methyltestosterone dose to produce quality mono-sex Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Heliyon*, 8(12), e12252. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12252>
- Puthumana, J., Chandrababu, A., Sarasan, M., Joseph, V., & Singh, I. S. B. (2024). Genetic improvement in edible fish: status, constraints, and prospects on CRISPR-based genome engineering. *3 Biotech*, 14(2), 44. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03891-7>
- Aguilar-Rosas, R., Espinoza-Avalos, J. & Aguilar Rosas, L. (1998). Usos de las algas marinas en México. *Cienc. Desarro.* 24, 65–73.
- Guzmán-del Prío S. (1993). Desarrollo y perspectivas de la explotación de las algas marinas en México. *Ciencia Pesquera*, Inst. Nal. de la Pesca. Sría. de Pesca, México (9): 129-136.
- Arbaiza-Quispe S.J., Gil-García R., Gil-Kodaka P., Merino Félix L.P., Ramírez Díaz P., Rivera Calle H., Villena Sarmiento G., Resurrección Huertas J.Z. (2021). Diversificación acuícola hacia el

- cultivo de macroalgas. Guía técnica. Fundación de Ayuda en Acción, Cetmar, Anfaco-Cecopesca y Ministerio de la Producción (PRODUCE). Recuperado de <https://cetmar.org/wp-content/uploads/2021/07/DiversificacionAcuicolaMacroalgas.pdf>
- Fonseca- Moreno, E. (2010). Industria del camarón: su responsabilidad en la desaparición de los manglares y la contaminación acuática. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, 11(5), 1-20. <http://www.redalyc.org/pdf/636/63613160006.pdf>
- Boyd, C.E.; Davis, R.P.; McNevin, A.A. Perspectives on the mangrove conundrum, land use, and benefits of yield intensification in farmed shrimp production: A review. J. World Aquac. Soc. 2021, 53, 8–46, <https://doi.org/10.1111/jwas.12841>.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., Bocco, G. & Vekerdy, Z. Spatial analysis of the impact of shrimp culture on the coastal wetlands on the Northern coast of Sinaloa, Mexico. Ocean Coast. Manag. 54, 535–543 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.04.004>
- Mugunthan, S. P., Loganathan, N., Shanmugaraj, B. & Chandra, H. M. (2025). A narrative review on the white spot syndrome virus and the perspective of vaccine development. Vacunas 26. DOI: 10.1016/j.vacun.2024.11.001
- De Schryver, P., Defoirdt, T., & Sorgeloos, P. (2014). Early mortality syndrome outbreaks: a microbial management issue in shrimp farming?. PLoS pathogens, 10(4), e1003919. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003919>
- Arita, J.D. (2022). MANUAL DE PRINCIPALES ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE TILAPIA. Departamento de Acuicultura, Fundación Universitaria Iberoamericana Honduras <https://www.digepesca.sag.gob.hn/wp-content/uploads/2022/12/Manual-de-Principales-Enfermedades-en-el-Cultivo-de-Tilapia.pdf>
- Vázquez-Vera, L. y Chávez-Carreño, P. Eds. (2022). Diagnóstico de la acuacultura en México. ISBN: 978-607-99061-5-3 Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C. México.
- Sobre los autores:
- Ing. Tomas Padilla Rubi, estudiante de 2º año de maestría en Recursos Naturales y Ecología (UAGro), estudia la evaluación de los mecanismos de respuesta inmune embrionaria en tilapia y pez cebra ante la presencia de patógenos.
- Dr. José Luis Juárez-Morales*, es IxM- Secihti en el CIBNOR La Paz, BCS. Su especialidad es la biología del desarrollo, actualmente investiga la expresión y regulación de genes que participan en la respuesta inmune y metabólica en el pez cebra (*D. rerio*) y tilapia (*O. niloticus*) ante la presencia de patógenos.
- CITA:
- Juárez-Morales, J. L., & Tomas Radilla, R. (2025). Acuicultura en México: Panorama, innovaciones y retos emergentes. Biotecnológica Magazine, 3(6), 13-25. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18328775>

El agua y el ciclo del oxígeno

Luis Gerardo Treviño Quintanilla*, Rosa Angélica Guillén Garcés, Oscar Guadarrama Pérez y Clarita Olvera Carranza
 Universidad Politécnica del Estado de Morelos, Boulevard Cuauhnáhuac #566, Col. Lomas del Texcal, Jiutepec
 62550, Morelos.

Tema: Hace unos días mi sobrino, que está cursando biología en secundaria, me pidió que le explicara el ciclo del oxígeno y me mostró una infografía que estaba realizando sobre el mismo. Me percaté que, desde el punto de vista de la bioquímica, que es la ciencia que estudia todas las reacciones químicas que suceden en los seres vivos, el ciclo de la infografía estaba incompleto y se lo hice saber a mi sobrino. Sin embargo, él me comentó que la imagen del ciclo se las había proporcionado el profesor de biología y que era la misma que aparece en múltiples páginas, imágenes y videos en internet, tanto en español como en inglés (<https://concepto.de/ciclo-del-oxigeno/>, <https://www.significados.com/ciclo-del-oxigeno/>, <https://www.britannica.com/science/oxygen-cycle>, <https://www.youtube.com/watch?v=ERWEJzlupwk>), los anteriores son solo algunos ejemplos. Lo comenté con unos colegas y nos pareció importante explicar las razones por las que el ciclo del oxígeno, que enseñan en la escuela, está incompleto, por lo que, escribimos esta nota aclaratoria.

1. Introducción

El oxígeno (O_2) es un elemento esencial para la vida en la tierra, muchos seres vivos lo requieren para la respiración aeróbica, por ejemplo, un ser humano respira 5 litros de aire por minuto. El oxígeno es incoloro, inodoro e insípido, por lo que es indetectable para nuestros sentidos. El oxígeno comprende un 21% del volumen de nuestra atmósfera y en su forma de ozono (O_3) constituye la barrera, capa de ozono, que protege la vida en la tierra de la radiación ultravioleta dañina, producida por el sol. De hecho, la mayor parte del oxígeno atmosférico es producido por los seres vivos, por lo que, el ciclo del oxígeno es imprescindible para la vida, ya que recicla de manera constante este elemento en nuestra atmósfera (Mediavilla Pérez, 2010). Las fuentes principales del oxígeno atmosférico son los organismos fotosintéticos, principalmente el fitoplancton en los océanos (que producen

entre el 50% y el 85% del total) y, en menor medida, las plantas terrestres (responsables de alrededor del 30%) (Fontúbel y Molina, 2004). El fitoplancton de los océanos está compuesto por una diversidad de microorganismos fotosintéticos, principalmente microalgas (como diatomeas y dinoflagelados) y bacterias (cianobacterias). De esto, se desprende que es muy importante cuidar y reforestar los bosques, así como, evitar la contaminación de ríos, lagos y mares que nos proporcionan este elemento vital. Por lo anteriormente mencionado, conocer el ciclo de este elemento a fondo, así como, a partir de que compuesto se genera, es indispensable.

2. El Ciclo del Oxígeno

Para empezar, es conveniente mencionar que el ciclo del oxígeno puede dividirse en dos partes una lenta y otra rápida.

El ciclo lento del oxígeno, o etapa geológica, es el proceso mediante el cual el oxígeno es almacenado y liberado en la litosfera y la biosfera durante largos períodos de tiempo, involucrando procesos geológicos como la erosión de rocas, la formación de compuestos oxidados y la descomposición de materia orgánica, además de procesos hidrológicos y atmosféricos muy lento. Por otro lado, está el ciclo rápido del oxígeno, que llevan a cabo los seres vivos, en muchas publicaciones de internet este ciclo se describe de la siguiente manera:

1. Las plantas, los árboles y el fitoplancton, al realizar la fotosíntesis y nutrirse con minerales y agua, **liberan oxígeno a la atmósfera**.
 2. El oxígeno que se encuentra en la atmósfera es tomado por animales, así como por plantas durante la noche, mediante el **proceso de respiración**.
 3. Los animales y las plantas, al respirar, **exhalan dióxido de carbono (CO₂)** a la atmósfera.
 4. El **dióxido de carbono** es tomado nuevamente por las plantas, los árboles y el fitoplancton como parte del proceso metabólico. A partir de este proceso, estos seres vuelven a **liberar oxígeno** a la atmósfera.
- La lectura de los incisos anteriores o la observación de las imágenes disponibles en internet del ciclo rápido del oxígeno, generan la idea, de que los organismos fotosintéticos, como plantas y fitoplancton, toman el CO₂ de la atmósfera, y a partir del mismo, liberan oxígeno, posteriormente, los animales y otros organismos heterótrofos, que son aquellos que se alimentan a partir de productos orgánicos preformados y que normalmente clasificamos como consumidores primarios (herbívoros) o como

consumidores secundarios (carnívoros) y que también incluyen a bacterias, hongos y protozoarios (descomponedores), toman el oxígeno de la atmósfera, mediante el proceso de respiración, y liberan CO₂, que es tomado nuevamente por las plantas para cerrar el ciclo. Esta forma de redactar y representar en imágenes el ciclo rápido del oxígeno está equivocada, ya que muchos estudiantes desarrollan la idea de que el oxígeno es producido a partir del CO₂ y esto deja fuera a la fuente verdadera del oxígeno, un compuesto muy abundante en nuestro planeta y esencial para todos los organismos vivos. Este compuesto es el **AGUA**.

Otra razón por la que puede darse esta percepción equivocada de la fuente química del oxígeno, producido por los seres vivos, se debe a que los ciclos biológicos del oxígeno y del carbono están interconectados (Fig. 1, Panel B) y que al enseñarlos en secundaria y preparatoria estos ciclos se simplifican, por lo que las interacciones complejas de los mismos no son completamente representadas y explicadas en los modelos escolares.

En realidad, las plantas y otros organismos fotosintéticos producen el oxígeno a partir de la descomposición del **AGUA**, mediante la energía obtenida del sol a través de la fase luminosa de la fotosíntesis, liberando al ambiente el oxígeno, como un residuo de este proceso, y obteniendo, también a partir del agua, energía química almacenada en forma de moléculas de Adenosina Trifosfato (ATP), electrones y protones (H⁺), que a su vez son almacenados en una molécula llamada Nicotin Adenina Dinucleótido Fosforilado (NADPH).

