



# Biotechnológica<sup>®</sup> *Magazine*

Revista en línea de divulgación biotecnológica

## La lucha contra el envejecimiento

ARTURO SÁNCHEZ PAZ

**Vol. 2, Número 5**

Septiembre-Octubre 2024  
[www.biotmagazine.com](http://www.biotmagazine.com)



BIOTECNOLÓGICA MAGAZINE® año 2024, Vol. 2, No. 5, septiembre-octubre, 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:** DNY59 a través de Canva.

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



**Biotechnológica 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.

**Biotechnológica 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



Biotechnológica Magazine

#### EDITORIA

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra

#### CONSEJO EDITORIAL FUNDADOR

Dra. Norma Yolanda Hernández Saavedra

Dr. Felipe Ascencio Valle

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

#### EDITOR EJECUTIVO

Dra. Crisalejandra Rivera Pérez

#### EDITORES ASOCIADOS

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

Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez - Bioinformática

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

Dra. María Goretty Caamal Chan - Biotecnología ambiental.

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

biotechnologicamagazine@gmail.com

www.biotmagazine.com

Facebook @biotechnologicamagazine

Instagram biotechnologicamagazine

Threads biotechnologicamagazine

# ÍNDICE

## VI EDITORIAL

**1** *La discriminación y su impacto en el aceleramiento del envejecimiento celular*

Felipe Ascencio

**8** *Revolución Biotecnológica con inteligencia artificial y aprendizaje automático*

Adrián E. Velázquez-Lizárraga, Leopoldo J. Ríos González, Ana G. Reyes-Alvarado\*

**16** *Los fitoplasmas patógenos vegetales difíciles de cultivar, un reto para su identificación y control*

María Goretty Caamal-Chan, Abraham Loera-Muro, Arevik Poghosyan\*

**29** *Usos o funciones del colágeno en los alimentos*

José Ramón Antunez-Medina, Guadalupe Miroslava Suárez-Jiménez, Wilfrido Torres-Arreola, Víctor Manuel Ocaño-Higuera y Enrique Márquez-Ríos\*

**31** *Nuevo brote de Viruela Símica (mpox) en el mundo: ¿México debe preocuparse?*

Norma Y. Hernández Saavedra

**43** *Anotaciones importantes sobre osteoporosis, y los aportes de la biotecnología en su combate*

Felipe Ascencio

**55** *La lucha contra el envejecimiento*

Arturo Sánchez Paz

### *Infografías*

**59** *Artemia franciscana*

María Zulema Juárez Cortés, Luz Edith Casados Vázquez, César Salvador Cardona Félix

**60** *Descontaminación enzimática*

María Guadalupe González Alonso, Felipe Neri Melo López, César Salvador Cardona Félix, María Zulema Juárez Cortés

**61** *¿Cómo es el virus MPXV (Enfermedad MPOX)?*

Norma Y. Hernández Saavedra

**62** *¡El tamaño sí importa!: Nanopartículas de plata contra las infecciones bacterianas*

Óscar Alberto Jaramillo, Brenda Román-Ponce\*, José Luis Rivera Corona\*

# EDITORIAL

Estimad@s Lector@s,

En el número Septiembre-Octubre de *Biotechnológica Magazine* (Vol. 2 No. 5), exploramos temas que tocan desde lo molecular hasta lo social, poniendo en primer plano los avances de la biotecnología y su impacto en la salud, la agricultura y la sociedad. Cada artículo de este número resalta el poder de la ciencia para transformar nuestra vida cotidiana y el futuro de nuestro planeta.

Abrimos temas en **biotecnología roja** (salud, médica) con un análisis sobre el vínculo entre la discriminación y el envejecimiento celular, basado en un estudio de la Universidad de Nueva York. Esta investigación revela cómo la discriminación puede acelerar los procesos biológicos del envejecimiento, sugiriendo que la igualdad social es no solo un imperativo ético, sino también un tema clave de la salud pública. Estos hallazgos aportan una visión novedosa sobre cómo los factores sociales pueden repercutir en el bienestar físico de una población.

Así mismo, “La lucha contra el envejecimiento” es otro tema clave en este volumen. El deseo de frenar o revertir los efectos del envejecimiento ha estado presente en la humanidad desde sus primeras civilizaciones. Hoy, con avances en biotecnología y cosmetología, se buscan métodos para reducir la tasa de envejecimiento y mitigar los efectos de enfermedades relacionadas con la edad, como las cardiovasculares y neurodegenerativas. Aunque la industria cosmética ofrece productos que prometen mejorar el aspecto físico, muchos de estos tienen beneficios poco comprobados. Sin embargo, la investigación sigue avanzando en busca de soluciones efectivas que no solo beneficien la apariencia externa, sino también la calidad de vida.

En la lucha contra la viruela símica, discutimos cómo la biotecnología asume el compromiso de desarrollar vacunas y tratamientos efectivos para proteger a la población en un mundo donde la conectividad global facilita la propagación de enfermedades.

En este numero también hablamos sobre la osteoporosis, una enfermedad silenciosa y progresiva que afecta principalmente a personas mayores. Este artículo explora cómo la biotecnología está desarrollando herramientas de diagnóstico y tratamiento que podrían cambiar radicalmente la forma en que entendemos y combatimos esta enfermedad.

En temas de **biotecnología verde** (agrícola) en este numero también conoceremos a los fitoplasmas, que son patógenos vegetales que impactan la seguridad alimentaria y que, debido a su dificultad para cultivarse, por lo que representan un gran desafío para su identificación y control; este artículo subraya la necesidad de herramientas avanzadas en fitopatología para asegurar una producción agrícola sostenible.

Hablando de **biotecnología amarilla** (alimentaria) tenemos un artículo que centra su atención en el colágeno y sus funciones en la industria alimentaria, un campo donde la biotecnología está revolucionando el uso de este ingrediente en la mejora de la textura y valor nutricional de los alimentos.

Y, finalmente, en temas de **biotecnología dorada** (bioinformática) presentamos la “Revolución Biotecnológica con Inteligencia Artificial y aprendizaje automático”. Este artículo nos proporciona un muy buen panorama de como estas tecnologías están revolucionando la biotecnología, al facilitar el análisis de grandes volúmenes de datos e impulsando la innovación en campos como la secuenciación genómica, el diseño de fármacos y la agricultura. Se vislumbra un futuro donde la colaboración interdisciplinaria maximizará el potencial de la IA y el aprendizaje automático, ofreciendo soluciones novedosas a desafíos científicos y éticos.

Cada uno de estos artículos demuestra cómo la ciencia puede abordar problemas urgentes y abrir puertas hacia un futuro más saludable y equitativo. Este volumen de Biotecnológica Magazine es una invitación a reflexionar sobre el papel de la biotecnología en nuestra vida y su potencial para cambiar el mundo.

¡Disfruten la lectura!

**Consejo Editorial Fundador**

# La discriminación y su impacto en el aceleramiento del envejecimiento celular

Felipe Ascencio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

ascencio@cibnor.mx

## Tema:

Según un nuevo estudio dirigido por investigadores de la Escuela de Salud Pública Global de la Universidad de Nueva York, la discriminación puede acelerar los procesos biológicos del envejecimiento. La investigación vincula la discriminación interpersonal con cambios a nivel molecular, revelando una posible causa fundamental de las disparidades en las enfermedades y muertes relacionadas con el envejecimiento.

## 1. Introducción

Recientemente se publicó en la revista *Brain, Behavior, Immunity-Health* un artículo del grupo de trabajo del Profesor Adolfo Cuevas, investigador adscrito al Departamento de Ciencias Sociales y del Comportamiento de la Escuela de Salud Pública Global de la Universidad de Nueva York, sobre cómo la discriminación acelera el envejecimiento a nivel celular. Algo que llama mucho la atención acerca de esta investigación es cómo en un estudio de ciencias sociales y humanidades se emplean enfoques epidemiológicos,

emplean enfoques epidemiológicos, psicológicos, biológicos, complementados con el uso de herramientas biotecnológicas, para investigar los efectos de la discriminación y otros determinantes psicosociales de la salud, así como las desigualdades en materia de salud.

"Experimentar discriminación parece acelerar el proceso de envejecimiento, lo que puede estar contribuyendo a la enfermedad y la mortalidad temprana y alimentando las disparidades en la salud", dijo Adolfo Cuevas.



Figura 1. Principios de igualdad y no discriminación

([http://www.calidad.salud.gob.mx/site/editorial/principios\\_igualdad\\_no\\_discriminacion.html](http://www.calidad.salud.gob.mx/site/editorial/principios_igualdad_no_discriminacion.html)).

Las investigaciones muestran que las personas que sufren discriminación basada en su identidad (por ejemplo, raza, género, peso o discapacidad) tienen un mayor riesgo de sufrir una variedad de problemas de salud, incluidas enfermedades cardíacas, presión arterial alta y depresión. Si bien no se comprenden completamente los factores biológicos precisos que impulsan estos malos resultados de salud, es probable que la activación crónica de la respuesta del cuerpo al estrés contribuya. Además, un creciente conjunto de investigaciones conecta la exposición persistente a la discriminación con los procesos biológicos del envejecimiento.

## 2. Discriminación y su impacto negativo en la salud

La discriminación, independientemente de su atribución (por ejemplo, raza, sexo o peso), es un determinante social sustancial de la salud y ejerce un profundo impacto negativo en diversos resultados de salud. Las personas expuestas a la discriminación experimentan un mayor riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, hipertensión, deterioro de la salud autoinformado, mortalidad, depresión, angustia psicológica e ideación suicida. A pesar de estas asociaciones y de vías de comportamiento como la obesidad y

### Para Saber Más 1

#### **Discriminación**

Situación que se refiere a tratar a una persona, o a un grupo de personas, de forma desigual y menos favorable que a otra persona o colectivo y que les dificulta o impide participar en la vida social, política, económica y cultural por diversos factores que, en muchas ocasiones, están entrelazados y vinculados entre sí.

#### **Discriminación cotidiana**

Se refiere a casos sutiles y menores de falta de respeto experimentados en la vida diaria, como puede ser la discriminación basada en su identidad (por ejemplo, raza, género, peso o discapacidad). La escala incluye puntos como ser tratado con menos cortesía o respeto que los demás; recibir un servicio peor que otros en restaurantes o tiendas; ser insultado, insultado, amenazado o acosado; y hacer que la gente actúe con miedo del encuestado.

#### **Discriminación mayor**

Las formas agudas de discriminación, a menudo denominadas “discriminación mayor”, están relacionadas con un mayor riesgo de hipertensión, mortalidad prematura, y enfermedades cardiovasculares. La Escala de Grandes Experiencias de Discriminación pregunta a los participantes cuántas veces en sus vidas han experimentado formas agudas de discriminación. La escala incluye sucesos en diferentes entornos, como académicos (desalentados de continuar con la educación), empleo (se les niega un ascenso), servicios financieros (se les impide alquilar o comprar una casa) y experiencias de hostilidad social (acosados por la policía).

#### **Discriminación laboral**

Se refiere a la situación en la que un trabajador se ve perjudicado profesional, salarial o moralmente respecto a sus compañeros por motivos que no están directamente relacionados con su desempeño laboral, dándose una discriminación por su nacionalidad u origen étnico, género, edad, maternidad, religión, ideológica, orientación sexual, estatus social, enfermedad o discapacidad, acoso sexual.

y tabaquismo, los mecanismos biológicos precisos que subyacen a la influencia de la discriminación en el desarrollo de estas enfermedades siguen siendo poco conocidos. Sin embargo, un componente potencial de este mecanismo parece ser la activación crónica de la respuesta al estrés (Cuevas et al., 2024).

La hipótesis de la meteorización biológica postula que la exposición persistente a la discriminación y otros factores estresantes psicosociales acelera el proceso de envejecimiento, particularmente entre los afroamericanos, elevando su susceptibilidad a las enfermedades y a la mortalidad prematura (Forde et al., 2019).

Esta hipótesis encuentra un fuerte respaldo en datos empíricos que revelan que las enfermedades relacionadas con el envejecimiento se manifiestan a edades más tempranas para los estadounidenses negros. Las disparidades entre negros y blancos se intensifican y están notoriamente presentes en un amplio espectro de enfermedades relacionadas con la edad. Si bien se han logrado avances para dilucidar cómo la discriminación aumenta el riesgo de enfermedad, nuestra comprensión de los mecanismos biológicos subyacentes sigue siendo incompleta (Cuevas et al., 2024).

La hipótesis de la meteorización se propuso para explicar las disparidades raciales en la salud. La meteorización es el resultado de la exposición crónica a desventajas sociales y económicas que conducen a la aceleración del envejecimiento normal y la aparición más temprana de condiciones de salud física desfavorables entre personas desfavorecidas (en comparación con las favorecidas) de edad similar (es decir, patrón de meteorización).

### 3. Relación discriminación versus envejecimiento

Para comprender mejor la conexión entre la discriminación y el envejecimiento, Cuevas y sus colegas observaron tres medidas de metilación del ADN, un marcador que puede usarse para evaluar los impactos biológicos del estrés y el proceso de envejecimiento. Se recolectaron muestras de sangre y encuestas de casi 2000 adultos estadounidenses como parte del estudio *Midlife in the U.S.* (MIDUS), un análisis longitudinal de la salud y el bienestar financiado por el Instituto Nacional sobre el Envejecimiento.

Se preguntó a los participantes sobre sus experiencias con tres formas de discriminación: cotidiana, importante y laboral. La discriminación cotidiana se refiere a casos sutiles y menores de falta de respeto en la vida diaria, mientras que la discriminación mayor se centra en casos agudos e intensos (por ejemplo, ser amenazado físicamente por agentes de policía). La discriminación en el lugar de trabajo incluye prácticas injustas, reducción de oportunidades profesionales y castigos basados en la identidad.

Los investigadores encontraron que la discriminación estaba relacionada con el envejecimiento biológico acelerado; las personas que reportaron más discriminación envejecían biológicamente más rápido en comparación con aquellos que experimentaron menos discriminación. La discriminación cotidiana y la discriminación importante se asociaron sistemáticamente con el envejecimiento biológico, mientras que la exposición a la discriminación en el lugar de trabajo también se relacionó con el envejecimiento acelerado, pero su impacto fue comparativamente menos severo.

## Para Saber Más 2

### Metilación de ADN (ADNm)

Es un proceso biológico que consiste en la adición enzimática de un grupo metilo en la citosina y generalmente se produce en las regiones genéticas en las que existe una gran concentración de dinucleótidos citosina y guanina (CpG). Este proceso participa en la regulación de la expresión génica donde activan o desactivan un gen, y de esa forma regulan la producción de las proteínas que el gen codifica. Las exposiciones a sustancias químicas ambientales pueden afectar directamente al ADNm, mientras que otras características ambientales pueden afectar el ADNm indirectamente a través de efectos sobre el comportamiento o la cascada fisiológica inducida por el estrés psicológico. La metilación del ADN también se ve afectada por el proceso de envejecimiento.

### Envejecimiento

Es el proceso de acumulación de las consecuencias de la vida, como el daño molecular y celular, que conduce al deterioro funcional, las enfermedades crónicas y, en última instancia, la muerte.

**Relojes epigenéticos.** El reloj epigenético es una prueba bioquímica que puede calcular la edad. Se basa en los niveles de metilación del ADN, contando la acumulación de grupos metilo en las moléculas de ADN.

**Envejecimiento biológico.** Es la pérdida progresiva de integridad y capacidad de resiliencia de nuestras células, tejidos y órganos que se produce a medida que envejecemos. El envejecimiento biológico surge de la acumulación de daño molecular que resulta en cambios a nivel celular o “características” que comprometen el funcionamiento y dañan la salud, dando lugar a muchas enfermedades crónicas diferentes (Cuevas et al., 2024).

### Biomarcadores de envejecimiento

Un biomarcador del envejecimiento es "un parámetro cuantitativo de un organismo que, por sí solo o junto con otros, predice la edad biológica y, en el mejor de los casos, los cambios en respuesta a las intervenciones".

Los biomarcadores pueden clasificarse en:

- i) *Moleculares*: la clase más numerosa, pueden basarse en 'ómicas' o en moléculas específicas (por ejemplo, niveles del factor de crecimiento similar a la insulina o paneles de parámetros sanguíneos).
- ii) *Fisiológicos*: medidas de rendimiento funcional (por ejemplo, aptitud cardiorrespiratoria, distancia recorrida, funciones cognitivas) o características físicas (por ejemplo, índice de masa corporal).
- iii) *Biomarcadores digitales*: Se refiere a la tecnología ponible o vestible que permiten a las personas recopilar directamente datos que pueden explicar, influir y/o predecir los resultados relacionados con la salud y el envejecimiento. Un ejemplo de biomarcadores digitales podría ser el ritmo del sueño o los patrones motores.

**Biogerontología** (biología del envejecimiento). Es un campo interdisciplinario que combina la biología, genética, medicina y la gerontología para el estudio de los procesos y mecanismos biológicos que subyacen al envejecimiento y su impacto en la salud y el bienestar humanos.

Un análisis más profundo mostró que dos factores de salud (el tabaquismo y el índice de masa corporal) explicaban aproximadamente la mitad de la asociación entre la discriminación y el envejecimiento, lo que sugiere que otras respuestas al estrés, como el aumento del cortisol y la falta de sueño, contribuyen al envejecimiento acelerado.

"Si bien los comportamientos de salud explican en parte estas disparidades, es probable que estén en juego una variedad de procesos que conectan los factores estresantes psicosociales con el envejecimiento biológico", dijo Cuevas, quien también es profesor principal del Centro para el Antirracismo, la Justicia Social y la Salud Pública en la Escuela de Salud Pública Global de la Universidad de Nueva York.

Además, el vínculo entre la discriminación y el envejecimiento biológico acelerado variaba según la raza. Los participantes negros del estudio informaron más discriminación y tendieron a exhibir una edad biológica más avanzada y un envejecimiento biológico más rápido. Sin embargo, los participantes blancos, que informaron menos discriminación, fueron más susceptibles a los impactos de la discriminación cuando la experimentaron, tal vez debido a una exposición menos frecuente y menos estrategias de afrontamiento. (Los datos sobre otros grupos raciales y étnicos no estaban disponibles en el estudio MIDUS).

"Estos hallazgos subrayan la importancia de abordar todas las formas de discriminación para apoyar un envejecimiento saludable y promover la equidad en salud", añadió Cuevas.



**Figura 2.** La inteligencia artificial revolucionada: la IA todo en uno LifeWatch. No es simplemente un reloj, sino una revolución en la salud personal. Imagine un mundo donde su vitalidad armoniza con la tecnología de vanguardia, brindando información intuitiva adaptada de manera personalizada, donde se trata de forjar un vínculo profundo y sin precedentes con su propia salud. Un estilo de vida donde la innovación y el bienestar bailan juntos (<https://the-life-watch.com>).

#### 4. Presente y futuro de la investigación biomédica para el retraso del envejecimiento y enfermedades asociadas.

El desarrollo de la biología molecular ha permitido la identificación de posibles objetivos subcelulares que pueden ser manipulados para prolongar la vida de los organismos.

La carencia de suficientes datos científicos y el conocimiento relativamente limitado de sus interacciones y funciones completas es, en la actualidad, la principal limitante para poder manipular el envejecimiento en organismos superiores. Hoy en día, aún no es posible detener el envejecimiento ni sus enfermedades relacionadas, aunque en teoría sí podría ser modificado. Un intenso desarrollo de la investigación científica en el campo de la biogerontología sigue siendo necesario para desarrollar nuevas herramientas de estudio más eficaces, rápidas y económicas que permitan agilizar el avance en el área (Tabla 1). Describir completamente cada estirpe celular mediante el uso de herramientas “ómicas” y entender sus interacciones es otro requerimiento fundamental.

En algunos padecimientos, la gerontología biomédica puede aplicar de forma transversal los conocimientos a medida que se obtienen, trasladándolos al campo clínico sin necesidad de esperar a comprender completamente las redes de eventos inter e intracelulares. Esta gran rama de la gerontología abandona la ciencia ficción para ofrecer resultados tangibles. El sector dermatológico cuenta ya con terapéuticas de retraso leve del envejecimiento en piel, disponibles en el mercado actual, que, si bien no solo tienen un efecto transitorio, auguran una nueva revolución en la medicina. El retraso del envejecimiento es solo cuestión de tiempo y llegará de la mano de tratamientos efectivos para las enfermedades asociadas, ya que, en realidad, ambos son las dos caras de la misma moneda (Lugo-Radillo, 2012).

Tabla 1. Lagunas en la investigación sobre la biología del envejecimiento (Rattan 2024).

| Lagunas de conocimiento en biogerontología                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cuestiones evolutivas:</b><br>1. ¿Cuáles son los genes públicos (universales) y privados (específicos de la especie) que garantizan la longevidad para la duración de vida esencial de una especie?<br>2. ¿Cuál es la naturaleza de las imperfecciones que limitan la funcionalidad óptima de los procesos de garantía de longevidad y son específicas del sexo?                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>La supervivencia biológica y sus límites:</b><br>3. Con escalas de tiempo físico casi idénticas a nivel de procesos metabólicos, ¿cómo se regula el paso del tiempo biológico de una etapa biológica a la siguiente a través del ciclo de vida y hasta la muerte?<br>4. ¿Cuáles son las características cuantitativas y cualitativas del espacio homeodinámico (Interrelación en cambio constante de los componentes del cuerpo mientras se mantiene un equilibrio global necesario para sobrevivir y funcionar de forma adecuada) en términos de la salud y la capacidad de supervivencia de un sistema biológico? |
| <b>Heterogeneidad del fenotipo del envejecimiento:</b><br>5. ¿Qué determina la heterogeneidad en la tasa y el alcance de los cambios relacionados con la edad en varios niveles de organización biológica, desde las moléculas hasta los niveles de todo el cuerpo y la población?<br>6. ¿Cómo distinguir entre los cambios perjudiciales, útiles y neutrales que se producen durante el envejecimiento?<br>7. ¿Cómo identificar y cuantificar la capacidad de tolerar, adaptar, compensar y evitar los cambios relacionados con la edad?                                                                              |

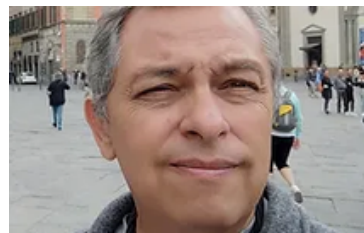
## 5. Referencias:

Cuevas AG, Cole SW, Belsky DW, McSorley AM, Shon JM, Chang VW. Multi-discrimination exposure and biological aging: Results from the midlife in the United States study. *Brain, Behavior, Immunity - Health*. 2024:100774. doi: 10.1016/j.bbih.2024.100774

Lugo-Radillo A. 2012. Medicina antienvjecimiento. En: López-Muñoz E, Torres-Carrillo N.M. (coords.). Aspectos moleculares del envejecimiento. México: Instituto de Geriatria. 196pp.

Moqri M., Herzog C., Poganik J.R., Justice J., Belsky D., Hoggins-Chen A., Moskalev A., Fuellen G., Cohen A.A., Bautmans I., Widschwendter M., Ding J., Fleming A., Mannick J., Han J-D. J., Zhavoronkow A., Barzilai N., Kaeberlein M., Cummings S., Kennedy B., Ferrucci L., Horvath S., Verdin E., Maier A.B., Snyder M.P., Sebastiano V., Gladyshev V.N. 2023. Biomarkers of Aging for the Identification and Evaluation of Longevity Interventions. *Cell* 186(18): 3758–3775. doi:10.1016/j.cell.2023.08.003.

Rattan S.I.S. 2024. Seven knowledge gaps in modern biogerontology. *Biogerontology* 25: 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10522-023-10089-0>



Sobre el autor

Dr. Felipe Ascencio.

Investigador Titular D y profesor en el CIBNOR, SNI III. Responsable del Laboratorio de Patogénesis Microbiana. Loop: 264286; Scopus: 57247070500; ORCID: 0000-0003-3515-8708

Cita:

Ascencio, F. (2024). La discriminación y su impacto en el aceleramiento del envejecimiento celular. *Biotechnológica Magazine*, 2(5), 1-7. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14088935>

# Revolución Biotecnológica con inteligencia artificial y aprendizaje automático

Adrián E. Velázquez-Lizárraga<sup>1</sup>, Leopoldo J. Ríos González<sup>1</sup>, Ana G. Reyes-Alvarado<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Biotecnología Ambiental. Blvd. Venustiano Carranza 935, República, 25280 Saltillo, Coahuila.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Programa de Agricultura en Zonas Áridas. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, 23096, La Paz, Baja California Sur.

\*Autor responsable: [agalvarado@cibnor.mx](mailto:agalvarado@cibnor.mx)

**Tema:** El artículo explora cómo la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) están revolucionando la biotecnología. Desde la explotación de los datos contenidos en las bases de datos biológicas hasta el uso de herramientas avanzadas para el análisis de grandes volúmenes de datos, se destaca cómo estas tecnologías están transformando la investigación y las aplicaciones biotecnológicas. Con ejemplos de su impacto en la secuenciación genómica, el diseño de fármacos y la optimización de prácticas agrícolas, el artículo subraya el potencial de la IA y el AA para impulsar innovaciones y superar desafíos técnicos y éticos en el campo, por lo que se percibe un futuro donde estas tecnologías puedan crear colaboraciones interdisciplinarias para abrir nuevas fronteras en la ciencia.

