

# Biotechnology<sup>®</sup>

# Magazine

Revista en línea de divulgación biotecnológica

## Inteligencia Artificial en el Aula: Transformando la Enseñanza de Biotecnología y Biomedicina

FELIPE ASCENCIO

**Vol. 3, Número 1**

Enero- Febrero 2025  
[www.biotmagazine.com](http://www.biotmagazine.com)



BIOTECNOLÓGICA MAGAZINE® año 2025, Vol. 3, No. 1, enero-febrero, es una publicación de divulgación, bimestral, editada por: Dra. Norma Y. Hernández Saavedra. <http://biotmagazine.com>, [biotecnologicamagazine@gmail.com](mailto: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:** LaymanZoom a través de canva.

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



Revista digital de divulgación científica.

**Biotecnológica 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.

**Biotecnológica 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**



Biotecnológica Magazine

#### **EDITORA**

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 Goretty 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** *Resistencia Antibiótica: Un Problema Global en la Salud Pública*

Macario Savin Amador, Liliana Hernandez Olalde, Benjamín Troyo Vega

**11** *El estado vítreo: la vida eterna de las células vegetales*

Ana Luz Gómez-García, Rosario Yadira Avalos-Barajas, Santos Zepeda-Guzmán, \*Gamaliel Valdivia-Rojas

**19** *¿La primera vacuna autorizada para insectos es comestible y heredable*

JMercedes Gorette Solís Lucero

**21** *Inteligencia Artificial en el Aula: Transformando la Enseñanza de Biotecnología y Biomedicina*

Felipe Ascencio

**35** *El resurgimiento del metapneumovirus humano (hMPV) en 2024: ¿Debería preocuparnos su aumento en Asia y México?*

Felipe Ascencio

**42** *¿Monstruos genuinos o héroes quiméricos?*

Arturo Sánchez Paz

### *Infografías*

**47** *Medicinas Marinas*

Sara García Davis, Carlos A. Jaramillo Mora.

# EDITORIAL

Estimad@s Lector@s,

La biotecnología continúa su avance vertiginoso, desafiando los límites del conocimiento y ofreciendo soluciones innovadoras a problemas globales. En esta edición de Biotecnología Magazine, exploramos una diversidad de temas que abarcan desde la resistencia antibiótica hasta la irrupción de la inteligencia artificial en la enseñanza de disciplinas biomédicas. Cada uno de los artículos presentados en esta edición refleja el impacto y la versatilidad de la biotecnología en el mundo actual.

Uno de los desafíos más apremiantes es la **resistencia antibiótica**, un problema que afecta la salud pública global y que exige un enfoque interdisciplinario para su mitigación. La biotecnología desempeña un papel crucial en el desarrollo de nuevos antimicrobianos y en la mejora de estrategias para combatir bacterias resistentes. En este sentido, comprender la evolución de la resistencia y las alternativas terapéuticas es esencial para prevenir una crisis sanitaria de gran magnitud.

Por otro lado, abordamos el **estado vítreo en células vegetales**, una fascinante estrategia de preservación que podría revolucionar la conservación de especies y la biotecnología agrícola. Este fenómeno, que permite mantener la viabilidad celular casi indefinidamente, abre puertas a nuevas aplicaciones en la seguridad alimentaria y la biodiversidad.

La biotecnología también nos sorprende con innovaciones inesperadas, como la **primera vacuna autorizada para insectos**, cuyo potencial es vasto en el control de enfermedades transmitidas por vectores y en la sostenibilidad agrícola. Nos preguntamos: ¿podría esta tecnología ser comestible y heredable? Sin duda, su impacto será objeto de gran interés en la comunidad científica y productiva.

En el ámbito educativo, exploramos cómo la **inteligencia artificial está transformando la enseñanza de biotecnología y biomedicina**. Herramientas de aprendizaje automatizado, simulaciones avanzadas y asistentes virtuales están revolucionando la manera en que los estudiantes adquieren conocimientos, lo que plantea nuevas oportunidades y desafíos para la educación en ciencias de la vida.

Por otra parte, analizamos el resurgimiento del **metapneumovirus humano (hMPV)** en 2024, una infección respiratoria cuya reciente propagación en Asia y México ha despertado la atención de la comunidad médica. Comprender su impacto epidemiológico y sus posibles implicaciones es clave para el diseño de estrategias preventivas y de control.

Finalmente, exploramos la dualidad entre la percepción popular y la realidad científica en el artículo **¿Monstruos genuinos o héroes quiméricos?**. A lo largo de nuestra historia, los humanos hemos creado reglas, leyes y mandamientos para evitar la decepción que genera el engaño, normas que nos permiten confiar en los demás y vivir en armonía. Sin embargo, siempre existirá quien decida engañar mientras sus expectativas de ganancia superen el temor a ser castigados. Pero, ¿hasta dónde se puede llegar, qué límites se pueden quebrantar, para obtener una victoria insípida, pero muchas veces lucrativa? Esta cuestión nos confronta con dilemas bioéticos fundamentales, en los que la ciencia y la sociedad deben encontrar un equilibrio entre el progreso y la responsabilidad moral.

Cada uno de estos artículos refleja la riqueza y complejidad del campo biotecnológico, invitándonos a cuestionar, explorar y expandir nuestros horizontes científicos. La biotecnología sigue redefiniendo los límites de lo posible, y nosotros, como comunidad, tenemos la responsabilidad de guiar su desarrollo con rigor, ética y visión de futuro. ¡Bienvenidos a una nueva edición de Biotecnología Magazine!

**Consejo Editorial Fundador**

# Resistencia Antibiótica: Un Problema Global en la Salud Pública

Macario Savin Amador<sup>1,2\*</sup>, Liliana Hernandez Olalde<sup>2</sup>, Benjamín Troyo Vega<sup>1</sup>

1.Universidad Tecnológica de La Paz, SN, La Paz Baja California Sur.

2. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz B.C.S.

\*Correspondencia: msavin@utlp.edu.mx

Los antibióticos (son medicamentos que combaten las infecciones bacterianas en personas y animales), descubiertos a mediados del siglo XX, revolucionando la medicina al convertirse en herramientas clave para combatir infecciones bacterianas. Estos medicamentos tienen la capacidad de inhibir bacterias que causan enfermedades graves, como *Bacillus anthracis*, que produce el ántrax; *Mycobacterium tuberculosis*, responsable de la tuberculosis; y *Treponema pallidum*, que provoca la sífilis. Debido a su efectividad, los antibióticos se popularizaron rápidamente y fueron empleados para tratar heridas, incluso durante la Primera Guerra Mundial, marcando un antes y un después en el tratamiento de infecciones bacterianas. Sin embargo, hoy en día, la Resistencia a los Antibióticos (RA) se ha convertido en una de las mayores amenazas para la salud pública mundial, poniendo en peligro nuestra capacidad de tratar infecciones bacterianas comunes. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que, si no se toman medidas urgentes, la RA podría causar 10 millones de muertes al año para el 2050 (Okaiyeto et al., 2024).

## ¿Qué es la resistencia bacteriana a los antibióticos?

La RA ocurre cuando las bacterias desarrollan la capacidad de sobrevivir a la acción de los antibióticos (Bacterias Resistentes a los Antibióticos, BRA) que antes eran efectivos para eliminarlas.

Este fenómeno es un proceso evolutivo natural, en el cual los antibióticos residuales interactúan con las bacterias; sin embargo, su velocidad se ha incrementado drásticamente debido al uso excesivo e inapropiado de estos medicamentos en la medicina humana, veterinaria, la agricultura y la acuicultura (Gallegos-Rubianes et al., 2023).

## El papel de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos, como ríos, lagos y mares, juegan un papel crucial en la amplificación y propagación de la RA. Estos ambientes actúan como reservorios de BRA y Genes de Resistencia a los Antibióticos (GRA), provenientes de diversas fuentes de contaminación (Rodríguez y Quiceno, 2023). En particular, los cuerpos de agua que reciben efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales presentan tanto bacterias sensibles como resistentes a los antibióticos (Figura 1, A). La presencia de residuos de antimicrobianos en estos ecosistemas ejerce una presión selectiva sobre las bacterias que habitan allí (Figura 1, B). Esta presión selectiva, causada por la descarga constante de contaminantes, facilita la transferencia de elementos genéticos móviles que contienen GRA (Figura 1, C). Como resultado, la comunidad microbiana cambia su composición genética, predominando bacterias resistentes. Estas bacterias pueden entrar en contacto con seres humanos y, a su vez, propagar la resistencia a otros ambientes (Figura 1, D) (Barrantes et al., 2022 modificado).

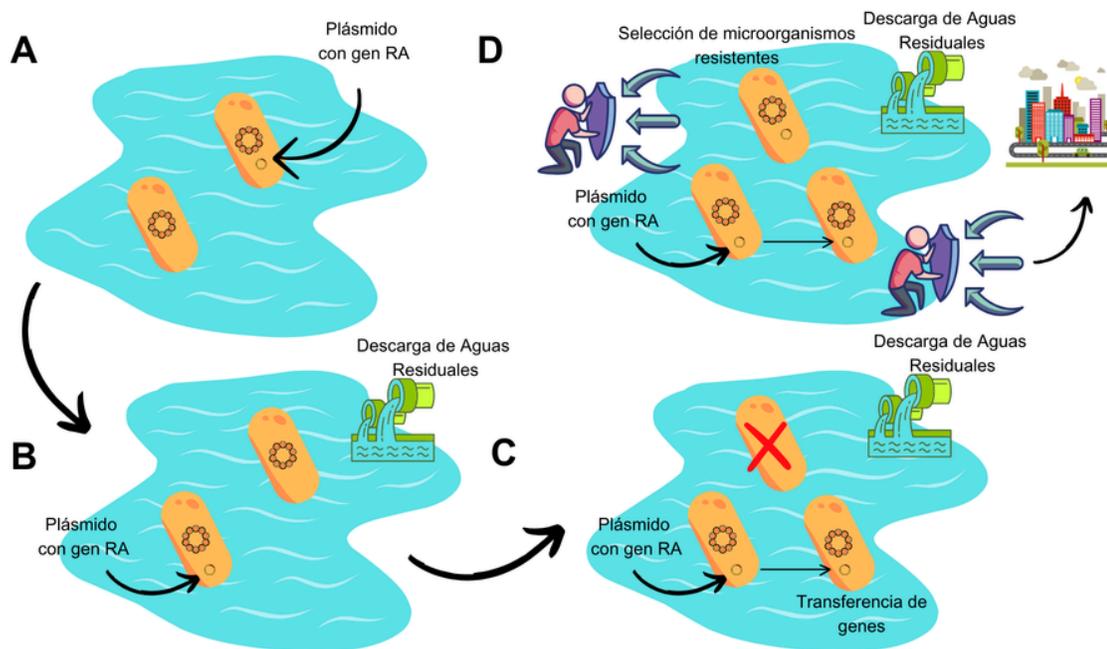


Figura 1. Mecanismos de selección y propagación de resistencia a los antibióticos en ecosistemas acuáticos contaminados. (Fuente: Barrantes et al., 2022, modificado)

Las principales fuentes de contaminación son de acuerdo a Rodríguez y Quiceno, 2023:

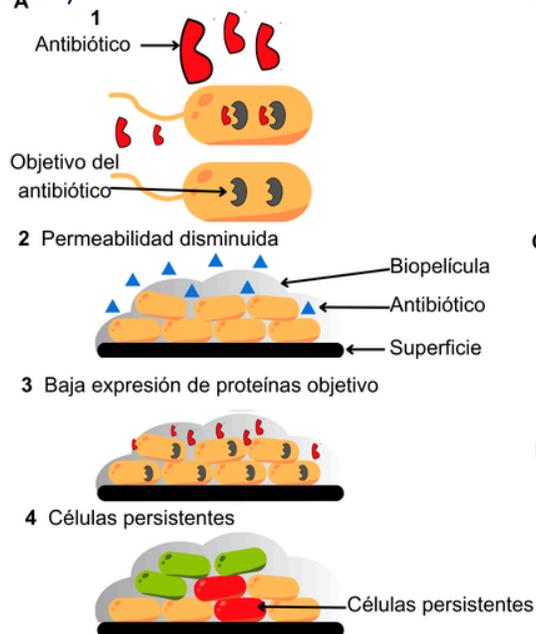
- **Hospitales:** Los efluentes de hospitales contienen altas concentraciones de antibióticos y BRA, lo que contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua.
- **Hogares:** El uso de antibióticos en la comunidad también libera BRA y GRA en las aguas residuales domésticas.
- **Agricultura, acuicultura y ganadería:** El uso masivo de antibióticos en la producción animal, tanto para tratar enfermedades como para promover el crecimiento, genera una gran cantidad de residuos que contaminan el agua y el suelo.
- **Industria farmacéutica:** La producción de antibióticos puede liberar residuos que contribuyen a la presión selectiva en los ecosistemas acuáticos, favoreciendo la RA.

### Mecanismos de resistencia y propagación

Una vez en el ambiente acuático, las bacterias pueden intercambiar GRA a través de la transferencia horizontal de genes (figura 2). Este proceso permite que bacterias sensibles adquieran resistencia de otras bacterias, incluso de diferentes especies. Además, la presencia de metales pesados y biocidas (son sustancias o mezclas diseñadas para eliminar o controlar organismos nocivos mediante acciones químicas o biológicas) en el agua puede inducir mecanismos de resistencia que también pueden proteger a las bacterias contra los antibióticos (Gallegos-Rubianes et al., 2023).

Las bacterias viven en muchos tipos de ambientes, donde necesitan distintos genes para poder sobrevivir. Uno de los modos de vida más comunes para las bacterias es el crecimiento en **biopelículas** (son comunidades

células que se agrupan y producen una matriz extracelular protectora). Estas biopelículas tienden a ser muy resistentes a los antibióticos por varios factores (Ciofu et al., 2022). En su estado planctónico (libre en el agua), las bacterias son susceptibles al efecto de los medicamentos (ver figura 2, parte A, 1). Sin embargo, dentro de una biopelícula, las células muestran una gran diversidad en sus estados metabólicos y en la expresión de genes, lo que les permite resistir de distintas maneras: algunas presentan permeabilidad reducida al medicamento (ver figura 2, A, 2), otras tienen una baja actividad metabólica que disminuye la expresión del objetivo del antibiótico (ver figura 2, parte A, 3), y muchas generan una gran cantidad de células persistentes o resistentes que pueden soportar el tratamiento (ver figura 2, parte A, 4) (Ciofu et al., 2022). Además, en las biopelículas, el intercambio genético entre bacterias es alto, lo que facilita la transferencia de genes de resistencia a los antimicrobianos (GRA) (ver figura 2, parte B) (Stewart et al., 2019).



Un ejemplo interesante de cómo un cambio en el estilo de vida de las bacterias puede llevar a la resistencia es el caso de las bacterias en forma L (“L-form”), que son células que, después de exponerse a situaciones de estrés, pierden su pared celular. Estas bacterias en forma L se vuelven resistentes a los medicamentos que atacan la pared celular (por ejemplo,  $\beta$ -lactámicos), y al usar estos medicamentos, rápidamente se seleccionan las bacterias que ya no tienen pared celular (ver figura 2, parte C).

Otro cambio en el estilo de vida de las bacterias que puede ser provocado por condiciones ambientales es la formación de **células persistentes** (ver figura 2, parte A, 4), que son células en estado latente. Estas células dejan de crecer temporalmente, pero siguen siendo viables. Las células persistentes son altamente resistentes a los antibióticos bactericidas, aunque recuperan su sensibilidad normal cuando vuelven a crecer.

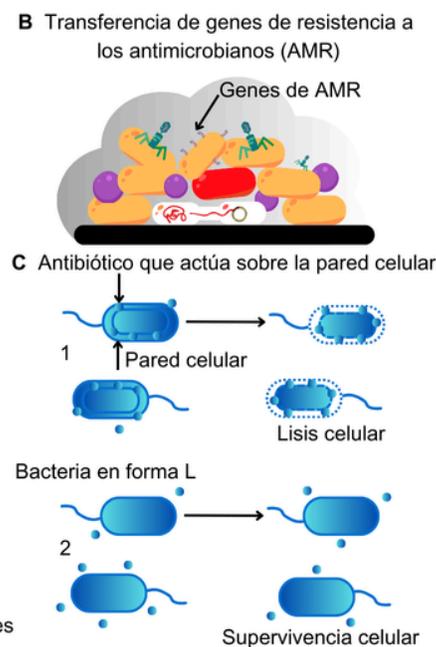


Figura 2. El papel del entorno y el estilo de vida en la supervivencia. (Stewart et al., 2019, modificado).

Se han propuesto varios mecanismos que explican cómo se forman las células persistentes, incluyendo los sistemas de toxina-antitoxina y la producción de guanosina pentafofato (p)ppGpp, aunque todavía existe bastante debate sobre la relevancia de cada mecanismo. Datos recientes han mostrado que las células con bajos niveles de ATP (adenosín trifosfato) tienen más probabilidades de convertirse en células persistentes.

La tolerancia se refiere a grupos de células que pueden sobrevivir temporalmente a la exposición a antibióticos, incluso cuando las concentraciones de estos superan el nivel mínimo necesario para inhibir el crecimiento bacteriano. Las células tolerantes crecen más lentamente (aunque no se detienen por completo) debido a mutaciones en genes que influyen en su crecimiento. Este crecimiento lento permite que estas células resistan el efecto de los antibióticos y aumenta la posibilidad de que acumulen mutaciones que puedan llevar a una resistencia duradera cuando se exponen a estos medicamentos.

Las bacterias emplean distintas estrategias para defenderse de los antibióticos. En la figura 3 de Darby et al. (2023), se muestra un ejemplo de estos mecanismos: **la inactivación del antibiótico**. En este proceso, las bacterias producen enzimas que descomponen o alteran la estructura del antibiótico, volviéndolo ineficaz y evitando que afecte su funcionamiento interno. Por ejemplo, algunas enzimas rompen grupos funcionales del antibiótico mediante un proceso llamado **hidrólisis**, desactivándolo. Otras enzimas añaden grupos químicos al antibiótico para impedir que se una a su objetivo.