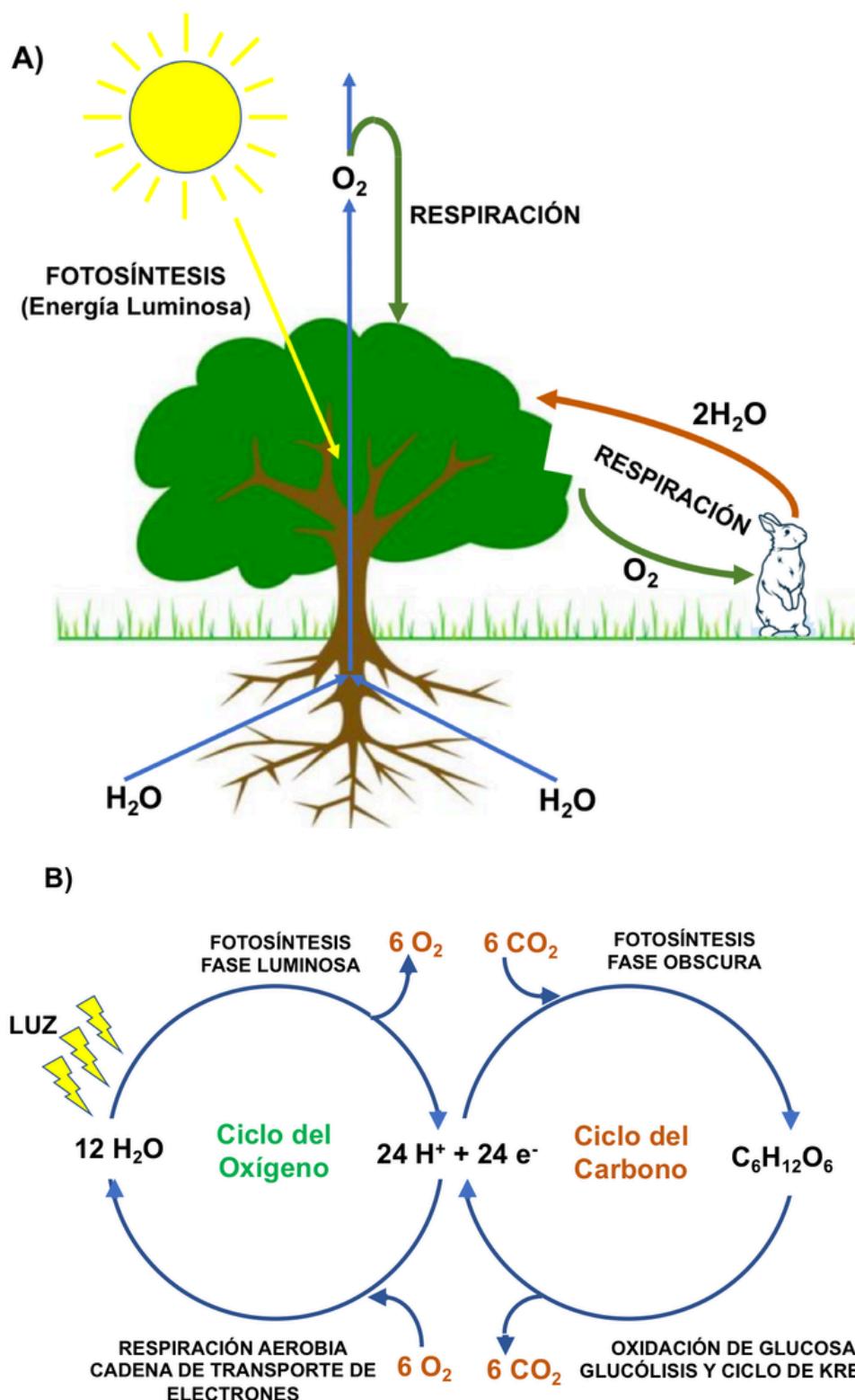
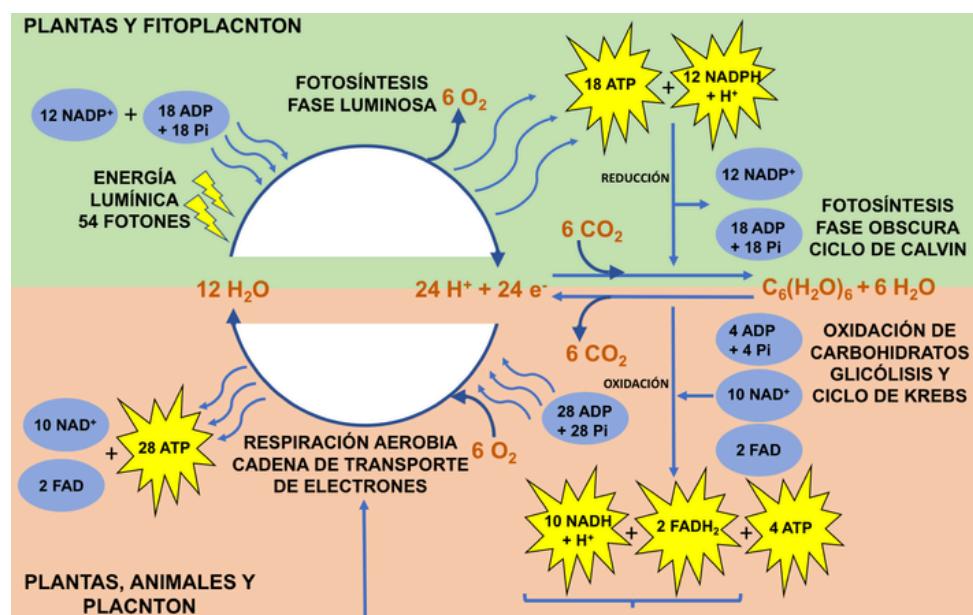


Figura 1. Ciclo del oxígeno. Panel A: Ciclo rápido del oxígeno modificado, para incluir el agua como una de las dos moléculas centrales del ciclo. Panel B: Procesos metabólicos de producción y consumo del oxígeno en los seres vivos, donde se emplea el agua para su generación y se observa la interconexión del ciclo del oxígeno y del carbono.

Las moléculas energéticas de ATP y NADPH, producidas en la fase luminosa de la fotosíntesis, son utilizadas por las plantas para transformar el CO₂ en glucosa, en un proceso conocido como fase oscura de la fotosíntesis o Ciclo de Calvin. En los animales y otros organismos heterótrofos, este proceso se invierte y el oxígeno es convertido en agua. En este caso los animales, hongos, bacterias y protozoos convierten la glucosa y otros alimentos en CO₂, a través de su oxidación por dos procesos metabólicos acoplados, llamados Glucólisis y Ciclo de Krebs. Obteniendo a partir de ambos ATP, electrones y protones, almacenando los últimos dos en moléculas de nicotina adenina dinucleótido (NADH) y flavina adenina dinucleótido (FADH₂), estas moléculas son utilizadas por los organismos heterótrofos para sintetizar los compuestos que se requieren para crecer, pero también pueden ser utilizadas para obtener más ATP, a través del proceso bioquímico de respiración aerobia (conocida

también como cadena de transporte de electrones), y que los organismos vivos utilizan para sus funciones vitales. Finalmente, los electrones obtenidos de los alimentos deben ser liberados por los organismos vivos al concluir estos procesos metabólicos, por lo que, estos electrones son donados al final del proceso de respiración al oxígeno, que obtenemos mediante su inhalación a través de la respiración, y que se une a átomos de hidrógeno (H₊) para producir molécula de agua (Fig. 1, Panel B), que junto con las moléculas de CO₂, producidas a partir de la descomposición de los alimentos, son liberadas por exhalación a la atmósfera. Estas moléculas de agua pueden ser tomadas por las plantas y el fitoplancton, para producir nuevamente oxígeno, cerrando así el ciclo rápido del oxígeno. En la figura 2, se presenta un resumen de estos procesos metabólicos, donde se pueden observar las etapas que intervienen, así como la interconexión y ciclado de sus componentes.

Figura 2. Flujo de energía en los seres vivos: en las plantas y el fitoplancton. Panel verde de la imagen: la fotosíntesis transforma la luz solar en energía química a través de reacciones luminosas y oscuras, al dividir el agua en protones y electrones para liberar oxígeno molecular y fijar el CO₂ para producir carbohidratos. Al quemar (oxidar) los animales y otros organismos heterótrofos las moléculas orgánicas. Panel rosa de la imagen: a través de la oxidación de carbohidratos y la respiración aerobia se libera la energía que contienen en forma de energía química ATP, el proceso inverso de la fotosíntesis se pone en movimiento produciendo CO₂ a partir de los carbohidratos y agua a partir del oxígeno molecular. Los componentes de la imagen en óvalos azules representan moléculas oxidadas sin energía y los que están en explosiones amarillas representan moléculas reducidas altamente energéticas.



Por lo anteriormente expuesto, los pasos del ciclo rápido del oxígeno, que se llevan a cabo en los seres vivos, deben expresarse de la siguiente manera (Fig. 1, Panel A):

1. Las plantas y el fitoplancton, al realizar la fotosíntesis para obtener energía y nutrirse mediante el uso de minerales y agua, **liberan a partir de la descomposición del agua oxígeno a la atmósfera.**
2. El oxígeno que se encuentra en la atmósfera es tomado por animales mediante el **proceso de respiración**, así como por plantas durante la noche.
3. Los animales, al respirar, **exhalan** a la atmósfera **dioxido de carbono (CO₂) y agua**, esta última es producida a partir de la combinación del oxígeno con hidrógeno y electrones.
4. El **agua producida por los animales durante la respiración** puede ser tomada nuevamente por las plantas y el fitoplancton como parte de sus procesos metabólicos. A partir del proceso de fotosíntesis, estos organismos vuelven a **liberar oxígeno** a la atmósfera, cerrando el ciclo. Esta nueva redacción de los pasos del ciclo rápido del oxígeno deja claro que el oxígeno es producido a partir del **AGUA**, un compuesto esencial para todos los seres vivos, y no del CO₂ que se genera por la descomposición (oxidación) de los alimentos. Si estás interesado en conocer más sobre la fotosíntesis y la producción de oxígeno por las plantas puedes realizar los experimentos sugeridos en el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=Esrw5Znvhrc>. Estos experimentos te permitirán observar la producción de oxígeno por las plantas.

3. Referencias

1. Bender D. A., Botham K. M., Weil P. A., Kennelly P. J. y Rodwell V. W. (Eds.). (2018). Harper, Bioquímica Ilustrada. 30^a ed. México. McGraw-Hill.
2. Ciclo del Oxígeno. (2025, 21 de enero). Obtenido de: Enciclopedia de significados. <https://www.significados.com/ciclo-del-oxigeno/>
3. Ciclo del Oxígeno. (2025, 21 de enero). Obtenido de: Unidad de Apoyo para el Aprendizaje UNAM. <https://uapa.cuaed.unam.mx/node/866/>
4. Fontúrbel F., Molina C. (2004). Origen del agua y el oxígeno molecular en la Tierra: efecto sobre la biodiversidad. Elementos. 53, pp. 3-5
5. Mediavilla Pérez M. J. (2023). Origen y evolución del oxígeno atmosférico. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. pp. 16-24.

Sobre el autor:

Luis Gerardo Treviño Quintanilla: Doctorado en Ciencias Bioquímicas por la UNAM, Profesora de Tiempo Completo de la UPEMOR desde 2009 y profesor de la asignatura de Bioquímica de la carrera de Ingeniería Ambiental y Sustentabilidad. Desarrolla proyectos de investigación relacionados con la caracterización molecular de microorganismos con potencial para su uso en biorremediación de contaminantes aromáticos clorados y emergentes. Es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I (2008 a 2027).