## 1. Introducción

La biotecnología está viviendo una revolución gracias a la integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) (inglés: *machine learning*) transformando profundamente cómo investigamos y aplicamos conocimientos científicos. Desde la secuenciación del genoma humano hasta la generación masiva de datos biológicos, las tecnologías ómicas han potenciado un incremento exponencial en la información disponible. Esta abundancia de datos requiere herramientas analíticas avanzadas, donde la IA y el AA juegan un papel importante. Estas tecnologías no solo permiten gestionar grandes volúmenes de datos, sino que también potencian la precisión y velocidad en el análisis, la predicción y la toma de decisiones. En este emocionante panorama, la biotecnología y sus campos de estudio se encuentran a la vanguardia de descubrimientos innovadores y aplicaciones prácticas que prometen redefinir nuestra comprensión del mundo biológico y sus posibilidades.

### 1.1 El auge de las bases de datos biológicas

Desde la década de 1980, el estudio de las moléculas biológicas ha avanzado mucho gracias a las ciencias ómicas, que permiten analizarlas de manera integral. Este enfoque ha llevado a un gran aumento en las bases de datos biológicas, importantes para el progreso en biotecnología y otras áreas científicas.

La secuenciación del genoma humano en el año 2000 (Figura 1) fue un hecho importante, abriendo el camino para estudiar los genomas de otras especies relevantes (Collins & Venter, 2001). Desde 2009, la tecnología para secuenciar genomas se ha vuelto más accesible y económica, lo que ha generado una explosión en la cantidad de datos biológicos disponibles (Shendure & Ji, 2008).

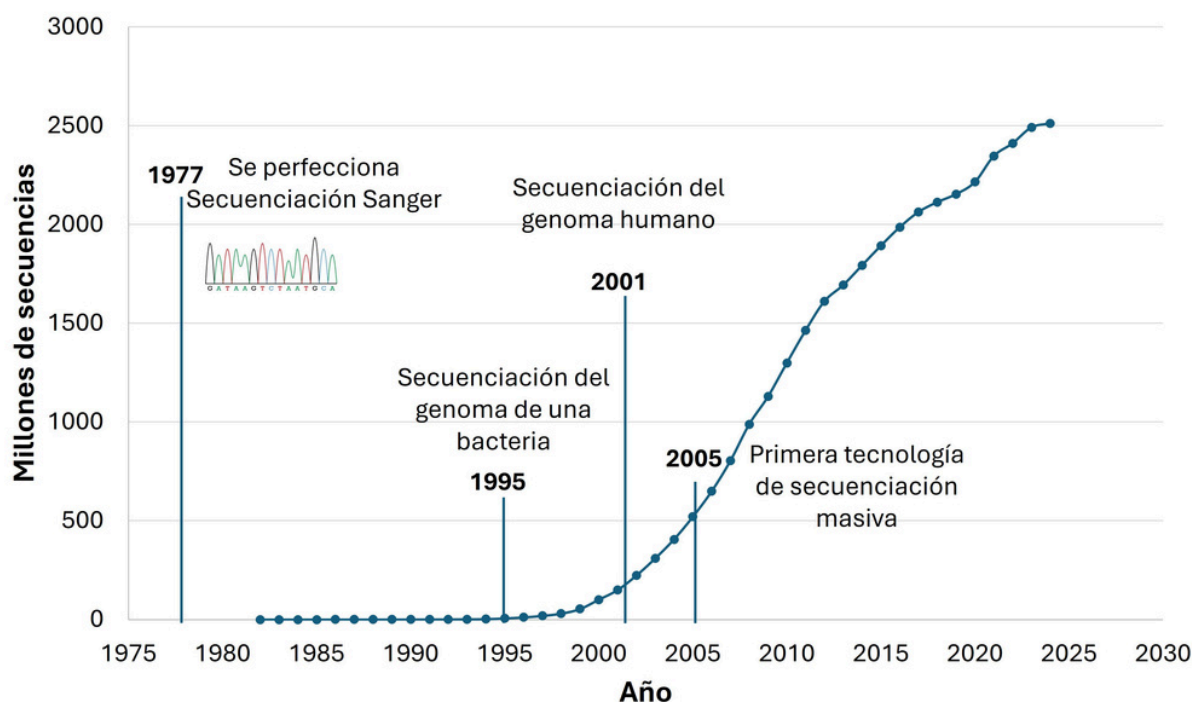


Figura 1. Crecimiento de la base de datos Genbank (NCBI). Fuente:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/statistics/>

Hoy en día, existen más de 1,959 bases de datos que almacenan información sobre ADN, ARN, expresión génica, inmunología, proteómica y más (Baht et al., 2018). Este enorme volumen de datos necesita herramientas informáticas avanzadas para ser analizado, ya que los métodos tradicionales no son suficientes (Rigden y Fernández, 2024).

Los macrodatos, datos masivos, inteligencia de datos, o datos a gran escala (inglés: Big Data) refiere a un conjunto masivo y complejo de datos donde las herramientas tradicionales no pueden almacenar, gestionar y analizar los datos en tiempos razonables. Los macrodatos han revolucionado la forma y estrategia de analizar de datos en biotecnología, permitiendo procesar grandes volúmenes de datos de diversas fuentes. Esto es importante porque la cantidad de datos generados es demasiado grande para ser manejada con métodos convencionales (Stephens et al., 2015).

A pesar de los avances tecnológicos, el uso de macrodatos presenta desafíos para los investigadores en biotecnología. Muchos no están familiarizados con estos nuevos métodos, lo que puede limitar su capacidad para aprovechar completamente los datos disponibles. Aquí es donde la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) son fundamentales, proporcionando herramientas avanzadas para el análisis de datos.

Las bases de datos biológicas son un conjunto de repositorios digitales que almacenan y organizan una gran variedad de información como: secuencias de ADN, ARN y proteínas, estructuras de moléculas, estructuras de proteínas, funciones, localización de genes y cromosomas, mutaciones, evolución y expresión de genes y metabolismo. El auge de las bases de datos biológicas ha transformado la investigación en biotecnología, facilitando descubrimientos y avances impensables hace unas décadas.

La integración de macrodatos y herramientas de IA y AA son esenciales para gestionar y aprovechar esta vasta cantidad de información, permitiendo grandes progresos en biotecnología y otras disciplinas científicas.

## 2. Inteligencia Artificial: Definiciones y conceptos clave

La inteligencia artificial (IA) es una de las tecnologías más revolucionarias del siglo XXI, transformando múltiples sectores y ofreciendo soluciones innovadoras a problemas complejos. En biotecnología, la IA facilita avances significativos en investigación y aplicaciones prácticas mediante herramientas avanzadas para el análisis de datos, la predicción y la toma de decisiones (LeCun et al., 2015).

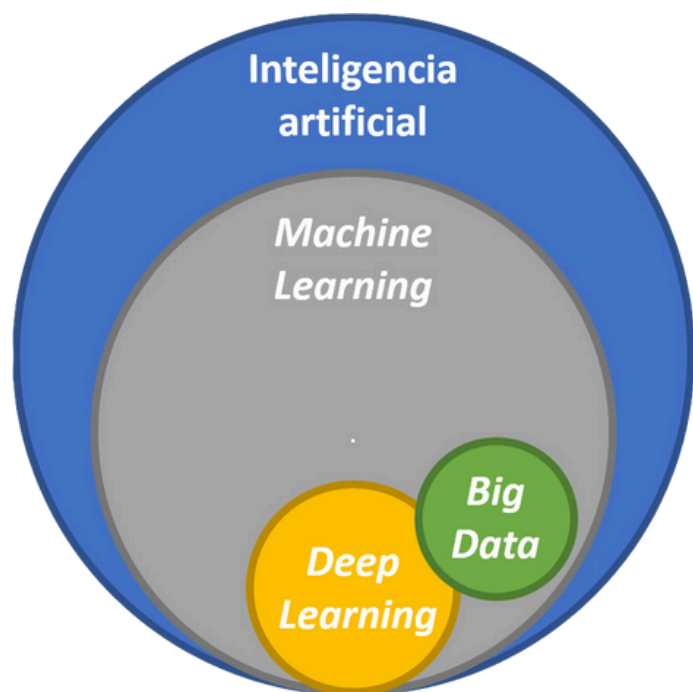


Figura 2. Jerarquía e interrelación entre la inteligencia artificial, Machine Learning, Deep Learning y Big Data. Los círculos indican que Machine Learning es un tipo de inteligencia artificial, mientras que Deep Learning es un nuevo enfoque de Machine Learning y el Big Data (macrodatos) es utilizados por estas dos.

### 2.1 ¿Qué es la inteligencia artificial?

La IA es una rama de la informática que desarrolla algoritmos y sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el reconocimiento de patrones, el procesamiento de lenguaje natural, la toma de decisiones y la visión artificial. La IA busca emular la capacidad humana para aprender, razonar y resolver problemas.

La inteligencia artificial se compone de varios campos de estudio especializados (Figura 3) (Ching et al., 2018):

- **Visión Artificial:** Permite a las máquinas interpretar y procesar imágenes del mundo real, utilizado en el reconocimiento facial, la conducción autónoma y la inspección de calidad en manufactura.
- **Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP):** Interacción entre computadoras y lenguaje humano, incluye la traducción automática, el análisis de sentimientos y la generación de texto.
- **Optimización:** Enfocado en encontrar la mejor solución entre muchas posibles, aplicado en logística, planificación y toma de decisiones estratégicas.
- **Aprendizaje por Refuerzo:** Entrena agentes que toman decisiones basadas en recompensas y castigos, usado en robótica y juegos.

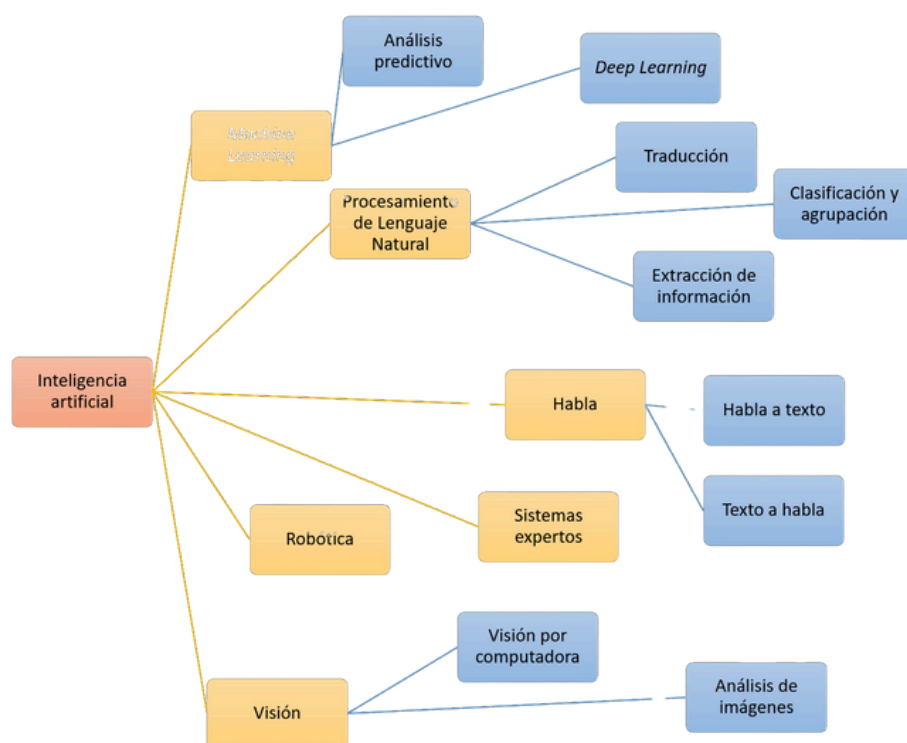


Figura 3. Campos de estudio de la inteligencia artificial.

## 2.2 Diferencia entre inteligencia artificial, aprendizaje automático, y aprendizaje profundo

- **Inteligencia Artificial (IA):** Campo que abarca el desarrollo de sistemas y tecnologías capaces de realizar tareas inteligentes. Incluye diversas subdisciplinas y enfoques.
- **Aprendizaje automático (AA):** Subdisciplina de la IA que se centra en el desarrollo de algoritmos que permiten a las máquinas aprender a partir de datos. En lugar de ser programadas explícitamente, las máquinas utilizan datos para identificar patrones y tomar decisiones.
- **Aprendizaje profundo (AP):** Conocido en inglés como *Deep Learning*, es una rama del AA que utiliza redes neuronales artificiales con múltiples capas para modelar y analizar datos complejos. Es especialmente efectivo en tareas como el reconocimiento de imágenes y el procesamiento de lenguaje natural.

## 2.3 Aprendizaje automático

El aprendizaje automático (AA), una rama de la inteligencia artificial (IA), está transformando la ciencia y la tecnología. A diferencia de los enfoques tradicionales, donde las instrucciones se programan explícitamente, el AA permite que las máquinas aprendan y mejoren a partir de la experiencia adquirida con el análisis de datos. Esta innovación ha encontrado un terreno fértil en la biotecnología, ofreciendo soluciones avanzadas para problemas complejos y promoviendo avances significativos en el campo.

### 2.3.1 ¿Qué es el aprendizaje automático?

El AA es un conjunto de técnicas y algoritmos que permiten a las computadoras aprender de los datos. Por ejemplo, para enseñar a una máquina a diferenciar entre especies de plantas, se le proporcionan datos sobre las plantas y el algoritmo identifica patrones para hacer distinciones precisas.

Este proceso consta de varias etapas: recolección y preprocesamiento de datos, selección y entrenamiento del modelo adecuado, y finalmente, la evaluación y aplicación del modelo para hacer predicciones y tomar decisiones informadas.

### **2.3.2 Tipos de aprendizaje automático**

El aprendizaje automático se divide en tres categorías principales: aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo. Cada uno de estos enfoques es adecuado para diferentes tipos de problemas.

#### **Aprendizaje supervisado**

En el aprendizaje supervisado, los algoritmos se entrenan con datos etiquetados, donde cada entrada está asociada a una salida esperada. Es similar a cómo un maestro guía a un estudiante: proporciona ejemplos y respuestas correctas para que el estudiante aprenda a resolver problemas de manera independiente. En biotecnología, este método es esencial para tareas como la clasificación de tipos celulares y la predicción de resultados experimentales.

#### **Aprendizaje no supervisado**

En el aprendizaje no supervisado, los algoritmos trabajan con datos sin etiquetar para descubrir estructuras ocultas o patrones. Es como observar un grupo de animales y agruparlos por su comportamiento sin tener información previa sobre las especies. En biotecnología, este enfoque es invaluable para identificar subgrupos de enfermedades a partir de datos genómicos o descubrir nuevas funciones génicas.

#### **Aprendizaje por refuerzo**

El aprendizaje por refuerzo se basa en un enfoque dinámico donde un agente interactúa con su entorno y aprende de las consecuencias de sus acciones.

Similar a cómo los humanos aprenden de sus experiencias, un agente de AA recibe recompensas o castigos basados en sus decisiones, ajustando su comportamiento para maximizar las recompensas acumuladas. Es útil en situaciones donde la toma de decisiones secuenciales es esencial, como en la optimización de protocolos experimentales o en el desarrollo de tratamientos personalizados.

### **2.3.3 Importancia de los datos en el aprendizaje automático**

La eficacia del AA depende de la calidad y cantidad de datos disponibles. Los datos son la base de cualquier modelo de AA, determinando su capacidad para aprender y generalizar a nuevas situaciones. Es esencial que los datos sean representativos del problema, estén libres de ruido y sean abundantes para capturar la complejidad de los patrones.

### **2.3.4 Desafíos en el aprendizaje**

A pesar de sus capacidades, el AA enfrenta desafíos como errores de predicción debido al sesgo y la variabilidad en los datos. Además, el sobreajuste ocurre cuando el modelo aprende demasiado bien de los datos de entrenamiento, incluyendo el ruido, mientras que el subajuste es cuando el modelo es demasiado simple para capturar la complejidad de los datos. Abordar estos desafíos requiere un análisis cuidadoso y ajustes continuos para mejorar la precisión y confiabilidad de los algoritmos.

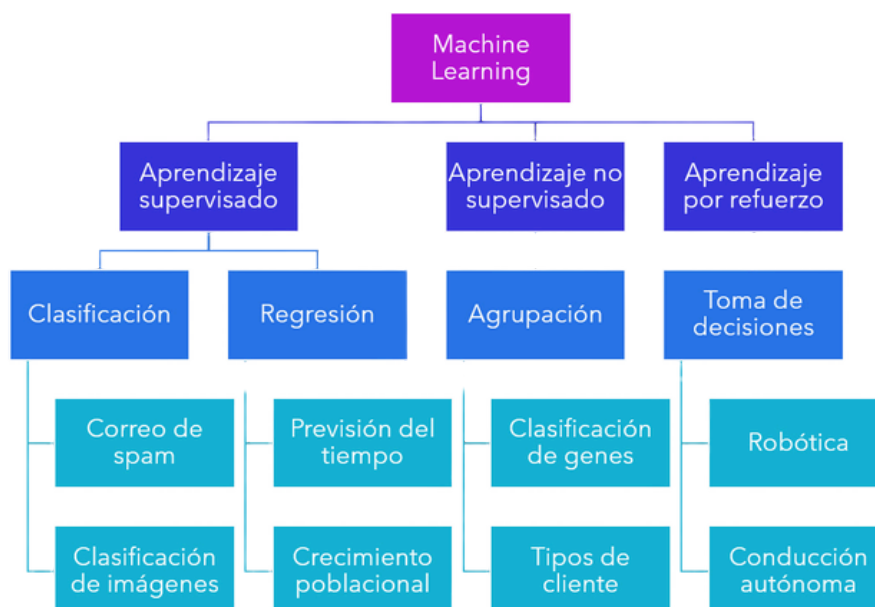


Figura 4. Tipos de Machine Learning y ejemplos prácticos.

El aprendizaje automático es una herramienta poderosa que permite a las máquinas aprender de los datos y tomar decisiones informadas. Sus aplicaciones en biotecnología están impulsando innovaciones en genómica, diseño de fármacos, diagnóstico médico y agricultura. Comprender los diferentes tipos de AA y su funcionamiento es esencial para aprovechar al máximo su potencial en la investigación y el desarrollo biotecnológico.

### 3. Desafíos y consideraciones éticas en la aplicación de inteligencia artificial y aprendizaje automático en biotecnología

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) en biotecnología ofrece oportunidades inmensas, pero también presenta numerosos desafíos técnicos y éticos. Uno de los principales retos es la calidad y cantidad de datos disponibles, que son a menudo heterogéneos y no estructurados, complicando su recolección y procesamiento (Amodei et al., 2016).

El preprocesamiento de datos es esencial para limpiar, normalizar y eliminar ruido, garantizando que los modelos de AA produzcan resultados precisos. La elección del modelo adecuado también es fundamental, ya que cada algoritmo tiene sus propias ventajas y limitaciones. Además, la interpretabilidad de los modelos es un desafío importante, especialmente en biotecnología (Topol, 2019), donde es importante entender cómo y por qué se toman ciertas decisiones. La capacidad de generalizar a datos no vistos previamente es vital para evitar el sobreajuste. Además de estos desafíos técnicos, existen importantes consideraciones éticas, como la privacidad de los datos, el consentimiento informado, la mitigación de sesgos y la responsabilidad en las decisiones tomadas por los modelos. La transparencia en el desarrollo y uso de algoritmos y la educación continua en principios éticos y técnicos son esenciales para una implementación responsable y efectiva de estas tecnologías en biotecnología.

#### 4. Futuro de la inteligencia artificial y aprendizaje automático en biotecnología

La inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA) están posicionados para transformar la biotecnología en las próximas décadas. Estas tecnologías no solo optimizarán procesos existentes, sino que también abrirán nuevas fronteras en la ciencia y la tecnología. Entre las tendencias emergentes se encuentran la automatización total de laboratorios mediante sistemas robóticos inteligentes, la medicina personalizada basada en análisis genéticos, y mejoras en herramientas de edición genética como CRISPR. Además, la bioinformática avanzada y la colaboración interdisciplinaria serán esenciales para abordar problemas complejos y desarrollar nuevos paradigmas científicos.



Figura 5. Imagen generada por inteligencia artificial generativa con la tecnología DALL E 3 (OpenAI).

#### 5. Impacto potencial y visión a largo plazo

El impacto de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en biotecnología será vasto. Estas tecnologías mejorarán la eficiencia de la investigación, reducirán costos y acelerarán descubrimientos, desde el desarrollo de nuevos fármacos hasta la optimización de prácticas agrícolas. En biología sintética, podrán diseñar organismos con funciones específicas, como la producción de biocombustibles. Además, la integración de estas tecnologías con otras disciplinas científicas permitirá abordar problemas desde múltiples perspectivas, fomentando la innovación. La ética y la transparencia serán esenciales para asegurar que estas innovaciones beneficien a toda la sociedad, mientras que la educación y la capacitación prepararán a la próxima generación de científicos para un futuro donde la IA y el AA son herramientas comunes.

#### Referencias

- Collins, F. S., & Venter, J. C. (2001). The Human Genome Project. *Science*, 291(5507), 1304-1351. doi:10.1126/science.1058040.
- Shendure, J., & Ji, H. (2008). Next-generation DNA sequencing. *Nature Biotechnology*, 26(10), 1135-1145. doi:10.1038/nbt1486.
- Rigden, D.J. and Fernández, X.M. The 2024 Nucleic Acids Research database issue and the online molecular biology database collection. *Nucleic Acids Research*, 2024, 52, D1-D9

Stephens, Z. D., Lee, S. Y., Faghri, F., Campbell, R. H., Zhai, C., Efron, M. J., ... & Robinson, G. E. (2015). Big Data: Astronomical or genetical?. *PLoS Biology*, 13(7), e1002195. doi:10.1371/journal.pbio.1002195

Bhatt, V.D., Patel, M., Joshi, C.G. (2018). An Insight of Biological Databases Used in Bioinformatics. In: Wadhwa, G., Shanmughavel, P., Singh, A., Bellare, J. (eds) *Current trends in Bioinformatics: An Insight*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7483-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7483-7_1)

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. doi:10.1038/nature14539.

Ching, T., Himmelstein, D. S., Beaulieu-Jones, B. K., Kalinin, A. A., Do, B. T., Way, G. P., ... & Greene, C. S. (2018). Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. *Journal of The Royal Society Interface*, 15(141), 20170387. doi:10.1098/rsif.2017.0387.

Amodei, D., Olah, C., Steinhardt, J., Christiano, P., Schulman, J., & Mané, D. (2016). Concrete problems in AI safety. *arXiv preprint arXiv:1606.06565*.

Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44-56. doi:10.1038/s41591-018-0300-7.

OpenAI. (2024). Imagen de biotecnología e inteligencia artificial [Imagen generada por IA]. DALL-E 3. <https://www.openai.com/dall-e-3>

## Cita

Velázquez-Lizárraga, A. E., Ríos González, L. J., & Reyes-Alvarado, A. G. (2024). Revolución biotecnológica con inteligencia artificial y aprendizaje automático. *Biotechnológica Magazine*, 2(5), 8-15. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14089110>

# Los fitoplasmas patógenos vegetales difíciles de cultivar, un reto para su identificación y control

María Goretty Caamal-Chan\*1, Abraham Loera-Muro1, Arevik Poghosyan2\*

1CONAHCYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, BCS, C.P. 23096, México.

2Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, BCS, C.P. 23096, México.

\*Autor de correspondencia: \*mcaamal@cibnor.mx

**Tema:** Las enfermedades en plantas impactan la producción de alimentos y generan pérdidas económicas. Las plantas enfermas con el patógeno bacteriano conocido como fitoplasma presentan síntomas particulares como la filodia en las flores en algunos cultivos. La investigación sobre fitoplasmas tiene una larga historia, acompañado de grandes retos al tratarse de un patógeno que es complicado de cultivar en medio axénico.

## 1. Introducción

### 1.1 Las plantas también se enferman

La enfermedad puede definirse como un desequilibrio del funcionamiento normal de los procesos fisiológicos, causados por agentes bióticos (infecciosos) y abióticos (no infecciosos: nutricionales, ambientales, etc.). En el caso de enfermedades de las plantas, el agente causal o patógeno (organismo vivo), puede ser un hongo, un virus, una bacteria, un nematodo o una planta parásita. Un agente infeccioso es capaz de reproducirse dentro o sobre su huésped y propagarse.

Existen tres factores importantes que contribuyen al desarrollo de enfermedad: 1) el huésped susceptible, 2) el patógeno virulento y 3) ambiente favorable (Fig. 1). A esto se le conoce como triángulo de la enfermedad; la enfermedad aparece cuando los tres factores ocurren simultáneamente (Agrios, 2001).