Otro mecanismo es la **alteración del sitio objetivo**, que consiste en cambiar la estructura del lugar al que se dirige el antibiótico dentro de la bacteria. Esto puede ocurrir a través de mutaciones en el gen que codifica la proteína que el antibiótico intenta atacar, o mediante cambios enzimáticos en el sitio de unión del antibiótico. En el proceso de desvío del objetivo, la bacteria utiliza una proteína alternativa para realizar la misma función que el objetivo del antibiótico. Esto hace que el antibiótico ya no sea necesario para esa función, por lo que pierde efectividad. Las bacterias también pueden **reducir la entrada del antibiótico** mediante cambios en la membrana celular, como la disminución de proteínas llamadas **porinas** (son proteínas especiales que se encuentran en las membranas de las células bacterianas y en otros organismos) que facilitan la entrada de sustancias (incluyendo antibióticos) en la célula bacteriana. Además, cuentan con **bombas de expulsión activa o de eflujo**, proteínas transmembrana que expulsan los antibióticos fuera de la célula para mantener su concentración interna baja. Finalmente, en la **protección del objetivo**, una proteína protectora se asocia físicamente con el objetivo del antibiótico, evitando que el antibiótico logre inhibir su función. Estos mecanismos permiten a las bacterias adaptarse y resistir el efecto de los antibióticos, dificultando así su eliminación en las infecciones.

### Evidencia de la resistencia en el agua

Diversos estudios han demostrado la presencia de BRA en diferentes ecosistemas acuáticos:

1. En el mar, más del 90% de las cepas bacterianas son resistentes a más de un antibiótico.

2. En ríos, la presencia de BRA aumenta cerca de las descargas de aguas residuales.
3. En lagos, se han encontrado bacterias con alta resistencia a antibióticos que son potencialmente patógenas para los humanos.

La propagación de la RA dificulta el tratamiento de las infecciones, lo que lleva a (Barrantes, Chacón y Aria, 2022):

- Mayor morbilidad y mortalidad.
- Estancias hospitalarias más prolongadas.
- Aumento de los costos de atención médica.

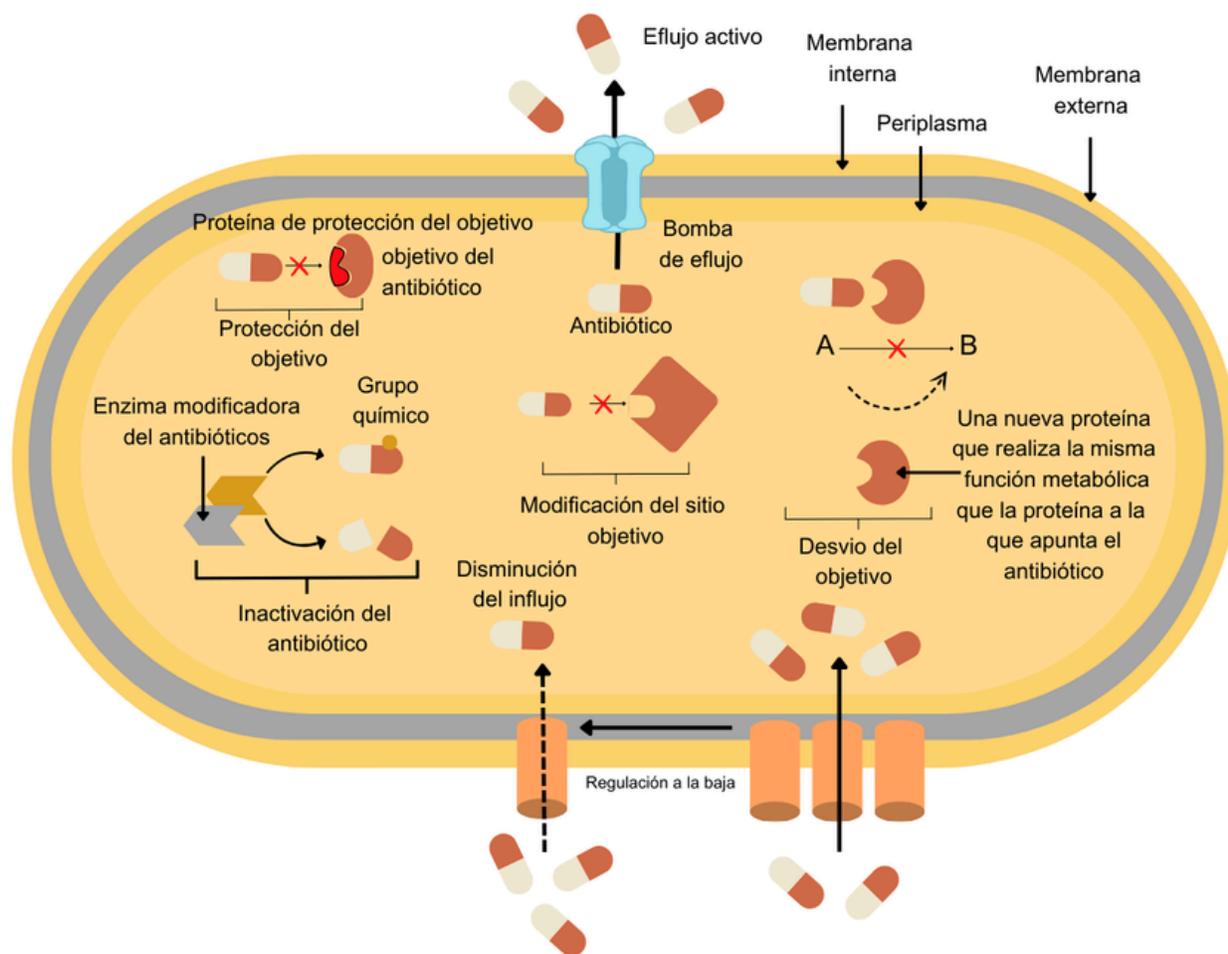


Figura 3. Mecanismos de resistencia bacteriana a antibióticos: Inactivación, alteración del sitio objetivo, desvío del objetivo, reducción de entrada y protección del objetivo (Darby et al., 2023).

### Implicaciones para la salud pública

La RA en ambientes acuáticos representa un grave problema de salud pública. Las BRA presentes en el agua pueden infectar a los humanos a través del contacto directo, con el consumo de alimentos contaminados o el uso de agua contaminada para riego.

En primer lugar, la Resistencia Antimicrobiana (RAM) representa una de las mayores amenazas para la salud pública, al incrementar significativamente la morbilidad y mortalidad asociadas a infecciones que antes se consideraban manejables. Enfermedades como neumonías, infecciones urinarias o sepsis están volviéndose cada vez más difíciles de tratar debido a la aparición de bacterias resistentes a

múltiples fármacos (Hernando-Amado et al., 2019). Esta situación es especialmente crítica en poblaciones vulnerables, como niños, ancianos y pacientes inmunodeprimidos, quienes enfrentan un mayor riesgo de complicaciones graves y mortalidad.

La RAM pone en peligro procedimientos médicos esenciales, como cirugías, quimioterapias y trasplantes, que dependen de la efectividad de los antibióticos para prevenir infecciones secundarias. Además, la globalización y la conectividad entre ecosistemas locales y globales facilitan la diseminación de microorganismos resistentes, agravando el problema (Hernando-Amado et al., 2019). Si no se toman medidas urgentes, las infecciones comunes podrían convertirse nuevamente en las principales causas de muerte, retrocediendo décadas de avances médicos y de salud pública.

Además, las estancias hospitalarias prolongadas son una consecuencia directa y preocupante de la RAM. Los pacientes infectados con bacterias resistentes requieren tratamientos más extensos, complejos y costosos, lo que sobrecarga los sistemas de salud al incrementar la ocupación de camas y limitar la capacidad de atención para otros pacientes (Hernando-Amado et al., 2019). Esta situación no solo afecta la calidad de la atención médica, sino que también eleva el riesgo de infecciones nosocomiales, ya que los hospitales pueden actuar como puntos clave de propagación de bacterias resistentes debido a las interacciones entre pacientes y al ambiente hospitalario contaminado. Este círculo vicioso intensifica el impacto de la RAM, dificultando aún más el control de las

infecciones y aumentando la presión sobre los recursos hospitalarios (Barrantes, Chacón y Aria, 2022).

Por último, el aumento de los costos en la atención médica es una consecuencia inevitable y alarmante de la RAM. Los tratamientos para infecciones resistentes suelen ser significativamente más caros debido al uso de antibióticos de última generación, hospitalizaciones prolongadas y, en algunos casos, procedimientos quirúrgicos adicionales. Estos costos afectan tanto a los sistemas de salud como a los pacientes y sus familias, particularmente en países con acceso limitado a servicios médicos de calidad. A largo plazo, la RAM podría desencadenar una crisis financiera en los sistemas de salud, poniendo en riesgo su sostenibilidad y agravando las desigualdades en el acceso a la atención, especialmente en regiones con recursos limitados (Hernando-Amado et al., 2019).

### **Enfrentando la crisis: El enfoque de “Una Salud”**

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la RA se ha convertido en una de las principales amenazas para la salud, y en uno de los desafíos a nivel mundial para el bienestar humano, gracias a los efectos que puede ocasionar en lo económico. Actividades como el turismo y las grandes migraciones humanas pueden ser un detonante para este problema de salud (Giono-Cerezo et al., 2020).

Para abordar la amenaza de la RA es necesario un enfoque integral que involucre a diferentes sectores, como la salud humana, animal y ambiental. El enfoque de "Una Salud" reconoce la interconexión entre estos sectores y busca soluciones conjuntas para combatir la RA (Barrantes, Chacón y Aria, 2022; Rodríguez y Quiceno, 2023). Este enfoque ha sido promovido por organizaciones internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), quienes en 2015 desarrollaron el Plan de Acción Mundial sobre la Resistencia a los Antimicrobianos Bajo esta perspectiva (OMS, 2016).

Para afrontar la situación, es necesario unificar criterios y metodologías entre países. Estados Unidos, a través del Global Antimicrobial Resistance Surveillance System (GLASS), utiliza estándares de vigilancia para mejorar la seguridad del paciente (Giono-Cerezo et al., 2020). Además, el acceso a los antibióticos depende del criterio médico, factores culturales y socioeconómicos. En países como India, donde se permite la venta sin receta, por lo que se requiere una regulación más estricta a nivel global (Alós, 2015).

### **Estrategias clave para la salud pública**

Considerando que la resistencia de las bacterias a los antibióticos afecta tanto a nivel individual como poblacional, es un reto de salud pública a nivel global. Para enfrentar esta problemática la OMS recomienda lo siguiente (Secretaría de Salud, 2017):

**Uso responsable de antibióticos:** El uso excesivo e inadecuado de antibióticos en medicina humana, veterinaria, acuicultura y agricultura es un factor clave en la RA. Promover un uso prudente implica regular la prescripción médica, evitar la automedicación y limitar el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en la ganadería (Gallegos-Rubianes et al., 2023). En países como Costa Rica, normativas específicas han ayudado a reducir la presión selectiva que favorece la RA (Hinestroza., 2018).

**Vigilancia epidemiológica:** Es crucial para monitorear su propagación en hospitales, granjas, ríos y sistemas de tratamiento de aguas residuales (Rodríguez y Quiceno, 2023). En Costa Rica, se han detectado bacterias resistentes en alimentos como la lechuga, destacando la necesidad de extender la vigilancia a los sistemas alimentarios (Rodríguez et al., 2006). Las redes regionales de vigilancia, propuestas por la OMS, facilitan el intercambio de información y la coordinación entre países (FAO., 2016).

**Tratamiento de aguas residuales:** Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son puntos críticos para la diseminación de la RA, ya que concentran bacterias resistentes y residuos de antibióticos. Es esencial implementar tecnologías avanzadas, como biorreactores y oxidación, para eliminar estos contaminantes (Rodríguez y Quiceno, 2023; Manaia et al., 2018). En países en desarrollo, la inversión en infraestructura es urgente para prevenir la contaminación ambiental.

**Investigación e innovación:** La investigación es fundamental para desarrollar nuevos antibióticos, terapias alternativas (como fagos o péptidos antimicrobianos) y estrategias contra la RA (Okaiyeto et al., 2024). Además, es crucial estudiar los mecanismos de transferencia de genes de resistencia y el impacto de contaminantes emergentes, como los microplásticos (Arias-Andrés et al., 2018). La colaboración entre instituciones académicas, gobiernos y la industria farmacéutica es clave para avanzar en este campo.

Es inminente un esfuerzo en conjunto a nivel internacional para afrontar esta problemática, hay que invertir en investigación básica y aplicada para desarrollar nuevos medicamentos, mejorar los sistemas sanitarios en todos los países, incluyendo los menos desarrollados (World Economic Forum, 2024). Lo que se ha expuesto es sólo una parte de la solución, también hay que considerar productos naturales con funciones antibacterianas, como es el caso de un producto fúngico, aspergilomarasmina A, potente inhibidor de algunas carbapenemasas (enzimas que al ser producidas por las bacterias, confieren resistencia clínicamente significativa a los antibióticos) (Alós, 2015).

## Conclusiones

La RA es un problema global que exige una respuesta coordinada y multisectorial. Los ecosistemas acuáticos desempeñan un papel importante en la propagación de la RA, y su contaminación con BRA y GRA tiene graves consecuencias para la salud pública.

La implementación de estrategias como el enfoque de "Una Salud", la promoción del uso responsable de antibióticos, el fortalecimiento de la vigilancia epidemiológica y el desarrollo de nuevos tratamientos son esenciales para frenar la propagación de la RA y proteger la salud de las generaciones futuras. También sugerimos la creación y difusión de centros de acopio especializados en la recolección de antibióticos caducados o sobrantes. Esto contribuiría a una disposición final adecuada, evitando su ingreso al medio ambiente y reduciendo su impacto en los ecosistemas acuáticos y la propagación de la RA.

## Referencias

- Alós, J.I. (2015). Resistencia bacteriana a los antibióticos: una crisis global. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 33 (10), 692-699.  
<https://doi.org/10.1016/j.eimc.2014.10.004>.
- Arias-Andres, M., Klümper, U., Rojas-Jimenez, K. y Grossart, H. P. (2018). Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 237, 253-261.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058>.
- Barrantes Jiménez, K., Chacón Jiménez, L., y Arias Andrés, M. (2022). El impacto de la resistencia a los antibióticos en el desarrollo sostenible. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2).  
<https://doi.org/10.15517/psm.v0i19.47590>.
- Ciofu, O., Moser, C., Jensen, P. Ø., y Høiby, N. (2022). Tolerance and resistance of microbial biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 20(10), 621-635 <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00682-4>.

- Darby, E. M., Trampari, E., Siasat, P., Gaya, M. S., Alav, I., Webber, M. A., y Blair, J. M. (2023). Molecular mechanisms of antibiotic resistance revisited. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 280-295. <https://doi.org/10.1038/s41579-022-00820-y>.
- Gallegos-Rubianes, A., Torres-Correa, A., Aponte, H., y Aguinaga-Vargas, O. (2023). Resistencia microbiana a antibióticos: Estado actual del conocimiento y retos para los ecosistemas acuáticos. *The Biologist (Lima)*, 21(2), 203-216. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>.
- Giono-Cerezo, S., Santos-Preciado, J.I., Morfín-Otero, M. del R., Torres-López, F.J. y Alcántar-Curie, M.D. (2020). Resistencia antimicrobiana. Importancia y esfuerzos por contenerla. *Gaceta Médica de México*, 156, 172-180. <https://doi.org/10.24875/gmm.20005624>
- Hernando-Amado, S., Coque, T. M., Baquero, F., & Martínez, J. L. (2019). Defining and combating antibiotic resistance from One Health and Global Health perspectives. *Nature microbiology*, 4(9), 1432-1442. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0503-9>.
- Hinestroza, D. (2018). Plan de acción nacional de lucha contra la resistencia a los antimicrobianos Costa Rica, 2018-2025. *www.ministeriodesalud.go.cr.*, 7, 1-25.
- Manaia, C. M., Rocha, J., Scaccia, N., Marano, R., Radu, E., Biancullo, F., Cerqueira, F., Fortunato, G., Ialovides I.C., Zammit, I., Kampouris I., Vaz-Moreira, I and Nunes, O. C. (2018). Antibiotic resistance in wastewater treatment plants: Tackling the black box. *Environment International*, 115, 312-324. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.044>.
- Okaiyeto, S. A., Sharma, P. P., Chen, C., Ngoma, J.-B., Wang, J., Mude, A. S. y Xu, H.-W. (2024). Antibiotic resistant bacteria in food systems: Current status, resistance mechanisms, and mitigation strategies. *Agriculture Communications*, 2, 100027. <https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2024.100027>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). El plan de acción de la FAO sobre la Resistencia a los antimicrobianos 2016-2020. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2014.10.004>.
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2016). Plan de Acción Mundial sobre la Resistencia a los Antimicrobianos. <http://www.who.int/antimicrobial-resistance/global-action-plan/es/>.
- Rodríguez, C., Lang, L., Wang, A., Altendorf, K., García, F., y Lipski, A. (2006). Lettuce for human consumption collected in Costa Rica contains complex communities of culturable oxytetracycline- and gentamicin-resistant bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 72(9), 5870-5876. <https://doi.org/10.1128/AEM.00963-06>.
- Rodríguez, E. A., y Jiménez Quiceno, J. N. (2023). Resistencia bacteriana a antibióticos en ambientes acuáticos: Origen e implicaciones para la salud pública. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 41(3), e351453. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e351453>.
- Secretaría de Salud. (12 de noviembre de 2017). Resistencia a los antibióticos. Recuperado el 25 de enero, de 2025 de <https://www.gob.mx/salud/articulos/resistencia-a-los-antibioticos?idiom=es>

Stewart, P. S., White, B., Boegli, L., Hamerly, T., Williamson, K. S., Franklin, M. J. y Wallqvist, A. (2019). Conceptual model of biofilm antibiotic tolerance that integrates phenomena of diffusion, metabolism, gene expression, and physiology. *Journal of bacteriology*, 201(22), 10-1128. [10.1128/JB.00307-19](https://doi.org/10.1128/JB.00307-19)

World Economic Forum. (2 de octubre de 2024). ¿Qué es la resistencia a los antibióticos y cómo podemos combatirla?. *Salud y Sistemas de Salud*. Recuperado el 25 de enero, de 2025 de

<https://es.weforum.org/stories/2024/10/que-es-la-resistencia-a-los-antibioticos-y-como-podemos-combatirla/>

### Cita

Savin-Amador, M., Hernandez-Olalde, L., & Troyo-Vega, B. (2025). Resistencia Antibiótica: Un Problema Global en la Salud Pública. *Biotechnológica Magazine*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14948597>

## Sobre los autores



Macario Savin-Amador: Es profesor investigador en la Universidad Tecnológica de La Paz e investigador posdoctoral CONACYT en el Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras de la UABCS trabajando con la identificación de genes resistentes a antibióticos en bacterias de origen acuáticas.