CITA:

Treviño Quintanilla, L. G., Guillén Garcés, R. A., Guadarrama Pérez, O., & Olvera Carranza, C. (2025). El agua y el ciclo del oxígeno. Biotecnológica Magazine, 3(6), 26-30. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18328869>

El dilema de las licencias de patentes: su impacto en la conservación de los recursos naturales

Felipe Ascencio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

ascencio@cibnor.mx

Tema: Las licencias de patentes constituyen un mecanismo legal que faculta a los titulares de patentes a conceder a terceros el derecho a utilizar, fabricar o comercializar sus invenciones patentadas, a cambio de regalías u otra forma de compensación. Aunque este sistema está diseñado para incentivar la innovación y promover la difusión de tecnología, puede ser susceptible de abuso, lo que puede resultar en un uso indebido, una gestión deficiente y una protección inadecuada de los recursos naturales. En particular, algunas licencias de patentes en los ámbitos de la biotecnología, la innovación agrícola y la extracción de recursos pueden agravar la degradación ambiental, socavar los sistemas de conocimiento tradicionales y obstaculizar la gestión sostenible de los recursos. La biotecnología no debe considerarse simplemente como un conjunto de herramientas que produce beneficios y daños en proporciones variables; más bien, se debe entender como un conjunto de tecnologías cuyo objetivo fundamental es transformar los modelos productivos hacia prácticas que sean más respetuosas con el medio ambiente.

1. Introducción

El sistema de licencias de patentes, concebido originalmente para incentivar la innovación mediante la concesión de monopolios temporales a los inventores, se ha convertido cada vez más en un mecanismo que fomenta el abuso, la mala gestión y el abandono de la protección de los recursos naturales. Este artículo analiza la compleja relación entre la propiedad intelectual y la gestión ambiental, revelando cómo el sistema de patentes actual socava inadvertidamente la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos.

El sistema moderno de patentes se basa en un principio fundamental: los inventores deben tener derechos exclusivos sobre sus innovaciones durante un período limitado (normalmente 20 años). Sin embargo, cuando

se aplica a tecnologías y sistemas de conocimiento relacionados con los recursos naturales, este marco presenta importantes conflictos con los objetivos de protección y la gestión equitativa de los recursos (Dixon, 2018; Ruiz, 2003).

A medida que las empresas buscan patentar innovaciones derivadas de recursos biológicos, conocimientos convencionales y tecnologías de gran importancia ambiental, la intersección entre el derecho de patentes y las cuestiones ambientales se vuelve cada vez más compleja. Esta tendencia genera preocupación por la mercantilización de la naturaleza y la creación de barreras para acceder a las soluciones ambientales necesarias (Gollin, 1991; Dijkman, 2025).

Sería injusto afirmar que la biotecnología tiene muchos beneficios para los seres humanos y la naturaleza, pero también impactos negativos. La biotecnología es simplemente un conjunto neutral de herramientas; la forma en que las usemos determinará si agotamos los recursos naturales. Sin embargo, esta caracterización requiere una matización importante: una proporción significativa de los desarrollos biotecnológicos contemporáneos no surgieron como herramientas de aplicación abierta, sino específicamente como respuesta a problemas de depredación de recursos naturales y degradación ambiental (Techmi Group, 2025; Cognita Conecta, 2025).

La realidad contemporánea de la biotecnología desafía la dicotomía de beneficiosa pero también dañina. En su lugar, existe un objetivo orientado a evitar y prevenir la depredación de recursos naturales. La biotecnología ambiental, incluyendo sus variantes verde, blanca, gris y marrón, fue específicamente concebida dentro de marcos internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1994 y la Agenda 21 de la ONU, precisamente como herramienta estratégica para abordar problemas ambientales globales (Techmi Group, 2025; Cognita Conecta, 2025; UE, 2025).

En agricultura y seguridad alimentaria, la biotecnología verde desarrolló cultivos genéticamente modificados que requieren significativamente menos agua y pesticidas, reduciendo desde el diseño el impacto ambiental. No se trata de un beneficio secundario, sino del objetivo central de estas modificaciones (Techmi Group, 2025).

En gestión industrial, la biotecnología blanca reemplaza deliberadamente procesos químicos contaminantes por bioprocesos que utilizan enzimas y microorganismos bajo condiciones moderadas de temperatura y presión, minimizando consumo energético, contaminación y dependencia de recursos no renovables (IEQFB, 2023; UE, 2024).

En restauración ambiental, la biorremediación y la biotecnología gris fueron específicamente diseñadas para limpiar contaminantes existentes mediante organismos modificados capaces de degradar tóxicos, metales pesados y residuos plásticos. Su propósito explícito es revertir y prevenir deterioro ambiental (UE, 2025; Forus Green, 2025).

En recuperación de ecosistemas degradados, la biotecnología marrón surge como respuesta a desertificación y degradación de suelos áridos, utilizando especies nativas adaptadas y organismos ingenierizados para restaurar tierras improductivas (La Biotecnología, 2023).

Un aspecto fundamental que distingue la biotecnología contemporánea es su integración con principios de economía circular. La bioeconomía circular no simplemente mitiga daño; previene desde el diseño la generación de residuos y depredación. Aprovecha biomasa sin comprometer biodiversidad, cierra ciclos productivos mediante reutilización y reciclaje de materiales biológicos, y optimiza procesos mediante innovación tecnológica (Toribio y Celestino, 2000).

2. Biopiratería y apropiación de conocimientos tradicionales

En un análisis reciente publicado en [Comestible.info](#), Diana Pinzón Moncada explora el tema de la biopiratería relacionada

con el agave mexicano y su impacto en la identidad y el patrimonio cultural de México (Figura 1). La creciente popularidad del mezcal y otros tequilas ha ejercido una enorme presión sobre la agricultura mexicana y las comunidades productoras de agave. Este fenómeno ha atraído a nuevos competidores que participan en actividades que pueden definirse como biopiratería mediante prácticas cuestionables.

Efectivamente, la explotación y apropiación de los recursos biológicos indígenas de un país se puede considerar un componente clave de la biopiratería. Este término se refiere a la práctica de obtener y utilizar recursos genéticos y conocimientos tradicionales de comunidades indígenas sin su consentimiento y sin compensación adecuada. La biopiratería no solo implica la explotación de estos recursos, sino que también puede llevar a la erosión de la diversidad biológica y cultural, así como a la violación de derechos de propiedad intelectual. Por lo tanto, abordar la biopiratería es fundamental para proteger tanto la biodiversidad como los derechos de las comunidades que han preservado y gestionado estos recursos a lo largo del tiempo.

En México, muchas especies de plantas endémicas, como el maíz y el agave, se han utilizado con fines comerciales, lo que afecta no solo la soberanía alimentaria de las comunidades locales, sino también su rico patrimonio cultural. La creciente presencia de botellas de mezcal en bares y restaurantes de todo el mundo se debe en gran medida a la creciente demanda, que ha llevado al cultivo y propagación generalizados del agave mexicano a nivel mundial, con una falta de regulación

efectiva. Existen registros del cultivo de agave fuera de México que datan de la época de la conquista y la colonización, pero la escala actual de esta práctica está directamente relacionada con las presiones del mercado (<https://agaves.pro/biopirateria-de-agaves-mexicanos-identidad-y-patrimonio-en riesgo/>).

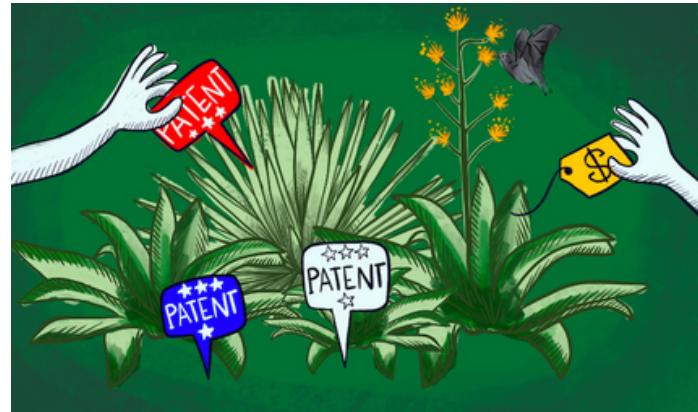


Figura 1. Biopiratería de agaves mexicanos: Identidad y patrimonio en riesgo (Fuente: <https://agaves.pro/biopirateria-de-agaves-mexicanos-identidad-y-patrimonio-en riesgo/>).

Una de las maneras más directas en que la concesión de licencias de patentes fomenta el mal uso de los recursos es a través de la biopiratería: la apropiación no autorizada de recursos biológicos y conocimientos tradicionales con fines comerciales sin una compensación adecuada para las comunidades indígenas. Esta práctica viola fundamentalmente los principios establecidos por el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Senapati, 2024; Spedicato, 2024; Okamoto, 2023).

El caso de la cúrcuma es un ejemplo clásico de este problema. En 1995, dos investigadores de la Universidad de Mississippi obtuvieron una patente estadounidense por el uso de la cúrcuma para tratar heridas, a pesar de que este uso se remonta a miles de años en la medicina tradicional india.

El Consejo Indio de Investigación Científica e Industrial (SCRIR) impugnó con éxito la patente, pero a un alto costo legal y bajo presión internacional (Bhandari, 2021). De manera similar, las compañías farmacéuticas han patentado derivados de compuestos naturales, como componentes de la vinca rosa de Madagascar, obteniendo miles de millones de dólares en ganancias sin compensar a las comunidades de origen. Eli Lilly ha ganado más de 100 millones de dólares con medicamentos extraídos de esta planta, mientras que Madagascar y sus pueblos indígenas no han recibido regalías por patentes (Reid, 2009).

Las oficinas de patentes de todo el mundo suelen carecer de bases de datos adecuadas de conocimientos tradicionales y recursos biológicos, lo que dificulta la identificación del estado de la técnica. Esta deficiencia sistémica permite que se patenten algunas innovaciones que no son realmente novedosas, privatizando de facto conocimientos que han pertenecido al dominio público durante siglos (Shimbo *et al.*, 2008). El Tratado de la OMPI sobre Propiedad Intelectual, Recursos Genéticos y Conocimientos Tradicionales Conexos, adoptado en 2024, pretende abordar estas cuestiones exigiendo a los solicitantes de patentes que divulguen las fuentes de los recursos genéticos y los conocimientos tradicionales utilizados en sus invenciones. Sin embargo, el tratado presenta importantes deficiencias y carece de efecto retroactivo, por lo que no se aplica a las patentes ya concedidas (Raven *et al.*, 2024; Vale, 2024; Henderson, 2025).

3. Enredo de patentes y acceso a tecnologías ambientales

El enredo de patentes (una densa red de patentes superpuestas propiedad de múltiples entidades) supone una barrera importante para la innovación ambiental y la transferencia de tecnología. En el sector de las energías renovables, este enredo dificulta la adopción generalizada de tecnologías clave para el cambio climático (Steinfeld y Angel, 2023; Vincenzo, 2024; DrugPatentWatch, 2025). Las investigaciones indican que los monopolios de patentes sobre tecnologías de mitigación del cambio climático se concentran en países de altos ingresos, lo que limita el acceso a los países en desarrollo, que a menudo poseen el mayor potencial de energías renovables. Esta concentración geográfica de la propiedad de patentes crea desigualdades fundamentales en el acceso a soluciones ambientales (Bonnet *et al.*, 2019; Steinfeld y Angel, 2023).