La identificación del patógeno y el diagnóstico temprano de las enfermedades vegetales son vitales para la formulación e implementación de medidas rápidas de control. Esto minimiza la propagación de las enfermedades y reduce las pérdidas económicas causadas por ellas.

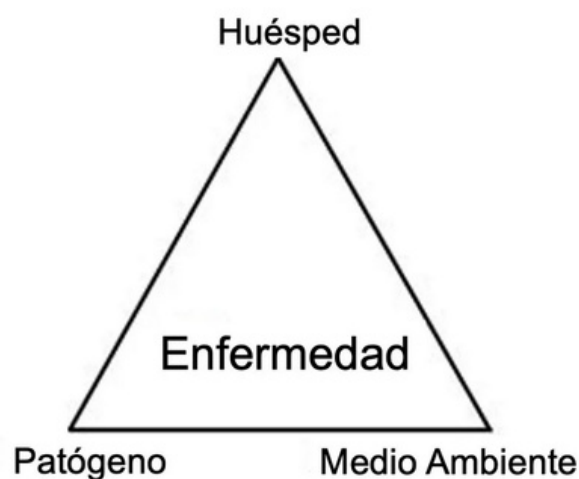


Figura 1. Triángulo de la enfermedad.

### 2. ¿De dónde surgen las bacterias patógenas de las plantas?

La evolución de las plantas ha ido acompañada de la evolución de microbios beneficiosos y patógenos, esto es reflejado en las continuas asociaciones actuales, que van desde el parasitismo hasta el mutualismo (Delaux y Schornack, 2021). Las bacterias se encuentran entre los microorganismos que colonizan a las plantas como parte de su microbiota (comunidad de microorganismos que habitan un organismo).

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares de un tamaño de 1-2  $\mu\text{m}$ . Su material genético (ADN), no está encerrado por una membrana nuclear. Las bacterias se reproducen mediante el proceso asexual conocido como "fisión binaria" o "fisión" (una célula se divide en dos). Se transmiten a una planta por medio del agua, insectos, animales (roedores) y por medio del hombre. Las bacterias pueden entrar a la planta a través de aberturas naturales: estomas, lenticelas y también por heridas en hojas, tallos o raíces, o ser introducidas por ciertos insectos fitófagos (que se alimentan de material vegetal) (Perilla-Henao y Casteel, 2016).

Cuando la microbiota de una planta está en equilibrio (homeostasis) hay un rango normal de abundancia y composición de las comunidades de microorganismos que la componen, entonces se dice que está en eubiosis (plantas sanas). Por el contrario, si la eubiosis se altera, ya sea por estrés abiótico o infecciones, la homeostasis puede cambiar en la mayoría de los casos hacia un estado disbiótico asociado con impacto negativo en la salud de las plantas (Paasch y Yang, 2021).

La evolución del patógeno vegetal incluye factores como, la interacción con múltiples especies de plantas, otros organismos y el medio ambiente. En la agricultura se emplean: 1) monocultivos con una carga genética desfavorable (un costo de la selección durante la domesticación); 2) se tienen áreas extensas de una sola variedad de cultivo (una pérdida de diversidad); 3) se introducen cultivos en áreas fuera de su origen. Estos factores, favorecidos por la agricultura, ejercen una fuerte selección artificial entre los microorganismos que

interaccionan con la planta, al restringir su rango de plantas huésped y adaptarse a un solo cultivo (Malmstrom et al., 2022). Por ejemplo, se sabe que el ancestro de la bacteria patógena *P. syringae* pv. *antirrhini* (Pan) no era un patógeno de la planta boca de dragón, pero completó el salto al poder emplear dicha planta como huésped gracias a una evolución aún desconocida obteniendo patogenicidad (Monteil et al., 2013).

## 2.1 Enfermedades de las plantas causadas por bacterias

Una de las revistas especializada en estudios moleculares sobre microorganismos patógenos en las plantas, "Molecular Plant Pathology", convocó a los especialistas a realizar un listado de las bacterias patógenas científica y económicamente más importantes. Así surgió el listado y un artículo científico de revisión nombrado "Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology/Las 10 principales bacterias patógenas en patología molecular de plantas" publicado en el año 2012 (Mansfield et al., 2012).

La lista incluye nombres como: (1) *Pseudomonas syringae* (enferma tomate); (2) *Ralstonia solanacearum* (enferma tomate, tabaco, berenjena y algunas plantas ornamentales); (3) *Agrobacterium tumefaciens* (empleada como herramienta para la transformación genética de plantas); (4) *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (enferma arroz); (5) *Xanthomonas campestris* *pathovares* (varios cultivos de importancia agronómica); (6) *Xanthomonas axonopodis* *pathovares* (varios cultivos de importancia agronómica);

(7) *Erwinia amylovora* (manzana, pera, membrillo, mora, frambuesa y muchas plantas ornamentales como la rosáceas silvestres y cultivadas); (8) *Xylella fastidiosa* (vid, cítricos y almendros); (9) *Dickeya* (*dadantii*, *solani*, violetas y papas); y (10) *Pectobacterium carotovorum* (y *Pectobacterium atrosepticum*) (papa).

Debido a lo limitado de esta revisión del “Top 10” quedaron fuera muchos patógenos importantes como *Clavibacter michiganensis* (*michiganensis* y *sepedonicus*), *Pseudomonas savastanoi* y *Candidatus Liberibacter* (pv. *asiaticus*), o también otros que por ser diferentes no han sido bien estudiados como es el caso de fitoplasma.

## 2.2 Bacterias diferentes

### 2.2.1 Clase Mollicutes: micoplasmas y fitoplasmas

Durante mucho tiempo un grupo de enfermedades muy dañinas en varias plantas con los síntomas como amarillamiento o clorosis foliar, reducción y arrugación de hojas, pérdida del color normal de los pétalos, etc. y transmisión a través de insectos (chicharritas), eran consideradas enfermedades de origen viral. Sin embargo, Doi et al. (1967) a través de microscopia electrónica de transmisión (“Transmission electron microscopy”, TEM) de tejido de tubos cribosos provenientes de plantas enfermas con dichos síntomas descubrieron bacterias pleomórficas y sin pared celular, llamando a estas entidades “organismos semejantes a micoplasmas” (“Mycoplasma like organisms”, MLO) debido a su parecido con los micoplasmas humanos y animales por su ultraestructura y morfología (Bertaccini y Duduk, 2009).

Después del logro de los japoneses (Doi et al., 1967) los investigadores detectaron fitoplasmas en diferentes plantas con los síntomas de amarillamiento a través de métodos de microscopía electrónica de transmisión y barrido (Fig. 2).

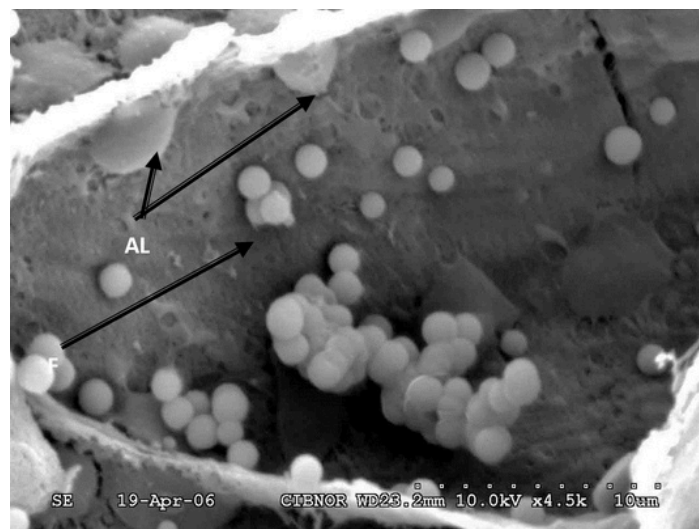


Figura 2. Imagen elaborada por microscopía electrónica de barrido de tejido de plantas de *Capsicum annuum* (Chile). Flechas negras indican almidón (AL) o fitoplasma (F) (Lebsky y Poghosyan, 2014).

El siguiente paso consistía en aislar esta bacteria para su estudio. Sin embargo, los esfuerzos de cultivarlos en medios artificiales durante años no rindieron buenos resultados (McCoy, 1989; Lee et al., 2000). Aún en nuestros días existe consenso sobre la dificultad y casi imposibilidad de su aislamiento (Wein y Zhao, 2022; Wang et al., 2024). La dificultad reside en que los MLO como patógenos intracelulares obligados, se reproducen sólo en tejidos del floema con alto contenido de azúcares y con presión osmótica adecuada, por eso para su aislamiento y cultivo necesitan condiciones específicas que cubran sus demandas nutricionales.

No obstante, varios grupos de investigación se dedicaron a trabajar en el aislamiento de esta bacteria. En 1972 un grupo de científicos en el Instituto de Microbiología y Virología en Kiev, Ucrania, lograron elaborar un medio (SMIMB-72 o Skripal Malinovskaya Instituto Microbiologia y Virologia, en ruso) y una técnica especial para aislamiento y cultivo de MLO (Skripal y Malinvskaya, 1984 a y b). En este medio se obtuvieron más de 100 aislados de diferentes plantas con los síntomas de amarillamiento en Ucrania y varias repúblicas de la ex-Unión Soviética (Fig. 3 a y b) (Poghosyan y Lebsky, 2004). Se logró mostrar su diferencia con bacterias, aplicando métodos morfológicos, bioquímicos y serológicos, así como su resistencia a varios grupos de antibióticos. Las publicaciones de Skripal et al. (1984) se encuentran en idioma ruso complicando ser atendidas adecuadamente en su tiempo en “IRPCM Phytoplasma/Spiroplasma Working Group”.

Son contados los éxitos de cultivar fitoplasma, por lo que por años su detección y caracterización ha dependido de las observaciones de microscopía. Sin embargo, se sabe que un organismo, aunque en apariencia parezca ser una especie (fenotipo) a nivel del genoma puede ser otra completamente diferente (Wei y Zhao, 2022); la dificultad de cultivar estos organismos utilizó la taxonomía para su identificación.

### 3. Taxonomía de fitoplasmas.

La taxonomía se define más comúnmente en biología como la rama de la ciencia, que nombra y clasifica organismos basándose en propiedades compartidas. La taxonomía puede basarse en cualquier combinación de propiedades. Los biólogos ahora están de acuerdo en que la taxonomía debe basarse en las relaciones evolutivas como la forma natural de organizar los organismos. Debido a que las propiedades fenotípicas, la mayoría de las veces, no revelan

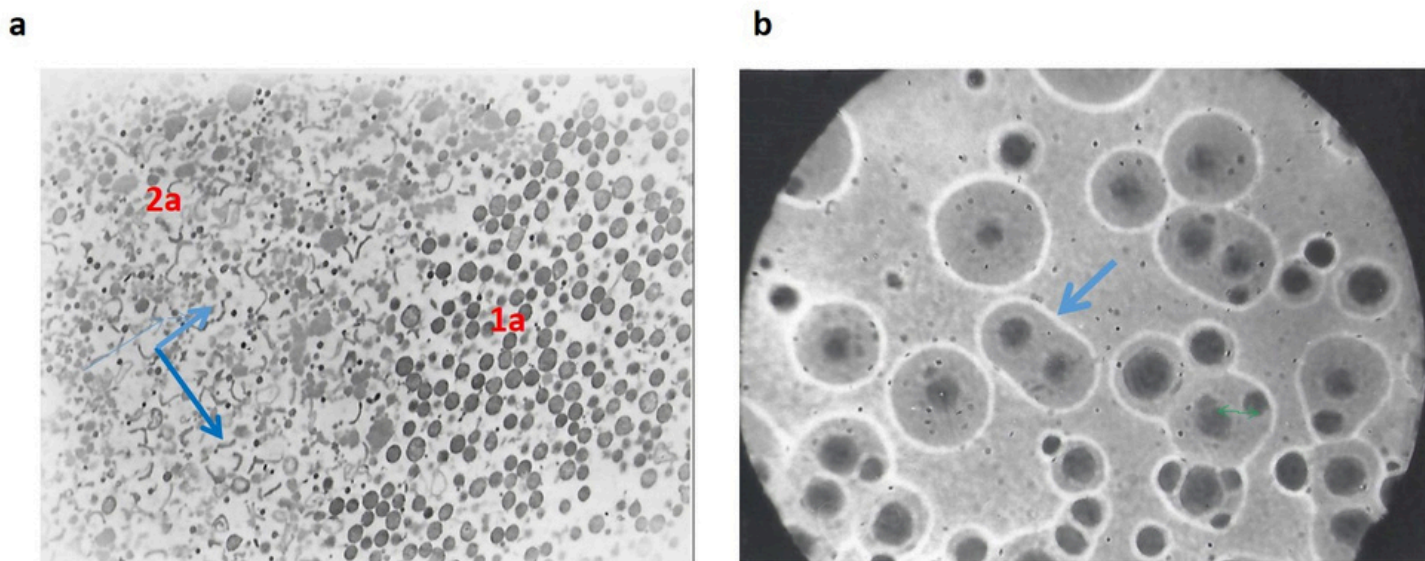


Figura 3. Fitoplasmas visualizados con microscopio. A) Células de Mollicutes en cultivo líquido de CMIMB-72 visualizados por microscopía electrónica de transmisión con cortes ultra-finos. Se observan dos tipos; sección 1 a: fitoplasmas sección 2 a: spiroplasmas (flecha azul); b) Colonias de fitoplasmas en la caja petri cultivadas en medio sólido CMIMB-72 y visualizadas con microscopía óptica. Flechas azul.- Células bacterianas en proceso de fusión binaria. (Poghosyan y Lebsky, 2004).

su ascendencia común, los taxones se organizan en un marco filogenético; en el caso de las bacterias, el gen 16S rRNA que se encuentra en el ADN es el código de barras que permite identificarlas (Hugenholtz et al., 2021).

La primera secuencia de nucleótidos del gen 16S del ARNr de un MLO fue reportado en 1989, teniendo una secuencia de firma única de este gen (>1200 bp). Este hallazgo permitió a los investigadores deducir con estudios conocidos como filogenéticos que la secuencia del gen 16S del ARNr de un MLO era distinta de los micoplasmas. Esto quiere decir que, aunque los MLO y los micoplasmas poseen una apariencia similar bajo el microscopio, a nivel del gen 16S del ARNr no son iguales (Lim y Sears, 1989; Wei y Zhao, 2022). Esto permitió establecer el nuevo estatus de MLO entre otros procariontes, al denominarlos “phytoplasma” y finalmente, designar un nuevo taxón, “Candidatus (Ca) Phytoplasma”, que los distinga claramente como un grupo monofilético dentro de la clase Mollicutes (Lim y Sears, 1989; Wei y Zhao, 2022). En 1994 según la propuesta del Comité Internacional de Sistemática (10th Congress of the International Organization for Mycoplasmalogy), se utilizó el nombre “Fitoplasma” para reemplazar a MLO (Mollicute), conocido en el ámbito taxonómico como: 1) Reino: Bacteria; 2) Phylum: Mycoplasmatota; 3) Clase: Mollicutes; 4) Orden: Acholeplasmatales; Familia: Acholeplasmataceae Género: 'Candidatus Phytoplasma' (Firrao et al. 2004).

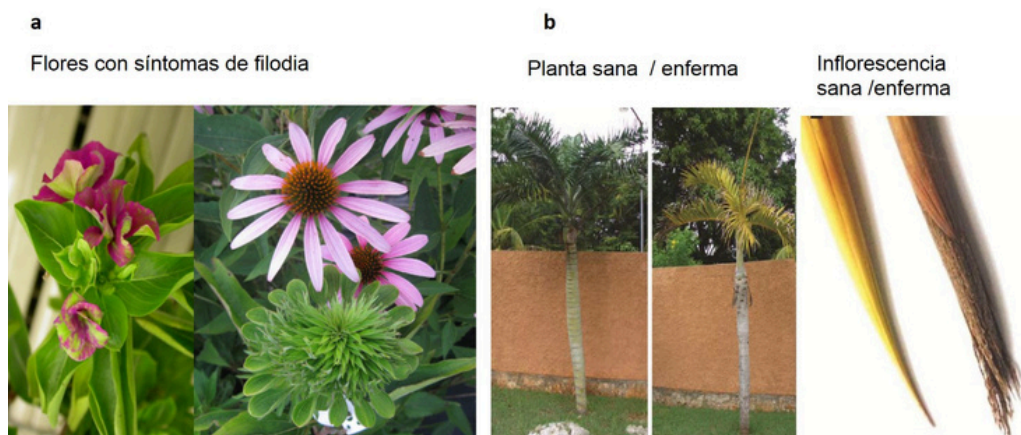
Hasta ahora, los fitoplasmas están incluidos en al menos dieciséis grupos ribosómicos (16S ARNr) diferentes que infectan cultivos de hortalizas. Por ejemplo, el grupo de fitoplasmas amarillamiento del aster (16Srl) es actualmente el predominante, seguido por la escoba de bruja del maní (16SrlII) (Kumari et al., 2019; Wei y Zhao, 2022; Kirdat et al., 2023).

### 3.1 Descubriendo el genoma de los fitoplasmas.

La información sobre la secuencia del genoma de los fitoplasmas es esencial para seguir avanzando en su taxonomía. Dado que aún no se ha logrado el cultivo de fitoplasmas axénico, las muestras de ADN para la secuenciación de su genoma, generalmente se preparan a partir de plantas infectadas. Como el ADN de la planta es el componente mayoritario en las preparaciones de ADN genómico de los fitoplasmas, existe el riesgo de contaminación con el ADN de la planta en el proceso de ensamblaje y mapeo del genoma. El primer genoma completamente secuenciado fue del *Candidatus Phytoplasma asteris* publicado en 2004 por un grupo japonés; desde entonces, y a través de diversas tecnologías de secuenciación y ensamblajes comparativos de genomas, se han logrado obtener 27 genomas completos (Wang et al., 2024).

Ahora se sabe que los fitoplasmas liberan proteínas dentro de la planta que infectan, para debilitar su sistema inmune y promover su acumulación. Sin embargo, otras proteínas de los fitoplasmas atraen insectos que se alimentan de las plantas infectadas (actuando como vectores o transportadores de la enfermedad) para así poder aumentar la capacidad de reproducción del insecto, contribuyendo a la transmisión de los fitoplasmas.

Figura 4. Síntomas debido a una infección por fitoplasma. a) Síntoma de filodia en flores flores (Bertaccini y Duduk, 2009); b) Síntomas en hojas e inflorescencia de palmas (Vázquez-Euán et al., 2011).



Finalmente, otras proteínas de los fitoplasmas provocan cambios en la forma de las plantas (Oshima et al., 2004; Varghese et al., 2015; Wang et al., 2024). A pesar de los avances aún se tiene mucho por descubrir de estos microorganismos.

#### 4. Los fitoplasmas pueden estar en tu jardín.

Basados en los síntomas, el insecto vector del patógeno y la identificación a nivel taxonómico empleando el 16S rRNA, se sabe que los fitoplasmas han dañado más de 1,000 especies de plantas. Cuatro de los cultivos alimentarios mas importantes: trigo, arroz, maíz y soja, son susceptibles a las infecciones de fitoplasmas. Entre las verduras afectadas por estos agentes patógenos se incluyen: el tomate, el pimiento, la batata, la patata, la zanahoria y la lechuga. Frutas como la fresa, la uva, la manzana, la pera, el albaricoque, la ciruela, el azufaifo, el olivo y el coco son otras plantas afectadas. La lista incluye árboles maderables, plantas ornamentales e incluso maleza (Wang et al., 2024).

Dado que los fitoplasmas están ampliamente distribuidos, los podemos encontrar en las flores del jardín, en la palma de coco de una playa, entre otras muchísimas plantas. Así que recuerda, cuando observes síntomas anormales en tu planta como: filodia en flores (coloración verde) o pétalos con apariencia de hojas (Fig. 4a), o palmas con hojas reducidas y amarillas, con la inflorescencia emergente decolorada (Fig. 4b), es posible que estas frente a una planta que está infectada con fitoplasma.

#### Referencias

- Agrios, G. N. (2001). *Fitopatología*. 2da. Edición. Editorial Limusa. México. DF.
- Bertaccini, A. y Duduk B. (2009) Phytoplasma and phytoplasma diseases: a review of recent research. *Phytopathology .Mediterranea*, 48, 355-378.
- Cui, W., Quiroga, N., Curkovic, S. T., Zamorano, A., & Fiore, N. (2019). Detection and identification of 16SrXIII-F and a novel 16SrXIII phytoplasma subgroups associated with strawberry phyllody in Chile. *European journal of plant pathology*, 155, 1039-1046.
- Delaux & Schornack. (2021). Plant evolution driven by interactions with symbiotic and pathogenic microbe. *Plant Science*, 796.
- Doi, Y. O. J. I., Teranaka, M., Yora, K., & Asuyama, H. (1967). Mycoplasma-or PLT group-like microorganisms found in the phloem elements of plants infected with mulberry dwarf, potato witches' broom, aster yellows, or paulownia witches' broom. *Japanese Journal of Phytopathology*, 33(4), 259-266.
- Hugenholtz, P., Chuvochina, M., Oren, A., Parks, D. H., & Soo, R. M. (2021). Prokaryotic taxonomy and nomenclature in the age of big sequence data. *the ISME Journal*, 15(7), 1879-1892.
- Kirdat, K., Tiwarekar, B., Sathe, S., & Yadav, A. (2023). From sequences to species: Charting the phytoplasma classification and taxonomy in the era of taxogenomics. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1123783.

- Kumari, S., Nagendran, K., Rai, A. B., Singh, B., Rao, G. P., & Bertaccini, A. (2019). Global status of phytoplasma diseases in vegetable crops. *Frontiers in Microbiology*, 10, 441347.
- Lim, P. O., & Sears, B. B. (1989). 16S rRNA sequence indicates that plant-pathogenic mycoplasma-like organisms are evolutionarily distinct from animal mycoplasmas. *Journal of Bacteriology*, 171(11), 5901-5906.
- Malmstrom, C. M., Martin, M. D., & Gagnevin, L. (2022). Exploring the emergence and evolution of plant pathogenic microbes using historical and paleontological sources. *Annual Review of Phytopathology*, 60, 187-209.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., ... & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 13(6), 614-629.
- Monteil C., Cai, R. Liu, H., Mehan L., Leman, S., Studholme, D., Morris, C., Vinatzer, B. (2013). Nonagricultural reservoirs contribute to emergence and evolution of *Pseudomonas syringae* crop pathogens. *New Phytologist*, 199: 800-811.
- Oshima, K., Kakizawa, S., Nishigawa, H., Jung, H. Y., Wei, W., Suzuki, S., ... & Namba, S. (2004). Reductive evolution suggested from the complete genome sequence of a plant-pathogenic phytoplasma. *Nature genetics*, 36(1), 27-29.
- Paasch, B. & Yang, H. (2021). Toward understanding microbiota homeostasis in the plant kingdom. *PLoS Pathogens*, 17 (4).
- Poghosyan, A, V. Lebsky, R. Rojas-Martínez, C. Oropeza-Salín, M. Narváez-Cab, I. Córdova-Lara. 2019. Fitoplasmas y su estudio en México. pp. 30-70. En Libro: "Biodiversidad de microorganismos de México. Importancia, aplicación y conservación", 688 pp. UNAM, 1-a edición electrónica. ISBN:978-607-30-1596-711.
- Poghosyan, A., Lebsky V. 2004. Aislamiento y estudio ultraestructural de tres cepas de fitoplasmas causantes de enfermedad tipo Stolbur en Solanacea. *Fitopatología Colombiana*, 48:21-30.
- Vázquez-Euán, R., Harrison, N., Narvaez, M., & Oropeza, C. (2011). Occurrence of a 16SrIV group phytoplasma not previously associated with palm species in Yucatan, Mexico. *Plant Disease*, 95(3), 256-262.
- Wang, R., Bai, B., Li, D., Wang, J., Huang, W., Wu, Y., & Zhao, L. (2024). Phytoplasma: A plant pathogen that cannot be ignored in agricultural production—Research progress and outlook. *Molecular Plant Pathology*, 25(2), e13437.
- Wei, W., & Zhao, Y. (2022). Phytoplasma taxonomy: Nomenclature, classification, and identification. *Biology* 11: 1119.
- Woese, C. R., & Fox, G. E. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(11), 5088-5090.
- Zuckerandl, E., & Pauling, L. (1965). Molecules as documents of evolutionary history. *Journal of theoretical biology*, 8(2), 357-366.

## Cita:

Caamal-Chan, M. G., Loera Muro, A., & Poghosyan, A. (2024). Los fitoplasmas patógenos vegetales difíciles de cultivar, un reto para su identificación y control. *Biotecnológica Magazine*, 2(5), 16-22.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14089194>

## Usos o funciones del colágeno en los alimentos

José Ramón Antunez-Medina<sup>1</sup>, Guadalupe Miroslava Suárez-Jiménez<sup>1</sup>, Wilfrido Torres-Arreola<sup>1</sup>, Víctor Manuel Ocaño-Higuera<sup>2</sup> y Enrique Márquez-Ríos<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro Hermosillo, Sonora, México

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro Hermosillo, Sonora, México

<sup>\*</sup>Autor para correspondencia: Enrique Márquez Ríos  
Correo electrónico: enrique.marquez@unison.mx

**Tema:** El presente artículo de divulgación tiene como objetivo brindar un panorama general sobre el colágeno y su potencial uso o funciones que pudiera tener en la industria alimentaria.