Liliana Hernandez-Olalde: Profesora Investigadora del Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras de la UABCS, Su línea de investigación incluye bacterias y metabolismo impartiendo el curso de Biología Celular.



Benjamín Troyo-Vega: Profesor de la Universidad Tecnológica de La Paz y del Centro de Investigación para el Desarrollo sustentable, su línea de investigación incluye temas de turismo sustentable.

# El estado vítreo: la vida eterna de las células vegetales

Ana Luz Gómez-García<sup>1</sup>, Rosario Yadira Avalos-Barajas<sup>2</sup>, Santos Zepeda-Guzmán<sup>2</sup>, \*Gamaliel Valdivia-Rojas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México- Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes

\* gamaxew@gmail.com

**Tema:** En este artículo hablaremos sobre la crioconservación de tejidos vegetales; una técnica que permite el almacenamiento a largo plazo de explantes (hojas tallos, raíces, yemas, esporas o semillas) para su conservación y su futura utilización. Aunque la técnica es una alternativa viable al problema de la conservación de especies de interés agronómico a largo plazo, la misma representa un reto, ya que se requieren condiciones y procedimientos muy especiales para mantener el material en estado vítreo y conservarlo en buenas condiciones para poder regenerarlo.

## 1. Introducción

La conservación de los recursos genéticos vegetales es importante para el desarrollo y la mejora del sector agrícola. Los bancos de germoplasma, que son grandes reservorios de años de evolución de las plantas, representan no solo la riqueza de las especies que conserva, sino la capacidad de abastecer de alimento a las generaciones futuras. Conservar los genotipos importantes (importantes para la producción de alimentos, medicamentos, fibras etc.) para la subsistencia del hombre es muy apremiante, por lo que existen estrategias que lo hacen posible, como la crioconservación. Esta tecnología permite conservar el material vegetal durante largos períodos de tiempo, podemos conservar en el laboratorio (*in vitro*) semillas ortodoxas, recalcitrantes y explantes de especies propagadas vegetativamente (Martínez-Montero et al., 2012).

La seguridad alimentaria, la agricultura sostenible y la preservación de la biodiversidad dependen de la conservación de los recursos genéticos vegetales. La diversidad genética es

necesaria para mejorar los cultivos, adaptarlos a los cambios ambientales, conferirles resistencia a plagas y enfermedades. La pérdida de biodiversidad es una de las problemáticas más importantes a las que se enfrenta el mundo; este problema no solo afecta en la desaparición de especies, si no que genera un impacto negativo sobre la dinámica de otras especies como el aumento de enfermedades y plagas. Debido a que algunas de las principales causas de la disminución de la biodiversidad incluyen: el cambio climático, la sobreexplotación de recursos naturales, la destrucción de hábitats, y la introducción de especies invasoras, la conservación *ex situ* (fuera de su hábitat natural) de especies vegetales amenazadas permitirá el rescate de especies de interés y la recuperación del material vegetal (Bellon et al., 2009). Aunque existen muchos métodos de conservación de la biodiversidad, la crioconservación es el único método que ha demostrado efectividad para preservar esta diversidad genética a largo plazo, especialmente para especies vegetales que son difíciles de conservar mediante métodos tradicionales como los bancos de semillas o jardines botánicos (González-Arno et al., 2013).

## 2. Criopreservación: ¿cómo prevenir la formación de hielo dentro de la célula?

La criopreservación es un método de conservación a largo plazo que requiere el almacenamiento de células, tejidos, órganos u otros materiales biológicos a temperaturas muy bajas, usualmente se utiliza nitrógeno líquido (LN, por sus siglas en inglés); en este estado, el nitrógeno se encuentra a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Fig. 1). Bajo estas condiciones, los procesos y rutas metabólicas detienen su funcionamiento, lo que permite que el material vegetal se conserve durante muchos años sin llegar a sufrir deterioro significativo (Medina y Serrano, 2012). La criopreservación de material vegetal en nitrógeno líquido ha sido descrita como una tecnología adecuada para conservar los recursos genéticos de varias especies. Sin embargo, los efectos potenciales del LN en el crecimiento posterior de las plantas en el campo deben estudiarse antes de la implementación a gran escala de bancos de criopreservación de germoplasma (Martínez-Montero et al., 2012).

Uno de los principales desafíos de esta técnica es la formación de hielo intracelular, ya que los cristales de hielo pueden dañar tanto las estructuras como los organelos de las células, causando su muerte. Por ello, es necesario que la célula atraviese un proceso de vitrificación o estado vítreo, sin pasar por el punto de congelación (Westendorp y Encinas, 2004). La criopreservación implica la eliminación del agua libre de los tejidos mediante deshidratación física u osmótica, seguida de una congelación ultrarrápida y mantenerse en el estado vítreo para su conservación por un tiempo teóricamente ilimitado (Benelli, 2021; Zamecnik et al., 2021).



Figura 1. La criopreservación o criopreservación consiste en la preservación de células y tejidos por acción de temperaturas controladas extremadamente bajas. El “alma” de la criopreservación es, sin duda alguna, el nitrógeno líquido. Panel izquierdo, Tanque de nitrógeno líquido cerrado, Panel derecho, Tanque de nitrógeno líquido abierto se observa el nitrógeno evaporándose (modificada de <https://jpmas.com.ni/nicaragua-primera-planta-procesadora-de-nitrogeno-liquido-en-centroamerica/>).

### 2.1 Pero ¿qué es el estado vítreo?

El estado vítreo es un estado de la materia amorfa, con aspecto semisólido y transparente, que se forma al enfriar un líquido rápidamente. A este proceso se le llama vitrificación y consiste en pasar el tejido vegetal de la temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C}$ ) a una temperatura de  $-190^{\circ}\text{C}$ , de esta manera el tejido se pasa a un estado amorfo, pero sin la formación de cristales de hielo, por lo que las células se mantienen intactas. Para lograrlo es importante el uso de crioprotectores y una rápida reducción de temperatura. Una manera de lograr que un cuerpo entre en estado vítreo es enfriándolo rápidamente para evitar que la cristalización ocurra dentro de las células y cause daño. La materia en estado vítreo contiene átomos inmovilizados, presenta un aspecto sólido con

cierta dureza y rigidez y si se le aplica una fuerza tiende a deformarse. En el laboratorio, este estado de los tejidos se puede lograr sumergiendo los explantes en LN, sin embargo, la utilización de sustancias crioprotectoras y vitrificantes juegan un papel importante para lograr que el material biológico que pasa por el estado vítreo pueda volver a un estado normal para la repropagación del explante (Benelli, 2021).

### 2.1.1 La técnica de crioplatea (crioplate, por sus siglas en inglés)

El método de crioplatea consiste en colocar explantes (semillas, yemas, polen, embriones, células etc.) en placas de aluminio con pocillos de aproximadamente 1.5 mm de diámetro y 0.5 mm de profundidad lo que facilita el manejo de fluidos y el tratamiento de secado (Fig. 2 izq). En estas placas de aluminio, los explantes se encapsulan, deshidratan y congelan (Fig. 2 der). Estas crioplateas se pueden comprar o elaborar a partir de láminas de aluminio y se pueden utilizar sin ningún problema (Yamamoto et al., 2011, 2015).

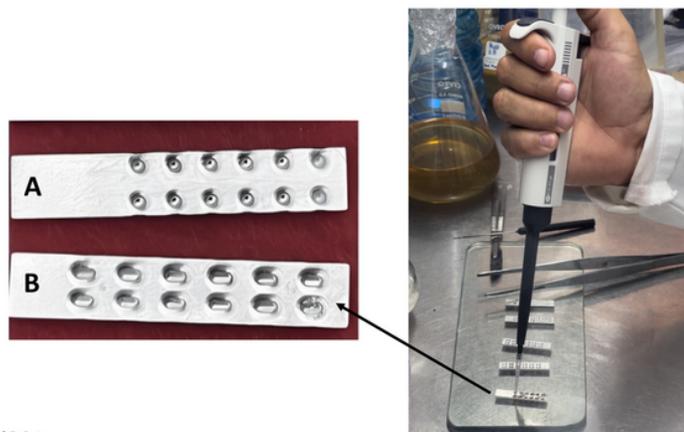


Figura 2. Diseños y carga de crioplateas de aluminio. Panel izquierdo, pocillos de crioplateas. A: ancho 3 mm, profundidad 0.5 mm. B: ancho 1.5 mm, profundidad 0.5. Panel derecho, carga de crioplateas durante el procedimiento de vitrificación.

**Material vegetal.** Para la selección del material vegetal es importante la selección de plantas de apariencia sana y vigorosa, procedentes de cultivos *in vitro*, para asegurar que no existen factores que puedan causar contaminación. Es importante el uso de tejidos jóvenes (callos, yemas o células meristemáticas) ya que poseen amplia capacidad de regeneración y diferenciación celular, aunque también se pueden utilizar como explante hojas o tallos. Es importante mencionar que los explantes deben medir de 1 a 2 mm de grosor por lo que la preparación del material (disección) se debe realizar usando un microscopio estereoscópico bajo condiciones de esterilidad (Fig. 3-1 y 3-2).

**El pretratamiento del material vegetal.** El pretratamiento del material vegetal o preparación del tejido es una de las etapas más importantes de la crioconservación. El tratamiento previo puede incluir cambiar gradualmente la temperatura y/o permitir un exceso de azúcar en el medio para comenzar una deshidratación desde el medio de cultivo.

**¿Cómo se encapsulan los explantes?** El proceso de encapsulación consiste colocar el explante en una solución de alginato de sodio a una concentración de 12 g/L (el alginato se disuelve en medio de cultivo) y en seguida se colocan los explantes (yemas, protocormos o semillas) en los pocillos de la crioplatea. Finalmente, se le coloca la solución de cloruro de calcio 10 g/L. Para la técnica de crioplatea cada explante se coloca en un orificio de la crioplatea de aluminio y se vierten 5 microlitros de alginato de sodio y 5 microlitros de cloruro de calcio esperando la formación de la gelatina durante 2 minutos (Fig. 3-3). Este procedimiento protege a los tejidos vegetales y reduce la probabilidad de que se formen cristales en las células (Yamamoto et al., 2011).

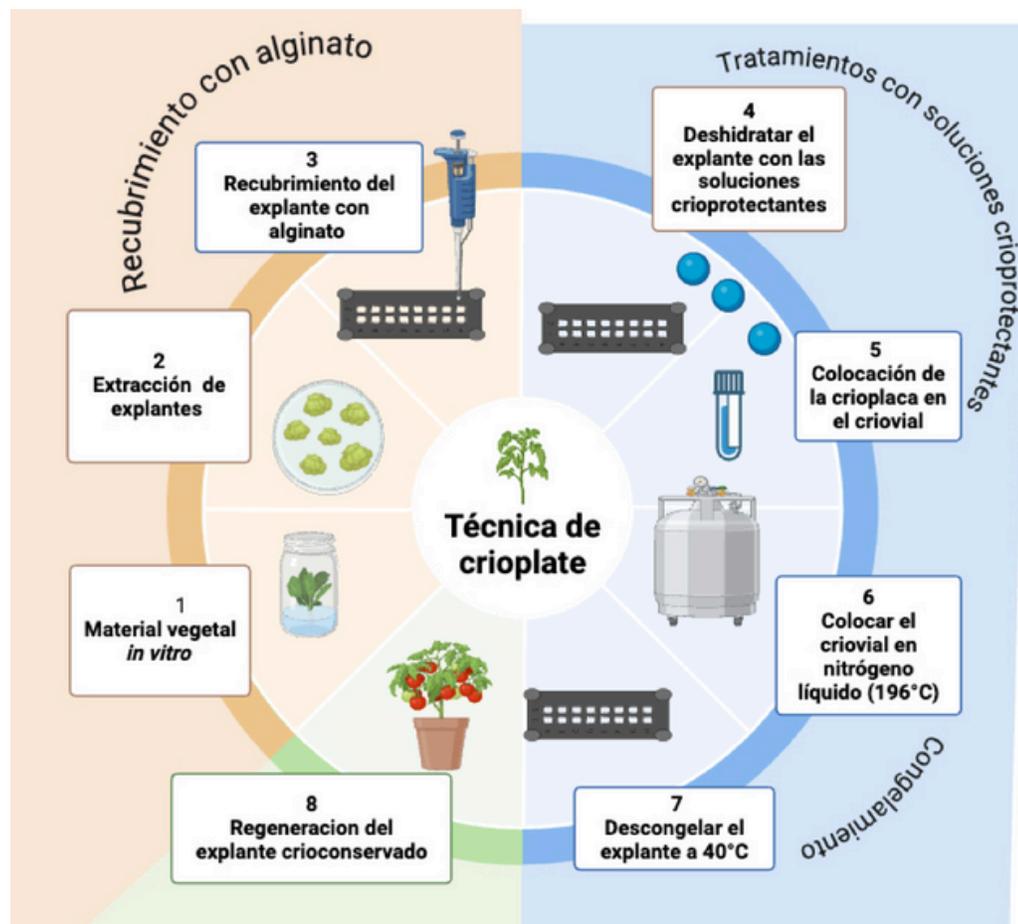


Figura 3. Pasos que se requieren para la implementación de la técnica de crioplate (elaborada con biorender.com).

### Soluciones crioprotectoras y vitrificantes.

Después de encapsular los explantes se procede a someterlos a las soluciones vitrificadoras o crioprotectoras; en este paso se pueden probar diferentes tiempos y concentraciones sobre el explante. Para evitar la cristalización y/o el daño por frío a las células, las soluciones crioprotectoras y vitrificantes se agregan a los tejidos vegetales antes de congelarlos para proteger tanto el interior como el exterior de la célula. El uso de estas soluciones previene la formación de cristales de hielo y reduce el riesgo de daño a las estructuras de los orgánulos celulares al promover una rápida deshidratación celular, modulando el efecto de la alta concentración de soluto en la célula, generando un estado vítreo. Además, estas

soluciones previenen una deshidratación letal, permitiendo que las células sobrevivan a temperaturas extremadamente bajas lo que asegura la tasa de regeneración del material vegetal después de la crioconservación (Westendorp y Encinas, 2004).

**Los crioprotectores intracelulares o penetrantes.** Son moléculas de bajo peso molecular y permeables como el glicerol, el polietilenglicol, la sacarosa, el dimetilsulfóxido (DMSO) y el propanodiol (PROH) que tienen la capacidad de penetrar en las membranas celulares deshidratando el tejido; son los responsables de generar el estado vítreo dentro de la célula.

**Las soluciones crioprotectoras extracelulares o no penetrantes.** Son sustancias que no penetran la membrana de la célula y tienen la función de reducir el gradiente hiperosmótico que se forma cuando las células sufren la transición del proceso de congelación. A medida que hay menos agua disponible para funcionar, las concentraciones de sal aumentan drásticamente. Es decir, sirven como balance para la presión osmótica diferencial y para prevenir el flujo de agua desde la célula, como ejemplos de estas moléculas se pueden mencionar la sacarosa, la dextrosa y la polivinilpirrolidona (PVP).

El material vegetal ya encapsulado en el alginato, que se encuentra dentro de los orificios de la crioplaca, se coloca en esta solución para posteriormente colocar las crioplacas en crioviales de 2 mL que son almacenados en los contenedores de NL (Fig. 3-5 a 7).

### **3. Recuperación del tejido a partir del estado vítreo**

Una vez pasado el tiempo deseado en el NL, es necesario sacar el material del estado vítreo. Para esto es importante llevar el material de  $-196^{\circ}\text{C}$  (NL) a  $40^{\circ}\text{C}$  (baño María) y dejarlo durante 10 segundos con la intención de no permitir que pase por el punto de congelación del agua ( $0^{\circ}\text{C}$ ) donde se puedan generar cristales. Después, los explantes se colocan en una solución de descarga, que es un paso muy importante ya que promueve la rehidratación paulatina del tejido. Finalmente, los explantes se colocan en el cultivo *in vitro*, para recuperar el tejido; de esta manera se devuelve a la vida una planta y solo se espera su regeneración para usarse en diferentes procesos (Fig. 3-8) (Westendorp y Encinas, 2004).

### **4. Avances en la tecnología de crioconservación**

La investigación de la crioconservación ha experimentado grandes avances gracias a la integración de ciencias ómicas como la genómica, la proteómica y la metabolómica. La comprensión de los procesos moleculares y fisiológicos involucrados en la crioconservación puede mejorarse mediante el uso de estas técnicas. Por ejemplo, la proteómica y la metabolómica pueden revelar cambios en los perfiles de proteínas y metabolitos durante el almacenamiento, mientras que los estudios genéticos pueden encontrar genes y vías metabólicas asociadas con la resistencia al estrés por frío. Muchas innovaciones han surgido en los últimos años que han aumentado la eficiencia del proceso. Estos avances incluyen la creación de nuevos crioprotectores no tóxicos, y la estandarización de protocolos eficientes. La crioconservación se ha utilizado con éxito para proteger especies de plantas en peligro de extinción, así como especies de interés agrícola, algunas especies de orquídeas poco comunes (Medina-Mendoza et al., 2023), plantas medicinales y árboles (Abdelnour-Esquivel et al., 2007), piña y caña de azúcar (Martínez-Montero, et al, 2012), y uvas de valor agrícola (Esquivel-Figueroa et al., 2023) que han sido objeto de estudios exitosos en la conservación.

A pesar de los avances en la crioconservación, aún existen algunos desafíos que deben abordarse como criterios para la selección de explantes (Fig. 4), reducir la toxicidad de los crioprotectores, definir con mayor precisión los tiempos de inmersión en las soluciones, en general, la estandarización de un protocolo para cada especie y explante en particular.