La paradoja de las patentes verdes describe la contradicción entre proteger la innovación ambiental mediante patentes y garantizar la adopción generalizada de estas tecnologías para maximizar los beneficios ambientales. Si bien las patentes pueden incentivar la innovación verde, también crean barreras para su adopción, lo que ralentiza el ritmo de la protección ambiental (Cayton, 2020; Steinfeld y Angel, 2023). Los estudios demuestran que, debido a las patentes, las nuevas invenciones en el sector energético tardan entre dos y tres décadas en llegar al mercado masivo, mientras que la mayoría de las innovaciones en energías renovables tardan un promedio de 24 años. Dada la urgencia del cambio climático, estas demoras en la adopción de tecnología

representan un obstáculo significativo para la protección del medio ambiente (Steinfeld y Angel, 2023).

4. Licencias obligatorias y emergencias ambientales

Las licencias restrictivas de patentes pueden obstaculizar la difusión y aplicación de tecnologías verdes. Cuando los titulares de patentes ejercen un control excesivo o establecen tarifas de licencia elevadas, importantes innovaciones ambientales pueden quedar sin aprovechar, lo que conduce a la “tragedia de los comunes”: un desperdicio de recursos debido a derechos fragmentados o excesivamente restrictivos (Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Spedicato, 2024). Las licencias obligatorias y los mecanismos de intercambio abierto se consideran soluciones para promover un acceso más amplio y prevenir prácticas monopolísticas que dificultan el desarrollo sostenible (Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Tandon, 1982).

Las empresas consolidadas pueden utilizar estratégicamente las patentes para obstaculizar o retrasar la adopción de tecnologías sostenibles, especialmente cuando las empresas con altas emisiones de carbono tradicionales adquieren patentes verdes no para implementar dichas tecnologías, sino para suprimir la competencia y mantener su dominio del mercado (Wang, 2022; Ahn y Yoon, 2020; Spedicato, 2024). Esta práctica dificulta la transición hacia industrias más limpias y perpetúa el uso insostenible de los recursos.

Si bien las patentes pueden incentivar el desarrollo de tecnologías verdes, una mala gestión también puede fomentar la sobreexplotación. Por ejemplo, una mejor protección de las patentes y mecanismos de acceso pueden promover la conservación de los recursos o acelerar su agotamiento, según el entorno regulatorio y de mercado (Bhat, 1999; Torrance, 2010). El equilibrio entre incentivar la innovación y garantizar el acceso público a las tecnologías críticas es delicado y depende de las circunstancias específicas.

El Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Acuerdo sobre los ADPIC) permite la concesión de licencias obligatorias en situaciones de emergencia nacional o circunstancias extremas. El cambio climático se considera cada vez más una posible base para este tipo de medidas de emergencia, pero su implementación sigue siendo limitada (Harding, 2020; Zhang, 2023). Algunas jurisdicciones han explorado la concesión de licencias obligatorias para tecnologías ambientales. La Ley de Aire Limpio de EE. UU. incluye disposiciones para la concesión de licencias obligatorias de patentes cuando sea necesario para cumplir con las normas ambientales, pero estas disposiciones nunca se han invocado debido a las estrictas condiciones. China ha implementado un sistema de licencias obligatorias que considera explícitamente los factores ambientales y de interés público (Zhang, 2023).

A pesar de la existencia de la disposición legal para las licencias obligatorias, varios obstáculos dificultan su implementación efectiva:

1. Resistencia política de los países desarrollados, que poseen la mayoría de las patentes ambientales (Nitta, 2006).
2. Los complejos requisitos legales dificultan la administración de los procedimientos de concesión de licencias obligatorias (Harding, 2020).
3. Mecanismos de compensación inadecuados que no logran equilibrar los derechos de los inventores con las necesidades públicas (Efthymiadou y Frizberg, 2023).
4. Falta de coordinación internacional en emergencias ambientales (Hardin, 2020; Flyhström y Jha, 2025).

5. Los trolls de patentes y las tecnologías ambientales

Los trolls de patentes (entidades que adquieren patentes con fines de licenciamiento en lugar de para su implementación real) representan una amenaza particular para la innovación ambiental. Estas entidades pueden adquirir grandes carteras de patentes ambientales y utilizarlas para presionar a los innovadores legítimos, creando lo que los economistas denominan un «efecto parálisis» en la I+D (Chen et al., 2023). Las investigaciones muestran que el 60 % de los litigios de patentes son iniciados por trolls de patentes, quienes se dirigen principalmente a empresas con recursos limitados y dificultades para defenderse. Esto afecta especialmente a las pequeñas empresas de tecnología verde que carecen de los recursos financieros para emprender numerosas demandas por patentes (Chen et al., 2023).

El uso indebido de patentes en el campo de la tecnología ambiental retrasa la implementación

de soluciones cruciales para el desarrollo sostenible. Al generar incertidumbre jurídica y aumentar los costos para los desarrolladores de tecnología verde, los titulares de patentes están, de hecho, gravando la innovación ambiental y ralentizando la transición hacia tecnologías sostenibles (Dennemeyer & Associates, 2024).

6. Modelos de Licenciamiento y Protección Ambiental

La elección entre licenciamiento exclusivo y no exclusivo tiene profundas implicaciones para la protección ambiental. El licenciamiento exclusivo puede incentivar mejor el desarrollo tecnológico, pero también restringe el acceso a la tecnología y su aplicación. El licenciamiento no exclusivo facilita una aplicación más amplia de la tecnología, pero puede reducir el incentivo para la innovación continua (Legal IP Strategies Staff, 2025).

Prácticas Problemáticas de Licenciamiento Exclusivo:

- Los acuerdos de licenciamiento que restringen el uso de la tecnología a áreas geográficas específicas limitan el despliegue global de soluciones ambientales (Sustainability Directory, 2025).
- Los acuerdos de licenciamiento cruzado que crean un circuito cerrado en el acceso a la tecnología excluyen a los países en desarrollo (Hong, 2024).
- Términos de licenciamiento que priorizan la maximización de las ganancias sobre el impacto ambiental (Legal IP Strategies Staff, 2025).

Tabla 1. Debate conceptual: ¿Es el sistema de patentes incompatible con la conservación, cual es la propuesta alternativa? (Love, 2014).

Argumentos a favor del sistema (visión tradicional)	Críticas estructurales
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incentiva I+D en tecnologías limpias (energías renovables, baterías, sensores ambientales). ✓ El licenciamiento obligatorio o cruzado puede facilitar difusión (p. ej., pool de patentes para hidrógeno verde). ✓ Acuerdos como el Tratado de Nairobi sobre explotación de recursos genéticos (2024, bajo el CDB) buscan equilibrar propiedad intelectual y acceso justo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Visión antropocéntrica y mercantilista: El sistema de patentes trata la naturaleza como "materia prima patentable", no como sistema vivo con derechos propios (p. ej., derechos de la naturaleza en Ecuador/Colombia). - Externalidades negativas ignoradas: Los exámenes de patentabilidad (novedad, actividad inventiva, aplicación industrial) no consideran sostenibilidad ni impacto ambiental. - Asimetría de poder: Países en desarrollo carecen de capacidad para negociar licencias justas o litigar abusos.
Propuestas alternativas	
Enfoque	Descripción
Licencias verdes obligatorias	Condicionar la validez de patentes a criterios de sostenibilidad y acceso equitativo (inspirado en licencias "FRAND" pero con cláusulas ecológicas).
Sistemas de innovación abierta en conservación	Promover open-source ecology (p. ej., Open Source Seed Initiative), donde tecnologías para agroecología no son patentables.
Excepciones ambientales en leyes de patentes	Seguir el modelo de la Declaración de Doha (salud pública): permitir licencias obligatorias para proteger ecosistemas críticos.
Certificación de "patentes sostenibles"	Iniciativas como Green Patent Pledge (voluntaria), pero con auditoría independiente y vinculación a ODS.

Las alianzas de patentes para tecnologías climáticas han surgido como una posible solución para abordar las barreras de acceso. Estos acuerdos de cooperación permiten que múltiples titulares de patentes otorguen licencias colectivas a sus tecnologías, reduciendo así los costos de transacción y facilitando un acceso más amplio a la tecnología (Taubman, 2009; BRICS, 2025).

La Agenda de Liderazgo Climático de los BRICS ha propuesto el establecimiento de alianzas de patentes para tecnologías relacionadas con el

clima, reconociendo que las negociaciones individuales de patentes pueden crear barreras insuperables para la transferencia de tecnología. Sin embargo, la implementación efectiva de las alianzas de patentes requiere una atención cuidadosa a las cuestiones antimonopolio y a mecanismos de compensación justos (BRICS, 2025).

Peña Colorado ha establecido su propio modelo de gestión ambiental (Figura 2). La implementación de este modelo ambiental está alineada con las directrices de la normativa



Figura 2. Modelo Ambiental de Peña Colorada. Su conocimiento y aplicación es obligatorio para todo el personal propio y externo, sin distinción alguna. Su estricta observación evidenciará un compromiso total e inequívoco en las labores de prevención de la contaminación y daños al medio ambiente. (Fuente: <https://www.pcolorada.com/sustentabilidad/medio-ambiente/>).

ambiental de la empresa. Su objetivo es proteger el medio ambiente, los recursos y la biodiversidad mediante la implementación de modelos y prácticas de gestión sostenible, una responsabilidad compartida entre la empresa, los sindicatos y los empleados (Peña Colorado, 2020).

7. Conflictos en el marco internacional

El conflicto entre el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Acuerdo sobre los ADPIC) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB). Este conflicto constituye una contradicción fundamental en el derecho internacional de los recursos naturales. El Acuerdo sobre los ADPIC aboga por una sólida protección de las patentes, mientras que el CDB hace hincapié en la

protección, el uso sostenible y la distribución equitativa de los beneficios (Kothari y Anuradha, 1999; Adhikari, 2019; Team Lawyered, 2023).

Principales áreas de conflicto:

- Patentabilidad de los materiales biológicos en el marco del Acuerdo sobre los ADPIC frente a la soberanía sobre los recursos genéticos en el marco del CDB.
- Requisitos de distribución de beneficios en el marco del CDB frente a la exclusividad de las patentes en el marco del Acuerdo sobre los ADPIC (Adhikari, 2019).
- Protección de los conocimientos tradicionales en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) frente a los requisitos de novedad para las patentes en virtud del Acuerdo sobre los ADPIC (Kothari y Anuradha, 1999; Team Lawyered, 2023).

El Protocolo de Nagoya intentó abordar algunos de estos conflictos mediante el establecimiento de mecanismos para el acceso a los recursos genéticos y la distribución de los beneficios derivados de ellos. Sin embargo, su implementación ha sido inconsistente, y muchas solicitudes de patente siguen pendientes por falta de divulgación adecuada o acuerdos de distribución de beneficios (Feng, 2017; Van Vooren et al., 2024). El énfasis del Protocolo en los acuerdos bilaterales entre Estados genera numerosos requisitos que dificultan el cumplimiento y la aplicación de la ley. Esta fragmentación permite que los recursos genéticos sigan explotándose a través de un sistema de patentes que carece de mecanismos de supervisión eficaces (Feng, 2017; Van Vooren et al., 2024).