### Introducción

Se sabe que en los alimentos hay una gran variedad de proteínas, las cuales tienen diferentes roles en los diferentes tejidos u órganos donde se encuentre. De acuerdo a su solubilidad éstas pueden clasificarse en diferentes grupos, como por ejemplo: proteínas sarcoplásmicas (solubles en agua), proteínas miofibrilares (solubles en soluciones salinas de alta fuerza iónica) y por último, proteínas estromales (insolubles a cualquier fuerza iónica). Cada una de estas fracciones proteicas varían en proporción dependiendo del tejido o fuente proteica (Badui, 2006). Las proteínas estromales están compuestas principalmente por elastina, reticulina y colágeno. Siendo este último el componente que está en mayor proporción. El colágeno, gracias a su estructura, composición y características fisicoquímicas puede tener una amplia aplicación en diferentes áreas, como la medicina, farmacéutica, cosmetología e industria alimentaria. Esto ha despertado el interés de diversos grupos de investigación alrededor del mundo, ya que, se sabe que existen diferentes tipos de colágeno, los cuales varían en su estructura primaria, por ende, pre-

sentan diferencias en sus estructuras secundarias y terciarias. Estas diferencias brindan características fisicoquímicas distintas, las cuales deben ser estudiadas para poder determinar los posibles usos que pudieran tener los distintos tipos de colágenos.

### ¿Qué es el colágeno?

El colágeno es la proteína estructural más abundante en los seres vivos, representando alrededor del 30 % del total de proteínas y se puede encontrar en la piel, tendones, huesos, cartílagos y ligamentos, entre otros tejidos y órganos (Tang et al., 2022). Hasta el momento, se han identificado y descrito alrededor de 28 tipos de colágeno, encontrando en mayor proporción al colágeno tipo I, que es el componente principal de tendones, ligamentos y huesos; el tipo II, representa más del 50 % de la proteína del cartílago y también está presente en las articulaciones; el tipo III se caracteriza por fortalecer las paredes de estructuras huecas, como las arterias, el intestino y el útero; mientras que el tipo IV se encuentra formando la lámina basal de los epitelios y proporciona el filtro para los capilares sanguíneos y los glomérulos de los riñones (Meisenberg y Simmons, 2016).

En la **Tabla 1.** se describen los 28 diferentes tipos de colágeno que se encuentran en los animales y el tipo de función que realizan.

**Tabla 1.** Características y estructuras de los diferentes tipos de colágeno

| Tipo | Composición                                                                      | Distribución Tisular                                                     | Funciones                                                                                                                                             |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I    | $\alpha 1(I)2, \alpha 2(I)$                                                      | Hueso, córnea, piel, tendón, ligamento                                   | Fibra de soporte                                                                                                                                      |
| II   | $\alpha 1(II)$                                                                   | Cartílago hialino, cuerpo vitreo, disco intervertebral                   | Fibra de soporte                                                                                                                                      |
| III  | $\alpha 1(III)$                                                                  | Piel, vasos sanguíneos, músculos, órganos internos                       | Fibra de soporte                                                                                                                                      |
| IV   | $[\alpha 1(IV)]3;$<br>$[\alpha 2(IV)]3;$<br>$[\alpha 1(IV)]2,$<br>$\alpha 2(IV)$ | Membrana basal                                                           | Andamio reticular, control de células multifuncionales, sitio de unión                                                                                |
| V    | $[\alpha 1(V)]2, \alpha 2(V)$                                                    | Mayoría de los tejidos, presente en el colágeno tipo I, fibra de soporte | Fibra de soporte y propiedades mecánicas de la fibra                                                                                                  |
| VI   | $\alpha 1(VI), \alpha 2(VI),$<br>$\alpha 3(VI)$                                  | Mayoría de los tejidos, incluyendo al cartílago                          | Forma enlaces covalentes con las fibrillas del colágeno tipo I, fibra de soporte                                                                      |
| VII  | $[\alpha 1(VII)]3$                                                               | Membranas basales en la dermis, útero, vejiga y esófago                  | Adhesión de la lámina a las fibras del tejido conjuntivo                                                                                              |
| VIII | $[\alpha 1(VIII)]2,$<br>$\alpha 2(VIII)$                                         | Formado por células endoteliales                                         | Facilita el movimiento de las células endoteliales durante la angiogénesis                                                                            |
| IX   | $\alpha 1(IX), \alpha 2(IX),$<br>$\alpha 3(IX)$                                  | Sobre la superficie de colágeno tipo II en el cartílago                  | Estabiliza la red de fibras de colágeno tipo II del cartílago por interacción con moléculas de proteoglucanos en sus intersecciones                   |
| X    | $[\alpha 1(X)]3$                                                                 | Cartílago en calcificación                                               | Contribuye al proceso de mineralización ósea para formar redes que permiten organizar a los colágenos tipo II, IX y XI dentro del cartílago           |
| XI   | $\alpha 1(XI), \alpha 2(XI),$<br>$\alpha 3(XI)$                                  | Cartílago                                                                | Regulador del tamaño de las fibras de colágeno tipo II y es indispensable para las propiedades cohesivas de la matriz cartilaginosa                   |
| XII  | $[\alpha 1(XII)]3$                                                               | Sobre la superficie de las fibrillas de colágeno tipo I en el cartílago  | Sobre la superficie de las fibrillas de colágeno tipo I, junto con los colágenos tipo V y XIV para modular las propiedades biomecánicas de las fibras |

|        |                        |                                                                                      |                                                                                                                                                 |
|--------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| XIII   | [ $\alpha$ 1(XIII)]3   | Colágeno minoritario en la piel y en el intestino                                    | Asociado con la lámina basal junto con el colágeno tipo VII                                                                                     |
| XIV    | [ $\alpha$ 1(XIV)]3    | Igual que el tipo XII                                                                | Modula las propiedades biomecánicas de las fibras y tiene la propiedad de mediar la adherencia célula-célula                                    |
| XV     | [ $\alpha$ 1(XV)]3     | Capilares, testículos, riñón y corazón                                               | Adhesión de la lámina basal al tejido conjuntivo subyacente                                                                                     |
| XVI    | [ $\alpha$ 1(XVI)]3    | Dermis y riñón                                                                       | Contribuye a la integridad estructural del tejido conjuntivo                                                                                    |
| XVII   | [ $\alpha$ 1(XVII)]3   | Hemidesmosomas de la piel                                                            | Interacciona con las integrinas para estabilizar la estructura del hemidesmosoma                                                                |
| XVIII  | [ $\alpha$ 1(XVIII)]3  | Hígado, riñón, músculo esquelético                                                   | Representa un proteoglucano de heparansulfato de la membrana basal que se cree que inhibe la proliferación celular endotelial y la angiogénesis |
| XIX    | [ $\alpha$ 1(XIX)]3    | Membrana basal                                                                       | Participa en la angiogénesis                                                                                                                    |
| XX     | [ $\alpha$ 1(XX)]3     | Epitelio de la córnea, tendón y en el cartílago esternal                             | Unión a otras fibras de colágeno                                                                                                                |
| XXI    | [ $\alpha$ 1(XXI)]3    | Encías, músculo cardíaco y esquelético y otros tejidos con fibras de colágeno tipo I | Fibra de soporte y estructural                                                                                                                  |
| XXII   | [ $\alpha$ 1(XXII)]3   | Matriz extracelular                                                                  | Fibra de soporte, estructural e influye en las interacciones epitelio-mesenquimatosas                                                           |
| XXIII  | [ $\alpha$ 1(XXIII)]3  | Matriz extracelular                                                                  | Interactúa con los tipos de colágeno tipo XII y XXV                                                                                             |
| XXIV   | [ $\alpha$ 1(XXIV)]3   | Hueso en desarrollo y en la cornea                                                   | Regula la fibrogénesis del colágeno tipo I durante el desarrollo fetal                                                                          |
| XXV    | [ $\alpha$ 1(XXV)]3    | Cerebro                                                                              | Se expresa en exceso en las neuronas                                                                                                            |
| XXVI   | [ $\alpha$ 1(XXVI)]3   | Matriz extracelular                                                                  | Fibra de soporte, estructural y de regulación                                                                                                   |
| XXVII  | [ $\alpha$ 1(XXVII)]3  | Cartilago hialino                                                                    | Desarrollo y mantenimiento de los cartílagos articulares                                                                                        |
| XXVIII | [ $\alpha$ 1(XXVIII)]3 | Matriz extracelular                                                                  | Fibra de soporte                                                                                                                                |

Fuente: Zhou et al., 2023; Meisenberg y Simmons, 2016; Ross y Pawlina, 2020

La estructura del colágeno (**Figura 1**) es fibrosa y consta de una triple hélice denominada tropocolágeno. Cada hélice está compuesta por una cadena de aproximadamente 100 kDa, con alrededor de 1000 residuos de aminoácidos de longitud (Whitford, 2008), estos aminoácidos presentan un carácter hidrofóbico e hidrofílico a la vez. Al estar compuesta de tres cadenas, suele presentar un peso molecular aproximado de 300 kDa. Lo interesante de esta proteína son los aminoácidos que están presentes en mayor proporción, que son Gly-Xaa-Yaa de manera repetitiva, en donde Gly es glicina, mientras que Xaa y Yaa pueden ser cualquier aminoácido, pero con frecuencia se trata de prolina y lisina. No obstante, mediante modificaciones postraduccionales muchos de los residuos de Lys y Pro sufren una modificación en su estructura, ya que estos se hidroxilan y se convierten en hidroxiprolina (Hyp) e hidroxilisina (Hyl) (Ramírez-Guerra et al., 2015).

### ¿Dónde se encuentra el colágeno?

Las fuentes predominantes de colágeno son las que se obtienen tradicionalmente de huesos, tendones, cartílagos y tejidos conectivos de productos bovinos, porcinos, pollos, entre otros animales terrestres (Prajaputra et al., 2024). Aunque recientemente se ha dado énfasis en la utilización de especies marinas, ya que el colágeno de esta fuente tiene una mayor biocompatibilidad, bajo costo y actividad antioxidante (Bhagwat y Dandge, 2016).

### Función en los seres vivos

En vertebrados e invertebrados, es el principal componente de la matriz extracelular y tiene como función el mantener la integridad estructural de tejidos y órganos. Por mencionar algunos ejemplos, mantiene la estructura y firmeza de la piel, así como también forma parte de tendones, cartílagos y ligamentos. Las fibras de colágeno hacen que haya cierta elasticidad y flexibilidad, por ello pueden estirarse y mantener su forma (Zhou et al., 2023).

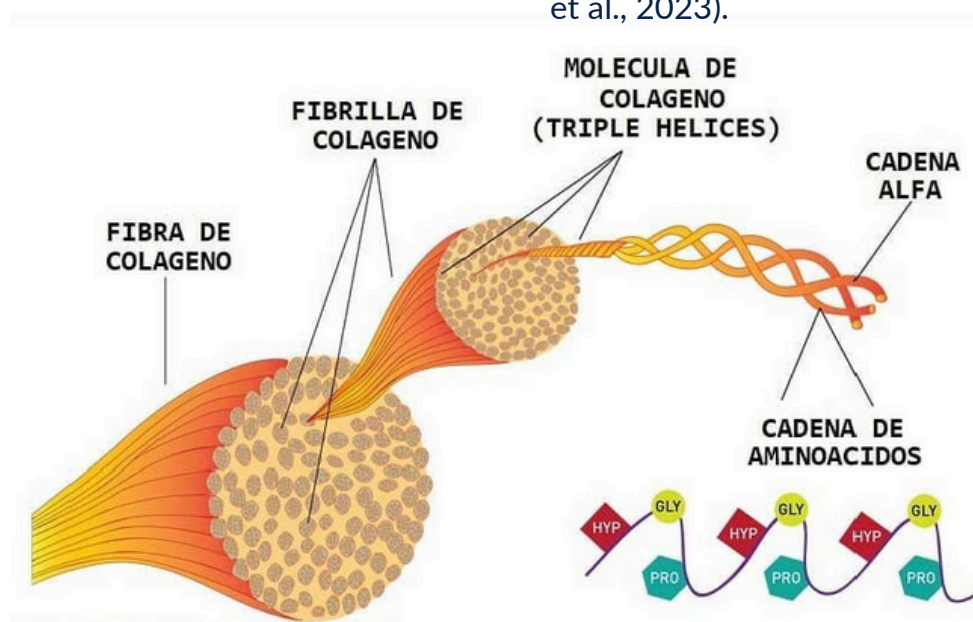


Figura 1. Estructura de la triple hélice del colágeno.

Fuente: (Meyer, 2019)

### ¿En qué alimentos se usa o podría utilizarse?

El colágeno puede utilizarse en la creación de gelatinas, merengues o aderezos, entre otros. La formación de geles o gelatinización (elaboración de gelatina), se lleva a cabo mediante la hidrólisis parcial del colágeno y la aplicación de altas temperaturas, con esto, la proteína sufre un cambio y se despliega (se desnaturaliza). Al enfriarse ésta vuelve a unirse mediante puentes de hidrógeno y otros tipos de interacciones y enlaces (Tang et al., 2022). Por sus características fisicoquímicas, puede o podría actuar como espesante y mejorador de textura en alimentos sólidos o líquidos. Debido a su composición aminoacídica y a su estructura fibrosa puede interactuar con componentes acuosos u oleosos, pudiendo entonces ser utilizado como emulgente. Uno de sus principales usos recientemente ha sido como suplemento alimentario, ya sea como colágeno hidrolizado, o bien, como péptidos de colágeno. Este uso ha cobrado gran auge, pues al ser hidrolizado su digestibilidad aumenta considerablemente. Por otro lado, se ha demostrado que los péptidos de colágeno pueden tener capacidad antioxidante (Marquez-Rios y Del-Toro-Sánchez, 2018).

### El colágeno como suplemento alimentario o alimento funcional

Hoy en día se investiga arduamente la actividad biológica de péptidos de colágeno, los cuales pueden presentar distintas bioactividades. Estos se obtienen a partir de su hidrólisis, la cual, suele llevarse a cabo mediante la acción de proteasas. Posteriormente, los péptidos se separan de acuerdo a su tamaño molecular mediante la utilización de membranas de ultrafiltración, consiguiendo así péptidos menores a 5 kDa.

Para una mejor separación esta fracción puede someterse a un proceso de filtración en gel, pudiendo separar fracciones peptídicas entre 4-10 aminoácidos (Senadheera et al., 2022). En un estudio llevado a cabo por Hernández-Ruiz et al. (2023) se obtuvieron péptidos a partir de colágeno de escamas de tilapia, los cuales presentaron capacidad antimicrobiana frente a *E. Coli*, ya que estos péptidos presentan mayormente aminoácidos hidrofóbicos permitiendo así la penetración de la membrana microbiana. En otro estudio llevado a cabo por Luo et al. (2023) se obtuvieron péptidos de colágeno marino para evaluar la capacidad de apoptosis, necrosis y autofagia, en diferentes líneas celulares de cáncer, encontrando un aumento en la apoptosis, necrosis y autofagia, esto debido a que los péptidos de colágeno presentaron una capacidad significativa para reducir los radicales libres oxidados en las células cancerosas. Por otro lado, Jiajia et al. (2024) obtuvieron péptidos a partir de colágeno de medusa, encontrando una destacada capacidad para neutralizar la formación de radicales libres y proteger así células del daño oxidativo. Estos hallazgos han llevado a una creciente investigación en este sector, hidrolizando colágeno de distintas fuentes, obteniendo péptidos de distintos tamaños, los cuales presentan diferencias en sus propiedades bioactivas.

### ¿Debo consumir colágeno como suplemento?

Se estima que debemos consumir al menos 5 g de colágeno al día, pero si el objetivo es mejorar la apariencia de la piel, entonces la recomendación asciende a 10-15 g/día, incluso hasta 30 g para personas muy activas.

Por consiguiente, una dieta que considere un consumo moderado de productos cárnicos (res, cerdo, aves y pescado) puede ser suficiente para alcanzar la ingesta adecuada de colágeno. En caso de ser vegetariano o vegano existen alternativas que ayudan a que nuestro organismo sintetice esta biomolécula, para ello es necesaria la ingesta de alimentos ricos en proteínas y minerales; como ciertas legumbres (garbanzos y lentejas), hojas verdes (espinacas y acelgas), frutas y verduras de color rojo (pimientos, frambuesas y tomates), soya (tiene todos los aminoácidos esenciales), entre otros alimentos. Por último, se puede consumir colágeno vegano, el cual, en un sentido estricto no es colágeno (el colágeno es una proteína de origen animal), sino una proteína vegetal con características parecidas que ayuda a que el organismo sintetice su propio colágeno (Nulty et al., 2024).

### **Otras áreas u oportunidades para la utilización del colágeno**

El empleo del colágeno en la medicina ha tomado relevancia recientemente. En este sentido se ha utilizado esta biomolécula como biomaterial para la regeneración ósea, ya que tiene la capacidad para brindar el soporte necesario al mezclarse con minerales como el calcio. En un estudio reciente Kolliopoulos y Harley (2024) elaboraron andamios de colágeno mineralizado, para aplicaciones de ingeniería regenerativa en la reparación de tejido óseo, en personas con defectos craneomaxilofaciales o de extremidades de tamaño crítico, que hoy en día siguen siendo un desafío. En otro estudio sobre medicina regenerativa, Li et al. (2023) exponen los métodos sobre las biotintas de colágeno que pueden ser utilizados en impresoras 3D para la

impresión de tejidos y órganos, proporcionando la imitación estructural del entorno natural del tejido y facilitando así la regeneración celular. Estas biotintas podrían ser en un futuro muy utilizadas, para crear tejidos personalizados y también reparando órganos dañados.

### **Perspectivas o tendencias futuras**

Debido a la importancia actual que está tomando el consumo o ingesta de colágeno, ya sea a partir de los alimentos o bien, como suplemento, esto ha propiciado la búsqueda de nuevas alternativas, que brinden un beneficio similar al que ofrece la ingesta de esta proteína, sobre todo para aquellas personas vegetarianas o veganas, que por su régimen alimentario no pueden obtener sus beneficios. Para este grupo de personas existe el llamado “colágeno vegetal o vegano”. Este tipo de colágeno al ser extraído de plantas contiene una gran variedad de otros componentes, como por ejemplo, ácido asiaticósido, el cual ha demostrado ser eficiente en acelerar procesos de cicatrización de la piel y proteger frente a la degradación del colágeno. Asimismo, este producto puede ser enriquecido con componentes que, al ingerirse, ayudan a la síntesis de colágeno en el organismo (Lin et al., 2024).

Por otro lado, se han desarrollado nuevas formas de obtención de colágeno, el cual puede ser consumido por vegetarianos, veganos o personas con cualquier régimen alimentario. Para ello, se hace uso de la ingeniería genética para obtener colágeno recombinante, es decir, obtención de colágeno animal utilizando células de microorganismos (Ramshaw et al., 2019) o células vegetales (Shoseyov et al., 2013). Esta forma de obtención de colágeno ha despertado el interés para su utilización en el sector farmacéutico y medicina, principalmente, manifestándose como

materiales de reparación de piel, materiales de reparación ósea, materiales de reparación de tendones, materiales hemostáticos, materiales de soporte de ingeniería de tejidos y materiales de liberación sostenida de fármacos (Guo et al., 2024).

## Conclusiones

El colágeno extraído de cualquier fuente es una biomolécula con amplio potencial en la industria alimentaria, el cual podría ser empleado para mejorar la estabilidad en diferentes tipos de alimentos, como por ejemplo, espesante de bebidas, emulgente, mejorador de textura en alimentos sólidos, entre otros posibles usos. Adicionalmente, estudios recientes del colágeno en alimentos funcionales han demostrado que esta biomolécula posee un potencial enorme, pues sus hidrolizados y/o péptidos han mostrado tener buena capacidad antioxidante. Asimismo, también se han encontrado péptidos con actividad antimicrobiana, los cuales podría ser utilizados en la industria alimentaria o en medicina. En este sentido, el colágeno, sus hidrolizados y péptidos tienen potencial para ser utilizados como biomateriales en el sector salud, debido a sus propiedades antimicrobianas y a su alta biocompatibilidad con células humanas.

## Referencias

Badui D.S. (2006). Química de los Alimentos. Ed. Pearson Educación, 4a. edición. Naucalpan de Juárez, Edo. de México.

Bhagwat, P. K., y Dandge, P. B. (2016). Isolation, characterization and valorizable applications of fish scale collagen in food and agriculture industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7, 234-240.

Guo X, Ma Y, Wang H, Yin H, Shi X, Chen Y, Gao G, Sun L, Wang J, Wang Y, Fan D. (2024). Status and developmental trends in recombinant collagen preparation technology. *Regenerative Biomaterials*. 11, rbad106.

Hernández-Ruiz, K. L., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., Campas-Baypoli, O. N., Quintero-Guerrero, A. A., De Lourdes Grijalva-Delgado, M., y Chávez-Almanza, A. F. (2023). Collagen peptide fractions from tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner, 1864) scales: Chemical characterization and biological activity. *Food Bioscience*, 53, 102658.

Jiajia Gao, Chong Ning, Mingxia Wang, Mingming Wei, Yifei Ren, y Weixuan Li (2024). Structural, antioxidant activity, and stability studies of jellyfish collagen peptide-calcium chelates. *Food Chemistry X*, 23, 101706.

Kolliopoulos, V., y Harley, B. A. (2024). Mineralized collagen scaffolds for regenerative engineering applications. *Current Opinion In Biotechnology*, 86, 103080.

Li, Z., Ruan, C., y Niu, X. (2023). Collagen-based bioinks for regenerative medicine: Fabrication, application and prospective. *Medicine In Novel Technology And Devices*, 17, 100211.

Lin, Y., Liang, C., Lin, Y., Lin, T., Vázquez, J. J., Van Campen, A., y Chiang, C. (2024). Oral supplementation of vegan collagen biomimetic has beneficial effects on human skin physiology: A double-blind, placebo-controlled study. *Journal Of Functional Foods*, 112, 105955.

Luo, Y., Zhang, Y., Zhang, T., Li, Y., Xue, H., Cao, J., Hou, W., Liu, J., Cui, Y., Xu, T., y Jin, C. (2023). Review on marine collagen peptides induce cancer cell apoptosis, necrosis, and autophagy by reducing oxidized free radicals. *Biocell*, 47(5), 965-975.

- Marquez-Rios E y Del-Toro-Sánchez CL. (2018) Antioxidant peptides from terrestrial and aquatic plants against the cancer. *Current Protein and Peptide Science*, 19(4), 368-379.
- Meisenberg, G., y Simmons, W. H. (2016). *Principles of medical biochemistry*. Elsevier Health Sciences.
- Meyer, M. (2019). Processing of collagen based biomaterials and the resulting materials properties. *BioMedical Engineering Online*, 18(1), 24.
- Nulty, C. D., Tang, J. C., Dutton, J., Dunn, R., Fraser, W. D., Enright, K., Stewart, C. E., y Erskine, R. M. (2024). Hydrolyzed collagen supplementation prior to resistance exercise augments collagen synthesis in a dose-response manner in resistance-trained, middle-aged men. *AJP Endocrinology And Metabolism*.
- Prajaputra, V., Isnaini, N., Maryam, S., Ernawati, E., Deliana, F., Haridhi, H. A., Fadli, N., Karina, S., Agustina, S., Nurfadillah, N., Arisa, I. I., Desiyana, L. S., y Bakri, T. K. (2024). Exploring marine collagen: Sustainable sourcing, extraction methods, and cosmetic applications. *South African Journal of Chemical Engineering*, 47, 197-211.
- Ramírez-Guerra, H. E., Mazorra-Manzano, M. A., Brauer, J. M. E., y Ramírez-Suárez, J. C. (2015). Hydroxylysyl-pyridinoline occurrence and chemical characteristics of collagen present in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) tissues. *Journal of Food Composition and Analysis*, 44, 10-17.
- Ramshaw JAM, Werkmeister JA, y Glattauer V. (2019). Recent progress with recombinant collagens produced in *Escherichia coli*. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 10:149-155.
- Ross, M. H., y Pawlina, W. (2020). *Histología: Texto y atlas color con biología celular y molecular* (8.a ed).
- Senadheera TRL, Hossain A, Dave D, Shahidi F. (2022) In silico analysis of bioactive peptides produced from underutilized sea cucumber by-products-a bioinformatics approach. *Marine Drugs*. 20,10:610.
- Shoseyov O, Posen Y, Grynspan F. (2013). Human recombinant type I collagen produced in plants. *Tissue Engineering Part A*. 19(13-14):1527-33.
- Tang, C., Zhou, K., Zhu, Y., Zhang, W., Xie, Y., Wang, Z., Zhou, H., Yang, T., Zhang, Q., y Xu, B. (2022). Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids*, 131, 107748.
- Whitford, D. (2008). *Proteins: Structure and Function*. John Wiley & Sons.
- Zhou, N., Liu, Y., Zhang, Y., Gu, T., y Peng, L. (2023). Pharmacological functions, synthesis, and delivery progress for collagen as biodrug and biomaterial. *Pharmaceutics*, 15(5), 1443.