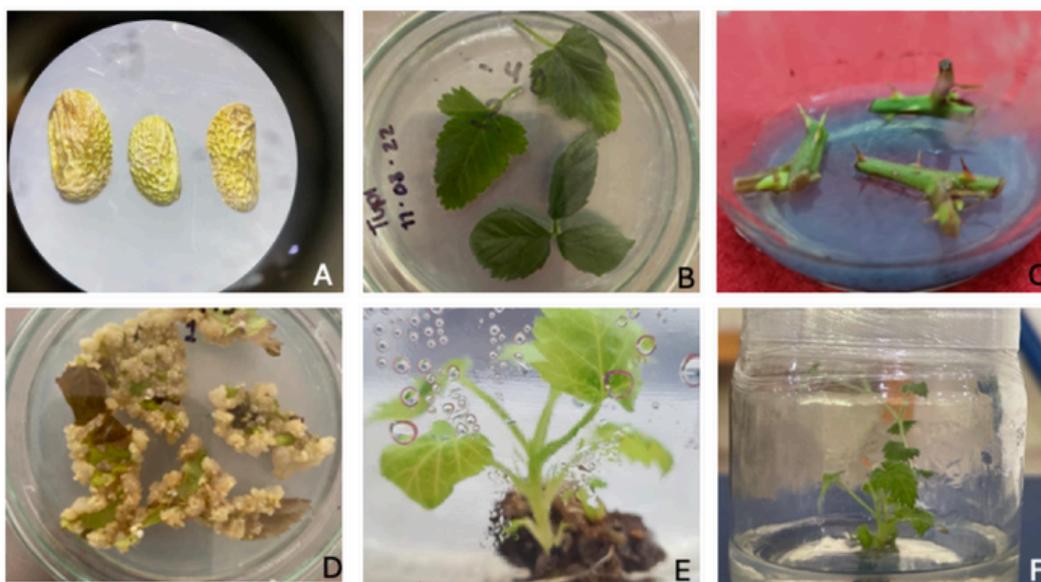


Figura 4. Ejemplos de materiales vegetales que se pueden crioconservar. A) aspecto de las semillas de zarzamora, b) hojas de zarzamora en medio de cultivo in vitro, c) tallos que contienen yemas de zarzamora en cultivo in vitro, d) aspecto de callos embriogénicos obtenidos a partir de hojas, e) aspecto de brotes generados a partir de callo embriogénico y f) plántula obtenida en cultivo in vitro.

## 5. Conclusión

La crioconservación es una técnica muy exitosa en la conservación de tejidos vegetales a largo plazo que ofrece muchas ventajas, aunque hay mucho trabajo para ajustar los protocolos para cada especie. No obstante, esta técnica podría aplicarse a diversas especies de interés agrícola y mantener la biodiversidad necesaria para los programas de mejora genética de plantas.

## 6. Bibliografía

Abdelnour-Esquivel A., Rojas G., Alfaro U. 2007. Estudios preliminares para la crioconservación de especies forestales arbóreas. *Revista Tecnología en Marcha*, 20 (1):98.

Ávila-Portillo L. M., Madero J. I., López C., León M. F., Acosta L., Gómez C., Gómez, C. 2006. Fundamentos de criopreservación. *Revista colombiana de obstetricia y ginecología*, 57(4), 291-300. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0034-74342006000400008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0034-74342006000400008&script=sci_arttext)

Bellon M.R., Barrientos-Priego A.F., Colunga-García Marín P., Perales H., Reyes Agüero J. A., Rosales-Serna R., Zizumbo-Villarreal D. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 355-382.

Benelli C. 2021. Plant Cryopreservation: A Look at the Present and the Future. *Plants*, 10(12):2744.

<https://doi.org/10.3390/plants10122744>.

Esquivel-Figueroa D., Tiznado-Hernández ME., Islas-Osuna MA., Lazo-Javalera MF., Rivera-Domínguez M. 2023. Etapas del protocolo de crioconservación y su efecto sobre la viabilidad y regeneración de embriones cigóticos de vid (*Vitis vinífera* L.). *Biotecnia*, 25(3), 170-175.

<https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i3.1991>

González-Arno MT., Gámez-Pastrana R., Martínez-Ocampo Y., Valdés-Rodríguez S.,

Mascorro JO., Osorio-Saenz A., et al., Cruz-Cruz CA. 2013. Estado actual de la Crioconservación vegetal en México. Pp. 161-174. En: Crioconservación de plantas en América Latina y El Caribe. Gonzalez Arnao M.T., Engelmann F. (Eds.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Marco Medina A., Serrano Martínez, F. 2012. Crioconservación: herramienta para la conservación ex situ de material vegetal. Cuadernos de Biodiversidad, 38:9-12. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23571/1/cuadbiod38\\_03.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23571/1/cuadbiod38_03.pdf)

Martinez Montero E., Gonzalez Arnao MT., Engelm F. 2012. Cryopreservation of Tropical Plant Germplasm with Vegetative Propagation - Review of Sugarcane (*Saccharum spp.*) and Pineapple (*Ananas comusus (L.) Merrill*) Cases. InTech. doi: [10.5772/32047](https://doi.org/10.5772/32047)

Medina-Mendoza C., Rodríguez-de-la-O JL., Mendoza-Tolentino Y. 2023. Crioconservación de *Laelia speciosa* en peligro de extinción. Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI, 11(Especial), 100-104. <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial.10183>

Westendorp N., Encinas CL. 2004. Crioconservación de plantas. Encuentros en la Biología, (98):, 7-8. <https://revistas.uma.es/index.php/enbio/article/view/18827>

Yamamoto SI., Fukui K., Niino T. 2011. A new cryopreservation method for vegetatively propagated plant genetic resources using aluminum cryo-plates. Dev. Technol, 10:, 10-11.

Yamamoto S.I., Wunna Rafique T., Arizaga M. V., Fukui K., Gutierrez E. J. C., Martinez C. R. C., Watanabe K., Niino T. 2015. The Aluminum Cryo-plate Increases Efficiency of

Cryopreservation Protocols for Potato Shoot Tips. American Journal of Potato Research, 92(2): 250- 257.

<https://doi.org/10.1007/s12230-014-9425->  
Zamecnik J., Faltus M., Bilavcik A. 2021. Vitrification solutions for plant cryopreservation: Modification and properties. Plants, 10(12):2623. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants10122623>

## Glosario

**Explante:** Es un órgano, tejido o una célula que se ha separado de un organismo y se cultiva en un medio artificial para estudiar su crecimiento, desarrollo o función. Puede ser una semilla, una hoja, una yema, una raíz o un embrión.

**Propagación vegetativa:** Es un método de reproducción de plantas que implica la producción de nuevas plantas a partir de partes de una planta madre, sin la intervención de semillas. Esto se logra utilizando explantes como: hojas, tallos, bulbos, tubérculos etc. Se utiliza comúnmente en la agricultura para producir gran cantidad de plantas de alta calidad y uniformidad.

**Semillas recalcitrantes:** Son semillas que no pueden tolerar la desecación, no entran en latencia, y pierden su viabilidad rápidamente cuando se secan, lo que complica su conservación y almacenamiento. Por ejemplo, las semillas del cacao, chirimoya, anona y guanábana.

**Semillas ortodoxas:** Semillas que pueden secarse hasta un contenido de humedad muy bajo. sin perder viabilidad, permitiendo su almacenamiento a largo plazo y conservación eficiente. Algunos ejemplos son: las semillas de maíz, frijol y arroz.

**Soluciones crioprotectoras:** Sustancias químicas que protegen las células y tejidos de daños causados por la congelación, reduciendo la formación de cristales de hielo y manteniendo la integridad celular durante la criopreservación.

**Soluciones vitrificadoras:** Mezclas de sustancias químicas que permiten la formación de un estado vítreo (amorfo) al congelar, evitando la formación de cristales de hielo y protegiendo las células y tejidos de daños durante la criopreservación.

Cita:

Gómez-García, A. L., Avalos Barajas, R. Y., Zepeda Guzmán, S., & Valdivia Rojas, G. (2025). El estado vítreo: la vida eterna de las células vegetales. *Biotecnológica Magazine*, 3(1), 11-18. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14969239>

# La primera vacuna autorizada para insectos es comestible y heredable

Mercedes Gorette Solís Lucero  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
msolis@pg.cibnor.mx

La autorización de la primera vacuna para abejas marca un hito en la vacunología y abre la puerta a una nueva herramienta para la prevención de enfermedades infecciosas en las colmenas que podría cambiar la manera en que protegemos a otros invertebrados.

En 2023, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y la Agencia Canadiense de Inspección de Alimentos (USDA y CFIA, respectivamente, por sus siglas en inglés) otorgaron a la empresa Dalan Animal Health la licencia condicional para la primera vacuna para insectos del mundo, más específicamente dirigida a abejas, que permite abordar una situación urgente mientras se continúa con los estudios y análisis adicionales para garantizar la seguridad y efectividad de la vacuna a largo plazo. Esta vacuna tiene como objetivo proteger a las abejas, bajo producción apícola, contra una de las principales enfermedades infecciosas que debilita o mata a las colmenas por todo el mundo: la loque americana.

La loque es causada por esporas de la bacteria *Paenibacillus larvae* que infectan solo a las crías en sus primeros días de vida, siendo las primeras 24 horas las de mayor peligro. Las abejas nodrizas infectan a las crías cuando las alimentan con comida contaminada con estas esporas. Uno o dos días después de ingerirlas, las esporas comienzan a germinar en el intestino, multiplicándose extremadamente rápido (como si fueran un cáncer), hasta invadir todo el cuerpo. Esto mata a la cría, que, en este punto, está llena de nuevas esporas que infectarán a más y más larvas.

Las esporas son extremadamente resistentes y pueden permanecer décadas en el ambiente (disminuyendo su viabilidad con los años). Durante la inspección periódica de la colmena, la presencia de larvas muertas con consistencia pegajosa y olor fétido distintivo, o de escamas secas y blancas adheridas a las paredes, puede indicar un brote. Para confirmar la infección, se toma una muestra de las larvas sospechosas y se somete a análisis microscópicos, cultivos bacteriológicos o pruebas de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) que permiten detectar la presencia del material genético de *P. larvae*. Si se detectan casos se deben reportar a la autoridad y, en casos graves, se incineran las colmenas, las abejas, el polen, la cera y el equipamiento. Cabe aclarar que los antibióticos podrían ser utilizados para contener la infección cuando las esporas se activan (fase vegetativa), sin embargo, su uso para prevenir la propagación es poco eficaz y a veces contraproducente, consume tiempo y dinero, contamina el producto final y promueve la resistencia a antibióticos. Debido a esto, una buena opción para prevenir la infección sería la utilización de una vacuna.

## No todo es miel sobre hojuelas

Las vacunas son una forma muy eficaz de prevenir enfermedades causadas por patógenos (que son microorganismos o agentes biológicos que pueden causar enfermedades) como bacterias, virus, hongos y parásitos. Estas vacunas contienen antígenos del patógeno, es decir, sus proteínas, carbohidratos complejos, etc., que tienen la particularidad de ser reconocidos por el sistema inmune como algo ajeno que debe ser eliminado. Así, las vacunas se formulan con el patógeno completo pero muerto o casi muerto, con partes de él que bien pueden ser aislados del patógeno o producidas en laboratorio, y más recientemente con su material genético.

Hasta antes del 2023, los esfuerzos y recursos se habían dirigido a desarrollar vacunas para humanos y animales de interés para nosotros, como el ganado y las mascotas. Bajo esta lógica, las abejas deberían tener sus propias vacunas puesto que la crianza y explotación de las abejas melíferas es una rama de la ganadería que proporciona miel, polen, cera y jalea real. Su impacto en la alimentación y la economía va más allá de estos productos pues gracias a ellas se polinizan la mayoría de nuestros cultivos y los destinados al ganado, así como los cultivos de flores de ornato. Sin duda, la principal razón para preocuparnos por la salud de estos animales es que se encuentran en peligro de extinción mientras juegan un rol crítico en los ecosistemas, manteniendo la biodiversidad. Tan importantes son las abejas que La Real Sociedad de Geografía de Londres y el Earthwatch Institute,

la designó oficialmente como el ser vivo más importante del planeta. Diversas organizaciones han manifestado que para protegerlas se debe priorizar su salud, usar los pesticidas de forma responsable y conservar sus hábitats.

Sin embargo, desarrollar vacunas para abejas ha sido un desafío debido a las diferencias en su respuesta inmune en comparación con nosotros mismo y los mamíferos, aves y peces que criamos. Existen dos tipos de sistema inmune: el innato y el adaptativo. Pongamos de ejemplo a las ovejas para explicar brevemente el sistema inmune adaptativo y su relación con la vacunación. Cuando las ovejas son vacunadas, el sistema inmune adaptativo reconoce a los componentes de la vacuna y produce anticuerpos específicos contra el patógeno con que está hecha la vacuna. Algunas de las células que producen los anticuerpos más eficaces (un tipo de células llamadas linfocitos) generalmente pueden permanecer durante años, incluso toda la vida, como memoria inmunológica para recordar al patógeno y responder mejor y más rápidamente en una siguiente exposición. Además, los anticuerpos producidos por la madre no solo la benefician a ella, sino que pasan a la cría a través del calostro (su primer alimento), protegiéndola durante sus primeros meses de vida. Pero, las abejas no son como las ovejas. Las abejas y las ovejas tienen sistema inmune innato, que es la primera línea de defensa contra los patógenos, compuesta por barreras físicas, detectores genéricos (no específicos) de patógenos y, de células y moléculas que los destruyen y eliminan, pero

las abejas no tienen la ventaja adicional de la inmunidad adaptativa y por lo tanto, no producen anticuerpos ni tienen linfocitos de memoria. Entonces, ¿cómo es posible que se autorizara una vacuna para las abejas si no tienen sistema inmune adaptativo?

### La sorprendente inmunidad innata.

La inmunidad innata ha sido ampliamente estudiada pero es tan compleja que los descubrimientos no paran y continúan sorprendiendo. En los últimos años, la evidencia científica ha revolucionado el conocimiento del sistema innato de insectos mostrando especificidad y memoria. Por ejemplo, se realizaron experimentos en los que se observó que, tras administrarles antígenos derivados de patógenos (una vacuna), las abejas pueden preparar y robustecer su respuesta inmune específica en una segunda exposición y que, además, podían pasar esta información a sus descendientes. Esta “entrenamiento” se conoce como *priming* del sistema inmune innato y su herencia como *priming* inmune transgeneracional.

En los últimos años, un grupo de investigadores de Estados Unidos, Finlandia, Noruega y Austria se interesaron en averiguar cómo las reinas son vacunadas naturalmente contra patógenos del medio ambiente sin abandonar la colmena y cómo posteriormente sus crías nacen resistentes a ellos. ¿Cómo estaría expuesta a los patógenos del exterior? Una investigación resolvió el misterio. Descubrieron que las obreras ingieren patógenos mientras se alimentan fuera de la colonia y luego transfieren un tipo de memoria

inmune a la reina. Pero en la ciencia una respuesta lleva a más preguntas, ¿cómo se pasa esta memoria? Las investigaciones posteriores se centraron en el rol de una proteína llamada vitelogenina, que es un precursor de la yema de huevo de casi todos los ovíparos (que nacen de huevos) y que, en las abejas, sirve como reserva de nutrientes para embriones y larvas (que la usarán para su desarrollo) o para la preparación de la nutritiva jalea real. Evolutivamente, la vitelogenina precedió a los ovíparos, lo que sugiere que debía tener una función adicional a la de reserva de nutrientes. Resultó que esta función es de carácter inmunológico, ya que la vitelogenina es capaz de unirse a fragmentos de patógenos. Las obreras no ponen huevos pero producen vitelogenina para elaborar la jalea real con que se alimenta exclusivamente a la reina y las larvas, ¿sería posible que las obreras estuvieran transfiriendo fragmentos de patógenos a la reina mediante la vitelogenina? Para probar esta hipótesis, los investigadores marcaron bacterias con un compuesto fluorescente y se las administraron a dos grupos de abejas: uno capaz de producir vitelogenina y otro que no podía hacerlo normalmente. Hallaron que las bacterias fluorescentes solo aparecían en las llamadas glándulas hipofaríngeas de las obreras del primer grupo, por lo que concluyeron que la vitelogenina estaba involucrada en el transporte de patógenos hacia estas glándulas que son las que se encargan de producir la jalea real. Además, comprobaron que mientras circula, la vitelogenina se va uniendo a fragmentos de patógenos administrados durante el *priming*, acarreándolos con ella no solo a las glándulas hipofaríngeas sino también

a las glándulas donde se absorben y almacenan los nutrientes, incluidos los ovarios de la reina. Una vez en los ovarios, el complejo de vitelogenina con fragmentos de patógeno pasa a los huevos como reserva de nutrientes consiguiendo heredar la vacuna a la siguiente generación.

Ahora sabemos que también se transfieren moléculas de defensa, como los llamados péptidos antimicrobianos, que protegerán a las crías mientras desarrollan su propia respuesta inmune (similar a lo que hacen los anticuerpos maternos en el ejemplo anterior de las ovejas). Algo muy interesante es que la protección no solo se hereda transmitiendo estas moléculas sino que también se pueden heredar los cambios en la forma en que el ADN de los padres se expresa para producir sus defensas durante el priming. Esta reprogramación, sin cambios propiamente en el material genético, se llama epigenética. Con base en toda esta evidencia, tres brillantes científicas involucradas en la investigación consiguieron llevarla al mercado, fundando la empresa Dalan Animal Health con base en Estados Unidos.

### **Funcionamiento de la vacuna real**

La primera vacuna del mundo autorizada para abejas se formuló con la bacteria *Paenibacillus larvae* inactiva. Podríamos decir que esta es una vacuna real porque está diseñada para la reina quien es la única que se reproduce en la colmena. El objetivo es vacunarla sólo a ella y aprovechar el comportamiento natural de la colonia. La vacuna es comestible, se mezcla con el alimento que ingieren las abejas

nodrizas, lo que la vuelve muy práctica para los apicultores. Cuando la obrera digiere la mezcla, las bacterias se rompen en pequeñísimos pedazos que luego se unen a la vitelogenina, quien los transporta con ella hacia las glándulas hipofaríngeas de la cabeza donde se produce la jalea real con que alimentarán a la reina. Luego que la reina digiere la jalea real con la vacuna, la vitelogenina transporta fragmentos del patógeno a sus ovarios, consiguiendo que los huevos que produzca queden vacunados. Mediante experimentos, se ha comprobado que las descendientes vacunadas de esta forma están mejor protegidas contra la loque que aquellas que no fueron vacunadas. Los estudios de seguridad y eficacia mostraron que las reinas vacunadas no sufren daños, ni se observaron alteraciones en la calidad de la miel.