8. Barreras a la transferencia de tecnología

La iniciativa WIPO GREEN. Lanzada en 2013, WIPO GREEN tiene como objetivo facilitar la transferencia de tecnologías ambientales mediante mecanismos de propiedad intelectual. Esta plataforma conecta a proveedores y solicitantes de tecnología y ha facilitado más de 1000 transacciones (von der Ropp, 2012; Dietterich, 2020).

Sin embargo, esta iniciativa opera dentro del marco de patentes vigente y no puede abordar las barreras estructurales fundamentales al acceso a la tecnología. Si bien WIPO GREEN puede facilitar acuerdos de licencia voluntarios, no puede obligar a los titulares de patentes a licenciar las tecnologías ambientales necesarias en condiciones razonables (Dietterich, 2020; Van Vooren et al., 2024).

El marco internacional actual para la transferencia de tecnología se enfrenta a diversas limitaciones estructurales:

- El carácter voluntario de la mayoría de las iniciativas de intercambio de tecnología (Taubman, 2009)
- Mecanismos de financiación insuficientes para que los países en desarrollo accedan a tecnologías patentadas (Copenhagen Economics and The IPR Company, 2009)
- Falta de acuerdos internacionales vinculantes sobre el intercambio de tecnología ambiental (Hardin, 2020; Flythström y Jha, 2025)
- Consideración insuficiente de la urgencia ambiental en las políticas de patentes (Steinfeld y Angel, 2023; Vincenzo, 2024).

9. Impactos económicos y asignación de recursos

La evidencia sugiere que una regulación deficiente de las licencias de patentes puede restringir el acceso a tecnologías verdes clave y fomentar prácticas anticompetitivas, lo que conlleva el mal uso y la mala gestión de los recursos naturales. La “tragedia de los anticomunes” pone de relieve los riesgos de subutilización y desperdicio cuando un número excesivo de titulares de derechos dificulta el uso de los recursos (Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Spedicato, 2024). Por el contrario, un régimen de patentes bien diseñado (que incorpore licencias obligatorias, intercambio abierto y estándares ambientales) puede promover la difusión de tecnologías sostenibles y respaldar medidas de protección (Tandon, 1982; Shu-Qian, 2020; Wang, 2022; Oyebanji

et al., 2022; Spedicato, 2024). El reto consiste en encontrar un equilibrio entre incentivar la innovación y el interés público general en la sostenibilidad ambiental.

Los monopolios de patentes en el sector de la tecnología ambiental pueden provocar graves distorsiones del mercado, obstaculizando la asignación óptima de recursos. Cuando las tecnologías ambientales críticas están sujetas a acuerdos de licencia exclusivos, los precios de mercado pueden no reflejar los verdaderos costos y beneficios sociales (Enoch, 2024; Legal IP Strategies Staff, 2025; Legal IP Strategies Staff, 2025b). La concentración de patentes ambientales en los países desarrollados agrava aún más las distorsiones del mercado y limita la capacidad de los países en desarrollo para explorar de forma independiente vías de desarrollo sostenible. Esta concentración de patentes crea, en la práctica, dependencia tecnológica y puede perpetuar patrones insostenibles de uso de recursos (Bonnet et al., 2019; Aberdeen, 2020; Steinfeld y Angel, 2023).

La disyuntiva fundamental entre los incentivos a la innovación y el acceso en los sistemas de patentes sigue siendo un problema particularmente complejo para las tecnologías ambientales. Si bien las patentes pueden fomentar ciertas innovaciones ambientales, también pueden limitar su aplicación generalizada, necesaria para lograr un impacto ambiental significativo (Dixon, 2018; Cayton, 2020; Steinfeld y Angel, 2023; Dijkman, 2025). Las investigaciones indican que muchas innovaciones ambientales se impulsan mediante la inversión del sector público, más

que por los incentivos de las patentes. La investigación en energías renovables financiada por el gobierno suele servir de base para patentes privadas, lo que provoca que el conocimiento financiado con fondos públicos pase a estar bajo control privado (Aberdeen, 2020; Steinfeld y Angel, 2023).

10. Recomendaciones de reforma

Fortalecimiento del marco internacional, incluyendo a). la implementar requisitos de divulgación más estrictos para las patentes que involucren recursos genéticos y conocimientos tradicionales (Raven et al., 2024; Henderson, 2025); b). Alcanzar un acuerdo internacional vinculante sobre el intercambio de tecnologías ambientales en el contexto de una emergencia climática (Hardin, 2020; BRICS, 2025); y unificar las normas de licencias obligatorias para tecnologías ambientales en todas las jurisdicciones (Flyhström y Jha, 2025).

Se plantea también una reforma del sistema de patentes (Tabla 2), incluyendo a). la realizar evaluaciones de impacto ambiental para las solicitudes de patentes que involucren recursos naturales (Spedicato, 2024; Legal IP Strategies Staff, 2025b); b). Reducir la vigencia de las patentes de tecnologías ambientales clave para acelerar su acceso al dominio público (Dixon, 2018; Vincenzo, 2024); y c). Implementar licencias obligatorias para tecnologías clave de protección ambiental (Wang, 2019).

Finalmente, se recomienda promover modelos alternativos, incluyendo a). Enfoques de código abierto para el desarrollo de tecnología ambiental (Taubman, 2009); b). Alianzas

público-privadas que equilibren los incentivos a la innovación y los requisitos de acceso (von der Ropp, 2012; Dietterich, 2020); y c). Agrupación y compartición de patentes para tecnologías críticas para el clima (Taubman, 2009; BRICS, 2025).

Los modelos económicos insostenibles generan multitud de problemas, y la interconexión de estos es sorprendentemente fuerte, aunque a menudo se pasa por alto. Los diagramas de árbol de consecuencias explican cómo nuestras decisiones y acciones en un mundo globalizado pueden tener consecuencias negativas. Inicialmente, estas consecuencias pueden no afectarnos directamente, pero a largo plazo pueden ser contraproducentes (Figura 3). Para comprender cómo se propagan los problemas o los impactos negativos a largo plazo, los árboles

de consecuencias también nos ayudan a analizar cómo transformarlos en positivos. Diversas certificaciones buscan promover el uso sostenible de los recursos naturales, impactando positivamente en la calidad de vida de las comunidades, mejorando el medio ambiente y fomentando el desarrollo económico local a largo plazo. Esta transformación no es utópica; ya está en marcha. La adopción y el desarrollo de este nuevo modelo de producción dependen de nuestras decisiones de compra como consumidores. Podemos optar por comprar productos de empresas que sobreexplotan los recursos naturales y contribuyen a los impactos negativos ya conocidos, o podemos elegir comprar productos sostenibles elaborados con materias primas sostenibles, mejorando así nuestro mundo. Podemos identificar estos productos mediante certificaciones de sostenibilidad (TSostenibles, 2025).

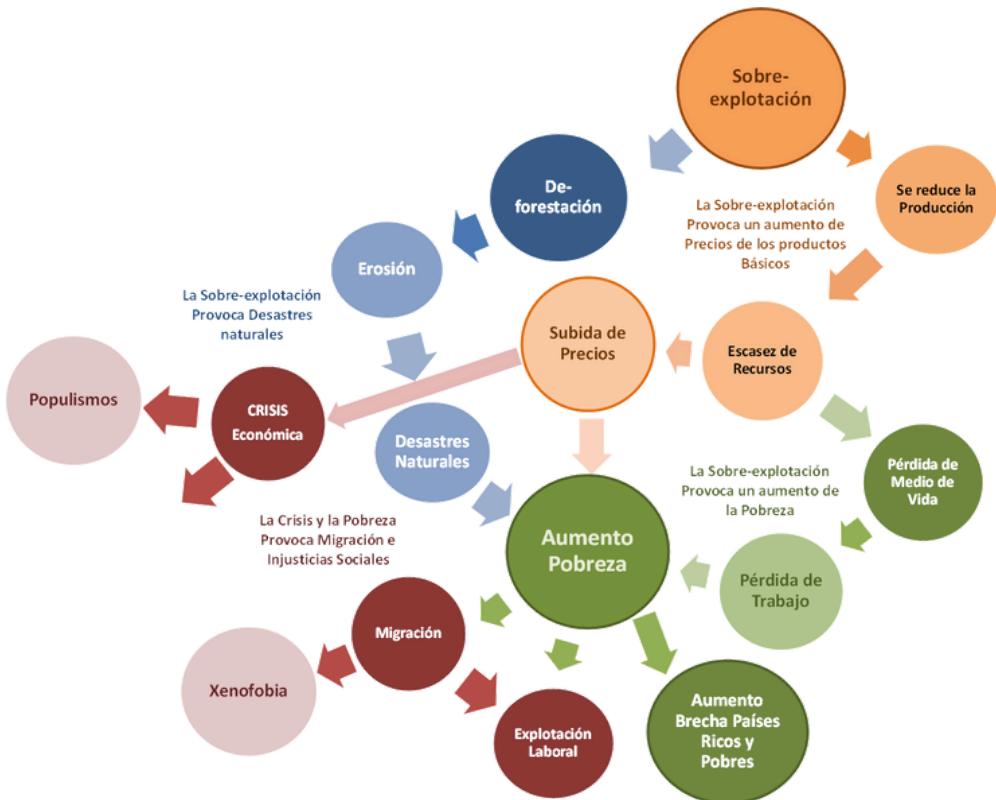


Figura 3. Árbol de consecuencias del modelo consumista actual (Fuente: TSostenibles, 2025).

Tabla 2. Argumentos clave y evidencia de apoyo identificados para futuros temas de investigación sobre licenciamiento de patentes.

Argumentos	Razonamiento	Referencias
Las restricciones en la concesión de licencias de patentes pueden obstaculizar la difusión y conservación de tecnologías verdes.	Existe un sólido respaldo teórico y empírico para el efecto anticomún y las barreras a la transferencia de tecnología.	Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Spedicato, 2024; Tandon, 1982
Las licencias obligatorias y el acceso abierto pueden promover la difusión sostenible de la tecnología.	Los análisis políticos y jurídicos respaldan estos mecanismos como soluciones a las barreras monopolísticas.	Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Tandon, 1982
Las patentes pueden utilizarse para bloquear o retrasar la innovación sostenible con el fin de obtener una ventaja competitiva.	Estudios de caso muestran que las empresas consolidadas adquieren patentes verdes para suprimir la competencia y mantener su posición dominante.	Wang, 2022; Ahn y Yoon, 2020; Spedicato, 2024
La protección mediante patentes puede incentivar tanto la conservación como la sobreexplotación.	Los resultados dependen del contexto regulatorio y de los incentivos del mercado.	Bhat, 1999; Torrance, 2010
La integración de criterios ambientales en la legislación de patentes puede alinear la propiedad intelectual con la sostenibilidad.	Las propuestas políticas emergentes y las reformas legales abogan por este enfoque.	Wang, 2022; Shu-Qian, 2020; Spedicato, 2024
La concesión de licencias de patentes sin regulación puede exacerbar la mala gestión de los recursos y la falta de conservación.	La evidencia teórica y empírica sugiere riesgos sin una supervisión adecuada.	Wang, 2022; Bhat, 1999; Torrance, 2010; Spedicato, 2024

11. Brechas en la investigación

Se necesita más investigación empírica para explorar el impacto real de las licencias de patentes en la gestión de recursos, particularmente en países en desarrollo y sectores emergentes de tecnologías verdes. La efectividad de las intervenciones políticas, como las licencias obligatorias y los consorcios de patentes, también requiere mayor investigación (Tabla 2).