## Cita:

Antunez-Medina, J. R., Suárez-Jiménez, G. M., Torres-Arreola, W., Ocaño-Higuera, V. M., & Márquez-Ríos, E. (2024). Usos o funciones del colágeno en los alimentos. *Biотecnológica Magazine*, 2(5), 23-30.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.14089292>

# Nuevo brote de Viruela Símica (mpox) en el mundo: ¿México debe preocuparse?

Dra. Norma Y. Hernández Saavedra  
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.  
nhernan04@cibnor.mx

**Tema:** Se presenta información actualizada sobre la viruela símica, del mono o mpox, desde su epidemiología en el mundo, México y B.C.S., hasta los signos, síntomas, formas de contagio, medidas de prevención, diagnóstico y tratamientos. También discutiremos como la comunidad científica, usando como herramienta la biotecnología, tiene el compromiso social y moral de elaborar vacunas para la prevención de la enfermedad (profilaxis) así como tratamientos específicos.

## 1. Introducción

El 14 de agosto de este año, la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization o WHO por su acrónimo en inglés), a través de su Director General, determinó que el recrudecimiento de la viruela símica o del mono (**mpox**) en la República Democrática del Congo y en un número creciente de países de África constituye una Emergencia de Salud Pública de Importancia Internacional (ESPII, por su acrónimo en español) de acuerdo con el Reglamento Sanitario Internacional (BBC, 2024; WHO, 2024; Fig. 1). Esto derivado de la identificación

de un nuevo clado del virus de la mpox, su rápida propagación en el este del Congo y la notificación de casos en varios países vecinos. Es evidente que se necesita una respuesta internacional coordinada para detener estos brotes y salvar vidas. Debido a ello, el día 26 la OMS lanzó un plan para detener el brote de mpox que consiste en recomendaciones temporales y permanentes:

1. Implementar estrategias integrales de vigilancia, prevención, preparación y respuesta;



Figura 1. La OMS anuncia que el nuevo brote de mpox es Emergencia de Salud Pública de Importancia Internacional (tomado de BBC, 2024).

2. Promover la investigación y el acceso equitativo a contramedidas médicas, como pruebas de diagnóstico y vacunas;
3. Minimizar la transmisión de animales a humanos; y
4. Empoderar a las comunidades para que participen activamente en la prevención y el control de brotes.

Para financiar este plan de seis meses (septiembre de 2024 - febrero de 2025) se requieren alrededor de 135 millones de dólares estadounidenses, por lo que la OMS ha solicitado donadores para recabar esta cantidad y cubrir la emergencia sanitaria de nivel internacional para tratar de contener su propagación (Constantes Vitales, 2024).

## 2. Brotes

El virus de la viruela símica fue descubierto en 1958, en Dinamarca, en monos criados para investigación, mientras que el primer caso de mpox registrado en humanos, sucedió en 1970, en la República Democrática del Congo (en un infante de nueve meses de edad).

Después de la erradicación de la viruela y el fin de la vacunación antivariólica en todo el mundo en 1980, la mpox surgió constantemente en África central, oriental y occidental. Desde entonces, se han registrado brotes de mpox esporádicamente en África central y oriental (clado I) y en África occidental (clado II). En 2003, se registró un brote en los Estados Unidos de América que se relacionó con la introducción al país de animales exóticos (clado II).

Desde 2005, cada año se han registrado miles de casos en la República Democrática del Congo. En 2017, la mpox resurgió en Nigeria y continúa propagándose entre personas de todo el país y entre viajeros a otros destinos (McCollum et al., 2023). Desde enero de 2022 y hasta el 14 de agosto de 2024, se han reportado 5,940 casos y 48 muertes en 15 países, pero tan solo en lo que va de 2024, la Organización Mundial de la Salud ha registrado 3,562 casos y 26 muertes en 12 países (WHO, 2024a).

### 2.1 ¿Cuáles son las estadísticas de mpox en México?

Hasta la semana comprendida entre el 21 al 31 de agosto (semana 35 de 2024), se confirmaron 11 nuevos casos en México (el clado II ha sido la única variante detectada), siendo la Ciudad de México la entidad con más contagios (40 hombres), mientras que Baja California Sur de la semana 33 a la 35 sumo 4 registros confirmados (tendiendo 1 en hombres y 4 en mujeres). A la lista de estados afectados se sumó Sonora con 2 registros (un hombre y una mujer) (Calderón Sánchez, 2024; Chaparro García, 2024; Rodríguez Calva, 2024; SS, 2024; Fig. 2-Tabla 1).

Ante esta situación, la Secretaría de Salud Federal insta a los viajeros a implementar medidas sanitarias especiales para evitar contagios, así como a pacientes y cohabitantes de pacientes enfermos.

### 3. ¿Qué es la mpox?

La mpox es una enfermedad infecciosa causada por el virus MPXV, que es un virus de ADN de doble hebra, envuelto, del género *Orthopoxvirus* de la familia *Poxviridae* (CDC, 2024; Fig. 3).



Figura 2. Distribución epidemiológica de mpx en México. Izquierda, Tabla 1. Estados y casos de mpx confirmados en hombres y mujeres. Derecha, Mapa de la República Mexicana en la que se destacan los Estados afectados (construido a partir de Calderón Sánchez, Chaparro García, 2024; Calva Rodríguez, 2024; SS, 2024).

La mayoría de las personas que presentan la enfermedad por mpx, se recuperan por completo, pero algunas enferman gravemente. Hay dos variantes (clados, formalmente) distintos del virus: la variante I (con los subclados Ia y Ib) y la variante II (con los subclados IIa y IIb).

### 3.1 Tipos de virus mpx: clado I y clado II.

Las personas que se infectan con el mpx del clado I tienen más probabilidad de sufrir la enfermedad con consecuencias más graves y llegar incluso a la muerte.

Algunos brotes han matado hasta 10% de las personas que enferman, aunque los brotes más recientes han tenido tasas de mortalidad más bajas; el clado I es endémico de África Central (Fig. 4) y de él se presentan las subclados Ia y Ib. El clado II es el tipo de mpx que causó el brote global que comenzó en 2022. Las infecciones por mpx del clado II son menos graves, más del 99,9% de las personas sobreviven; el clado II es endémico del oeste de África (Fig. 4), y de él se presentan las subclados IIa y IIb (WHO, 2024b).

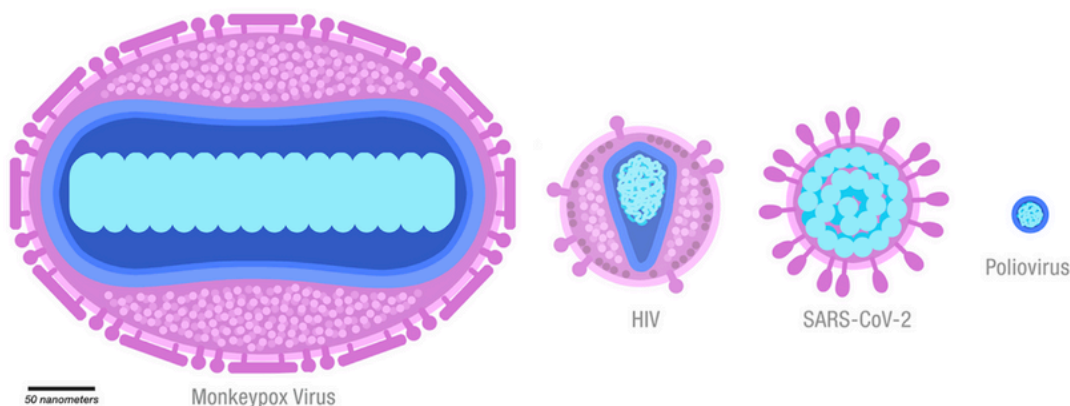


Figura 3. Ilustración esquemática de varios virus dibujados a escala. El primero a la izquierda es el MPXV que causa la enfermedad mpx. Las membranas y las proteínas unidas a membranas de las partículas virales se muestran en violeta, las cápsides en azul oscuro y los genomas y proteínas asociadas a los nucleótidos en turquesa (tomado y adaptado de Zardecki, 2022).

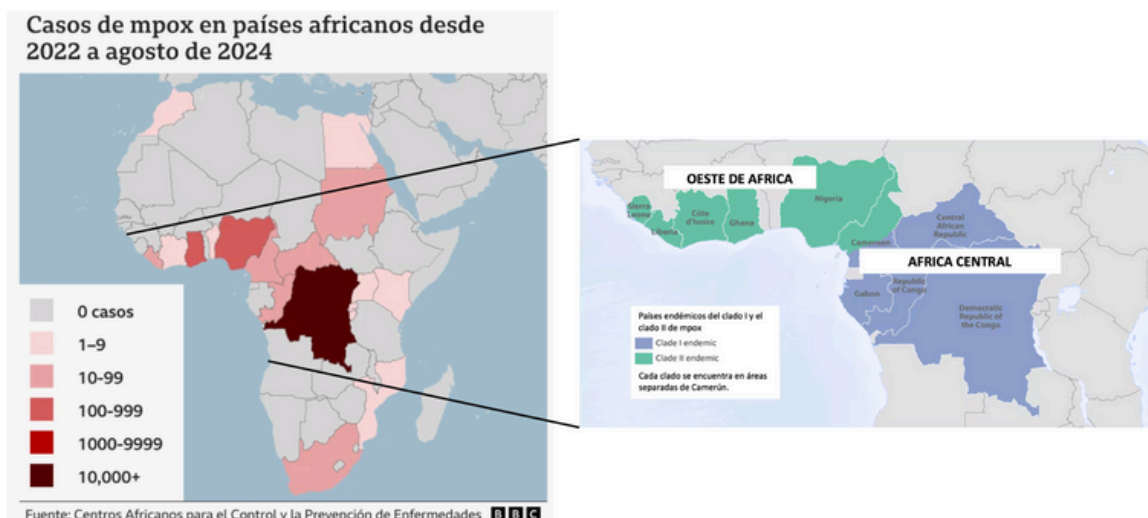


Figura 4. Distribución epidemiológica de mpox en África. Izquierda, número de casos confirmados 2022-2024 en África (tomado de BBC, 2024); Derecha, distribución de clados I y II en los países mas afectados (tomado de CDC, 2024).

Un brote global del clado IIb comenzó en 2022 y continúa hasta el día de hoy, incluso en algunos países africanos. También hay brotes crecientes de los clados Ia y Ib que afectan a la República Democrática del Congo y otros países de África. En agosto de 2024, el clado Ib también se ha detectado más allá de África. A la fecha, se desconoce el reservorio natural del virus, pero podrían ser varios pequeños mamíferos, como las ardillas y los monos (WHO, 2024b). Los casos fuera de África suelen ocurrir debido a: 1) Viaje internacional, 2) importación de animales, y/o 3) contacto estrecho con un animal o una persona enferma. Ya que la mpox es una enfermedad viral, se transmite principalmente por contacto directo con lesiones o costras en la piel o superficies mucosas de una persona infectada. También puede propagarse a través del contacto con sangre, fluidos corporales y/o ropa contaminados, así como a través de gotas respiratorias y, particularmente, por contacto sexual.

#### 4. ¿Cuáles son los síntomas y signos de la enfermedad?

Los síntomas de esta enfermedad pueden comenzar de 3 a 17 días a partir de la exposición al virus. El tiempo que transcurre entre la exposición y la aparición de los signos (lo que se ve) y síntomas (lo que se siente) se denomina período de incubación. Los signos y síntomas de la mpox duran de 2 a 4 semanas, y pueden incluir los siguientes:

- Fiebre
- Salpullido en la piel
- Hinchazón de los ganglios linfáticos
- Dolor de cabeza
- Dolores musculares y en la espalda
- Escalofríos
- Cansancio

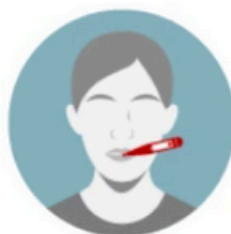
Aproximadamente de 1 a 4 días después de que empieza la fiebre, se aparece el signo mas característico de la enfermedad: el sarpullido en la piel (Tosh, 2023; Fig. 6).

## Lo que necesitas saber sobre mpox o viruela símica

### ¿Cuáles son los síntomas?



**Dolor de cabeza**



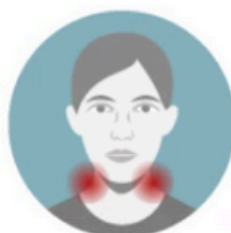
**Fiebre y escalofríos**



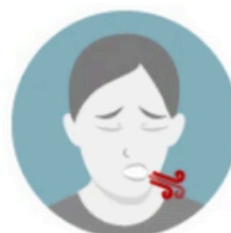
**Dolor muscular**



**Erupción**



**Ganglios linfáticos inflamados**



**Agotamiento**

### ¿Cómo se propaga?

- Al tocar ropa, sábanas o toallas de una persona infectada
- Al tocar las ampollas o costras en la piel infectada
- Por tos o estornudos de una persona infectada
- Contacto directo con fluidos corporales, como en relaciones sexuales

Fuente: NCDC, CDC, UKHSA, OMS

**BBC**

Figura 5. Infografía de los síntomas y vías de propagación de la mpox (tomado de BBC, 2024).

Para algunas personas, el primer síntoma de mpox es una erupción cutánea, mientras que otras pueden tener primero fiebre, dolores musculares o dolor de garganta. La erupción de mpox a menudo comienza en la cara y se extiende por todo el cuerpo hasta las palmas de las manos y las plantas de los pies. Las pústulas se pueden presentar también en la boca y garganta, las ingles, el ano y otras áreas genitales.

Algunas personas también presentan hinchazón dolorosa del recto (proctitis) o dolor y dificultad al orinar (disuria) o al tragar.

La lesión cutánea o sarpullido presenta tiene varias etapas: inicia con manchas o llagas planas, que evolucionan a ampollas que pueden causar comezón o dolor (Fig. 6). Después, las ampollas se llenan de pus, forman una costra y se caen en un período de 2 a 4 semanas.

Algunas personas pueden tener una o unas pocas lesiones cutáneas y otras, cientos o más. Sin embargo, el sarpullido generalmente aparece primero en la cara, las manos o los pies y, luego se extiende a otras partes del cuerpo. No obstante, en los casos vinculados con el brote de 2022, el sarpullido comienza generalmente en la zona genital, la boca o la garganta. Puedes contagiar la viruela del mono mientras tienes síntomas, es decir, desde que empiezan los síntomas hasta que se curan el sarpullido y las costras.

ca de ella) a través de partículas respiratorias. También corren riesgo las personas que entren en contacto con prendas de vestir, ropa de cama, toallas, objetos, aparatos electrónicos y otras superficies que hayan sido tocadas por una persona infectada (Cloeren, 2022; WHO, 2024b).

Las personas que convivan con alguien que tenga mpox deben tomar precauciones para reducir el riesgo de contagio. Toda persona a la que se ha diagnosticado mpox debe ser evaluada por un profesional de la salud, quien



Figura 6. Ilustración lesiones cutáneas o salpullido que aparecen como signo característico de la mpox. Manchas planas (izquierda) y pústulas (derecha) (Canva).

#### 4.1 ¿Quiénes están en riesgo?

Toda persona que tenga contacto estrecho con un enfermo de mpox corre riesgo de contagio. Hay que considerar que cuando nos referimos a contacto estrecho estamos hablando el contacto directo piel con piel (por ejemplo, al tocarse o tener relaciones sexuales), boca con boca o entre la boca y la piel (por ejemplo, al besarse), así como el que se tiene al estar cara a cara con una persona con mpox (por ejemplo, al hablar o respirar cer-

determinará si se encuentra lo suficientemente bien como para que se la atienda en su domicilio y/o si este reúne las condiciones necesarias para mantener en aislamiento y sin riesgos al paciente.

#### 4.2 ¿Cómo nos podemos proteger?

##### 4.2.1 Prevención

Para protegernos, y a los demás, contra la mpox hay que estar informados, conociendo los signos y los síntomas de la enfermedad (Fig. 5)

las formas de contagio del virus, las medidas de prevención y aquellas que debemos tomar en caso de enfermarnos o si hay algún enfermo en casa, además de estar pendientes de los riesgos existentes en la zona o en la comunidad en la que vivimos (BBC, 2024). En el caso de que el virus se esté propagando en la comunidad, habla abiertamente con sus personas allegadas sobre cualquier síntoma o signo que puedan tener o experimentar. Evite el contacto estrecho (incluido el sexual) con cualquier persona que presente la enfermedad, y lávese las manos con agua y jabón o use gel desinfectante para manos. Si crees que tienes síntomas de mpox, busca asistencia médica y aíslate hasta que le hayan hecho las exploraciones y pruebas pertinentes. Si tienes mpox, mantente aislado de los demás hasta que se le hayan formado costras en todas las lesiones, las costras se hayan caído y se haya formado una nueva capa de piel debajo, de esa forma, no transmitirás el virus a otras personas (Tosh, 2023; WHO, 2024b).

#### 4.2.2 Tratamiento y vacunación

Los objetivos de tratamiento son cuidar las erupciones, tratar el dolor y prevenir las complicaciones (Tabla 2). La vacunación contra la mpox (Fig. 7) puede ayudar a prevenir la infección (profilaxis preexposición), y está recomendada, especialmente durante los brotes, para las personas en situación de alto riesgo de contraer la mpox. Los grupos considerados de alto riesgo de contraer la mpox incluyen a:

- Trabajadores de la salud y asistenciales con riesgo de exposición;
- personas que viven en el mismo hogar o que pertenecen a la misma comunidad que alguien que tiene mpox, incluidos los niños;
- personas con múltiples parejas sexuales; y
- trabajadores sexuales, con independencia de su género, y sus clientes.

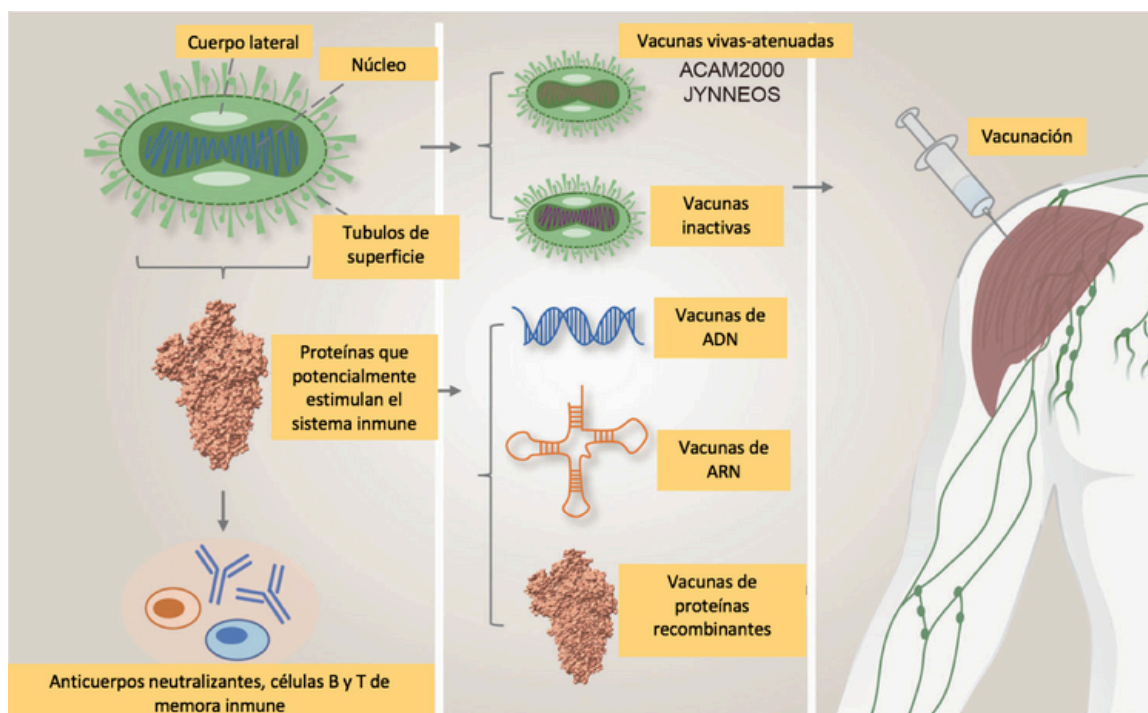


Figura 7. Desarrollo de vacunas contra la viruela símica en el futuro (modificado de Young et al., 2022).

Tabla 2. Tratamientos y prevención de ortopoxvirus (elaborado a partir de Young et al., 2022).

| Categoría             | Nombre                                       | Modo de acción                                                                                   | Tipo de administración | Estatus de aprobación de la FDA                                                                                        |
|-----------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Medicamento antiviral | Tecovirimart                                 | Su blanco es la proteína VP37 proteína, inhibe la propagación de virus dentro del cuerpo.        | Oral, Intravenoso      | Viruela, 2018.                                                                                                         |
|                       | Cidofovir                                    | Previene la replicación viral y transcripción mediante la inhibición de la ADN polimerasa viral. | Intravenoso            | Retinitis por CMV en pacientes con SIDA, 1996.                                                                         |
|                       | Brincidofovir                                | Inhibe la síntesis del ADN viral al inhibir la actividad de la ADN polimerasa viral.             | Oral                   | Viruela, 2021.                                                                                                         |
| Producto sanguíneo    | VIGIV (Vaccinia immune globulin intravenous) | Anticuerpos aislados de donantes sanos previamente vacunados (inhibe la infección viral).        | Intravenoso            | Tratamiento de las complicaciones resultantes de la vacunación contra la viruela, incluido el eczema vaccinatum, 2005. |
| Vacuna                | ACAM2000                                     | Vacuna de segunda generación, vacuna viva atenuada contra vaccinia.                              | Transdérmica           | Viruela, 2007.                                                                                                         |
|                       | JYNNEOS                                      | Vacuna de tercera generación contra virus vaccinia altamente atenuado.                           | Subcutánea             | Viruela y viruela símica, 2019.                                                                                        |
|                       | LC16                                         | Vacuna viva, replicante y atenuada de tercera generación.                                        | Intradérmica           | Viruela, 1975.                                                                                                         |

También se puede administrar la vacuna después de haber estado en contacto con alguien que tenga mpox (profilaxis post-exposición). En estos casos, debe hacerse menos de 4 días después del contacto con la persona que tiene mpox. La vacuna puede administrarse en un plazo de hasta 14 días si la persona no presenta síntomas. Actualmente, las vacunas de virus atenuados como ACAM2000 y JYNNEOS son clínicamente recomendadas para la prevención de la viruela símica, pero estas vacunas fueron diseñadas originalmente para prevenir la viruela. Por ello, la realidad es que no hay ningún tratamiento específico aprobado para la viruela del mono. Los profesionales de la salud pueden tratar esta enfermedad con algunos medicamentos antivirales que se usan para tratar la viruela, como el tecovirimat (TPOXX) o el brincidofovir

mientras que para quienes probablemente no respondan a la vacuna, los profesionales de la salud pueden ofrecer inmunoglobulina de una variolovacuna, que tiene anticuerpos de personas que han recibido la vacuna contra la viruela (Tosh, 2023; Young et al., 2022) (Tabla 2).

Por lo tanto, hay una demanda para el desarrollo de vacunas que prevengan específicamente la viruela símica (WHO, 2024c; Tabla 3), como vacunas inactivadas, vacunas de ADN o ARN y vacunas de proteínas recombinantes (Fig. 8); este tipo de vacunas han demostrado su eficacia y seguridad en la epidemia de COVID-19 (Young et al., 2022).

Tabla 3. Numeralia del estado de desarrollo de vacunas contra el virus MPXV que produce la mpox (elaborado a partir de WHO, 2024c).

| Desarrollo preclínico |      | Clínico |      | Observacional |      |
|-----------------------|------|---------|------|---------------|------|
| Total                 | 2024 | Total   | 2024 | Total         | 2024 |
| 46                    | 15   | 56      | 4    | 106           | 50   |

## 5. Diagnóstico

No siempre es fácil diagnosticar la mpox, ya que otras infecciones y afecciones pueden presentar síntomas similares. Es importante distinguirla de la varicela, el sarampión, las infecciones cutáneas bacterianas, la sarna, el herpes, la sífilis, otras infecciones de transmisión sexual y las alergias a medicamentos. Las personas con mpox también pueden tener al mismo tiempo otras infecciones de transmisión sexual (sífilis o el herpes), mientras que los niños que se sospecha tienen mpox también pueden tener varicela.

Por esto, las pruebas de laboratorio son fundamentales para recibir el tratamiento apropiado lo antes posible y así evitar que la enfermedad se agrave y se siga propagando. En la Tabla 4 se muestran las pruebas de diagnóstico para el virus MPXV, tanto en laboratorio como en los centros de atención (WHO, 2024d).