### **Implicaciones futuras**

La licencia otorgada es condicional, lo que permite su uso y comercialización mientras se recopilan más datos. Hasta ahora ya se ha administrado a una decena de miles de reinas. Esperamos que los resultados favorezcan la aprobación definitiva. Esta innovación no solo representaría un avance en la biotecnología y la salud animal, sino que abriría la puerta a muchas más vacunas para invertebrados y ovíparos. La empresa Dalan Animal Health informa que ya está trabajando en vacunas para otros animales de interés ecológico y comercial. Es importante destacar que existen más científicos con investigaciones prometedoras en este campo. Por ejemplo, en México, dado que los estudios han demostrado que los camarones pueden beneficiarse del priming, desde hace algunos años,

hemos venido explorando el desarrollo de una vacuna para proteger a los camarones en cultivo en el laboratorio de Patogénesis Microbiana del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. El camino es largo pero los esfuerzos deben continuar.

#### **Literatura para consultar:**

Harwood, G., Amdam, G., & Freitak, D. (2019). The role of Vitellogenin in the transfer of immune elicitors from gut to hypopharyngeal glands in honey bees (*Apis mellifera*). *Journal of insect physiology*, 112, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.12.006>

Nature Biotechnology (2023). First bee vaccine. *Nature Biotechnology*, 41(163). <https://doi.org/10.1038/s41587-023-01694-y>

Salmela, H., Amdam, G. V., & Freitak, D. (2015). Transfer of Immunity from Mother to Offspring Is Mediated via Egg-Yolk Protein Vitellogenin. *PLoS pathogens*, 11(7), e1005015. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005015>

#### Cita:

Solís Lucero, M. G. (2025). La primera vacuna autorizada para insectos es comestible y heredable. *Bioteconológica Magazine*, 3(1), 19–23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14969246>

Mercedes Gorette Solís Lucero. La autora es doctora en ciencias con orientación en biotecnología, su área de investigación se centra en el desarrollo de inmunotecnologías con aplicación en la acuicultura, tales como vacunas para el camarón en cultivo.

# Inteligencia Artificial en el Aula: Transformando la Enseñanza de Biotecnología y Biomedicina

Felipe Ascencio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
ascencio@cibnor.mx

**Tema:** El impacto de la Inteligencia Artificial en la educación biotecnológica y biomédica es significativo y transformador. Más allá de la aplicación directa, también es una herramienta útil para el aprendizaje adaptativo y la creación de nuevas conexiones conceptuales dentro de la vasta red de conocimientos para el avance de la biotecnología y biomedicina.

## 1. La biotecnología se fundamenta en una interconexión de disciplinas

Los avances en biotecnología y biomedicina han sido significativos gracias a los descubrimientos en ciencia y tecnología. La biotecnología se dedica al aprovechamiento de organismos vivos para la creación de productos, mientras que la biomedicina utiliza principios biológicos y biomédicos para promover la salud humana. Esta disciplina es inherentemente multidisciplinaria, abarcando desde la modificación de sistemas biológicos para el desarrollo de nuevos productos hasta la aplicación de tecnología para abordar desafíos biológicos. Integra áreas tan variadas como la ingeniería de bioprocesos, las tecnologías ómicas, la edición genética, así como las ciencias de materiales, óptica e ingeniería electrónica, con el fin de maximizar el potencial de los sistemas vivos. La innovación en biotecnología se basa en establecer conexiones relevantes dentro de amplias redes de conocimiento, facilitadas por el aprendizaje colaborativo, discusiones y asociaciones entre expertos de diferentes disciplinas. Los profesionales en biotecnología deben adquirir conocimientos no solo de diversas áreas, sino

también aprender a crear vínculos significativos entre ellas. Una manera de potenciar este enfoque es innovar en la educación dentro del campo de la biotecnología, utilizando herramientas avanzadas como la Inteligencia Artificial.

## 2. La Inteligencia Artificial en Biotecnología

La Inteligencia Artificial (IA) se ha integrado de manera significativa en el ámbito de la biotecnología, abordando una amplia gama de desafíos. Entre las aplicaciones más destacadas se encuentran el descubrimiento de nuevos fármacos, la evaluación de la seguridad de estos, así como la genómica funcional y estructural, la proteómica, la metabolómica, y campos como la farmacología, farmacogenética y farmacogenómica, entre otros. El futuro progreso en esta área dependerá en gran medida de la habilidad de los investigadores en biotecnología para implementar efectivamente soluciones avanzadas basadas en IA (Tabla 1).

Tabla 1. La IA en la Biotecnología (Holzinger et al., 2023).

Área de la Biotecnología	Aplicaciones
Biotecnología Agrícola	Cosecha de cultivos
	Evaluación de la sostenibilidad ecológica y económica a través del ciclo de nutrientes.
	Proveer solución para la seguridad alimentaria al adaptar la gestión agrícola a un clima cambiante.
	Fenotipado de cultivos que sean más eficientes en el uso de los recursos y resistentes a condiciones climáticas altamente variables.
	Mejoramiento molecular para mejorar el rendimiento de los cultivos en la agricultura, y optimización de la eficiencia de la producción.
	Control de plagas y enfermedades.
	Monitoreo de la salud del suelo y/o potencial de mejora.
Biotecnología Forestal	Modelado predictivo
	Gestión de enfermedades y plagas
	Monitoreo ambiental
	Gestión de recursos
	Gestión de inventarios
Biotecnología Médica (Biomedicina)	Identificación de objetivos farmacológicos
	Detección de fármacos
	Detección de imágenes
	Modelado predictivo
Biotecnología Animal	Ganadería de precisión, mejorando la sostenibilidad de la producción y el bienestar animal al reducir los costos y el impacto ambiental.
Bioinformática	Enfoques multiómicos para la biología de sistemas
	Metaproteómica del suelo
	Asistencia en el mejoramiento de cultivos mediante la selección del rizomicrobioma del suelo
	Diseño dirigido de productos microbianos (bioestimulantes, biofertilizantes y biopesticidas) para abordar funciones como la mejor absorción de nutrientes o el sistema inmunológico de las plantas.
	Comprender los cambios relevantes en la estructura microbiana que subyacen a los efectos funcionales observados, bajo una combinación dada de clima, tipo de suelo y especies de cultivo.
	Implementación de la computómica, fundamental para desentrañar la comprensión del sistema ambiental y descubrir taxones cruciales para mantener las funciones de los ecosistemas que son vitales para la vida y el bienestar humano.

Actualmente, la industria biotecnológica se basa considerablemente en la gestión, filtrado, análisis y compartición de datos. Muchas empresas biotecnológicas y organizaciones de atención médica a nivel global ya poseen vastas bases de datos. Es crucial señalar que el éxito de las aplicaciones de IA que discutimos

depende enteramente de la infraestructura digital existente. En el contexto biotecnológico, la transformación digital puede abarcar la adopción de nuevas tecnologías y procesos que mejoren la eficiencia, precisión y velocidad en investigación y desarrollo, además de facilitar la creación de productos y

servicios innovadores. Esta transformación puede acelerar el avance y uso de IA en biotecnología al proporcionar acceso a grandes volúmenes de datos ("macrodatos" o big data) y automatizar ciertas tareas, lo que a su vez optimiza la eficiencia y precisión en el desarrollo biotecnológico y biomédico (Tabla 2) (Holzinger et al., 2023).

### 3. IA para el Aprendizaje

La IA se refiere a sistemas computacionales que extraen información y aprenden de los datos que reciben. No solo se debe considerar la IA como una herramienta para avanzar en el campo de la biotecnología, sino también como un medio para facilitar un aprendizaje más efectivo. Esto se puede lograr de dos formas destacadas:

Tabla 2. Desafíos transversales en investigación biotecnológica-biomédica y la IA (Holzinger et al., 2023).

Desafío	Metas
<b>Habilitación del desarrollo de modelos de IA confiables.</b> Procesamiento de datos, de toda la cadena de objetos de investigación (desde el material biológico hasta los datos generados/recopilados y el procesamiento/análisis de datos), para el aseguramiento de trazabilidad, reproducibilidad y confiabilidad de los resultados de la investigación.	Desarrollo de modelos de procedencia.
	Disponibilidad de software y la reproducibilidad de sus ejecuciones.
<b>Comprensión de los métodos de IA.</b> Explicabilidad, comprender cómo toma decisiones el sistema de IA y si esas decisiones están alineadas a sus valores y objetivos, y esencial para garantizar la confiabilidad y el uso ético de la IA en el dominio de la biotecnología.	Proporcionar documentación y explicaciones claras de la arquitectura del modelo de IA y el proceso de entrenamiento.
	Utilizar modelos interpretables o, si esto no es posible, incorporar técnicas de interpretabilidad.
	Visualizar los resultados del modelo y el proceso de toma de decisiones.
<b>Interfaces humano-IA.</b> Diseño y creación de prototipos que involucren a todas las partes interesadas centrado en un enfoque de participación humana en el proceso, y garantizar la satisfacción de los usuarios finales en biotecnología.	Interactuar con las partes interesadas y responder a sus preguntas.
	Supervisión humana.
<b>Ética, equidad y confianza en la IA.</b> Aseguramiento de la ética de la IA, la equidad, y la confianza en la aplicación de la IA en la biotecnología y biomedicina.	Retroalimentación humana.
	Colaboración entre humanos e IA.
	Garantizar que los sistemas de IA se diseñen y utilicen de maneras que sean ética y socialmente responsables y que respeten los derechos y valores humanos fundamentales.
	Garantizar que los sistemas de IA sean justos y no perpetúen ni amplifiquen los sesgos o la discriminación existentes.
	Garantizar que los sistemas de IA sean transparentes y explicables, de modo que los usuarios y las partes interesadas puedan confiar en ellos.
	Garantizar que los sistemas de IA sean seguros y no expongan a las personas u organizaciones a riesgos o daños.
	Garantizar que el desarrollo y la implementación de los sistemas de IA sean inclusivos e involucren diversas perspectivas y voces.
	Abordar las implicaciones éticas y sociales de las tecnologías emergentes, como la IA general, el aprendizaje automático y los sistemas autónomos.
	Desarrollar e implementar políticas, regulaciones y marcos de gobernanza eficaces para la IA.
	Fomentar el diálogo y la colaboración entre investigadores, formuladores de políticas, la industria, la sociedad civil y otras partes interesadas para abordar las implicaciones éticas y sociales de la IA.
Educar y generar conciencia sobre la ética, la equidad y la confianza en la IA entre el público en general, así como entre quienes diseñan, desarrollan y utilizan sistemas de IA.	

Existen múltiples áreas emergentes dentro del campo de la IA aplicada a la biotecnología que están siendo objeto de intensa investigación actualmente y es probable que continúen siendo temas centrales en el futuro (Tabla 3).

mediante el Aprendizaje Adaptativo (AL, por su acrónimo en inglés) y fomentando conexiones significativas dentro de las redes de conocimiento (Tabla 4). Cada persona tiene diferentes estilos y necesidades de aprendiza-

Tabla 3. Temas de actualidad de la IA en biotecnología y biomedicina (Holzinger et al., 2023).

<p><b>IA/ML y análisis de datos</b> Esto incluye el uso de técnicas de IA para analizar grandes conjuntos de datos genómicos, datos proteómicos, todo tipo de “ómicas” y muchos otros tipos de datos biológicos para comprender mejor los mecanismos subyacentes de las enfermedades e identificar posibles objetivos terapéuticos.</p>
<p><b>Descubrimiento y desarrollo de fármacos</b> Analizar grandes cantidades de datos para identificar patrones y relaciones que pueden no ser evidentes para los humanos. Esto se puede utilizar para ayudar a identificar nuevos fármacos y objetivos farmacológicos, así como para optimizar las terapias existentes.</p>
<p><b>Medicina personalizada:</b> Analizar los datos genómicos de un individuo y otros tipos de datos de salud para desarrollar planes de tratamiento personalizados que se adapten a sus necesidades específicas. Esto incluye el uso de algoritmos de aprendizaje automático para predecir la respuesta de un individuo a un tratamiento en particular y para identificar posibles reacciones adversas.</p>
<p><b>Diagnóstico y predicción de enfermedades:</b> Analizar datos de varias fuentes, como registros médicos electrónicos y dispositivos portátiles, para identificar patrones y correlaciones que puedan indicar la presencia de una enfermedad en particular. Esto puede ayudar a mejorar la precisión de los diagnósticos y permitir intervenciones tempranas para prevenir la progresión de las enfermedades.</p>
<p><b>Análisis de imágenes biomédicas:</b> Analizar imágenes médicas, como tomografías computarizadas e imágenes de resonancia magnética, para identificar anomalías y diagnosticar enfermedades. Esto incluye el uso de algoritmos de aprendizaje profundo para segmentar y clasificar automáticamente las estructuras en imágenes médicas.</p>

je más efectivo. Esto se puede lograr de dos formas destacadas: mediante el Aprendizaje Adaptativo (AL, por su acrónimo en inglés) y fomentando conexiones significativas dentro de las redes de conocimiento (Tabla 4). Cada persona tiene diferentes estilos y necesidades de aprendizaje. La democratización del conocimiento a través de los Cursos Abiertos Masivos en Línea (MOOC, por su acrónimo en inglés) aborda parcialmente esta cuestión, ya que permite a los estudiantes acceder a cursos

gratuitos y seleccionar aquellos que les interesan. Sin embargo, este enfoque no soluciona las brechas específicas en el conocimiento de cada estudiante. El AL se centra en crear marcos de aprendizaje personalizados, ajustando el currículo y el estilo de enseñanza según las preferencias individuales y el conocimiento previo. Esto es especialmente relevante para los profesionales en biotecnología, quienes deben superar eficientemente las brechas en conocimientos multidisciplinarios.

Tabla 4. Inteligencia artificial para el aprendizaje: Cómo la IA puede hacer que los biotecnólogos sean más inteligentes (Goh y Sze, 2019).

Requisito	Descripción	Relevancia para la biotecnología	Tecnología implementada
AL: con la ayuda de tecnologías de aprendizaje adaptativo impulsadas por IA (uso de análisis de datos avanzados para crear perfiles de usuarios, predecir comportamientos y brindar mitigaciones específicas para alterar comportamientos en pos de los resultados deseados).	Recopila información en tiempo real sobre la participación del alumno en el material didáctico; luego proporciona personalización de la experiencia de aprendizaje según el conocimiento previo, el estilo de aprendizaje, el desempeño en tiempo real en las tareas, etc.; el aspecto de personalización podría implicar un ajuste dinámico de la dificultad del material de origen para el aprendizaje en línea	La innovación biotecnológica es multidisciplinaria: estamos limitados por nuestra capacidad de aprender tanto y tan rápido como sea posible; a nivel de los aprendices, esto puede ayudar a mejorar la eficiencia tanto en profundidad como en amplitud del aprendizaje en los programas de capacitación; también tiene implicaciones para los biotecnólogos en ejercicio: surgen nuevas tecnologías y paradigmas de conocimiento rápidamente. La innovación biotecnológica puede tener un papel en ayudar a los expertos a seguir siendo relevantes y a mejorar la calidad de la innovación biotecnológica.	<p>Herramientas para el seguimiento de las clases en tiempo real y la planificación del plan de estudios con un "backend" o "parte trasera" de IA.</p> <p>Plataforma de aprendizaje en línea adaptativa para proporcionar una experiencia de aprendizaje personalizada a través de sus vías adaptativas, retroalimentación y módulos de análisis.</p> <p>Plataforma integradora que consolida la ciencia de datos, las estadísticas, la psicometría, los gráficos de contenido, el aprendizaje automático, el etiquetado y la infraestructura para permitir un aprendizaje personalizado mejorado.</p> <p>Plataforma de aprendizaje inteligente que permite a los estudiantes dirigir su aprendizaje, al mismo tiempo que es capaz de analizar las fortalezas y "cambiar" la forma en que progresa el curso para abordar mejor esas necesidades de aprendizaje personales.</p>
Forjar vínculos dentro de las redes de conocimiento, con la ayuda del aprendizaje por refuerzo (aprendizaje que no requiere de datos perfectos o de grandes cantidades); DL (facilita la toma de decisiones complejas al modelar la IA como redes neuronales, de manera similar a las conexiones neuronales que se encuentran en el cerebro humano).	Tecnologías avanzadas que pueden utilizarse para extraer información y establecer vínculos significativos entre diferentes campos; también pueden utilizarse para descubrir conocimientos dentro de conjuntos de datos existentes, como los que contienen métricas sobre el rendimiento del aprendizaje. Estos algoritmos pueden entonces hacer predicciones e identificar patrones a partir de esos datos.	La innovación biotecnológica se impulsa mediante la creación de una "red de conocimiento" de diferentes campos; dado el panorama actual de big data, el descubrimiento efectivo de conocimientos mediante la minería de datos inteligente es un paso necesario hacia adelante. Además, hacer predicciones y extraer inferencias de big data están más allá de las capacidades cognitivas del cerebro humano promedio. Necesitamos coevolucionar con la IA para impulsar futuros avances biotecnológicos.	<p>Motor de búsqueda impulsado por IA que lee, extrae información y clasifica los hallazgos de los artículos de investigación publicados. Su objetivo es proporcionar una evaluación significativa del valor de un artículo a través de un metanálisis. Se espera que se vuelva lo suficientemente avanzado como para convertirse en un motor de hipótesis que pueda guiar a los científicos hacia el panorama general o adoptar perspectivas alternativas para la resolución de problemas.</p> <p>Generador de hipótesis automatizado (a partir de la minería de texto de la literatura científica), basado en IBM Watson (plataforma de IA desarrollada por IBM). Una de sus primeras (y prometedoras) implementaciones fue la predicción de vínculos e interacciones entre proteínas a través de la minería de datos. Esto acelera el trabajo de comprensión de las propiedades funcionales de las proteínas sin una participación excesiva en la lectura de la literatura o la realización de experimentos.</p>

El AL está siendo impulsado cada vez más por la IA, tanto dentro como fuera del aula. En un entorno educativo, la IA puede combinar datos académicos, sociales y conductuales para ofrecer asesoramiento sobre intervenciones estratégicas, como la enseñanza en tiempo real y la planificación curricular. Fuera del aula, se manifiesta a través de plataformas inteligentes diseñadas para un aprendizaje personalizado, como SmartSparrow, que pueden sustituir a los MOOC tradicionales. Las tecnologías de IA están evolucionando rápidamente y están siendo entrenadas para "pensar" sin necesidad de grandes volúmenes de datos. Pueden analizar publicaciones científicas con rapidez e incluso generar hipótesis automáticamente. Esto implica que la IA puede establecer conexiones dentro de las redes de conocimiento y luego transmitir esa información a estudiantes humanos, permitiendo que estos necesiten invertir significativamente menos tiempo en comparación con métodos tradicionales (Goh y Sze, 2019).