Preguntas de investigación sin resolver. Las investigaciones futuras deberían explorar cómo

optimizar el marco de licencias de patentes para equilibrar los incentivos a la innovación y la sostenibilidad ambiental, y cómo adaptar las intervenciones políticas a diferentes entornos económicos y regulatorios (Tabla 3).

11. Conclusión

Si bien los sistemas de licencias de patentes tienen como objetivo promover la innovación, se han convertido en un obstáculo importante para la protección ambiental y la gestión sostenible de los recursos. El robo de conoci-

Tabla 3. Preguntas de investigación abiertas para el avance en el campo de las licencias de patentes y la gestión de recursos naturales.

Pregunta	Por qué
¿Cómo afectan las licencias obligatorias a la difusión de tecnologías verdes en la práctica?	Se necesita evidencia empírica para evaluar la efectividad real de los mecanismos de licencias obligatorias.
¿Cuáles son los impactos de los consorcios de patentes y el intercambio abierto en la conservación de recursos?	Comprender estos mecanismos puede orientar el diseño de políticas para la difusión de tecnología sostenible.
¿Cómo se puede reformar la legislación de patentes para que se ajuste mejor a los objetivos de sostenibilidad ambiental?	Las reformas legales son fundamentales para garantizar que los sistemas de propiedad intelectual apoyen, en lugar de obstaculizar, los esfuerzos de conservación.

mientos tradicionales mediante la biopiratería, las disputas de patentes que restringen el acceso a las tecnologías verdes y la concentración de patentes ambientales en países desarrollados contribuyen al mal uso y la protección inadecuada de los recursos naturales.

La contradicción fundamental entre el énfasis del sistema de patentes en la exclusividad y la necesidad de soluciones ampliamente accesibles para la protección del medio ambiente requiere una solución urgente. Los marcos internacionales existentes, como el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Acuerdo sobre los ADPIC) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), presentan conflictos inherentes que fomentan la explotación de los recursos en lugar de su protección.

Para abordar estos problemas se requiere una reforma integral del sistema de patentes, que priorice la protección del medio ambiente y el acceso equitativo a las tecnologías críticas. Esto incluye fortalecer los requisitos de divulgación,

ampliar las disposiciones sobre licencias obligatorias y desarrollar modelos de innovación alternativos que equilibren los incentivos con las necesidades ambientales. La urgencia del cambio climático y la pérdida de biodiversidad exige una reflexión sobre si los monopolios tradicionales de patentes siguen siendo adecuados para las tecnologías críticas esenciales para la supervivencia del planeta. Los sistemas actuales a menudo priorizan las ganancias privadas sobre los intereses ambientales públicos, lo que dificulta la rápida implementación de las soluciones necesarias para abordar nuestros desafíos ambientales más apremiantes.

Finalmente, en lugar de afirmar que la biotecnología tiene muchos beneficios pero también impactos negativos, es más preciso afirmar que muchas de las aplicaciones biotecnológicas recientes surgen precisamente como alternativas para hacer procesos más sostenibles, eficientes y menos agresivos con los ecosistemas. El objetivo principal no es alcanzar un equilibrio entre beneficio y daño, sino evitar la depredación de recursos naturales desde el punto de partida. La

biotecnología se ha posicionado como una de las vías de mayor importancia en la lucha contra el cambio climático y la degradación ambiental, con aplicaciones que van desde reducción de emisiones de carbono hasta remediación de desiertos y contaminación de aguas.

12. Literatura citada

Aberdeen A. 2020. Patents to climate rescue: how intellectual property rights are fundamental to the development of renewable energy. 4iP Council. https://www.4ipcouncil.com/download_file/913/1187

Adhikari N. 2019. Towards effective protection of traditional knowledge: Resolving conflicts between TRIPS and CBD. Cuts International, Geneva. https://www.cuts-geneva.org/wp-content/uploads/2023/09/1906-Note-RRN-Resolving_Conflicts_between_TRIPS_and_CBD.pdf

Ahn, S., Yoon, H. (2020). 'Green chasm' in clean-tech for air pollution: Patent evidence of a long innovation cycle and a technological level gap. Journal of Cleaner Production, 272, 122726. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122726>

Bhandari A. 2021. Bio-piracy of traditional knowledge. Pleaders. <https://blog.ipleaders.in/bio-piracy-of-traditional-knowledge/>

Bhat, M. (1999). On biodiversity access, intellectual property rights, and conservation. Ecological Economics, 29, 391-403. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(98\)00066-4](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(98)00066-4)

Bonnet C., Carcanague S., Hache E., Seck G.S.,

Simoën M. 2019. A geopolitics of renewable energy patents. Working paper 2019-1. ProjetGenerate. <https://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2018/12/GENERATE-Working-Paper-1-December-2018.pdf>

BRICS Contact Group on Climate Change and Sustainable Development. 2025. BRICS Climate Leadership Agenda: Report on IP Options to Enhance Climate Change Related Technology Cooperation. http://brics.br/en/documents/environment-climate-energy-and-disaster-risk-reduction/250528_brics_climate-leadership-agenda_report-on-ip-options.pdf

Cayton S. 2020. The "Green patent paradox" and fair use: The intellectual property solution to fight climate change". Seattle Journal of Technology, Environmental & Innovation Law 11(1): 12-31. <https://digitalcommons.law.seattleu.edu/sjteil/vol11/iss1/8>

Cognita Conecta. 2025. Aplicaciones de la biotecnología en la actualidad. <https://www.linkedin.com/pulse/aplicaciones-de-la-biotecnolog%C3%ADA-en-actualidad-cognitaconecta-ahc5e/>

Copenhagen Economics and The IPR Company 2009. Are IPR a barrier to the transfer of climate change technology? DG Trade. https://copenhageneconomics.com/wp-content/uploads/2021/12/Are_IPR_a_barrier_to_the_transfer_of_climate_change_technology.pdf

Chen F., Hou Y., Qiu J., Richardson G. 2023. Chilling effects of patent trolls. Research Policy 52(3): 104703. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104702>

- Dennemeyer & Associates. 2024. What are patent trolls, and how do they affect innovation?. Dennemeyer IP Group. <https://www.dennemeyer.com/ip-blog/news/what-are-patent-trolls-and-how-do-they-affect-innovation/>
- Dietterich A. 2020. WIPO GREEN: supporting green innovation and technology transfer. WIPO Magazine. <https://www.wipo.int/en/web/wipo-magazine/articles/wipo-green-supporting-green-innovation-and-technology-transfer-41277>
- Dijkman L. 2025. Patents and the right to a healthy environment: An outline of a response to the critics, VerfBlog, 4(23). <https://verfassungsblog.de/patents-and-the-right-to-a-healthy-environment/>, DOI: 10.59704/3e4c22892bb1b136
- Dixon G. 2018. The “patent bargain” for clean technologies – altering the deal. LexisNexis Australian Intellectual Property Law Bulletin, 31(6):111-114. <https://www.spruson.com/the-patent-bargain-for-clean-technologies-altering-the-deal/>
- DrugPatentWatch. 2025. The global patent thicket: A comparative analysis of pharmaceutical monopoly strategies in the U.S., Europe, and Emerging Markets. DrugPatentWatch. <https://www.drugpatentwatch.com/blog/how-do-patent-thickets-vary-across-different-countries/>
- Efthymiadou A., Frizberg D. 2023. Intellectual property: A revised framework for compulsory licensing of patents. EPRS | European Parliamentary Research Service. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753165/EPRS_BRI\(2023\)753165_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753165/EPRS_BRI(2023)753165_EN.pdf)
- Enoch O. 2024. The Impact of Patent Law on Sustainable Development. International Journal of Rural Development, Environment and Health Research 8(2): 86-103. <https://dx.doi.org/10.22161/ijreh.8.2>
- Feng W. 2017. Appropriation without Benefit-Sharing: Origin-of-Resource Disclosure Requirements and Enforcement under TRIPS and the Nagoya Protocol. Chicago Journal of International Law 18(1): <https://chicagounbound.uchicago.edu/cjil/vol18/iss1/7>
- Flythström J., Jha M.R. 2025. Summary Report on “Compulsory Licensing” (SQ293). Association Internationale Pour La Protection de la Propriete Intellectuelle (AIPPI). <https://www.aippi.org/news/summary-report-on-compulsory-licensing-sq293/>
- Forus Green. 2025. Biotecnología verde: cultivos resistentes y sostenibles para la agricultura moderna. <https://www.forusgreen.com/post/biotecnologia-%C3%ADa-verde-cultivos-resistentes-y-sostenibles-para-la-agricultura-moderna>
- Gollin M.A. 1991. Using intellectual property to improve environmental protection. Harvard Journal of Law & Technology 4> 193-235. <https://jolt.law.harvard.edu/articles/pdf/v04/04HarvJLTech193.pdf>
- Greenfield E. 2022. Impactos negativos de la biotecnología en el medio ambiente. Sigmaearth <https://sigmaearth.com/es/Impactos-negativos-de-la-biotecnolog%C3%ADa-en-el-medio-ambiente./>
- Hardin B. 2020. Compulsory licensing of climate engineering patents: How embracing technology- and research-sharing strategies brings us one step closer to solving climate change 73(3): 611-629.