La prueba de laboratorio preferida para la mpox es la detección del ADN del virus mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Las mejores muestras son las que se han tomado directamente de las lesiones cutáneas (piel, líquido o costras) mediante un frotis enérgico; en ausencia de lesiones cutáneas, las muestras pueden obtenerse mediante un hisopado faríngeo o anal.

No se recomiendan los análisis de sangre. Las pruebas de anticuerpos pueden no ser útiles, ya que no distinguen entre los distintos ortopoxvirus. La prueba del VIH debe ofrecerse a los adultos con mpox, y a los niños, según proceda. Siempre que sea posible, debe considerarse la posibilidad de realizar pruebas diagnósticas para detectar otras afecciones, como el virus de la varicela-zóster (VVZ), la sífilis y el herpes.

## 6. Conclusiones

Como hemos visto en esta pequeña revisión, hay varios puntos que es conveniente resaltar:

- 1.El brote 2024, aunque es considerado por la OMS como una emergencia de nivel internacional, aún no lo es. Se están tomando las medidas preventivas a nivel mundial para contener su propagación y evitar que alcance niveles de pandemia como en el caso de COVID-19.
- 2.Considerando la amarga experiencia del COVID-19 que como sociedad (y a nivel mundial) vivimos hace cuatro años, somos conscientes y aprendimos que, adoptando medidas de prevención y contención, somos capaces de detener la propagación de cualquier agente infeccioso, con estos niveles de contagio.
- 3.De alguna manera estamos “mejor preparados” a nivel global ya que existen vacunas que previenen o minimizan los síntomas de la infección, además de algunos antivirales disponibles, que si bien no son 100% eficientes para el MPXV funcionan para inhibir la propagación del virus.

Tabla 4. Pruebas de diagnóstico para el virus MPXV (elaborado a partir de WHO, 2024d)

|                                    | Método                                        | Uso                                                                                                                                                                                          | Equipamiento                         | Nivel de identificación | Comentario                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Métodos de análisis en laboratorio | Pruebas de amplificación de ácidos nucleicos. | Confirmación de la infección por el MPXV se base en detectar secuencias únicas de ADN vírico por medio de pruebas de amplificación de ácidos nucleicos (PAAN)                                | PCR                                  | OPXV, MPXV              | Algunos protocolos constan de dos etapas. En la primera PCR se detecta si es OPXV. En la segunda etapa, basada en la PCR o/y en la secuenciación, en la que se detecta específicamente MPXV y el clado o subclado del virus. |
|                                    |                                               |                                                                                                                                                                                              | Secuenciación                        | MPXV-Clado              |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                    | Microscopía electrónica                       | Identificación de posibles poxvirus                                                                                                                                                          | Microscopio electrónico              | OPXV, MPXV              | Exige unas competencias y una infraestructura de alto nivel técnico                                                                                                                                                          |
|                                    | Cultivo vírico                                | No se recomienda el aislamiento del virus como procedimiento diagnóstico habitual; solo debe llevarse a cabo en laboratorios con la experiencia y las instalaciones de contención adecuadas. |                                      |                         |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                    | Pruebas serológicas                           | No debe utilizarse la detección de anticuerpos en plasma o suero como único método para diagnosticar la viruela símica.                                                                      |                                      |                         | Estas pruebas basadas en anticuerpos específicos contra el MPXV pueden presentar reacción cruzada con anticuerpos contra otros ortopoxvirus o producidos por vacunaciones recientes o incluso antiguas.                      |
| Pruebas en el punto de atención    | Detección de ADN                              | Detecta ADN del MPXV (solo del clado II) y de ortopoxvirus no variólicos en muestras de hisopados de lesiones humanas.                                                                       | PCR en tiempo real                   | MPXV-Clado              | Los resultados de estas evaluaciones figuran en las instrucciones de uso y son comparables al patrón de referencia de la PCR en laboratorio                                                                                  |
|                                    |                                               | Detecta ADN del MPXV (clados I y II) en muestras de hisopados de lesiones humanas.                                                                                                           |                                      |                         |                                                                                                                                                                                                                              |
|                                    | Detección de antígenos y/o anticuerpos        | Pruebas de diagnóstico rápido basadas en la detección de antígenos y/o anticuerpos.                                                                                                          | ELISA (como las pruebas de embarazo) | OPXV, MPXV              | Aun no se determina su exactitud como para usarse en el manejo clínico o la vigilancia de la mpox; se esta realizando una evaluación comparativa de pruebas comerciales.                                                     |

4. Es totalmente necesario, que la respuesta de la comunidad científica y gobiernos hacia el desarrollo de vacunas específicas para MPXV sea favorable y que aquellas vacunas que están en diferentes etapas de desarrollo-aprobación sean apoyadas para que en el corto plazo sean aprobadas y puestas al alcance de la sociedad.

5 En el caso particular de B.C.S., no somos un estado en riesgo aunque se hayan confirmado 5 casos. Sin embargo, debemos ser vigilantes con nuestra propia salud y la de nuestros seres cercanos ya que al detectar síntomas o signos sospechosos se debe acudir inmediatamente al sistema de salud, aislar al o los enfermos sospechosos hasta no tener un diagnóstico confirmatorio y llevar a cabo y/o realizar las medidas de prevención de contagios además de no exponernos a situaciones de riesgo.

## 7. Referencias

British Broadcasting Corporation (BBC). 2024. La OMS declara una emergencia sanitaria internacional por brote de mpox (antes viruela del mono). BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/articles/cn02j97pd2qo>. Consultado 29/08/2024.

Calderon Sanchez C.U. 2024. Ya van 55 casos en total: CDMX y Edomex suman dos casos nuevos de Mpox. UNO TV. <https://www.unotv.com/nacional/viruela-del-mono-nuevos-casos-de-mpox-en-cdmx-y-edomex/>. Consultado 28/08/2024.

CDC. 2024. About Mpox. <https://www.cdc.gov/poxvirus/mpox/about/index.html>. Consultado 27/08/2024.

Chaparro García B. 2024. Confirma salud estatal un caso de viruela símica no grave. SSBCS. <https://ssbcs.gob.mx/post/confirma-salud-estatal-un-caso-de-viruela-simica-no-grave>. Consultado 29/08/2024.

Cloeren M. 2022. Guidance on Monkeypox (MPXV) Disease. The Elm. University of Maryland, Baltimore. <https://elm.umaryland.edu/announcements/2022/Guidance-on-Monkeypox-MPXV-Disease.php>. Consultado 27/08/2024.

Constantes Vitales. 2024. La OMS lanza un plan estratégico mundial para contener el Mpox o viruela del mono. [https://www.lasexta.com/constantes-vitales/noticias/oms-lanza-plan-estrategico-mundial-contener-mpox-viruela-mono\\_2024082766cdb4a7797ae10001752ec2.html](https://www.lasexta.com/constantes-vitales/noticias/oms-lanza-plan-estrategico-mundial-contener-mpox-viruela-mono_2024082766cdb4a7797ae10001752ec2.html). Consultado 27/08/2024.

McCollum A.M., Hill A., Shelus V., Traore T., Onoja B., Nakazawa Y., Doty J.B., Ogunleye A.Y., Petersen B.W., Hutson CH.H., Lewis R. 2023. Epidemiology of human monkeypox (mpox) – worldwide, 2018–2021. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/365630/WER9803-29-36.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado 27/08/2024.

Rodríguez Calva P. 2024. Por el reporte de 11 casos nuevos de viruela símica, se acumulan 72 contagios. Excelsior, 10/09/2024). <https://www.excelsior.com.mx/nacional/casos-de-viruela-simica-en-mexico/1673068>. Consultado 17/09/2024.

Secretaria de Salud (SS). 2024. Boletín epidemiológico: Sistema Nacional de Vigilancia, Sistema Único de Información. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940365/sem33.pdf>. Consultado 28/08/2024.

Tosh P.K. 2023. Viruela del mono: ¿qué es y cómo se puede prevenir? Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/infectious-diseases/expert-answers/monkeypox-faq/faq-20533608>. Consultado 27/08/2024.

World Health Organization (WHO). 2024a. 2022-24 Mpox (Monkey pox) Outbreak: Global Trends. [https://worldhealthorg.shinyapps.io/mpox\\_global/](https://worldhealthorg.shinyapps.io/mpox_global/). Consultado 27/08/2024.

World Health Organization (WHO). 2024b. Mpox. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mpox>. Consultado 27/08/2024.

World Health Organization (WHO). 2024c. Mpox Vaccine Tracker - List of vaccine candidates in research & development. <https://www.who.int/publications/m/item/mpox-vaccine-tracker---list-of-vaccine-candidates-in-research---development>. Consultado 30/08/2024.

World Health Organization (WHO). 2024d. Pruebas de diagnóstico para el virus de la viruela símica (MPXV). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/374755/WHO-MPX-Laboratory-2023.1-spa.pdf>. Consultado 30/08/2024.

Yong H., Li M., Wei W. 2022. Monkeypox: epidemiology, pathogenesis, treatment and prevention. Signal Transduction and Targeted Therapy. 7. 373. 10.1038/s41392-022-01215-4. Consultado 30/08/2024.

Zardecki Ch., Dutta S., Goodsell D.S., Lowe R., Voigt M., Burley S.K. 2022. Protein Science 31: 129-140 doi:10.1002/pro.4200, CC BY 4.0, <https://pdb101.rcsb.org/learn/flyers-posters-and-calendars/flyer/poxviruses>. Consultado 27/08/2024.



Sobre la autora:

Investigador Titular C y profesor en el CIBNOR, SNI II. Responsable del Laboratorio de Genética Molecular, adscrita a la Coordinación de Ecología Pesquera, Línea estratégica Variabilidad y Vulnerabilidad de Ecosistemas Marinos. CIB, Rg, SC, GSch, ID.

Cita:

Hernández-Saavedra, N. Y. (2024). Nuevo brote de viruela símica (mpox) en el mundo: ¿México debe preocuparse?. Biotecnológica Magazine, 2(5), 31-42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14089398>

# Anotaciones importantes sobre osteoporosis, y los aportes de la biotecnología en su combate

Felipe Ascencio

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

ascencio@cibnor.mx

**Tema:** Aunque la osteoporosis es una enfermedad diagnosticable y puede ser tratada oportunamente, la mayoría de las personas con osteoporosis no saben que la padecen hasta que tienen una fractura (las más comunes en: columna vertebral, cadera, mano y muñeca), ocasionando que en casi todos los casos se diagnostique cuando el hueso ya está muy dañado. Por esto, la osteoporosis es considerada como una enfermedad crónica-progresiva, silenciosa, convirtiéndose en un padecimiento cada vez más común en nuestro país afectando principalmente a personas mayores de 50 años, particularmente a mujeres en la etapa postmenopáusica o con antecedentes genético-hereditarios. A pesar de que innumerables variables están vinculadas al desarrollo de la osteoporosis (como la herencia, la mala alimentación y la inactividad) en estudios recientes se ha establecido que los microbios patógenos también pueden ser un factor contribuyente significativo. Los microorganismos patógenos, especialmente las bacterias y los virus, pueden acelerar el proceso de pérdida ósea y daño estructural.

## 1. Introducción

### 1.1 Definición

La osteoporosis es un desorden en los huesos que incrementa el riesgo de que una persona padezca fracturas debido a baja densidad mineral ósea (DMO), es decir, alteración de la microarquitectura o mineralización y/o disminución de la resistencia ósea. Los huesos se encuentran en constante remodelación, están sometidos a la eliminación de tejido óseo (resorción) por unas células conocidas como osteoclastos y a la síntesis de novo de tejido óseo por células denominadas osteoblastos; este proceso permite el mantenimiento equilibrado de la resistencia mecánica y la reparación de los huesos. Un desbalance en la actividad remodeladora en la que la resorción excede la formación de nuevo hueso, tiene como resultado los cambios fisiopatológicos observados en la osteoporosis.

En la regulación de la función ósea, están involucrados y cumplen un rol fundamental diversas hormonas y factores de crecimiento (Cuadro 1) (Sterin-Prync et al., 2023).

Cuadro 1. Factores de riesgo para fractura por osteoporosis (Sterin-Prync et al., 2023).

| Factores de riesgo para fractura por osteoporosis |                                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                 | Hombres y mujeres mayores de 50 años.                                                                     |
| 2                                                 | Menopausia y menopausia temprana.                                                                         |
| 3                                                 | Historia familiar de osteoporosis y fractura de cadera.                                                   |
| 4                                                 | Historia personal de fractura.                                                                            |
| 5                                                 | Índice de masa corporal (IMC) <19kg/m <sup>2</sup>                                                        |
| 6                                                 | Baja ingesta de calcio: menor a 1000 mg al día.                                                           |
| 7                                                 | Consumo de alcohol: Más de 3 dosis por día (8-10 g de alcohol.)                                           |
| 8                                                 | Tabaquismo: Activo o pasivo sin importar el número de cigarrillos.                                        |
| 9                                                 | Uso crónico de corticoides por más de tres meses y anticonvulsivos.                                       |
| 10                                                | Inmovilización prolongada y sedentarismo: menos de 150 minutos de actividad física a la semana.           |
| 11                                                | Caídas.                                                                                                   |
| 12                                                | Otras patologías: hipogonadismo en hombres, hiper o hipotiroidismo, diabetes tipo I, artritis reumatoide. |

### 1.2 Osteoporosis en números

La osteoporosis, caracterizada por la disminución de la densidad o resistencia de la masa ósea y el deterioro microestructural, es un importante desafío para la salud pública a nivel

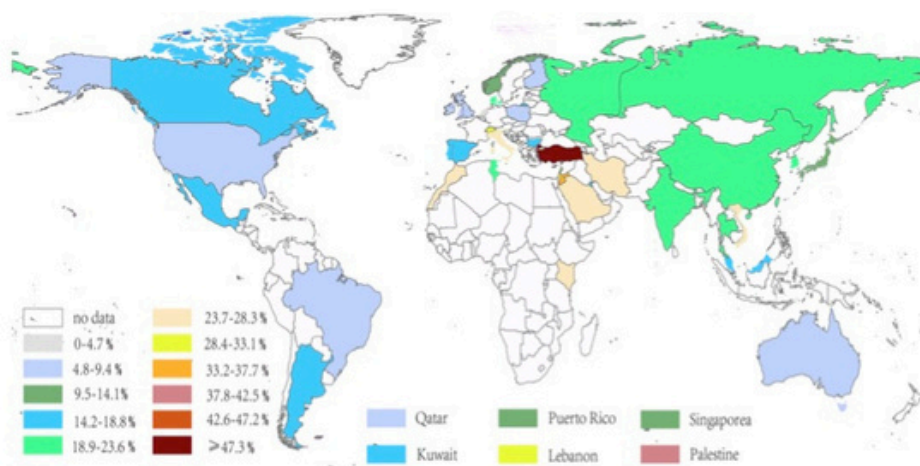


Figura 1. Distribución mundial de la prevalencia de osteoporosis. Los países que son difíciles de identificar en el mapa se enumeran por separado (Xiao et al., 2022).

mundial, reconocida por la Organización Mundial de la Salud como la segunda preocupación más importante después de las enfermedades cardiovasculares. La prevalencia de la osteoporosis varía considerablemente según el país, región geográfica, etnia, etc. siendo mas frecuente en los países en desarrollo (22.1%) que en los desarrollados (14.5%) (Xiao et al., 2022). Una encuesta de 2022 reveló una incidencia mundial de osteoporosis del 19.7% (densidad ósea por debajo de 2.5) y de osteopenia del 40.4% (densidad ósea entre 1 y 2.5. En 2005, se estimó que, en los Estados Unidos, los costos médicos directos de la osteoporosis oscilaban entre 13,700 y 20,300 millones de dólares. Para 2025, se proyecta que se producirán más de tres millones de fracturas osteoporóticas al año, con un costo estimado de 25,300 millones de dólares. Debido al aumento de la esperanza de vida y al envejecimiento de la población, la prevalencia de la osteoporosis se ha incrementado. Se estima que para 2050, el número de personas con fracturas osteoporóticas duplicará al actual, superando los 120 millones (Li et al., 2024). En México, una de cada tres mujeres y uno de cada cinco

hombres mayores de 50 años sufren osteoporosis, por lo que es necesario prevenir y tratar esta enfermedad (SS, 2023) (Fig. 1; Cuadro 2).

Cuadro 2. Osteoporosis en números (modificado de Robles, 2022; SS, 2023).

| Dato |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Es una enfermedad silenciosa que afecta a 10 millones de mexicanos; de éstos, 18 por ciento son mujeres entre los 35 y 65 años, de acuerdo con cifras divulgadas por la Secretaría de Salud.                                                                                                                                                                               |
| 2    | En México una de cada tres mujeres y uno de cada cinco hombres mayores de 50 años sufren alguna fractura por fragilidad de los huesos de cadera, muñeca o columna vertebral. Se estima que la cantidad anual de fracturas de cadera aumentará de 29 mil 732 casos en 2005 a 155 mil 874 en 2050.                                                                           |
| 3    | La Organización Mundial de la Salud calcula que existen 500 millones de personas en el planeta que viven con la enfermedad. Los casos más frecuentes se encuentran relacionados con las etapas de la post-menopausia, los primeros síntomas se manifiestan después del quinto año a partir de la última menstruación y la senil, en adultos mayores a los 75 años de edad. |
| 4    | Alrededor del mundo se produce una fractura cada tres segundos como consecuencia de dicho padecimiento.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 5    | Se espera que para el año 2025 las fracturas de cadera ocasionada por osteoporosis alcancen la cifra de 2.6 millones en el ámbito mundial y para 2050 el número se duplique a 4.5 millones.                                                                                                                                                                                |
| 6    | Del 12% al 20% de las personas que sufren una fractura de cadera mueren en el primer año, de los sobrevivientes, la mitad queda con discapacidad parcial y el 10% con discapacidad total.                                                                                                                                                                                  |

## 2. Osteoporosis y envejecimiento

En los adultos el esqueleto se remodela continuamente por osteoclastos (reabsorben el hueso), osteoblastos (forman hueso nuevo) y los osteocitos, que derivan de los osteoblastos y conforman la médula ósea.

Los osteocitos coordinan la actividad de los osteoclastos y osteoblastos en respuesta a estímulos físicos y hormonales a través de sus secreciones.

El envejecimiento óseo incluye la reducción de la masa y el contenido mineral óseo, así como cambios en la forma y la estructura del hueso, que son consecuencia del aumento en la actividad de resorción de los osteoclastos y la disminución de la formación de hueso por osteoblastos. El aumento de la edad se asocia con una reducción de la masa ósea, que se cree que se debe a una deficiencia hormonal, principalmente de estrógenos debido a la menopausia. Sin embargo, la desregulación de los mecanismos del envejecimiento como la inflamación, la autofagia, el aumento del estrés oxidativo y la senescencia también se ha asociado con la osteoporosis. También se ha demostrado que algunos de estos mecanismos son deficientes en presencia de una disminución de estrógeno, por lo tanto, las formas de abordar los mecanismos del envejecimiento pueden ofrecer nuevas oportunidades para el desarrollo de un mejor tratamiento en la osteoporosis (Rayson et al., 2022).

### 3. Patogénesis y etiología de la osteoporosis

Como ya se explicó en la sección 1.1 la osteoporosis implica un desequilibrio que favorece la resorción ósea en lugar de la formación, lo que altera la homeostasis y el recambio de hueso. La homeostasis (equilibrio) óseo depende del acoplamiento entre la resorción y formación de hueso, que es típicamente temporal y espacial, aunque el -

igual, la densidad ósea permanece estable, estableciendo la homeostasis ósea (Li et al., 2024). Sin embargo, la osteoporosis (desequilibrio) puede dividirse en dos subtipos: 1) Osteoporosis primaria, que se asocia a la deficiencia hormonal por sexo y edad, presenta deterioro del hueso trabecular. La reducción de la producción de estrógenos en mujeres posmenopáusicas (PMO) causa un incremento significativo de la pérdida ósea, y 2) osteoporosis secundaria a enfermedades o medicación, como en el síndrome de Cushing, que se acelera la pérdida ósea por exceso en la producción de glucocorticoides. Los glucocorticoides son uno de los grupos de medicamentos más vinculados a osteoporosis secundaria, lo que es evidente en enfermedades inflamatorias como la artritis reumatoide. En los hombres se asocia, además, con: 1) el exceso de ingesta alcohólica, 2) al hipogonadismo (los testículos no producen suficiente testosterona), y 3) a la deprivación androgénica (supresión o bloqueo de la producción o la acción de las hormonas masculinas) que se usa como tratamiento en el cáncer de próstata. En mujeres, se relaciona con: 1) hipercalcemia (incremento en la eliminación urinaria de calcio), 2) malabsorción de calcio, 3) hiperparatiroidismo (cuando las glándulas paratiroides segregan grandes cantidades de hormonas paratiroides, que ayudan a mantener el equilibrio correcto de calcio en el torrente sanguíneo), 4) deficiencia de vitamina D, y 5) hipertiroidismo e hipercalcemia hipocalciúrica (Sterin-Prync et al., 2023).

Tabla 1. Fármacos tradicionales utilizados en la osteoporosis (Sterin-Prync et al. 2023).

| Fármacos                                                                                |                                       | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bifosfonatos</b>                                                                     |                                       | Primera línea de tratamiento para la prevención y/o el tratamiento de osteoporosis en mujeres posmenopáusicas y pacientes con osteoporosis inducida por glucocorticoides.                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Moduladores selectivos del receptor estrogénico (SERM, por sus siglas en inglés)</b> |                                       | <i>Raloxifeno</i> : tratamiento en pacientes que tienen un riesgo reducido de fractura de columna vertebral.<br><i>Tibolona</i> : interacciona y potencia de forma variable los receptores de estrógenos, progesterona y andrógenos.<br><i>Estrógenos conjugados/ bazedoxifeno</i> : para la prevención de osteoporosis y el tratamiento de síntomas vasomotores de moderados a severos. |
| <b>Biofármacos en osteoporosis</b>                                                      | 1. Análogo de la hormona paratiroidea | <i>Teriparatida</i> : administración intermitente (pequeñas dosis), favorece la formación de hueso nuevo en la superficie de este (estimulación osteoblástica).<br><i>Abaloparatide</i> : indicado en pacientes en los que han fallado otras terapias disponibles o son intolerantes a ellas.                                                                                            |
|                                                                                         | 2. Anticuerpos monoclonales           | <i>Denosumab</i> : primera línea de tratamiento para pacientes con alto riesgo de fractura y para pacientes que no pueden utilizar terapias orales.                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Bioterapias aplicadas a la osteoporosis</b>                                          |                                       | Probióticos y/o prebióticos, en el entendido de que la microbiota intestinal está fuertemente asociada al metabolismo óseo y a enfermedades metabólicas óseas.                                                                                                                                                                                                                           |

#### 4. Productos biofarmacéuticos, bioterapias aprobados o en instancias clínicas, destinados a osteoporosis

Hasta la fecha, las estrategias convencionales contra la osteoporosis han tenido una eficacia limitada y han estado plagadas de numerosos efectos secundarios (Tabla 1). Estas terapias se centran en tres frentes. 1) Uso de fármacos para mitigar la resorción ósea (antirresortivos), revirtiendo así el desequilibrio en el recambio óseo. 2) Uso de agentes anabólicos para mejorar la formación ósea, para elevar la tasa de recambio óseo. Si bien este último asegura la preservación de la masa ósea inicial, los

agentes anabólicos generalmente se caracterizan por un período de tratamiento efectivo limitado. Por lo tanto, explorar objetivos emergentes para promover la formación ósea tiene una importancia significativa en el desarrollo de nuevos agentes anabólicos (Sterin-Prync et al., 2023). 3) Un enfoque alternativo utiliza fitoextractos de plantas usadas en la medicina tradicional china, hindú, o mexicana (Kumari et al., 2023), o 4) el uso de agentes probióticos y/o suplementos alimenticios para mejorar la formación ósea (De Martinis et al., 2020).

Tabla 2. Plantas con actividad anti-osteoporosis (modificado de Kumari et al., 2023).

| Nombre común    | Nombre científico                 | Parte de la planta usado |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Soya            | <i>Glycine max L</i>              | Semillas                 |
| Babchi          | <i>Psoralea corylifolia L</i>     | Fruto                    |
| Kudzu           | <i>Pueraria lobata</i>            | Raíz                     |
| Morinda, Noni   | <i>Morinda officinalis How</i>    | Raíz                     |
| Hierva cana     | <i>Epimedium brevicornu Maxim</i> | Hojas                    |
| Trébol rojo     | <i>Trifolium pratense</i>         | Partes aéreas            |
| Salvia roja     | <i>Salvia miltiorrhiza Bunge</i>  | Raíz                     |
| Kunze           | <i>Drynaria fortunei J. Sm</i>    | Rizoma                   |
| Cohosh negro    | <i>Cimicifuga racemose</i>        | Rizoma                   |
| Cola de caballo | <i>Equisetum Arvense</i>          | Partes aéreas            |

#### 4.1 Tratamientos alternativos y preventivos de la osteoporosis: plantas medicinales

En lugar de farmacoterapias, el uso de hierbas medicinales para tratar la osteoporosis es otra alternativa ventajosa, debido a sus eficaces capacidades antibacterianas y antioxidantes (Tabla 2). El extracto de polifenol derivado de plantas está recibiendo una mayor atención, ya que tiene radicales libres y actividad antioxidante. Su reactividad está determinada por las actividades antioxidantes y quelantes de metales. Los diferentes tipos de plantas medicinales tienen diferentes enfoques para el tratamiento de la osteoporosis.