#### **4. Herramientas más avanzadas requieren humanos igualmente capacitados**

La educación impulsada por la IA representa un cambio significativo en la forma de aprender, pero también plantea interrogantes sobre cómo deben evolucionar las prácticas educativas en paralelo a la IA, en lugar de depender únicamente de ella. La Taxonomía de Bloom (TB), que clasifica los resultados del aprendizaje (Fig. 1, Panel A), sirve como un marco útil para esta discusión. Según la TB, los resultados más complejos (como la creación) se construyen sobre conocimientos más básicos (como recordar).

Las tareas que se fundamentan en aprendizajes de los niveles 1 a 3 de la TB podrían ser realizadas por la IA. Desde la perspectiva de los principiantes, las tecnologías de IA pueden facilitar el avance a través de los niveles de TB más rápidamente, ya que permiten a los estudiantes utilizar IA para completar tareas mientras aprenden conceptos básicos. A medida que los alumnos fortalezcan sus conocimientos en los niveles inferiores, podrán comenzar a aplicar lo aprendido en niveles más altos, colaborando con tecnologías de IA para fomentar la creatividad y la innovación. En este punto, tendrán suficiente conocimiento para evaluar adecuadamente la precisión y el valor de los resultados generados por la IA. Con esta ventaja que ofrece la IA para potenciar el aprendizaje en los niveles inferiores de TB, es esencial adoptar métodos pedagógicos que se concentren en desarrollar capacidades humanas en los niveles 4 a 6. Esto es crucial para lograr una mejor integración con la educación basada en IA, especialmente al considerar las conexiones que esta tecnología establece dentro del ámbito del conocimiento. La capacidad de actuar es una competencia que se puede enseñar mediante Prácticas de Alto Impacto (HIP, por su acrónimo en inglés). Las HIP enfatizan el uso creativo del conocimiento y el aprendizaje autodirigido, promoviendo un aprendizaje más profundo y significativo a través de la autoexploración y simulaciones prácticas en entornos colaborativos que permiten a los estudiantes desarrollar habilidades comunicativas y dinámicas grupales relevantes para los niveles superiores de TB. En este contexto, exploramos dos HIP: el aprendizaje experiencial (EL, por su acrónimo en inglés) y el enfoque "Estudiante Como Socio" (SAP, por su acrónimo en inglés) (Fig. 1, Panel B).

El “EL” fomenta el aprendizaje a partir de experiencias auténticas mediante un ciclo continuo de reflexión, conceptualización y acción. Los estudiantes enfrentan desafíos reales donde deben resolver problemas por sí mismos utilizando recursos relevantes sin restricciones disciplinarias. La diversidad de tareas empuja a los estudiantes más allá del conocimiento teórico, involucrándolos activamente y ayudándoles a ganar competencia y confianza. Los proyectos dentro del enfoque de EL que requieren innovación para crear productos (como dispositivos mecánicos o recetas culinarias) son especialmente beneficiosos para quienes estudian biotecnología, ya que combinan optimización sistemática con pensamiento creativo y diseño intencionado; algo que las prácticas convencionales no logran. El EL también cultiva una conciencia sobre la interconexión entre variables y disciplinas junto con la capacidad para actuar creativamente, características esenciales para adaptarse junto a la IA. Por otro lado, el enfoque SAP promueve un aprendizaje conjunto y el desarrollo colaborativo del currículo, lo cual profundiza el entendimiento personal al obligar a los estudiantes a considerar temas desde una perspectiva docente. Alcanzar un nivel profundo y competente en el aprendizaje es fundamental para poder actuar efectivamente, ya que fortalece las bases del conocimiento y fomenta relaciones laborales estrechas con mentores y compañeros. A pesar del apoyo que brinda la IA, seguirá existiendo una brecha entre teoría y acción porque al final se trata de un desafío humano

La IA puede facilitar el proceso educativo mediante el aprendizaje automático o al ofrecer nuevas perspectivas. El verdadero avance radica en formar individuos autónomos con un enfoque en el aprendizaje profundo y la acción creativa. Estas habilidades son enseñables mediante HIPs y son particularmente valiosas porque aumentan la participación estudiantil al personalizar su experiencia educativa sin centrarse excesivamente en calificaciones o créditos. Esto es particularmente relevante para la biotecnología, donde el aprendizaje autodirigido y la capacidad para trabajar en equipo interdisciplinario son esenciales debido a su naturaleza colaborativa y dinámica (Goh y Sze, 2019).

## **5. Elementos clave de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la evolución de la educación biomédica (Altintas y Sahiner, 2024)**

- *Avances tecnológicos en la formación biomédica:* La incorporación de tecnologías innovadoras, como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) al igual que la IA, está revolucionando la enseñanza médica al ofrecer experiencias de aprendizaje inmersivas y participativas.
- *Aprendizaje a través de simulaciones:* Las herramientas de simulación contribuyen a perfeccionar las habilidades prácticas, aumentar la retención del conocimiento y fomentar la participación de los estudiantes, permitiendo que practiquen procedimientos médicos complejos en entornos seguros y realistas.

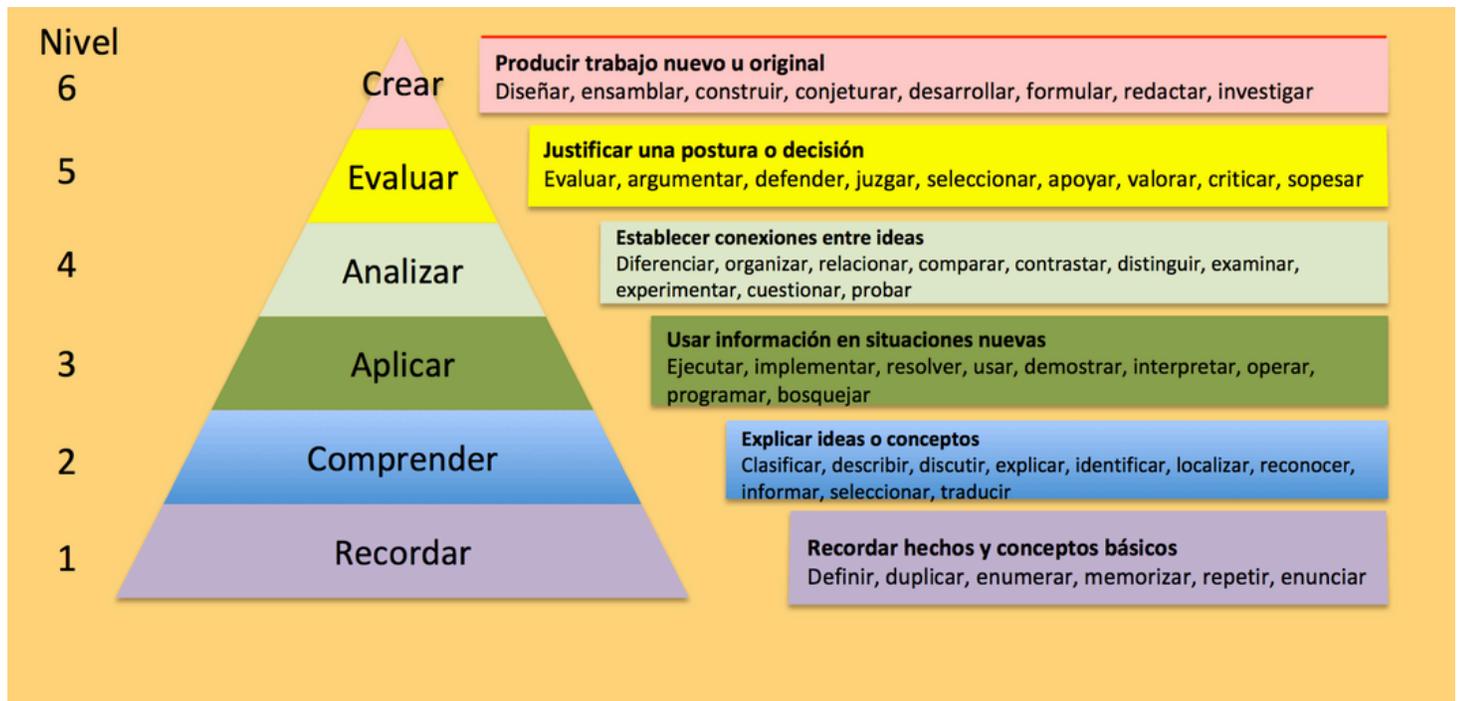


Figura 1. Panel A. Ilustración de los resultados de aprendizaje (Goh y Sze, 2019). La taxonomía de Bloom es una clasificación de los resultados de aprendizaje desde el básico (Recordar; nivel 1) hasta el profundo (Crear; nivel 6).

- *Adopción de dispositivos móviles:* La implementación de tecnologías móviles en la educación médica facilita una retroalimentación instantánea, el acceso a recursos educativos y el aprendizaje continuo, lo que hace que el proceso educativo sea más dinámico y accesible.
- *Papel de la inteligencia artificial en la educación:* La IA es crucial para personalizar la formación médica, mejorar las habilidades diagnósticas y estimular el pensamiento crítico. Incluir una formación estructurada en IA dentro de los programas educativos es vital para preparar a los futuros profesionales de la salud.
- *Incorporación de la salud digital:* Integrar tecnologías de salud digital en los currículos es fundamental para equipar a los estudiantes ante las cambiantes demandas del sector sanitario, mejorar los resultados en atención al paciente y asegurar que los profesionales médicos puedan desenvolverse eficazmente en el entorno digital actual.
- *Sugerencias para educadores:* Un currículo bien estructurado, el desarrollo profesional continuo para los docentes y una infraestructura adecuada son esenciales para lograr una integración exitosa de tecnologías avanzadas en la educación médica.

## 6. Incorporación del modelo de conversación generativo ChatGPT como herramienta educativa en biomedicina y biotecnología

Desde su lanzamiento al público en noviembre de 2022, ChatGPT, una inteligencia artificial generadora de texto ha captado una atención

Resultados del aprendizaje	Competencias adquiridas mediante aprendizaje experiencial (EL)	Competencias adquiridas por el estudiante como socio (SAP)	Relevancia para la educación en biotecnología
Aumentar la participación de los estudiantes a través de la personalización y la propiedad.	Los proyectos están dirigidos por estudiantes y son autoiniciados.	Los estudiantes crean su propio material didáctico "ideal" basándose en objetivos de aprendizaje preestablecidos.	La innovación biotecnológica está impulsada por individuos activos y comprometidos.
Aumentar la motivación para el aprendizaje autodirigido.	Sin exámenes. Contexto de aprendizaje informal. Libertad.	Estímulo, respeto mutuo y empoderamiento.	Crear nuevas ideas requiere adquirir conocimientos interdisciplinarios.
Mejorar las habilidades, el conocimiento y la confianza en uno mismo.	Los estudiantes encuentran formas de resolver sus propios problemas específicos del proyecto.	Los estudiantes deben lograr una comprensión crítica y "más profunda" del tema.	Esencial para poner en práctica la teoría/ideas/materialización de nuevas tecnologías.
Construir relaciones significativas entre mentores y alumnos.	Se requiere que los estudiantes se mantengan de pie por sí mismos y se les facilita.	Se facilita a los estudiantes. Construya una relación de trabajo informal con el mentor.	Las interacciones más profundas producen mejores resultados de aprendizaje y trabajo.
Desarrollar habilidades de trabajo en equipo y liderazgo.	Se requiere que los estudiantes trabajen en equipos y coordinen sus actividades.	Los estudiantes trabajan en equipos y participan en la enseñanza y tutoría entre pares.	La creación de biotecnología requiere trabajo en equipo interdisciplinario.

Figura 1. Panel B. Resultados de aprendizaje alcanzados por las pedagogías de aprendizaje experiencial (EL) y de estudiante como socio (SAP), y cómo se aplican a la educación en biotecnología (Panel B). Tanto el EL como el SAP alcanzan el nivel 6 de la taxonomía de Bloom [ilustrado en A)] en el sentido de que ambos requieren que los estudiantes creen un producto final basado en su iniciativa y creatividad, basándose en el conocimiento adquirido previamente.

considerable en el ámbito educativo, destacándose especialmente como un recurso para desarrollar habilidades comunicativas entre estudiantes de medicina y biotecnología, así como un apoyo en entornos de aprendizaje basados en problemas (Thomae et al., 2024). La versión ChatGPT-3.5 ha demostrado su efectividad en diversas tareas, particularmente en la redacción de artículos científicos. Sus aplicaciones incluyen la mejora del vocabulario, la reescritura de textos para evitar el plagio, la

formulación de hipótesis, la creación de palabras clave y títulos, el resumen de artículos, la simplificación del lenguaje técnico y la conversión de textos informales a un estilo más académico, además de ayudar en la interpretación de datos.

Las capacidades de ChatGPT en la escritura relacionada con biotecnología y biomedicina han mostrado su potencial para optimizar varios aspectos del proceso de redacción, siendo útil para enriquecer el vocabulario,

sugerir alternativas lingüísticas y mejorar la gramática. No obstante, es fundamental que los profesionales en biomedicina y biotecnología realicen una revisión exhaustiva y validaciones humanas para asegurar la precisión y relevancia del contenido cuando consideren utilizar la IA como un recurso complementario en su escritura (Dergaa et al., 2024)."

## 7. Conclusiones

La inteligencia artificial está transformando no solo la forma en que se investiga y aplica el conocimiento en el mundo real, sino también cómo se imparte la enseñanza en biotecnología y biomedicina. Esta sinergia está preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro con herramientas modernas y efectivas. La IA no solo sirve como catalizador para impulsar innovaciones en biotecnología, sino que también se convierte en un recurso esencial para el aprendizaje. Aunque la inteligencia artificial puede simplificar los procesos educativos, su combinación con prácticas pedagógicas de alto impacto producirá resultados significativamente mejores en términos de innovación. El campo de las aplicaciones de la IA ha crecido enormemente; su éxito es evidente en la vida cotidiana en múltiples áreas (como asistentes de voz como Alexa y Siri, el traductor DeepL, así como ChatGPT, el sistema innovador de OpenAI que sorprende por su rendimiento). Todos estos sistemas están a disposición del sector biotecnológico y, además, se están construyendo ecosistemas de IA tan amplios que tienen la capacidad de renovarse

continuamente. Para el futuro, es crucial abogar por una inteligencia artificial equitativa, promover la ciencia abierta y facilitar el acceso a datos abiertos: creando ecosistemas de IA que beneficien a toda la humanidad.

## 8. Bibliografía

- Altintas L., Sahiner M. 2024. Transforming medical education: the impact of innovations in technology and medical devices. *Expert Rev. Med. Devices.* 21(9): 797-809. <https://doi.org/10.1080/17434440.2024.2400153>
- Dergaa I., Ben Saad H., Glenn J.M., Ben Aissa M., Taheri M., Swed S., Guelmami N., Chamari K. 2024. A thorough examination of ChatGPT-3.5 potential applications in medical writing: A preliminary study. *Medicine*, 103:40(e39757). <http://dx.doi.org/10.1097/MD.00000000000039757>
- Goh W.W.B., Sze C.C. 2019. AI Paradigms for Teaching Biotechnology. *Trends Biotechnol.*, 37(1): 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2018.09.009>
- Holzinger A., Keiblinger K., Holub P., Zatloukal K., Müller H. 2023. AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*, 74: 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.02.001>
- Thomae A.V., Witt C.M., Barth J. 2024. Integration of ChatGPT Into a course for medical students: Explorative study on teaching scenarios, students' perception, and applications. *JMIR Med. Educ.*, 10: e50545. doi: 10.2196/50545



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). Inteligencia Artificial en el Aula: Transformando la Enseñanza de Biotecnología y Biomedicina. *Biotecnológica Magazine*, 3(1), 24-34.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14948618>

# El resurgimiento del metapneumovirus humano (hMPV) en 2024: ¿Debería preocuparnos su aumento en Asia y México?

Felipe Ascencio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

ascencio@cibnor.mx

**Tema:** Aunque el incremento en los casos de metapneumovirus humano (hMPV) es motivo de preocupación, especialmente para los niños menores y aquellos con condiciones de salud preexistentes, la situación actual no sugiere una amenaza pandémica inminente. Es fundamental mantener una vigilancia constante y fomentar la investigación biomédica multidisciplinaria para seguir la evolución y los patrones de transmisión del hMPV, lo que facilitará el desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y tratamiento.

## 1. Introducción

Recientemente, diversos medios de comunicación en México han reportado que las autoridades de salud del país han declarado que el metapneumovirus humano (hMPV) no constituye un riesgo significativo. Esta aclaración surge tras el brote en China que provocó el colapso de los sistemas de salud. Tal situación despertó temores sobre la posibilidad de una nueva pandemia similar a la que se vivió con el COVID-19 en 2020. Según la Secretaría de Salud (SS), el hMPV ha estado presente en México desde, al menos, 2003. David Kershenobich Stalnikowitz, quien dirige esta dependencia, ha afirmado que este virus es conocido desde hace tiempo y no representa un peligro, ya que causa síntomas similares a los de un resfriado con baja mortalidad, a diferencia del COVID-19. Además, ha indicado que se realiza un monitoreo constante y sistemático, especialmente en las temporadas invernales. Sin embargo, el incremento de casos de hMPV

en Asia durante 2024 ha generado preocupaciones sobre la posibilidad de una pandemia, lo que lleva a cuestionar si debemos sentir miedo. Aunque el hMPV es un patógeno respiratorio relevante, la información actual no sugiere una amenaza inminente de una pandemia comparable a la del COVID-19.