- Henderson L. 2025. Genetic resources, IP and benefits sharing: what changes are ahead internationally? Osborne Clarke. <https://www.osborneclarke.com/insights/genetic-resources-ip-and-benefits-sharing-what-changes-are-ahead-internationally>
- Hong F.S. 2024. Renewable Energy: In the Shadow of FRAND and Chinese Anti-Monopoly Law. Chambers and Partners. <https://chambers.com/legal-trends/a-review-of-chinas-renewable-energy-ip-strategy>)
<https://www.lawyered.in/legal-disrupt/articles/analysis-conflict-between-trips-and-cbd/>
- Instituto Europeo de química, física y biología (IEQFB). 2023. Biotecnología ambiental: qué es, qué hace y ejemplos. <https://ieqfb.com/biotecnologia-ambiental-que-hace-ejemplos/>
- Kothari A., Anuradha R.V. 1999. Biodiversity and intellectual property rights: Can the two co-exist? Journal of International Wildlife Law & Policy, 2(2):204-223.
<https://doi.org/10.1080/1388029909353928>
- La Biotecnología. 2023. Biotecnología Ambiental: Definición, Importancia, ventajas y desventajas. <https://labiotecnologia.com/biotecnologia-ambiental/>
- Legal IP Strategies Staff. 2025. Navigating Green Tech Licensing and Commercialization Strategies. Green Technologies and Sustainable Innovation IP. <https://legalipstrategies.com/green-tech-licensing-and-commercialization/>
- Legal IP Strategies Staff. 2025b. Navigating the Intersection of Environmental Impact and Patent Strategies in Intellectual Property Law. <https://legalipstrategies.com/environmental-impact-and-patent-strategies/>
- Love J.P. 2014. Alternativas al sistema de patentes que son utilizadas para apoyar las actividades de I+D, incluidos los mecanismos de tira y afloje, prestando especial atención a los premios de incentivo a la innovación y los modelos de desarrollo de código abierto. Economía y Acceso https://www.saludyfarmacos.org/lang/es/boletin-farmacos/boletines/nov2014/nov2014_75/#
- Nitta I. 2006. Proposal for a green patent system: implications for sustainable development and climate change. Sustainable Development Law & Policy 5(2): 61-65. <https://digitalcommons.wcl.american.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1434&context=sdlp>
- Okamoto Y. 2023. Purposes of the patent system in the era of artificial intelligence (AI) and environmental conservation (Global warming, Climate change and Patent law). Yuasa y Hara. <https://www.yuasa-hara.co.jp/english/lawinfo/2527/>
- Oyebanji, M., Castanho, R., Genç, S., Kırıkkaleli, D. (2022). Patents on Environmental Technologies and Environmental Sustainability in Spain. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su14116670>
- Peña Colorado. 2020. Ser humano, ser sustentable. En: Equilibrio. https://www.pcolorada.com/wp-content/uploads/2021/02/Green-Issue_v03.02.21.pdf

- Raven M.M., Gall A., Barba B., Robinson D. 2024. Patents based on traditional knowledge are often ‘biopiracy’. A new international treaty will finally combat this. UNSW Newsroom. <https://www.unsw.edu.au/newsroom/news/2024/06/patents-based-on-traditional-knowledge-are-often-biopiracy-a-new-international-treaty-will-finally-combat-this>
- Reid J. 2009. Biopiracy: The Struggle for Traditional Knowledge Rights, 34 AM. INDIAN L. REV. <https://digitalcommons.law.ou.edu/ailr/vol34/iss1/2>
- Ruiz M. 2003. Intellectual property rights and biodiversity. International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD). https://www.iprsonline.org/ictsd/docs/IPR_bio_div_2003.pdf
- Senapati A. 2024. IPR and biodiversity. iPleaders. <https://blog.ipleaders.in/ipr-and-biodiversity/>
- Shimbo I., , Ito Y., Sumikura K. 2008. Patent protection and access to genetic resources. Nature Biotechnology 26(6):645-647. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7097861/>
- Shu-Qian, Z. (2020). Study on Reasonable Government Intervention Mechanism of Green Patent. Legal Science in China and Russia. <https://doi.org/10.17803/2587-9723.2020.3.066-071>
- Spedicato G. 2024. The untapped potential of patent law in deterring environmentally unsustainable innovation. GRUR International 73(8):751-762. <https://academic.oup.com/grurint/article/73/8/751/7686651>
- Spedicato, G. (2024). The Untapped Potential of Patent Law in Deterring Environmentally Unsustainable Innovation. GRUR International. <https://doi.org/10.1093/grurint/ikae067>
- Steinfeld L., Angel J. 2023. Energy Transition Mythbusters: Myth #5 Intellectual property rights help facilitate the energy transition. Transnational Institute (TNI). <https://www.tni.org/en/article/energy-transition-mythbusters-myth-5>
- Sustainability Directory. 2025. Why Is Intellectual Property a Barrier to Technology Transfer?. Sustainability Directory. <https://pollution.sustainability-directory.com/question/why-is-intellectual-property-a-barrier-to-technology-transfer/>
- Tandon, P. (1982). Optimal Patents with Compulsory Licensing. Journal of Political Economy, 90, 470 - 486. <https://doi.org/10.1086/261070>
- Taubman A. 2009. Sharing technology to meet a common challenge. WIPO Magazine <https://www.wipo.int/web/wipo-magazine/articles/sharing-technology-to-meet-a-common-challenge-36713>
- Team Lawyered. 2023. Analysis of conflict between TRIPS and CBD. Lawyered.
- Techmi Group 2025. El impacto de la biotecnología en la producción sostenible. <https://techmigroup.com/el-impacto-de-la-biotecnologia-en-la-produccion-sostenible/>
- Toribio, M., y Celestino, C. 2000. El uso de la biotecnología en la conservación de recursos genéticos forestales. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. 2: 249-260. file:///Users/felipeascenciovalle/Downloads/707-Article%20Text-707-1-10-20100323.pdf

- Torrance, A. (2010). Patent Law, HIPPO, and the Biodiversity Crisis. In: Marshall J. Review of Intellectual Property Law, 9: 624-656. <https://ssrn.com/abstract=1585812>
- TSostenibles, 2025. Revertir impactos negativos en positivos. Pensamiento sostenible. <http://www.massostenibles.com/divulgacion/revertir-impactos-negativos-en-positivos-pensamiento-sostenible>
- Vale A.d.V. 2024. WIPO's New Treaty on Intellectual Property, Genetic Resources and Traditional Knowledge – A Turning Point for Indigenous Heritage? ESIL Reflections 13(1):1-12. <https://esil-sedi.eu/wp-content/uploads/2024/10/Do-Vale-Alves-Vol.13-Issue-11.pdf>
- Van Vooren B., Gevrenova Y., Bertrand Z. 2024. The Nagoya Protocol at Its 10th anniversary: Lessons learned and new challenges from Access and Benefit-Sharing. Global Policy Watch. <https://www.globalpolicywatch.com/2024/10/the-nagoya-protocol-at-its-10th-anniversary-lessons-learned-and-new-challenges-from-access-and-benefit-sharing/>
- Vincenzo I.A.I.A 2024. Eco-patents at the crossroads between technological neutrality and environmental sensitivity. GRUR International, 73(4): 308-322. <https://doi.org/10.1093/grurint/ikae020>
- von der Ropp A. 2012. WIPO Green: Facilitating dissemination of green technology. WIPO Magazine. <https://www.wipo.int/web/wipo-magazine/articles/wipo-green-facilitating-dissemination-of-green-technology-38134>
- Universidad Europea (UE). 2024. Tipos de biotecnología: características y aplicaciones. <https://universidadeuropea.com/blog/tipos-biotecnologia/>
- Universidad Europea. 2025. ¿Qué es la bioeconomía circular?. <https://universidadeuropea.com/blog/bioeconomia-circular/>
- Wang Y.-L. 2019. Patent Protection for Green Technologies – Is Compulsory Licensing the Way of Promoting Technology Transfer? MIPLC Master Thesis (2018/19) <http://www.miplc.de/research/>
- Wang, Y. (2022). Has China Established a Green Patent System? Implementation of Green Principles in Patent Law. Sustainability. <https://doi.org/10.3390/su141811152>
- Zhang B. 2023. Patent compulsory licensing system on china's road to clean energy technology: a solution or pointless decoration for energy innovation? Paradigm Academic Press 2(3):1-6. <https://www.paradigmpress.org/le/article/download/468/407/605>

Sobre el autor:



Dr. Felipe Ascencio

Investigador Titular D y profesor en el CIBNOR, SNI III. Responsable del Laboratorio de Patogénesis

Microbiana. Loop: 264286; Scopus: 57247070500; ORCID: 0000-0003-3515-8708

CITA:

Ascencio, F. (2025). El dilema de las licencias de patentes: su impacto en la conservación de los recursos naturales. Biotecnológica Magazine, 3(6), 31-48.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18328928>



Ojos vemos, genes no sabemos

Arturo Sánchez-Paz

Laboratorio Virología. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Calle Hermosa, 101, Col. Los Ángeles. Hermosillo, Sonora. México. CP. 83106.

La vida cotidiana dista mucho de ser una interminable y estable sucesión de grandes ocasiones (nacimientos, graduaciones, bodas o ascensos). Esos momentos inolvidables suelen ser el resultado de la inapreciable confluencia de numerosos incidentes menores, aparentemente aislados, que, por sí solos, podrían parecer intrascendentes. Estos acontecimientos, invisibles por su futilidad, suelen actuar como catalizadores insustanciales de una compleja red de condiciones que alimenta la conquista de los triunfos limitados que alegran nuestras vidas. Tal vez entenderíamos mucho mejor las complejidades de la vida si nos dedicáramos a apreciar los incidentes imperceptibles que llenan nuestros días.

En 1856, se condujo a los anfiteatros anatómicos de la Facultad de Medicina de Granada, España, el cadáver de un sujeto de unos 40 años, de estatura regular y aparentemente bien proporcionado, para realizarle una autopsia. Para el asombro del encargado de realizar este procedimiento, el cadáver en cuestión presentaba una “*atrofia congénita de testículos y miembro viril*”. Dada la rareza del caso, el encargado llamó al conservador preparador de los museos anatómicos y al médico y profesor de

anatomía, Aureliano Maestre de San Juan, para la realización de la autopsia. Lo que llamó la atención de los involucrados fue el tamaño extraordinariamente diminuto de ambos órganos (hipogonadismo, para testículos no funcionales, y microfaloosomía, para penes anormalmente pequeños).

Y como si la vida se burlara siniestramente de las lastimeras peculiaridades de dicho cadáver, las sorpresas no terminaron ahí. Luego de disectar la pelvis, Maestre de San Juan, como parte del procedimiento ordinario, procedió a

abrir el cráneo y, tras levantar los lóbulos anteriores del cerebro, descubrió que su parte inferior carecía tanto de nervios olfatorios como del propio bulbo olfatorio. Es decir, como si no le faltaran pesares, el individuo que yacía en la fría plancha metálica de autopsias había sido incapaz de detectar olores (una condición llamada *anosmia*). Posteriormente, Maestre de San Juan indagó sobre las facultades olfativas de este sujeto y, a través del testimonio de la hermana del fallecido, confirmó que “*Antonio nunca tuvo conciencia de los cuerpos olorosos, por lo que era notable cómo podía permanecer en cualquier paraje, aunque el olor en aquel punto fuera intolerable*”. Maestre de San Juan publicó este hallazgo en la revista *El Siglo Médico* en 1856.

Como si la vida se regodeara en hacer esta historia más penosa, en 1944 Franz Kallmann, un psiquiatra genetista alemán de origen judío (*sic*) que había sido alumno de Ernst Rüdin, uno de los más fervientes promotores de la política de higiene racial en la Alemania nazi, y que emigró a Estados Unidos, describió el síndrome de microgonadismo y anosmia. Desde entonces, y de forma irónica, este desorden fue denominado *síndrome de Kallmann*, casi relegando al olvido a Aureliano Maestre de San Juan. Los giros sarcásticos de este relato no concluyen aquí. Por increíble que parezca, los sexólogos más apasionados de la época tomaron estos casos como prueba de que la nariz y el pene tenían más en común de lo que se pudiera haber supuesto (francamente, no logró entender que los llevó a relacionar ambos órganos). Y, paradójicamente, fue aún más insólito reconocer que de forma inesperada... tenían razón.