Algunas regulan el calcio del cuerpo aumentando el nivel de ciertas hormonas como la hormona paratiroidea (PTH) y algunas proporcionan calcio dietético. Las medicinas a base de hierbas se utilizan para tratar enfermedades relacionadas con los huesos y las articulaciones, que incluyen la osteoporosis y la artritis. Según Kumari et al. (2023), los tratamientos basados hierbas parecen tener efectos anabólicos y anticatabólicos en el tratamiento de la osteoporosis al mejorar la densidad mineral ósea, las propiedades biomecánicas y al reducir la degradación micro

estructural ósea. Se ha demostrado in vitro que estos remedios estimulan la proliferación y supervivencia de los osteoblastos, e inducen la diferenciación de las células madre mesenquimales óseas (MSC) en células osteoblásticas. El fitoestrógeno es un componente herbal que se encuentra en muchas plantas. Tiene una estructura similar a la del estrógeno y, por lo tanto, puede unirse a los receptores de estrógeno y proporcionar una vía para el mantenimiento de la homeostasis mineral ósea. El fitoestrógeno contiene componentes (lignanos, cumestanos, flavonas, flavanoles, flavanonas e isoflavonas) que desempeñan un papel importante en la pérdida ósea posmenopáusica, de los que la daidzeína y la genisteína de las isoflavonas son los más activos estrogénicamente (Campos-Saldaña et al., 2024; Kumari et al., 2023).

#### 4.2 Modificación de la microbiota: un nuevo enfoque para el tratamiento de la osteoporosis

Investigaciones recientes sugieren que la microbiota también está involucrada en la regulación del metabolismo óseo y su alteración puede inducir osteoporosis (Fig. 2).

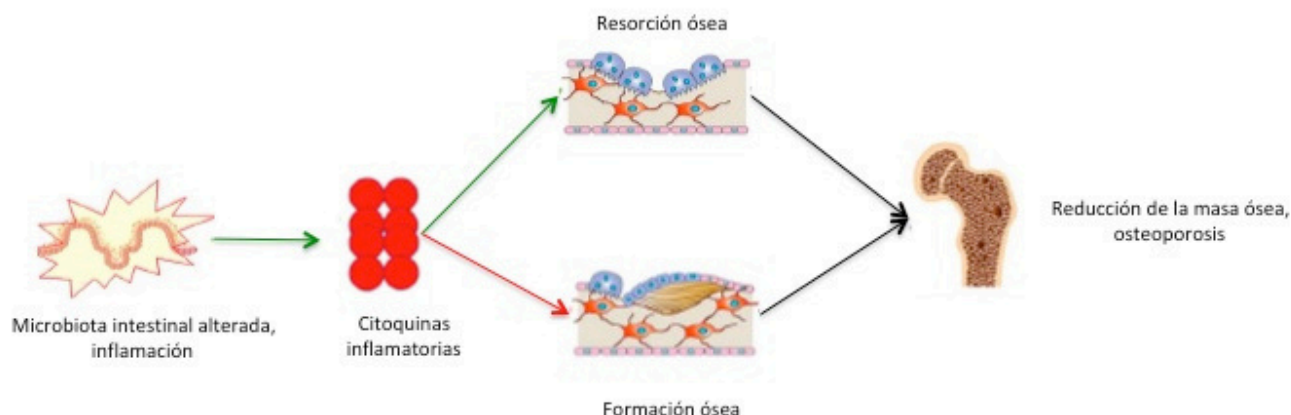


Figura 2. Relación entre la microbiota intestinal y la masa ósea. Una alteración de la microbiota intestinal puede provocar una sobreproducción de citoquinas inflamatorias, que a su vez promueven la activación de los osteoclastos y el hueso, lo que conduce a la resorción ósea y a la inhibición de la formación ósea, lo que en última instancia conduce a la reducción de la masa ósea y a la osteoporosis (De Martinis et al., 2020).

Gracias a la biotecnología molecular moderna, se están descubriendo diversos mecanismos que regulan la relación entre el hueso y la microbiota. Por ello, es esencial comprender el papel de los desequilibrios de la microbiota en el desarrollo de la osteoporosis, para el desarrollo de posibles estrategias de prevención y tratamiento de la osteoporosis tendiendo como objetivo, la manipulación de la microbiota.

La suplementación nutricional con probióticos (bacterias vivas seleccionados capaces de ejercer efectos positivos para la salud del huésped), proporcionados en cantidades adecuadas y durante períodos suficientes, podría encontrar uso en el tratamiento de la osteoporosis. Los genes de estas bacterias codifican factores capaces de gobernar la regulación de un amplio espectro de funciones, no solo del intestino sino también de otros órganos. A través de la regulación de vitaminas, ácidos grasos de cadena ramificada y ácidos grasos de cadena corta, controlan el funcionamiento de varios sistemas.

En numerosos estudios se describen los efectos positivos de los probióticos sobre la masa ósea en animales y humanos: 1) en pacientes con osteoporosis que recibieron *Lactobacillus reuteri* por vía oral, la pérdida de densidad mineral ósea se redujo significativamente en comparación con un grupo de control con placebo. 2) un extracto de trébol rojo, rico en agliconas de isoflavonas y bacterias lácticas probióticas administrado a pacientes con osteoporosis posmenopáusicas, mejoró el recambio óseo al promover la producción de metabolitos de estrógeno que reducen la pérdida ósea (De Martinis et al., 2020).

#### 4.3 Geroprotectores

En investigaciones recientes se han demostrado que es posible prevenir o incluso revertir la desregulación del estrés oxidativo, la autofagia (proceso en el que la célula descompone y destruye proteínas viejas, dañadas o anormales, y otras sustancias en su citoplasma) y la aparición de la senescencia (envejecimiento de las células) utilizando una nueva clase de fármacos llamados geroprotectores.

Los geroprotectores retrasan o revierten los procesos de envejecimiento y, al hacerlo, se dirigen a los principales factores de riesgo de las enfermedades relacionadas con la edad. En modelos animales se ha observado que promueven la salud de más de un sistema orgánico al mismo tiempo. También han demostrado (en modelos animales y en humanos) que pueden mejorar la disfunción tisular y reducir la aparición y la gravedad de muchas enfermedades. Más de 200 compuestos se han clasificado como geroprotectores, habiendo evidencias que cada uno retrasa el envejecimiento y/o prolonga la esperanza de vida en una variedad de organismos (geroprotectors.org). Debido a que pueden prevenir tanto la osteoporosis como la osteoartritis y sus comorbilidades, estos fármacos podrían tener claras ventajas sobre los tratamientos actuales para la osteoporosis y ofrecer nuevas oportunidades para la osteoartritis. Sin embargo, los efectos de los geroprotectores en la salud ósea han recibido poca atención en comparación con otros sistemas orgánicos, con la suposición de que estos fármacos funcionarán igualmente bien para todos los tejidos. Sólo un estudio en el que se combinó el senolítico Dasatinib y quercetina, demostró signos de mejora en un modelo de pérdida ósea. Sin embargo, hasta el momento no se ha demostrado ninguna mejora en modelos envejecidos de osteoartritis. Estos estudios resaltan que la prolongación de la vida útil no puede considerarse un marcador sustituto de la prolongación de la vida útil de la salud en todos los tejidos, por lo que se requieren estudios exhaustivos en modelos envejecidos de osteoporosis y osteoarthriticos, para eva-

luar el beneficio real de los geroprotectores para mejorar la salud esquelética (Rayson et al., 2022).

## 5. Prevención de riesgos de fracturas por osteoporosis

El diagnóstico de osteoporosis se establece midiendo la DMO de la cadera y la columna vertebral mediante absorciometría de rayos X de energía dual. La DMO baja suele reconocerse como un buen predictor del riesgo de fractura osteoporótica. Un número considerable de casos de fracturas por osteoporosis y sus consecuencias, se pueden evitar a través de una detección y tratamiento oportuno desde el primer nivel de atención, mediante el Cuestionario para la Detección de Riesgos de Fracturas por Osteoporosis de la Secretaría de Salud, a partir de los 50 años, el cual considera lo siguiente: edad, sexo, peso ( $IMC = \text{peso}/\text{talla}^2$ ), factores de riesgo, con el objetivo de prevenir y proporcionar tratamiento oportuno.

A toda persona mayor de 50 años, con o sin diagnóstico de masa ósea baja u osteoporosis, se le deben recomendar medidas generales que incluyen: la práctica de actividad física, dieta rica en calcio y proteínas, exposición a radiación solar para activar la síntesis de vitamina D, impedir inmovilización o sedentarismo, evitar el consumo de tabaco, restringir la ingesta de café y alcohol, entre otros (ISEM, 2023).

### 5.1 Efecto del ejercicio en la densidad mineral del hueso en personas con osteoporosis

Estudios recientes indican que el ejercicio físico adecuado tiene efectos beneficiosos sobre la densidad ósea en mujeres posmenopáusicas,

inclusive que podría inhibir eficazmente o incluso revertir la disminución de la densidad mineral ósea en las personas mayores con osteoporosis. El ejercicio puede regular la biomecánica ósea, producir estrés mecánico en el hueso y estimular la producción y diferenciación de células óseas y osteoblastos. Además, durante el ejercicio, la circulación sanguínea local en los huesos se acelera, fortalece el metabolismo, mejora la actividad de las células óseas, reduce el recambio óseo y repara la tanto la estructura

tratamiento de la osteoporosis y se ha utilizado de forma amplia y flexible en la práctica clínica (Fig. 3). En comparación con otros ejercicios, los ejercicios tradicionales chinos son fáciles de aprender y no están restringidos por los lugares de ejercicio. Tienen un impacto en la salud personal y la prevención de enfermedades al mejorar el equilibrio corporal, fortalecer los músculos de las extremidades inferiores y prevenir la osteoporosis posmenopáusica. A pesar de las

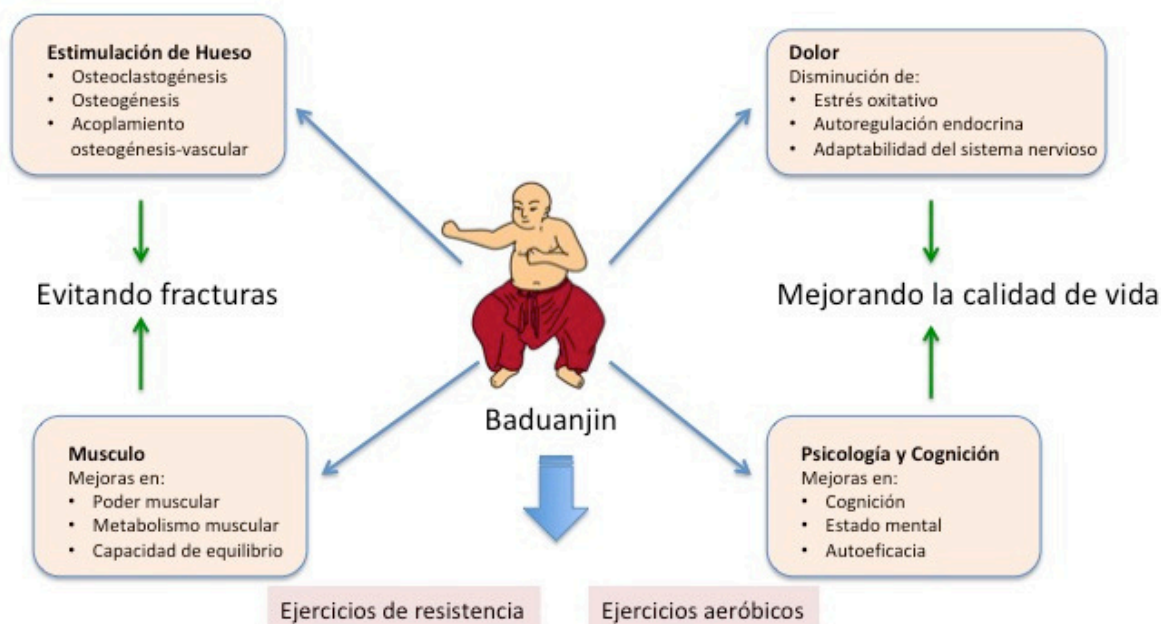


Figura 3. El mecanismo potencial del ejercicio Baduanjin (BDJ). El BDJ es un ejercicio tradicional que combina respiración, movimiento corporal, meditación y conciencia, para ayudar a retrasar la aparición y progresión de enfermedades musculoesqueléticas degenerativas seniles, como la osteoporosis (Sun et al., 2022).

como la masa ósea. Sin embargo, los diferentes tipos de ejercicio pueden afectar a la densidad ósea de diferentes maneras y la eficacia de los diferentes ejercicios sobre la densidad mineral ósea aún no es uniforme (Zhang et al., 2021). En los últimos años, el ejercicio tradicional chino, que incluye Taiji, Yijinjing, Baduanjin, Wuqinxi y Liuzijue, ha desempeñado un papel importante en el tra-

diferencias en el diseño de los experimentos que lo prueban, el ejercicio tradicional chino es una opción segura para la prevención y el tratamiento de la osteoporosis primaria o la pérdida ósea (Zhang et al., 2021).

Un meta-análisis de la literatura reciente, ha demostrado que las intervenciones de Taiji previenen una mayor disminución de la DMO osteoporótica en pacientes femeninas de edad avanzada con osteopenia u osteoporosis.

Otro meta-análisis mostró que, de una variedad de ejercicios, el *Baduanjin* fue el más eficaz para inhibir o incluso revertir la DMO en adultos mayores con osteoporosis (Liu et al., 2024; Sun et al., 2022).

El ejercicio es importante para prevenir caídas o fracturas en pacientes con osteoporosis. Se ha demostrado que el efecto del ejercicio en la reducción de caídas en pacientes con osteoporosis es estadísticamente diferente al de la atención habitual, y la calidad de la evidencia se calificó como baja. La intervención con ejercicio y medicación reduce las caídas en pacientes con osteoporosis. Los medicamentos desempeñan un papel crucial en el tratamiento de la osteoporosis, ya sea que inhiban la resorción ósea o estimulen la formación ósea, los medicamentos podrían ser eficaces en el tratamiento de la osteoporosis. El ejercicio podría ser la intervención preferida para la prevención de fracturas (Wei et al., 2024).

## 6. Aportes de la biotecnología en relación con biofármacos, bioterapias y biomarcadores, dentro del estado del arte del diagnóstico y tratamiento de la osteoporosis

En relación con el desarrollo y producción de biofármacos se destacan:

- i) La hormona paratiroidea rHuPTH 1-34 (teriparatida), un producto recombinante producido en bacterias, que es el primer anabólico aprobado para el tratamiento de la osteoporosis,
- ii) el anticuerpo monoclonal *Denosumab*, que se une específicamente a RANKL y bloquea la unión a su ligando, lo que reduce notablemente la resorción ósea, aumenta la densidad ósea y reduce las fracturas,

iii) los hallazgos en la relación entre la microbiota intestinal y la osteoporosis, dado que lo consideramos un tema que vale la pena seguir y profundizar, ya que es un enfoque preventivo que brinda un aporte desde un punto de vista diferente, y

iv) en relación con los biomarcadores, las adipocitoquinas y ácidos grasos producidos por los tejidos adiposos de la médula, tejido adiposo intramuscular y lípidos miointramiocelulares son un punto de interés, que se seguirá profundizando a través del desarrollo de los distintos sistemas de imágenes y algoritmos que permitan evaluar en profundidad su relación con el diagnóstico y seguimiento de la osteoporosis (Sterin-Prync et al., 2023). La detección de biomarcadores de recambio óseo puede ser útil para controlar el tratamiento de la osteoporosis y evaluar el riesgo de fractura, pero no para el diagnóstico de la osteoporosis.

## 7. Nanomedicina inmunomoduladora para la osteoporosis

En los últimos años, la aparición de nanomedicinas inmunomoduladoras ha introducido enfoques terapéuticos de vanguardia para la osteoporosis. Esta metodología innovadora aprovecha la interacción entre el sistema inmune y el metabolismo óseo, orquestando el microambiente osteoimmune para facilitar un acoplamiento osteogénico-angiogénico eficaz. Este enfoque ofrece una estrategia integral y dirigida al tratamiento de la osteoporosis.

Tabla 3. Perspectivas de investigación sobre el posible papel de la microbiota intestinal en la osteoporosis (Ahire et al., 2024).

| Temática                                                     | Posibles direcciones de investigación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Composición de la microbiota y salud ósea</b>             | Para comprender la relación entre las comunidades microbianas y la salud ósea, es necesario comparar la microbiota intestinal de las personas con osteoporosis y las que no padecen esta enfermedad. Sería útil desarrollar terapias dirigidas si supiéramos qué taxones bacterianos son beneficiosos o perjudiciales para el metabolismo óseo.                                                                                                                                                               |
| <b>Metabolitos de la microbiota intestinal</b>               | El metabolismo óseo es un proceso complejo, y puede resultar útil comprender la participación de metabolitos como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) producidos por las bacterias intestinales. La salud ósea puede verse influenciada por los AGCC debido a sus efectos sobre la actividad de las células óseas y las respuestas inmunológicas. Al investigar las interacciones metabólicas entre las bacterias intestinales y las células óseas, se pueden identificar nuevos objetivos terapéuticos. |
| <b>Estrategias de modulación de la microbiota intestinal</b> | Es fundamental estudiar la eficacia y la seguridad de los métodos que intentan modificar la microbiota intestinal para mejorar la salud ósea. El uso de probióticos y prebióticos, las modificaciones dietéticas e incluso el trasplante de microbiota fecal son algunos de ellos. La evidencia de la eficacia de estas estrategias para prevenir o tratar la osteoporosis podría obtenerse a partir de ensayos clínicos.                                                                                     |
| <b>Eje intestino-cerebro-hueso</b>                           | Una estrategia para aprender más sobre el eje intestino-cerebro-hueso es investigar los canales de comunicación entre la microbiota intestinal, el cerebro y el sistema esquelético. El metabolismo óseo se ve afectado por señales neuroendocrinas y respuestas inmunológicas como resultado de la comunicación bidireccional entre el estómago y el cerebro. El estudio de estas intrincadas relaciones puede conducir a la identificación de nuevos objetivos para el tratamiento de la osteoporosis.      |

Las nanomedicinas ofrecen capacidades de carga y estabilidad de fármacos mejoradas, extendiendo significativamente su vida media en sangre. Presentan formas modificables y diversas características de superficie, lo que permite una orientación multifacética, que amplifica la acumulación y biodisponibilidad del fármaco en los tejidos objetivo. Además, el potencial de las nanomedicinas en el tratamiento de la osteoporosis se ve aumentado aún más por algunas variantes que responden al microambiente, como las adaptadas al pH, las especies reactivas de oxígeno y la glucosa, lo que mejora su eficacia terapéutica en el manejo de la osteoporosis.

Estas nanomedicinas se pueden aplicar directamente o incorporar en materiales a escala macro como andamios, implantes e hidrogeles para abordar defectos osteoporóticos más complejos. Las perspectivas emergentes de nanomedicina inmunomoduladora representa entonces un potencial inmenso en el tratamiento de la osteoporosis, incluyendo la regulación de la cinética de liberación, estrategias de respuesta al microambiente, diseño de nanoestructuras de superficie, modulación del microambiente electrofisiológico, desarrollo de estructuras biomiméticas y manejo espaciotemporal de la regeneración ósea,

sentando las bases para explorar fronteras actualizadas en el tratamiento de la osteoporosis (Luo et al., 2024). Sin embargo, el camino hacia la aplicación clínica exitosa de estas innovaciones requiere una extensa investigación posterior y la colaboración entre diversas disciplinas. La intrincada interacción de los factores involucrados en la homeostasis ósea y la enfermedad exige un enfoque multidisciplinario para aprovechar al máximo el potencial de la nanomedicina en el tratamiento de la osteoporosis y más allá (Luo et al., 2024).

## 8. Referencias

- Ahire J.J., Kumar V., Rohilla A. 2024. Understanding Osteoporosis: Human Bone Density, Genetic Mechanisms, Gut Microbiota, and Future Prospects. *Probiotics and Antimicrobial Proteins* 16: 875–883. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10185-0>
- Campos-Saldaña R.A., Prado-López M., Martínez-Camilo R., Salas-Marina M.A., Rodríguez-Larramendi L.A. 2024. Uso y conocimiento tradicional de plantas medicinales en comunidades de Villa Corzo, Chiapas, México *Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat* 23 (2): 257 - 272. <https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.2.18>
- De Martinis M., Ginaldi L., Allegra A., Sirufo M.M., Pioggia G., Tonacci A., Gangemi S. 2020. The Osteoporosis/Microbiota Linkage: The Role of miRNA. *Int. J. Mol. Sci.* 21: 8887; doi:10.3390/ijms21238887.
- Kumari S., Singh M., Jain S. N., Verma N., Malik S., Rustagi S., Priya K. 2023. A review on therapeutic mechanism of medicinal plants against osteoporosis: effects of phytoconstituents. *Molecular Biology Reports*, 50: 9453–9468. <https://doi.org/10.1007/s11033-023-08751-4>
- Li S-Y., Xue S-T., Li Z-R. 2024. Osteoporosis: Emerging targets on the classical signaling pathways of bone formation. *European Journal of Pharmacology* 973: 176574. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2024.176574>
- Liu S., Wu S., Qi J., Wang L. 2024. Effect of traditional Chinese fitness exercises on bone mineral density in postmenopausal women: a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Front. Endocrinol.* 15:1323595. doi: 10.3389/fendo.2024.1323595.
- Luo Y., Liu H., Chen M., Zhang Y., Zheng W., Wu L., Liu Y., Liu S., Luo E., Liu X. 2024. Immunomodulatory nanomedicine for osteoporosis: Current practices and emerging prospects. *Acta Biomaterialia* 179: 13–35. . <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2024.03.011>
- Rayson A., Boudiffa M., Naveed M., Griffin J., Dall'Ara E., Bellantuono I. 2022. Geroprotectors and Skeletal Health: Beyond the Headlines. *Front. Cell Dev. Biol.* 10:682045. doi: 10.3389/fcell.2022.682045
- Robles D. 2022. Enfermedad silenciosa e indolora: la osteoporosis afecta a 10 millones de mexicanos. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/la-osteoporosis-afecta-a-10-millones-de-mexicanos/>. Consultado 09/10/2024.

Secretaría de Salud (SS). 2023. 345. Osteoporosis afecta una de cada tres mujeres y uno de cada cinco hombres mayores de 50 años: INR.

<https://www.gob.mx/salud/prensa/345-osteoporosis-afecta-una-de-cada-tres-mujeres-y-uno-de-cada-cinco-hombres-mayores-de-50-anos-inr?idiom=es>.

Consultado 13/09/2024.

Sterin-Prync A.E., Bagnato J., Olano L., Ronchi-Rivara J.P., Solari-Ligo M.F., Torrens P., Carlucci A.M. 2023. Biotecnología aplicada al diagnóstico y tratamiento de la osteoporosis. Avances en biofármacos, bioterapias y biomarcadores. Parte 1. Bioquímica y Patología Clínica, 87(1): 55-65.

Sun C., Qi B., Huang X., Chen M., Jin Z., Zhang Y., Zhu L., Wei X. 2022. Baduanjin exercise: A potential promising therapy toward osteoporosis. Front. Med. 9:935961. doi: 10.3389/fmed.2022.935961.

Wei S., He Y., Liu K., Wang R., Wang Y. 2024. Priority interventions for the prevention of falls or fractures in patients with osteoporosis: A network meta-analysis. Archives of Gerontology and Geriatrics 127: 105558.

<https://doi.org/10.1016/j.archger.2024.105558>

Xiao P.L., Cui A.Y., Hsu C.J., Peng R., Jiang N., Xu X.H., Ma Y.G., Liu D., Lu H.D. 2022. Global, regional prevalence, and risk factors of osteoporosis according to the World Health Organization diagnostic criteria: a systematic review and meta-analysis. Osteoporosis International 33: 2137-2153. <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06454-3>.

Zhang S., Huang X., Zhao X., Li B., Cai Y., Liang X., Wan Q. 2021. Effect of exercise on bone mineral density among patients with osteoporosis and osteopenia: A systematic review and network meta-analysis. Journal of Clinical Nursing, 00, 1-12. <https://doi.org/10.1111/jocn.16101>.