## 2. Perspectivas epidemiológicas actuales

- **Reaparición y estacionalidad:** en Corea del Sur, el hMPV reapareció en 2022 después de no haber sido detectado durante la pandemia de COVID-19, con un notable aumento de casos, especialmente entre niños de 6 a 10 años. Este resurgimiento se atribuye a la reducción de la inmunidad debido a las medidas de distanciamiento social durante la pandemia (Cho et al., 2023). De manera similar, en China, los casos de hMPV han mostrado picos estacionales, particularmente en primavera, otoño e invierno, luego de la pandemia de COVID-19 (Kuang et al., 2024).
- **Transmisión y evolución:** el hMPV ha

mostrado diferentes patrones de distribución global a lo largo de los años, y se ha identificado a Asia como un nuevo epicentro para la transmisión viral y la aparición de nuevas variantes después de 2005. Esto resalta la importancia de la vigilancia molecular en la región (Yi et al., 2019).

- **Impacto en los niños:** el hMPV es una causa importante de infecciones agudas del tracto respiratorio (IRA) en niños, con una prevalencia más alta en los menores de cinco años. El virus a menudo alcanza su pico en invierno y primavera, y las coinfecciones con otros virus como la parainfluenza son comunes (Cong et al., 2022). Los niños menores de un año y aquellos con comorbilidades tienen un mayor riesgo de enfermedad grave (Kuang et al., 2024).

### 3. ¿Cuáles son los síntomas y cómo se transmite el hMPV?

La investigación indica que el hMPV provoca síntomas respiratorios que pueden variar desde manifestaciones leves similares a un resfriado hasta condiciones más severas como bronquiolitis y neumonía (Tabla 1). La transmisión ocurre principalmente de persona a persona, especialmente a través de las gotitas respiratorias que se expulsan al toser o estornudar una persona infectada. Además, el virus puede difundirse al tocar superficies contaminadas y luego llevarse las manos a la cara (Shafagati et al., 2018). Se han documentado casos de infecciones adquiridas en hospitales, lo que sugiere que el hMPV puede propagarse en entornos de atención

Tabla 1. Resumen comparativo sobre síntomas comunes, estacionalidad, población afectada y gravedad clínica en personas afectadas por hMPV, VSR, Influenza y COVID

Agente infeccioso	Síntomas comunes	Estacionalidad	Población afectada	Gravedad clínica
<b>hMPV</b>	Tos, fiebre, congestión nasal, dificultad para respirar, sibilancias y fatiga. Puede causar bronquiolitis o neumonía en casos severos.	Su estacionalidad es similar a la de los virus respiratorios estacionales; se presenta principalmente en invierno y primavera.	Afecta a personas de todas las edades, pero es más grave en niños pequeños y adultos mayores.	Generalmente leve a moderado; sin embargo, puede ser grave en poblaciones vulnerables.
<b>VSR</b>	Tos, sibilancias, dificultad para respirar, fiebre y congestión nasal. Es conocido por causar bronquiolitis en niños pequeños.	Predomina durante los meses de invierno y puede tener picos anuales; su circulación es más común entre noviembre y marzo.	Principalmente afecta a bebés y niños menores de dos años, así como a adultos mayores con comorbilidades.	Puede causar enfermedad grave en lactantes y ancianos; es una de las principales causas de hospitalización en bebés.
<b>Influenza</b>	Fiebre alta, escalofríos, tos seca, dolor de garganta, dolores musculares y fatiga. Puede incluir síntomas gastrointestinales en algunos casos.	También es estacional, con picos generalmente entre diciembre y febrero en el hemisferio norte.	Afecta a todas las edades; sin embargo, los grupos más vulnerables son los niños pequeños y los ancianos.	Puede ser grave y requiere hospitalización en algunos casos; la mortalidad es mayor en grupos de riesgo.
<b>COVID</b>	Fiebre, tos seca, dificultad para respirar, pérdida del gusto o del olfato, fatiga y síntomas gastrointestinales. Puede variar en gravedad desde asintomático hasta enfermedad severa.	No tiene una estacionalidad clara como los otros virus; ha mostrado picos de infección en diferentes momentos debido a variantes.	Afecta a todas las edades; sin embargo, los adultos mayores y personas con condiciones preexistentes son más susceptibles a formas graves.	Varía desde asintomático hasta enfermedad crítica; puede resultar en complicaciones severas e incluso la muerte.

Fuente: Cui et al. 2022; Brehm et al. 2021; Ludwing et al. 2020.

médica (Chano et al., 2005). Este virus es una causa significativa de infecciones respiratorias, afectando con mayor frecuencia a niños, personas mayores y aquellos con sistemas inmunitarios comprometidos. Es conocido por provocar infecciones en las vías respiratorias tanto superiores como inferiores.

#### 4. ¿Cuáles son las implicaciones del resurgimiento del hMPV en Asia?

El resurgimiento del metapneumovirus humano (hMPV) en Asia plantea importantes desafíos para la salud pública a nivel global, que deben ser considerados para mitigar los posibles efectos de futuros brotes. Este fenómeno tiene repercusiones significativas en la salud pública, especialmente en lo que respecta a un aumento en la transmisión y propagación regional (Yi et al., 2019; Fukuda et al., 2023), así como en la diversidad genética y evolución del virus (Chow et al., 2016). Además, se deben tener en cuenta la estacionalidad y los factores ambientales que pueden influir en su propagación (Chow et al., 2016).

El virus metapneumovirus humano (hMPV) ha emergido como un agente patógeno significativo que afecta principalmente a niños, ancianos y personas inmunocomprometidas. Las implicaciones en los sistemas de salud son múltiples. En primer lugar, el hMPV está asociado con infecciones respiratorias agudas, lo que genera una carga considerable en los servicios de atención médica. Esto incluye un aumento en las hospitalizaciones y el uso de recursos médicos, lo que puede desbordar la capacidad del sistema sanitario, especialmente durante picos estacionales.

Desde una perspectiva económica, las repercusiones del hMPV son significativas. Los costos asociados con la atención médica, incluyendo hospitalizaciones y tratamientos, suman una carga financiera tanto para los sistemas de salud pública como para las familias afectadas. Además, la pérdida de productividad debido a enfermedades en la población activa contribuye a un impacto económico más amplio. La necesidad de estrategias de control se hace evidente. Se requieren programas de vigilancia epidemiológica robustos para monitorear la circulación del virus y su impacto en la salud pública. La promoción de prácticas de higiene y vacunación podría ser crucial para reducir la propagación del hMPV y minimizar su impacto. Finalmente, el riesgo de propagación internacional del hMPV es preocupante. Dada la interconexión global actual, existe un potencial alto para la diseminación transfronteriza del virus. Las medidas coordinadas a nivel internacional son esenciales para contener brotes y proteger a poblaciones vulnerables en diferentes regiones.

#### 5. Incidencia de infecciones del tracto respiratorio en infantes hospitalizados en México.

En 2017 Fernandes-Matano et al. realizaron un amplio estudio a fin de determinar cuál era la prevalencia de virus respiratorios no relacionados con influenza en casos de infección respiratoria aguda en México. Los resultados revelaron la presencia de al menos un virus no-influenza en el 35.8% de los pacientes estudiados. Los virus más frecuentes fueron el rinovirus (RV; 33.0%), el virus

respiratorio sincitial humano (VSR; 30.8%) y el metapneumovirus humano (hMPV; 10.6%). Se identificaron 56 casos de coinfección (17.9%) causados por 2, 3 o 4 virus. Aproximadamente el 62.5% de todos los casos positivos se dieron en niños menores de 9 años. El trabajo concluyó en que existían 13 virus respiratorios no relacionados con la influenza que podrían presentarse en cualquier estación del año, y constituyen un riesgo para la población.

En un estudio reciente publicado por Leija-Martínez et al., 2024 concluyó en que, una vez que la pandemia por COVID-19 terminó, el virus respiratorio sincitial (VSR) ha comenzado a presentarse con un patrón estacional, causando hospitalizaciones en niños, junto con otros virus. El VSR persiste como la principal causa de Infecciones de las vías respiratorias inferiores (IVRI) grave en niños mexicanos, representando el 41% de los ingresos y contribuyendo al 42.8% de los ingresos a Unidades de Cuidados Intensivos (UCI). Las infecciones por COVID-19, hMPV e influenza también representaron un número significativo de casos. De aquí que los autores de la publicación sugieren que se requiere el fortalecimiento de los programas de inmunización actuales, así como el desarrollo de nuevas estrategias preventivas, para reducir el impacto de estos virus en la morbilidad y mortalidad infantil.

## 6. ¿Debemos prepararnos para posibles pandemias respiratorias causadas por el metaneumovirus humano (hMPV)?

La posibilidad de que el metaneumovirus humano (hMPV) cause pandemias respiratorias es una preocupación que merece atención. Si bien el hMPV no se considera actualmente una

amenaza pandémica, su comportamiento e impacto en la salud pública sugieren la necesidad de estar preparados (Tabla 2).

## Consideraciones de preparación para enfrentar brotes de hMPV

- **Vigilancia y monitoreo:** la vigilancia continua del hMPV y otros virus respiratorios es crucial. Esto incluye el monitoreo en las interfaces entre humanos y animales y entre pacientes con neumonía en puntos críticos para enfermedades infecciosas emergentes (Gray et al., 2021; Shinoda et al., 2022).
- **Estrategias de salud pública:** la implementación de estrategias sólidas de salud pública, incluidas campañas de vacunación y medidas preventivas, puede mitigar el impacto del hMPV. La concientización y las pruebas para el hMPV deben ser tan rutinarias como para otros virus respiratorios como el VSR (Kuang et al., 2024).
- **Investigación y desarrollo:** una mayor investigación sobre la diversidad genética y las rutas de transmisión del hMPV puede ayudar a comprender su potencial para causar brotes generalizados. Esto incluye la vigilancia genómica para rastrear los cambios en los linajes del virus y su propagación (Ondo et al., 2024; Cho et al., 2023).

## 7. Conclusiones

El resurgimiento del hMPV en Asia subraya la necesidad de una estrecha vigilancia y preparación para gestionar posibles brotes. La diversidad genética del virus y los patrones de transmisión regional resaltan la importancia de la colaboración internacional en el monitoreo y control de la propagación del hMPV.

Tabla 2. Conocimiento actual del hMPV (Feng et al. 2024).

Aspectos relevantes	Conocimiento Actual
<b>Epidemiología</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Prevalencia</i>: hMPV se encuentra en todo el mundo y es un causante importante de infecciones respiratorias, especialmente en niños menores de cinco años, ancianos y personas con sistemas inmunitarios comprometidos.</li> <li>- <i>Estacionalidad</i>: Su circulación sigue un patrón estacional, similar al del virus sincitial respiratorio (VSR), con picos que suelen ocurrir en invierno y primavera.</li> </ul>
<b>Transmisión</b>	Se transmite principalmente a través de las gotas respiratorias cuando una persona infectada tose o estornuda, así como por contacto directo con superficies contaminadas.
<b>Síntomas</b>	Los síntomas de hMPV pueden variar desde infecciones leves similares a un resfriado hasta enfermedades más graves como bronquiolitis y neumonía. Los síntomas comunes incluyen: tos, fiebre, congestión nasal, dificultad para respirar, sibilancias.
<b>Diagnóstico</b>	El diagnóstico se realiza principalmente mediante pruebas de PCR (reacción en cadena de la polimerasa) o pruebas rápidas de antígenos en muestras respiratorias.
<b>Tratamiento</b>	No existe un tratamiento antiviral específico para hMPV. El manejo se centra en el alivio de los síntomas y el soporte respiratorio si es necesario. En casos severos, puede requerirse hospitalización.
<b>Prevención</b>	Las medidas preventivas incluyen prácticas de higiene, como lavarse las manos con frecuencia y evitar el contacto cercano con personas enfermas.
<b>Investigaciones Recientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se están llevando a cabo estudios para comprender mejor la biología del virus, su patogénesis y la respuesta inmune que provoca.</li> <li>- También se están explorando posibles vacunas y tratamientos antivirales a medida que se avanza en la investigación sobre este virus.</li> </ul>

Fuente: (Feng et al. 2024).

A medida que se relajan las medidas de control de infecciones después del COVID-19, existe un mayor riesgo de aumento de la actividad del hMPV, lo que requiere estrategias proactivas de salud pública.

Si bien el hMPV no representa actualmente una amenaza de nivel pandémico, su potencial para causar enfermedades respiratorias significativas, especialmente en poblaciones vulnerables, subraya la importancia de la preparación. La vigilancia continua, las estrategias de salud pública y la investigación son esenciales para mitigar los riesgos asociados con el hMPV y otros virus respiratorios.

#### 8. Literatura citada

- Brehm T., Van Der Meirschen M., Hennigs A., Roedl K., et al. 2021. *Scientific Reports*, 11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85081-0>
- Cong S., Wang C., Wei T., et al. 2022. *Infect. Gen. Evol.* 106: 105386 <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2022.105386>
- Cui A., Xie Z., Xu J., et al. 2022. *J. Med. Virol.* 94: 5894-5903. <https://doi.org/10.1002/jmv.28073>.
- Chano F., Rousseau C., Laferrière C., et al. 2005. *J. Clin. Microbiol.* 43(11): 5520-5525.
- Cho S.-J., Kim S.-H., Lee H., et al. 2023. *Pathogens* 12:1218. <https://doi.org/10.3390/pathogens12101218>
- Chow W.Z., Chan Y.F., Oong X.Y., et al. 2016. *Scientific Rep.* 6: 27730 doi: 10.1038/srep27730
- Feng Y., He T., Zhang B., Yuan H., Zhou Y. 2024. *Virol. J.* 21:59. <https://doi.org/10.1186/s12985-024-02327-9>
- Fernandes-Matano L., Monroy-Muñoz I.E., Angeles-Martínez J. et al. 2017. *PLoS ONE* 12(5): e0176298. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176298>
- Fukuda Y., Togashi A., Hirakawa S., et al. 2023. *J. Med. Virol.* 95: e29299. doi: 10.1002/jmv.29299.
- Gray G., Robie E., Studstill C., Nunn C. 2021. *Viruses*, 13. <https://doi.org/10.3390/v13040637>.
- Kuang L., Xu T., Wang C., et al. 2024. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 14:1435294. doi: 10.3389/fcimb.2024.1435294
- Leija-Martínez J.J., Cadena-Mota S., González-Ortiz A.M. et al. 2024. 2024, 16, 1917. <https://doi.org/10.3390/v16121917>
- Ludwig M., Jacob J., Basedow F., Andersohn F., Walker J. 2020. *Int. J. Infect. Dis.* 103: 316 - 322. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.11.204>
- Ondo G., Ushijima Y., Abe H., et al. 2024. *Viruses*, 16. <https://doi.org/10.3390/v16050698>.
- Shafagati N., Williams J. 2018. *F1000 Research*, 7 (F1000 Faculty Rev): 135 <https://doi.org/10.12688/f1000research.12625.1>
- Shinoda D., Tsukagoshi H., Komuro K., Yoshida D., et al. 2022. *Jap. J. Infect. Dis.* <https://doi.org/10.7883/yoken.jjid.2022.061>.
- Yi L., Zou L., Peng J., Yu J., Song Y., Liang L., Guo Q., Kang M., Ke C., Song T., Lu J., Wu J. 2019. *Scientific Reports* 9:14022 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50340-8>



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 resurgimiento del metapneumovirus humano (hMPV) en 2024: ¿Debería preocuparnos su aumento en Asia y México?. *Biotecnológica Magazine*, 3(1), 35-41.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14948626>

## ¿Monstruos genuinos o héroes quiméricos?

Arturo Sánchez-Paz

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

---

*El engaño forma parte de la naturaleza de los organismos ya que les permite conquistar recursos que de otra forma serían inaccesibles. A lo largo de nuestra historia los humanos hemos creado reglas, leyes, mandamientos para evitar la decepción que genera el engaño, leyes que de algún modo nos permiten confiar en los demás y vivir mejor. Sin embargo, siempre habrá alguien que engañe mientras sus expectativas de ganancia superen el temor a ser castigados. Pero, ¿hasta dónde se puede llegar, qué límites se pueden quebrantar, para obtener una victoria insípida (pero muchas veces lucrativa)?*

---

El tiempo es un alambique que destila, muy lentamente, nuestros recuerdos. Desafortunadamente, los productos destilados no siempre son los deseables. Con el paso del tiempo la memoria modifica los recuerdos, los transforma. De alguna extraña manera, el tiempo funde los recuerdos en una mezcla de sucesos y fantasía, realidad e imaginación. Así, con el paso del tiempo, usurpamos la realidad agregando o arrebatando elementos a sucesos de nuestras vidas.

Recuerdo que había un gran ciclista español, Miguel Indurain (Big Mig). Un monstruo en bicicleta. Puedo asegurar que fue de los primeros atletas que admiré. Recuerdo también que se llegó a mencionar que, en reposo, el corazón de Indurain pulsaba 32 veces por minuto (las pulsaciones de un adulto común en reposo oscilan entre 60 y 90). En 1995, tras una impresionante etapa de montaña, Indurain ganaba por quinta ocasión la Tour de France, considerada la carrera ciclista más importante del mundo. No recuerdo que hasta entonces ningún otro ciclista hubiera logrado esa hazaña.