Los años pasaron y la vida continuó empeñándose en enredar esta historia. En 1991 dos grupos de investigación independientes publicaron un par de artículos en los que se identificó el gen causante del síndrome de Kallmann (hoy se sabe que son cerca de 20 genes los que pueden generar esta condición). El 10 de octubre de 1991, el grupo de la italiana Brunella Franco publicó un artículo en la revista *Nature* en el que el gen denominado (*KALIG-1*), localizado en una región específica del brazo corto del cromosoma X conocida como *Xp22.3*, se asoció al síndrome de Kallmann. Irónicamente, tan solo una semana después, el 18 de octubre de 1991, el grupo del francés Renaud Legouis, en un artículo publicado en la revista *Cell*, describe la localización cromosómica del gen *ADMLX*, candidato probable del síndrome de Kallmann, en la región *Xp22.3* (por supuesto, *KALIG-1* y *ADMLX* resultaron ser el mismo gen).

Poco a poco se ha logrado entender la forma en la que *KAL-1* (el nombre definitivo actual para el gen que causa el síndrome de Kallmann) funciona y lo que ocurre si el gen sufre delecciones o mutaciones. Cuando el gen se “enciende”, poco después de las primeras cinco semanas desde que el óvulo es fecundado, justo en la región del cerebro del embrión que se convertirá en el bulbo olfatorio, comienza la síntesis de una proteína (*anosmina*). En condiciones normales, durante la sexta semana de vida del embrión, las neuronas olfatorias situadas en la nariz extienden sus axones hacia el cerebro. El extremo de estos axones, llamado *cono de crecimiento*, funciona como un “navegador” que es guiado hacia el bulbo olfatorio por la *anosmina*. Se podría decir que la *anosmina* funciona como un mapa químico que

dirige y atrapa los conos de crecimiento de los axones de las neuronas olfatorias guiándolos desde la nariz hasta el bulbo olfatorio. Notablemente, los conos de crecimiento, unidos por la anosmina, a células vecinas servirán posteriormente como guía (una *autopista*) para que otras neuronas encuentren su camino hacia el cerebro. Sin embargo, en los embriones con un gen *KAL-1* defectuoso, no se sintetiza la anosmina y los axones de las neuronas olfatorias no pueden “conectarse” con el bulbo olfatorio. Esto explica por qué la gente con síndrome de Kallmann no detecta olores. Y otro torcido giro de esta historia explica la razón por la que las personas con este desorden genético sufren microfalocefalia e hipogonadismo. Curiosamente, las neuronas que producen la hormona liberadora de gonadotropina, conocidas como neuronas GnRH, responsables de regular el sistema reproductivo de los vertebrados, no nacen en el cerebro, sino en la nariz del embrión (que razón tenían los sexólogos). Normalmente, durante la octava semana de gestación, las neuronas GnRH inician un viaje desde la nariz del embrión hasta establecerse en el hipotálamo en la base cerebral. Para llegar a su destino final, las neuronas GnRH utilizan la “*autopista*” que tan amablemente “pavimentaron” los conos de crecimiento de las neuronas olfatorias y la anosmina semanas antes. Así, en las personas con síndrome de Kallmann, al no existir esta “*autopista*”, las neuronas GnRH nunca alcanzarán su objetivo (el hipotálamo) y serán incapaces de cumplir su misión: la secreción de la hormona liberadora de gonadotropina. Sin la señal de esta hormona, la glándula pituitaria nunca secretará la hormona luteinizante y los testículos no madurarán y no producirán

suficiente cantidad de la hormona sexual masculina, testosterona. El desarrollo genital masculino depende directamente de la presencia y la acción de andrógenos, como la testosterona, durante etapas críticas del desarrollo embrionario y de la infancia.

En nuestros genes está todo lo que somos, todo lo que fuimos y, muy probablemente, todo lo que seremos. La genética determina inevitablemente muchos aspectos de nuestra vida, pero, afortunadamente, no todos. Si bien en algún momento de la historia se tergiversó el papel de los genes en diferentes aspectos complejos de la vida del ser humano (la Alemania nazi consagró una supuesta supremacía racial), actualmente se reconoce la existencia de otra variable de gran peso que ayuda a definir nuestros rasgos físicos, sociales y psicológicos: el ambiente. Sin embargo, algunos de estos rasgos son definidos por factores que se desconocían, y dado que no podemos seleccionar ni los genes con los que viviremos el resto de nuestras vidas, ni el ambiente que nos rodeará, ni los factores que influyen en la expresión de los genes, algunas de nuestras características dependen solamente de tener “suerte” en la “lotería de la vida”.

Siempre ha quedado clara y se ha valorado la presencia de la figura materna en el desarrollo social y emocional de los hijos. Por ejemplo, de acuerdo con los estudios del Dr. Sarael Alcauter Solórzano del Instituto de Neurobiología de la UNAM, recién nacidos cuyas madres poseen un mayor nivel educativo muestran una maduración más avanzada de la red funcional cerebral. Además, varios estudios recientes han demostrado que la actividad física maternal antes y durante el embarazo genera beneficios claros en la salud metabólica, la función cognitiva y el rendimiento físico de los hijos.

Pero una perspectiva más actual ha dirigido la atención hacia la influencia de la herencia paterna **no genética**. Un creciente número de estudios ha demostrado que la exposición paterna a cambios en la dieta, al estrés o a sustancias químicas extrañas puede transmitir características, como alteraciones del metabolismo, comportamientos o predisposición a enfermedades, a la descendencia de forma no genética. Aún más, hoy se considera plausible que modificaciones de las histonas espermáticas (proteínas en las que se enrolla el ADN para compactarlo en las células), la metilación del ADN y los ARN codifiquen información no genética. Además de esto, unas moléculas cortas de ARN (conocidas como pequeños ARN reguladores, con un tamaño no superior a los 200 nucleótidos) que no codifican proteínas, han sorprendido a la comunidad científica ya que, además de regular la expresión de los genes, han generado gran interés ya que desempeñan un papel crucial en la herencia de algunos rasgos inducidos por el ambiente mediante mecanismos epigenéticos. Estos mecanismos permiten que los organismos transmitan “recuerdos” de exposiciones ambientales (como la dieta, el estrés o las toxinas) a su descendencia sin alterar la secuencia del ADN subyacente. Así, la herencia paterna no genética, que en su día fue objeto de controversia, está ganando cada vez más aceptación.

En un estudio reciente, Yin y colaboradores (2025) demostraron que los descendientes engendrados por ratones machos sometidos a entrenamiento intenso en ruedas giratorias por ocho semanas mostraron adaptaciones intrínsecas al ejercicio (mayor capacidad física) y parámetros metabólicos mejorados en comparación con la progenie de ratones sedentarios.

Es decir, los descendientes de ratones ejercitados heredaron una mejor capacidad de resistencia al ejercicio y mejores rasgos metabólicos. Quedaba claro que los rasgos heredados no eran meramente genéticos. Entonces, al observar esto, los investigadores decidieron aislar pequeños ARNs reguladores de los espermas de ratones entrenados y sin entrenar e inyectarlos en cigotos normales. Los resultados fueron sorprendentes: la inyección de los pequeños ARNs reguladores aislados de padres ejercitados en cigotos normales generó progenie con los rasgos de los padres entrenados a nivel conductual, metabólico y molecular. Aún más, los investigadores descubrieron que varios pequeños ARNs reguladores que se sobreexpresaron en esperma de ratones ejercitados podrían “ligarse” al gen que codifica la proteína NCor1, un regulador selectivo de los receptores nucleares que actúa con las histonas deacetilasas para regular la expresión génica. Es decir, la unión de los pequeños ARNs reguladores al gen *ncor1* fue suficiente para reducir su expresión, lo que hace que la progenie exhiba rasgos relacionados con la aptitud física de los machos ejercitados. Un hallazgo interesante de este estudio es que las crías hembras no mostraron una mejora en la resistencia con el ejercicio paterno, lo que podría sugerir que los beneficios del ejercicio paterno no se transmiten de manera uniforme, sino que probablemente implican mecanismos reguladores específicos para cada sexo. Otro punto que destaca en este estudio es el siguiente: el ejercicio paterno solo transmite los rasgos de mayor capacidad física y mejora metabólica únicamente a la descendencia inmediata (conocida como F1), pero no a las generaciones posteriores. Esto llama la atención

ya que, evolutivamente, la aptitud física de una población está ligada, inevitablemente, a las presiones selectivas a las que es sometida y que influyen en su supervivencia (como escapar de predadores) y reproducción (como asegurar recursos alimenticios). Así, fortalecer la aptitud física a lo largo de varias generaciones brindaría ventajas sobre la mera adaptación genética. Por supuesto, este es un primer acercamiento a los factores que regulan la herencia y falta mucho por entender e investigar, pero es suficientemente interesante para profundizar en él.

Referencias

Franco, B., Guioli, S., Pragliola, A., Incerti, B., Bardoni, B., Tonlorenzi, R., Carrozzo, R., Maestrini, E., Pieretti, M., Taillon-Miller, P., Brown, C.J., Willard, H.F., Lawrence, C., Graziella Persico, M., Camerino, G., y Ballabio, A. (1991). A gene deleted in Kallmann's syndrome shares homology with neural cell adhesion and axonal path-finding molecules. *Nature*, 353(6344):529-536.
<https://doi.org/10.1038/353529a0>.

Legouis, R., Hardelin, J.P., Levilliers, J., Claverie, J.M., Compain, S., Wunderle, V., Millasseau, P., Le Paslier, D., Cohen, D., Caterina, D., Bougueret, L., Delemarre-Van de Waal, H., Lutfalla, G., Weissenbach, J., y Petit, C. (1991). The candidate gene for the X-linked Kallmann syndrome encodes a protein related to adhesion molecules. *Cell*, 67(2):423-435.
[https://doi.org/10.1016/0092-8674\(91\)90193-3](https://doi.org/10.1016/0092-8674(91)90193-3).

Yin, X., Anwar, A., Yan, L., Yu, R., Luo, Y., Shi, L., Li, B., Chen, J., Liang, G., Chen, Y., Tang, J., Liang, J., Kan, Y., Zhang, Z., Zhou, X., Ma, J., Ji, C., Wang, Y., Zhang, Q., Li, J., Li, L., Zhao, X., Yin,

F., Sheng, L., Chen, D., Zhang, T., Zhang, C.Y., y Chen, X. (2025). Paternal exercise confers endurance capacity to offspring through sperm microRNAs. *Cell Metabolism*, 37(11):2167-2184.e8.
<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2025.09.003>.



Sobre el autor: El Dr. Arturo Sánchez-Paz es investigador titular encargado del Laboratorio de Virología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en Hermosillo, Sonora, México. Su investigación ha generado más de 50 artículos publicados en revistas científicas internacionales, y ha guiado y dirigido tesis de varios estudiantes de posgrado. Es miembro del SNII (II) y de la Academia Mexicana de Ciencias.

CITA:

Sánchez-Paz, A. (2025). Ojos vemos, genes no sabemos. In *Biotecnológica Magazine* (Vol. 3, Number 6, pp. 49-53). Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18329023>