El norteamericano Lance Armstrong terminaría en el lugar 36 (esto no lo recuerdo, lo investigué para este artículo). En 1996, Armstrong sólo corrió cinco días, de los 22 pactados, de la Tour de France. Recuerdo que en algún momento Armstrong fue diagnosticado con cáncer testicular por lo que le extirparon un testículo. Incluso tengo presente haber adquirido, no sé bien cómo ni cuándo ni el costo, una pulsera amarilla de silicón grabada con la palabra "LIVESTRONG" de la Lance Armstrong Foundation para apoyar la investigación sobre el cáncer. El ciclista se recuperó paulatinamente y decidió volver al ciclismo de alto rendimiento. Entonces, y a partir de 1999, el ciclista estadounidense ganó en siete ocasiones consecutivas la Tour de France, convirtiéndose en una personalidad muy reconocida en su país y en el mundo. Sin embargo, alrededor de la figura de Armstrong se entretejen victorias y sospechas de dopaje. La ventaja que consiguió en su primera victoria en la Tour de France fue tan amplia que era difícil creer que la hubiera conseguido sin doparse. Y en cada entrevista, Armstrong rechazaba cualquier insinuación de dopaje, llegando a presumir el haber pasado más

de 500 controles antidopaje a los que se sometió. Así, con base en estos resultados negativos, junto con su equipo legal, ganó varias demandas por difamación. Se puede decir que, de alguna forma, tras los duros momentos que vivió como consecuencia del cáncer, la vida finalmente le sonreía amplia y atractivamente.

Recuerdo que poco antes de ganar su última Tour de France, Armstrong anunció que se retiraría del ciclismo al finalizar dicha carrera. El retiro fue breve: poco después reanudó esta actividad. Sin embargo, en 2011, después de unos años con resultados no tan destacados, anunció el retiro definitivo... y junto a su adiós al deporte de alto rendimiento, llegaron problemas muy serios.

Desde 2001, ya existían fuertes sospechas de que algo turbio ocurría alrededor de Armstrong. Varios de sus colaboradores, incluida su masajista personal, aseguraron haber atestiguado el uso de esteroides por parte del ciclista. En 2006, el diario francés de información deportiva *L'Equipe* aseguró que en muestras de orina de Armstrong tomadas durante el Tour de France de 1999 se habían encontrado restos de eritropoyetina (EPO), una hormona que promueve la formación de glóbulos rojos (esto permite a los atletas captar más oxígeno, por lo que se recuperan más rápido de los esfuerzos físicos y disminuye la sensación de fatiga). Hasta el año 2000, la EPO era indetectable. En esa época, las técnicas para su detección no eran lo suficientemente sensibles. Además, algunos atletas usaban diversos "métodos" para "engañar" los controles antidopaje (como beber grandes volúmenes de agua para diluir la concentración de la EPO).

Así, a principios de 2012, bajo las grises nubes de la sospecha, la Agencia Antidopaje de los Estados Unidos (USADA, por sus siglas en inglés) anunció que iniciaría un proceso de investigación contra Armstrong para determinar si el ciclista había incurrido en posibles violaciones a las reglas antidopaje. Por supuesto, esto acaparó los titulares de noticieros y periódicos. En agosto de ese mismo año, la USADA anunció que Armstrong, un *"engañador serial"...* *participó en el programa de dopaje más sofisticado, profesionalizado y exitoso que el deporte haya atestiguado*". La USADA impuso una suspensión de por vida a Lance Armstrong y lo descalificó de todos sus triunfos deportivos alcanzados desde 1998. Como avalancha, y con base en esta sanción, la Unión Ciclista Internacional despojó a Armstrong de sus siete títulos de la Tour de France. Pese a esta investigación, el ciclista continuó negando haber hecho algo ilegal... hasta 2013 (Cohen, 2020).

Recuerdo, con cierto disgusto, fragmentos de la entrevista que Oprah Winfrey le realizó a Armstrong en 2013. Lo que aún llama mi atención, y recuerdo bien, fue la actitud arrogante, cínica y carente de remordimientos del ciclista al aceptar públicamente el haber usado sustancias ilícitas para mejorar su rendimiento deportivo.

Si bien es reconfortante pensar que la gran mayoría de los atletas son honestos, empieza a ser muy evidente que el dopaje es una forma de embuste sorprendentemente común en el deporte. El caso de Armstrong es solamente uno de los muchos casos de dopaje que se conocen.

Así, por ejemplo, recientemente la Asociación Mundial Antidopaje (AMA) sancionó al Comité Olímpico Ruso prohibiendo su participación en los Juegos de verano de Tokio 2020, en los de invierno de Pekín 2022 y en el Mundial de Fútbol de Catar 2022, tras haber detectado un sistema institucionalizado, patrocinado por el Estado, que suministró sustancias ilícitas a sus atletas y encubrió resultados de pruebas antidopaje realizadas a diversos deportistas.

La dicha de la victoria, además de brindar reconocimiento y aceptación social, puede llegar a generar recompensas económicas cuantiosas, lo que ha provocado que muchos atletas (poco escrupulosos) hagan mal uso de métodos y sustancias inaceptables. El dopaje en el deporte es, a fin de cuentas, una forma de obtener una ventaja sobre otros atletas sin incurrir en los costos del esfuerzo. Parece una ecuación elemental y sencilla, un balance entre costos y beneficios: ¿se puede alcanzar la victoria sin esfuerzo, sin ser descubierto y sin sanciones? Por supuesto, el dopaje no es un fenómeno nuevo y, si bien, es una práctica que se ha realizado desde los albores del deporte (se ha documentado que los romanos ya usaban mezclas de diferentes sustancias para incrementar la velocidad de los caballos de carreras y de gladiadores que ingerían sustancias para incrementar su fuerza), la diferencia con lo que ocurre hoy en día en el ambiente deportivo es que pareciera que actualmente administrarse sustancias con el fin de aumentar artificial e ilegalmente el rendimiento de un atleta en alguna competencia es más común que una excepción. Aparentemente, lo que comenzó como un leve oleaje, hoy comienza a alcanzar la magnitud de un inmenso y devastador maremoto.

Uno de los logros más importantes que se alcanzó con el Proyecto del Genoma Humano fue la identificación y localización de un número importante de mutaciones que causan enfermedades hereditarias. Estimados recientes sugieren que cerca de 4,000 de nuestros genes son afectados por diversas mutaciones que causan unas 6,500 enfermedades genéticas. El mal funcionamiento de dichos genes deteriora la calidad de vida de aquellos que las sufren y puede conducir a una muerte prematura. Esto implica que cerca de 300 millones de personas en el mundo (casi el 4% de la población mundial) son afectadas por este tipo de enfermedades. Desafortunadamente, en la actualidad, sólo existen tratamientos terapéuticos aprobados para cerca del 5% de estas enfermedades.

Desde hace unos años, diversos grupos de investigación han trabajado en una forma experimental que promete revolucionar el tratamiento de las enfermedades hereditarias: la terapia génica. Este poderoso procedimiento biomédico promete ayudar a corregir diversas anomalías genéticas mediante la manipulación del material genético de las personas que las sufren, de modo que se reduzcan sus síntomas o que curen permanentemente a los pacientes. Así, la terapia génica se puede definir como el conjunto de técnicas que permiten modificar alguna alteración genética mediante la inserción, remoción o corrección de aquellas mutaciones que son el objetivo del tratamiento. Es tal el impacto que esta terapia podría tener en un futuro cercano que hasta hace dos años se habían registrado en Estados Unidos más de 1,500 patentes de terapias contra enfermedades como fibrosis quística, hemofilia, y distrofia muscular. Treinta de esas patentes se encuentran realizando ensayos clínicos (estu -

dios controlados que se realizan muy cuidadosamente en humanos sanos o enfermos voluntarios en los que se evalúan la seguridad y eficacia de algún tratamiento contra cierta enfermedad). Hoy, solamente se existen dos terapias genéticas para enfermedades raras comercialmente disponibles: *Zolgensmac*, dirigido para aplicarse en niños menores de dos años que sufren atrofia muscular espinal, y *Luxturna*, para la amaurosis congénita de Leber, ambas designadas “medicamentos huérfanos” (tratamientos dirigidos a tratar afecciones tan infrecuentes que los fabricantes no están dispuestos a comercializarlos bajo las condiciones de mercado habituales). Recientemente, otros dos medicamentos huérfanos, *Strimvelis* y *Zynteglo*, fueron aprobados en Estados Unidos (para el tratamiento de la inmunodeficiencia combinada grave y la beta-talasemia, respectivamente).

La finalidad con la que se aplican algunos de los avances científicos y tecnológicos puede seguir dos caminos: uno, brinda beneficios, promueve el progreso, facilita la calidad de vida, impulsa la cohesión social, o soluciona problemas a la sociedad. El otro, implica el mal uso de los avances científicos para causar daño... o para engañar. Así, es previsible que, dados los notables resultados obtenidos mediante el uso de terapias génicas, exista la posibilidad de utilizar esta tecnología con fines mucho menos humanitarios. Tanto el creciente conocimiento de la fisiología del deporte como el progreso de la biotecnología ha llamado la atención de individuos deshonestos que han considerado utilizar técnicas de dopaje cada vez más sofisticadas.

Si bien, hasta el día de hoy, no se ha detectado que algún atleta haya utilizado el dopaje genético para obtener alguna ventaja competitiva, esto no significa que no esté ocurriendo. De hecho, en 2006 el entrenador de atletismo alemán Thomas Springstein fue declarado culpable tras enfrentar cargos de haber intentado suministrar fármacos para mejorar el rendimiento de atletas jóvenes. Esto ya de por sí era malo, pero las alarmas mundiales se encendieron cuando en uno de sus correos electrónicos se leyó lo siguiente: “... *el nuevo Repoxygen es difícil de conseguir. Por favor, indícame a la brevedad nuevas instrucciones para que pueda pedir el producto antes de Navidad*”. El Repoxygen es un tratamiento para terapia génica basado en la administración intramuscular directa de un virus inactivo que en su genoma se ha insertado, mediante técnicas de biología molecular, el gen de la EPO. Una vez que el gen se “instala” en el ADN de la persona a la que se le administró, se induce la síntesis de una mayor cantidad de EPO. Este tratamiento estaba originalmente pensado para administrarse a personas que sufren diferentes formas de anemia. Pero, para atletas y entrenadores embusteros, este es el sistema de dopaje perfecto: mejora la capacidad atlética en un corto plazo y es, hasta la fecha, prácticamente indetectable. Hasta hoy, no hay forma de definir si la EPO de un atleta que ha utilizado este tipo de dopaje es propia o no. Vale la pena mencionar que la compañía Oxford Biomedica, desarrolladora del Repoxygen, abandonó el proyecto en 2003 (de ahí la dificultad de Springstein para conseguirlo).

En un fragmento de la película *Dracula untold* (2014) se dice que “*en ocasiones el mundo no necesita otro héroe, a veces lo que necesita es un monstruo*”. Son monstruos genuinos como Miguel Indurain los que necesitamos, los que debemos apreciar, los admirables. Atletas que con su esfuerzo, disciplina y facultades naturales son ejemplares. No necesitamos héroes artificiales, corruptos, quiméricos. Son los recuerdos que el alambique del tiempo ha destilado en mi memoria.

Cita:

Sánchez-Paz, A. (2025). ¿Monstruos genuinos o héroes quiméricos?. *Biotechnológica Magazine*, 3(1), 42-46. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14948664>

### Referencias

Kelly, C. 2020. Timeline of Lance Armstrong's career successes, doping allegations and final collapse.

[https://www.espn.com/olympics/cycling/story/\\_/id/29177227/line-lance-armstrong-career-successes-doping-allegations-final-collapse](https://www.espn.com/olympics/cycling/story/_/id/29177227/line-lance-armstrong-career-successes-doping-allegations-final-collapse)

(fecha de acceso: 16 de diciembre de 2024).



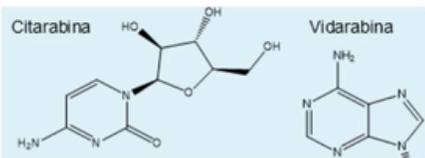
El Dr. Arturo Sánchez-Paz es investigador titular encargado del Laboratorio de Virología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste en Hermosillo, Sonora, México. Su investigación ha generado más de 50 artículos publicados en revistas científicas internacionales, y ha guiado y dirigido tesis de varios estudiantes de posgrado. Es miembro del SNI (nivel 2) y de la Academia Mexicana de Ciencias.

### Medicinas Marinas

Sara García Davis\*<sup>1</sup> y Carlos A. Jaramillo Mora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN; <sup>2</sup>Instituto Politécnico Nacional

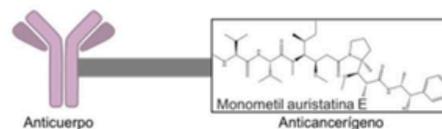
Existen 15 medicamentos inspirados en compuestos químicos producidos por organismos marinos. La mayoría son utilizados para el tratamiento del cáncer, mientras que otros son para tratar la hipertrigliceridemia, el dolor crónico, e infección por el virus del herpes.



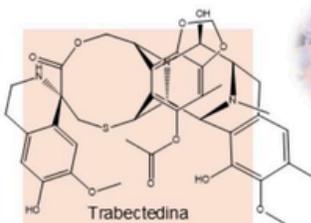
Los primeros medicamentos aprobados fueron obtenidos de una esponja.



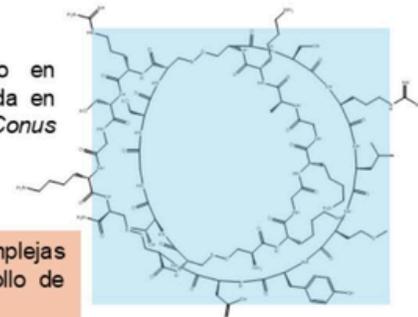
Los anticancerígenos aprobados entre 2019 y 2021 fueron obtenidos de invertebrados, posiblemente producidos por cianobacterias que los habitan.



Los medicamentos para la hipertrigliceridemia son ácidos grasos omega-3 aislados de pescado.



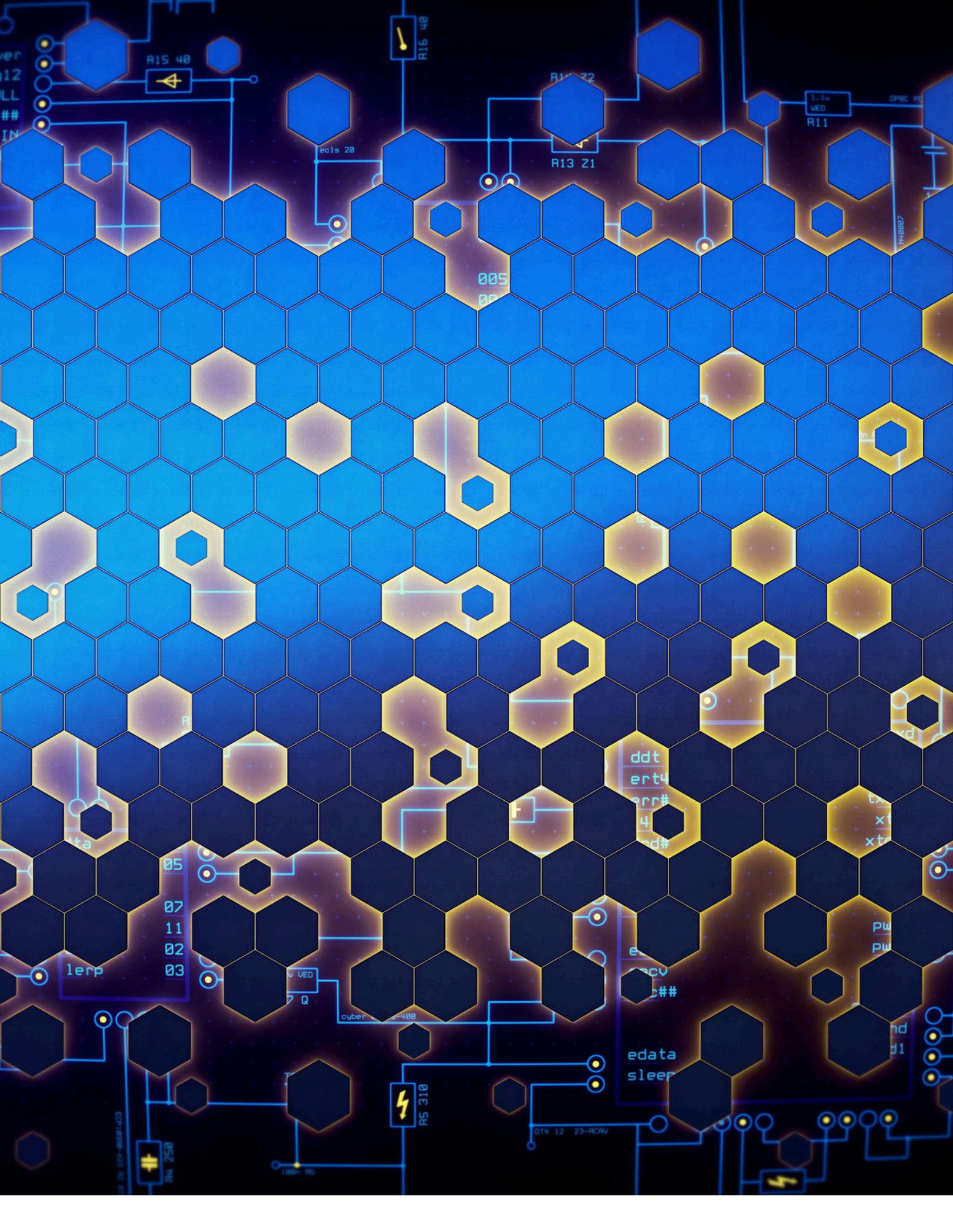
Ziconotida, inspirado en una toxina encontrada en el cono marino *Conus magus*.



El mar es una increíble fuente de complejas estructuras químicas para el desarrollo de nuevos medicamentos.

Approved Marine Drugs. 2021-2025 Marine Pharmacology. Consultado el 21 de enero 2025. Disponible en: <https://www.marinepharmacology.org/>

Cita:  
García Davis, S., & Jaramillo Mora, C. A. (2025). Medicinas marinas. In Biotecnológica Magazine (Vol. 3, Number 1, p. 47). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14948676>



ver  
12  
LL  
##  
IN

R15 48

R16 48

R17 72

1.1v  
MED  
R11

ecis 28

R13 21

R48887

005  
00

ddt  
ert4  
err#  
4  
ed#

tx  
x1  
xtr

05  
07  
11  
02  
03

lerp

cyber 488

er  
cv  
b##

pw  
pw

edata  
sleer

nd  
d1

R5 310

DTX 12 23-RCRV

RN 250

100% PC