Sobre el autor

Dr. Felipe Ascencio

Investigador Titular D y profesor en el CIBNOR, SNI II. Responsable del Laboratorio de Patogénesis Microbiana. Loop: 264286; Scopus: 57247070500; ORCID: 0000-0003-3515-8708

Cita:

Ascencio, F. (2024). Anotaciones importantes sobre osteoporosis, y los aportes de la biotecnología en su combate. Biotecnológica Magazine, 2(5), 43-54. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14089507>

## La lucha contra el envejecimiento

Arturo Sánchez-Paz

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

Apunta un viejo y conocido refrán que el diablo está en los detalles. Si bien esto resalta la importancia de ser minucioso, de estar alerta, también destaca la relevancia de lo que parece intrascendente. En las partes más elementales, en lo que parece insignificante, se encuentran los fundamentos de todo. Un diamante, como el grafito de los lápices, está formado por carbono puro cristalizado. Carbono, el sexto elemento más abundante del universo. Un elemento al que *le va bien bajo presión* y que en su forma cristalina reúne cualidades como brillo, transparencia y dureza. La presión a la que es sometido el carbono del diamante es el “detalle” que lo diferencia del grafito de los lápices. Cuando en 2005 se publicó la secuencia del genoma del chimpancé e inevitablemente se comparó con el genoma humano, quedó claro que ambos son prácticamente idénticos: las secuencias que pueden ser comparadas entre los genomas de ambos organismos son casi 98% idénticas. Sorprendentemente, la casi imperceptible diferencia de tan solo 2% entre las secuencias de ADN de ambos genomas nos hace especies tan diferentes. Un “simple”, pero extraordinario *detalle*.

En 1919 Thomas Parnell fue contratado como profesor de la Escuela de Matemáticas y Física por la Universidad de Queensland, Australia. Parnell siempre estuvo interesado en las cosas inusuales, en los detalles que normalmente nos rodean pero que pasan desapercibidos para los demás. Los pequeños e interesantes detalles.

Parnell quería hacer entender a sus estudiantes que hasta aquellos materiales considerados comunes podían tener características muy particulares. Los detalles marcan la diferencia. Y así comenzó lo que se conoce como el experimento más largo de la historia. La brea es una sustancia de apariencia sólida (tanto que hasta se puede quebrar en pedazos). El detalle es que la brea es realmente un fluido, un líquido tan viscoso que parece un sólido. Para demostrarles a sus estudiantes lo inusual de esta sustancia, en 1927, el profesor Parnell calentó una muestra de brea y la vació en un embudo con la salida sellada. Transcurrieron tres años y la muestra de brea se asentó en el fondo del embudo. Fue entonces cuando Parnell rompió el sello del embudo. Solo había que esperar a que, como ocurre con cualquier líquido, la primera gota de brea comenzara a fluir, por efecto de la gravedad, hasta el fondo de un vaso de cristal. Y eso, finalmente, sucedió. La gota solamente necesitó esperar un poco más de ocho años para caer en diciembre de 1938. Parnell falleció en 1948 casi dos años después de la caída de la segunda gota (febrero de 1947). Desafortunadamente, Parnell no tuvo oportunidad de observar el momento preciso en el que ambas gotas cayeron (la caída de cada una de estas gotas coincidió con sus actividades). Desde aquel día de 1930, en que se rompió el sello del embudo, hasta hoy, han caído nueve gotas (la última en abril de 2014), siendo la tasa de goteo de este líquido de una gota casi cada diez años.

En su espléndido libro *“El tiempo regalado. Un ensayo sobre la espera”*, la escritora alemana Andrea Köhler menciona que el ser humano es un animal que espera. Esperamos a otras personas, los resultados de la lotería, una oferta, la comida, un cumpleaños, una llamada. Esperamos con ansias y felicidad el nacimiento de un bebé. Esperamos la visita de un ser amado. Esperamos un campeonato de nuestro equipo favorito. Esperamos por una década, con infinita paciencia, la caída de una gota de brea. De acuerdo con Köhler, la espera es un cheque en blanco que hay que firmar y que, en el mejor de los casos, nos premia con la libertad. La espera supone ilusión. Sin embargo, la espera también implica un tiempo de incertidumbre en el que no hay garantías. Nada asegura que aquello para lo que hemos invertido tiempo llegue a un fin satisfactorio. Así, el tiempo de espera también puede ser, en muchos sentidos, fuente de sufrimiento y dolor. Y es entonces que nos percatamos de un gran detalle: el tiempo, un recurso finito, es nuestro bien máspreciado.

Una de las formas más claras, y contundentes, de darnos cuenta del paso del tiempo es a través de nuestra edad. Envejecemos. Es un proceso biológico natural inevitable. El envejecimiento se caracteriza por un deterioro funcional paulatino en el estado físico de los organismos con el transcurso del tiempo y es resultado de una combinación compleja de factores genéticos y ambientales. Actualmente, se estima que el total de la población humana de más de 65 años (considerada la población de “viejos”) representa casi el 17% de los habitantes de nuestro planeta, y se espera que este número se duplique para 2050.

Pero claro, nadie quisiera envejecer. Además de los signos de deterioro físico normal con los que la belleza se enfrenta despiadadamente a la vejez (las arrugas, las canas, las manchas en la piel, la caída del cabello), al envejecer comenzamos a advertir que se acerca el momento de morir. Así, dos tercios de las muertes registradas anualmente a nivel mundial se asocian con patologías relacionadas con la edad (enfermedades cardiovasculares o neurodegenerativas, artritis reumatoide, hipertensión o cáncer), lo cual implica costos muy elevados de atención médica. De modo que reducir la tasa de envejecimiento tendría enormes beneficios de salud, financieros y sociales.

El anhelo de evitar los efectos del envejecimiento es tan antiguo como las primeras civilizaciones humanas. Hoy, hay un gran interés por una parte importante de la población de adultos mayores en rejuvenecer su aspecto físico (y de jóvenes para frenar el envejecimiento), lo que ha dado pie a la elaboración de una innumerable cantidad de productos cosmetológicos formulados para impedir y/o retardar los procesos del envejecimiento.

En cualquier farmacia se venden sin pudor gran variedad de productos cuyos beneficios para evitar el envejecimiento son dudosos: cremas que contienen compuestos que supuestamente neutralizan radicales libres (un subproducto de nuestro metabolismo que ha sido fuertemente asociado al envejecimiento), cremas con emolientes que aseguran mejorar la flexibilidad de la piel y dar un aspecto aterciopelado, lociones que “garantizan” la rehidratación de la epidermis, cosméticos reparadores que “restauran” la estructura cutánea, geles bioesti-

mulantes que favorecen la vitalidad de la piel, emulsiones para reducir las arrugas gravitacionales.

Actualmente hay un área de investigación científica seria y confiable que, entre otras cosas, se ha enfocado en encontrar y diseñar tratamientos para evitar una variedad de condiciones que favorecen el envejecimiento: la biotecnología. Varios estudios recientes han permitido establecer la función de lo que se conoce como *células senescentes* en muchas afecciones del envejecimiento. El fenómeno de senescencia celular se caracteriza no solo por el envejecimiento de las células, como ocurre normalmente, sino que, además, éstas dejan de dividirse y no mueren. Aunque, las células senescentes generan ciertas ventajas fisiológicas, también liberan químicos nocivos, como los proinflamatorios, que afectan el funcionamiento celular regular. Y, entonces, justo como ocurriría con una manzana dañada por hongos que comienza a descomponerse y corrompe al resto de las manzanas en un frutero, unas cuantas células senescentes comienzan a afectar a las células vecinas, extendiendo su efecto dañino.

Recientemente una creciente cantidad de estudios ha demostrado que la eliminación de las células senescentes podría reducir las afecciones asociadas al envejecimiento, por lo que varios laboratorios farmacéuticos, institutos de investigación y universidades, se han dedicado a descubrir o diseñar nuevos compuestos que se encargan de eliminar las células senescentes (conocidos como *senolíticos*) o de silenciar los componentes proinflamatorios liberados por estas células (conocidos como *senomórficos*). Así, desde su descubrimiento en 2015, el número y diversi-

dad de este tipo de compuestos ha crecido dramáticamente. Por supuesto, aún falta mucho para entender completamente tanto la forma en la que estas drogas reconocen las células blanco, como sus mecanismos de acción. Pero la ciencia no se detiene, y mientras estos puntos se aclaran, algunos biotecnólogos avanzan en el desarrollo de herramientas que permitan la administración precisa de dichos compuestos.

Mediante la nanotecnología (la fascinante ciencia que se encarga del manejo y control de la materia a nivel atómico y molecular) se pueden administrar, con gran precisión, eficiencia, seguridad y especificidad, distintas drogas en órganos, tejidos, células, u organelos celulares. Actualmente, varios estudios han demostrado el uso de fagos (virus que infectan bacterias) como nanoplataformas de administración de agentes terapéuticos. Estos fagos han sido sujetos a modificaciones genéticas que les confieren la capacidad de unirse específicamente a células senescentes, liberando su "carga" (el compuesto senolítico), sin afectar a las células normales. Estos virus modificados revolucionarán, indudablemente, los tratamientos contra el envejecimiento. El paso del tiempo puede ser perturbador y, si bien todo llega a su fin, estos avances permiten suponer que en un futuro próximo los impresionantes avances biotecnológicos contribuirán a detener las huellas que el paso del tiempo deja en nuestra vida. Vivir más y vivir bien: un gran detalle de la biotecnología.



#### Sobre el autor

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

#### Cita:

Sánchez-Paz, A. (2024). La lucha contra el envejecimiento. *Biotechnológica Magazine*, 5, 55-58. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14089695>



# Artemia franciscana

## EL ALIMENTO VIVO TAMBIÉN USADO EN LA CIENCIA

María Zulema Juárez Cortés<sup>1</sup>, Luz Edith Casados Vázquez<sup>2</sup>, César Salvador Cardona Félix<sup>1</sup>

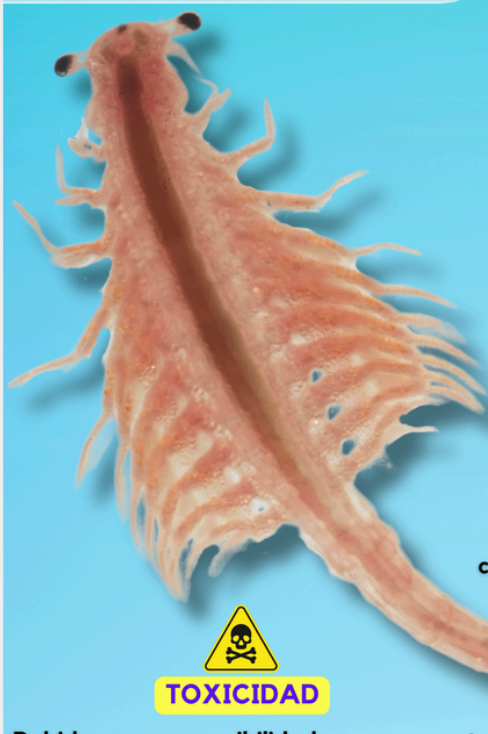
1: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN, 2: Universidad de Guanajuato

*Artemia franciscana* es un microcrustáceo que mide 200 µm, habita ambientes hipersalinos, tolera vivir a temperaturas de hasta 35 °C.

Tiene diferentes estadios larvarios que inician cuando sale del quiste (eclosión)



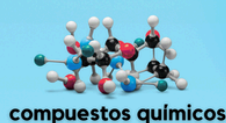
Imagen de Neli (2015)



**USO COMERCIAL:**  
Mascota infantil  
**AQUA DRAGONS™**  
Alimento vivo para peces y otros crustáceos

## Pero en la ciencia es utilizada por:

Su sensibilidad a:



compuestos químicos

Fácil manejo en laboratorio



Cultivo sencillo y barato



## TOXICIDAD

Debido a su sensibilidad a compuestos químicos, los nauplios se usan en estudios de **TOXICIDAD** de:



Antimicrobianos

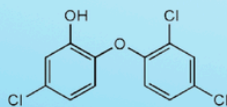


Antiparasitarios

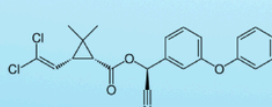


Insecticidas

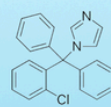
## PRUEBAS DE TOXICIDAD EN ARTEMIA DE COMPUESTOS COMERCIALES



**Triclosán**  
(Antimicrobiano)



**Cipermetrina**  
(insecticida)



**Clotrimazol**  
(Antimicrobiano)

### REFERENCIAS

Gaspar W, Niño A, Alejos R, Ynga G. 2021. Manual para la producción de *Artemia franciscana* como alimento para larvas y juveniles de peces. Inf Inst Mar Perú. 48(1): 35-49.  
Iannaccone, JJ, Alvarado, L, Valle Riestra, V, Ymaña, B, Argota G, Fimia, F, Carhuapoma M, Castañeda, L. 2016. Toxicidad de agentes antiparasitarios, antimicrobianos e insecticidas sobre larvas del camarón salino *Artemia franciscana* (Crustacea: Artemiidae)



GRUPO DE BIOTECNOLOGÍA Y  
BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA



## “Descontaminación enzimática”

María Guadalupe González Alonso<sup>1</sup>, Felipe Neri Melo López<sup>2</sup>, César Salvador Cardona Félix<sup>2</sup>, María Zulema Juárez Cortés<sup>2</sup>

1: Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de La Paz

2: Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN

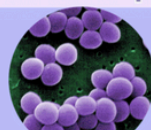
### 2 *Staphylococcus aureus*, una bacteria problemática para el ser humano.



Provoca enfermedades infecciosas graves.

Es resistente a fármacos.

- **Meticilina**
- **Vancomicina**



*S. aureus*

Bacteria **Gram positiva**  
Tolera una temperatura de **4 - 48°C** y hasta **20%** de salinidad



Alimentos frescos



Animales de corral



Material quirúrgico y superficies

### ¡Tenemos una alternativa!

Utilizar **endolisinas** como medio de descontaminación.

#### ¿Qué son las endolisinas y cómo actúan?



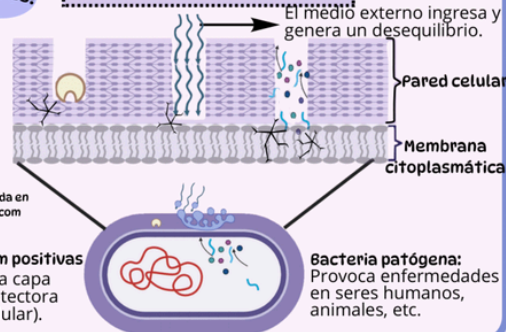
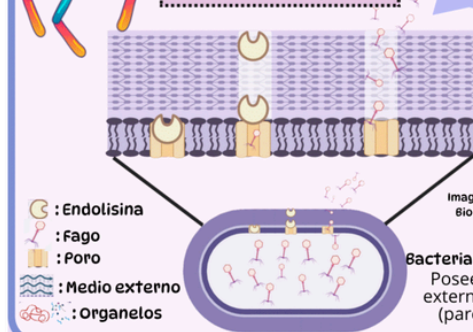
Son enzimas producidas por fagos, capaces de destruir células bacterianas.

Degradan la pared celular que protege la bacteria, la célula se rompe y muere.

**Acción biológica.**

¡Somos libres!

**Aplicación biotecnológica.**



Entonces...

### ¿Por qué aplicar endolisinas?

Para combatir bacterias que pueden contaminar superficies o alimentos y que pueden resistir a los antibióticos.



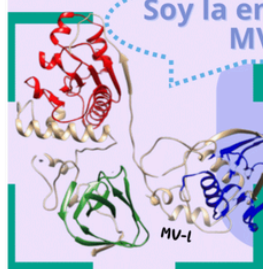
### Ventajas de uso

- Poseen:
- Acción específica y activa.
- Baja probabilidad de resistencia bacteriana.



### ¡Puedo ser una solución!

Soy la endolisina **MV-L**



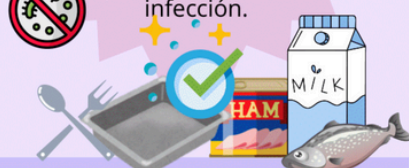
Una enzima capaz de eliminar células de *S. aureus*.

¡Incluyendo aquellas que son resistentes!

### ¡El futuro!

Un **descontaminante enzimático**

MV-L puede ser alternativa en la descontaminación de superficies y alimentos que son medios de infección.



#### REFERENCIAS

- Obeso, J., Martínez, B., Rodríguez, A. y García, P. (2008). Lytic activity of the recombinant staphylococcal bacteriophage phiH5 endolysin active against *Staphylococcus aureus* in milk. *International Journal of Food Microbiology*, 128(2): 212-218. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.08.010.
- Rashel, M., Uhiyama, J., Ujihara, T., Uehara, Y., Kuramoto, S., Sugihara, S., Yagyu, K., Muraoka, A., Sugai, M., Hiramatsu, K., Honke, K. y Matsuzaki, S. (2007). Efficient elimination of multidrug-resistant *Staphylococcus aureus* by cloned lysin derived from bacteriophage phiMR11. *The Journal of Infectious Diseases*, 196(8): 1237-1247. doi: 10.1086/521305.



# ¡El tamaño sí importa!: Nanopartículas de plata contra las infecciones bacterianas

Óscar Alberto Jaramillo<sup>1</sup>, Brenda Román-Ponce<sup>1\*</sup>, José Luis Rivera Corona<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica del Estado de Morelos Boulevard Cuauhnáhuac #566, Col. Lomas del Texcal, Jiutepec, Morelos. CP 62550.

\*Correspondencia: [broman@upemor.edu.mx](mailto:broman@upemor.edu.mx); [jrcorona@upemor.edu.mx](mailto:jrcorona@upemor.edu.mx).

## Tema

En el presente texto se aborda la relevancia del estudio de nanopartículas metálicas, esto debido al creciente interés por su aplicación en las áreas de la salud, como lo es en el combate de enfermedades bacterianas.

### Nanopartículas auxiliares en el combate bacteriano.

Has llegado a preguntarte, ¿si el tamaño realmente importa?, ámate a leer este artículo y así resolverás esa duda. En años recientes el interés por el uso de nanopartículas metálicas para distintas aplicaciones se ha incrementado en los sectores industriales, áreas médicas y agrícolas. Algunos usos que se les han atribuido son en el tratamiento de infecciones bacterianas y combate de patógenos causantes de enfermedades en plantas.

Que pensarías si te dijera, que uno de los metales con el que posiblemente están hechas tus pulseras, collares o anillos podría ayudarte a sanar alguna herida, evitando que éstas se infecten con bacterias. Así es, ese metal es la plata, la cual tiene muchas propiedades siendo más que un producto de ostento; pero antes de que te coloques una cadena de plata en una herida abierta, te recomiendo continuar leyendo este texto. La plata del latín *platus* que significa "lámina metálica", se ha utilizado para controlar infecciones bacterianas en heridas, aunque

en la antigüedad no se sabía cómo actuaba era funcional y por ello se utilizaba ampliamente. Actualmente, ya se conoce cómo es que funciona este metal, siendo los iones plata los que tienen actividad antibacteriana, antifúngica y antiinflamatoria (Yin et al., 2020). La plata se clasifica como un ácido de Lewis, lo que significa que puede aceptar electrones para formar enlaces químicos. Debido a esta propiedad, reacciona siendo atraída por sustancias conocidas como bases de Lewis, que donan electrones, como el fósforo y el azufre (Tang & Zheng, 2018). Estos elementos están presentes en las biomoléculas, que son estructuras químicas esenciales para los seres vivos y contienen carbono en su composición. Entre estas biomoléculas se encuentran componentes cruciales de la célula, como la membrana celular, las proteínas y las bases nitrogenadas del ADN (Tang & Zheng, 2018). Como te muestro en la Figura 1, los materiales de plata pueden interactúan según lo explicado con las diferentes estructuras celulares de los microorganismos, generando un efecto antimicrobiano.

Dependiendo de la concentración y la disponibilidad de la plata, así como de las características específicas de las células y tejidos involucrados, estas interacciones pueden influir en mayor o menor medida. Es por esto que se han aplicado nuevas tecnologías como la nanotecnología para potenciar los efectos mencionados.

Gracias a su capacidad para ajustar esta respuesta a la luz que se les irradia, ya sea generando un brillo o cambiando el tono de color del material, las nanopartículas también pueden emplearse como biosensores de alta luminosidad, absorbentes térmicos eficientes y antenas a nano escala (Lee & Jun, 2019). Imagina esto, el tamaño aproximado del ojo de

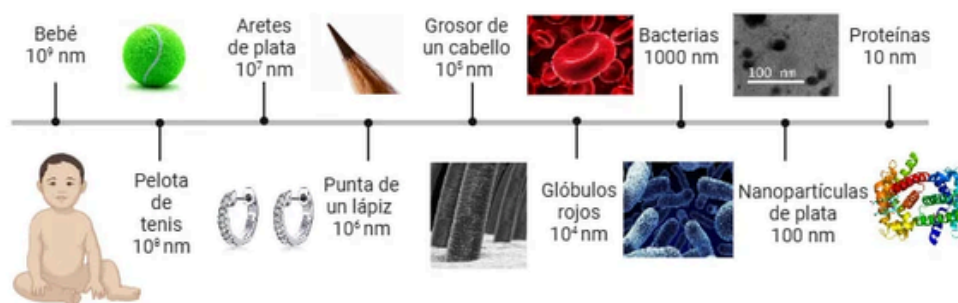


Figura 1. Mecanismos de la inducción de la actividad antimicrobiana de los nanomateriales de plata: 1) Uniéndose a la membrana celular, proteínas de la membrana y ADN, alterando su función (línea punteada azul); 2) Liberando iones plata que afectan la membrana, ADN y proteínas (línea punteada roja); 3) Generando especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) que dañan el ADN, la membrana celular y las proteínas (línea punteada negra) (Tang & Zheng, 2018).

La nanotecnología "ciencia encargada del estudio de materiales de tamaños nanométricos, es decir, muy pequeños" permite reducir el tamaño de las partículas, para este caso nos enfocaremos en partículas metálicas (Quintili, M., 2012) confiriéndoles propiedades únicas como alta conductividad eléctrica, resistencia al calor, haciendo que estas puedan llegar y actuar en lugares que nunca hubieras imaginado. Además, las nanopartículas de plata exhiben un fenómeno de resonancia de plasmón de superficie (SPR, por sus siglas en inglés), una propiedad óptica, que se manifiesta como una respuesta vibracional cuando se irradian con luz a lo largo de gran parte del espectro visible y en regiones cercanas al infrarrojo.

un mosco es de 1 milímetro, ahora el tamaño de una bacteria es aún mil veces más pequeño, aproximadamente de una micra, en este punto ya necesitas un microscopio para verla, te imaginas algo nuevamente 1000 veces más pequeño, ese es el tamaño de una nanopartícula siendo tan diminutas que estas pueden infiltrarse dentro de una bacteria sin ningún problema, para darte una idea en la figura 2 te ilustro la comparación del tamaño de una nanopartícula de plata en comparación con diferentes objetos, ahora, si reúnes las características mencionadas anteriormente con la actividad antibacteriana que ya mencione de la plata, imagínate lo que sucedería.

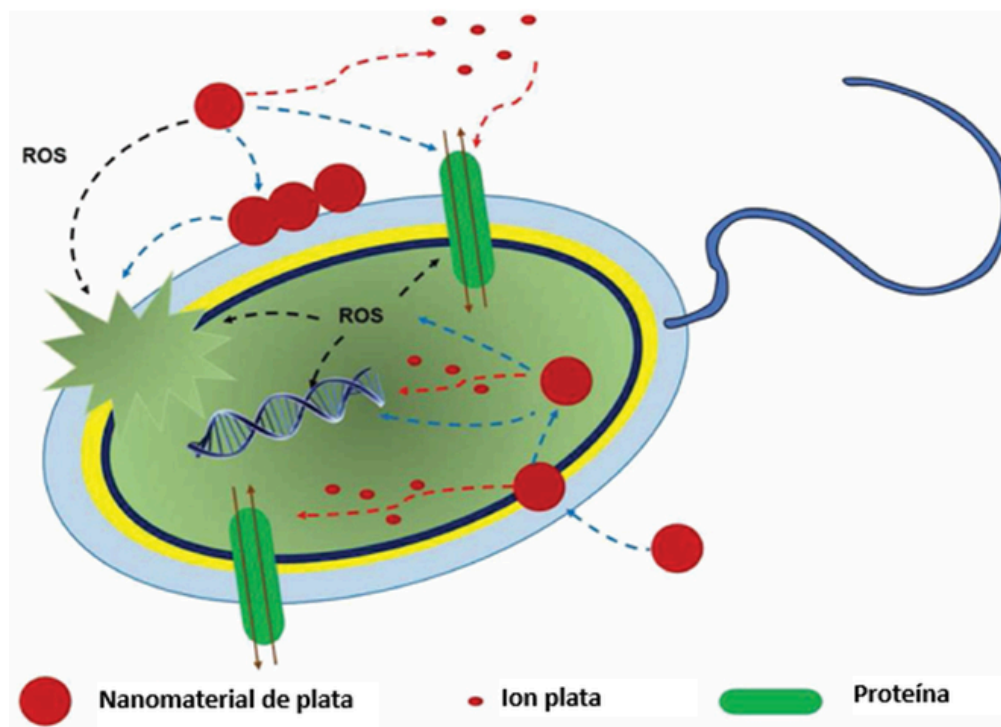


Figura 2. Comparación de tamaños de diversos elementos (figura generada en BioRender.com)

Sí, claro que nosotros también lo imaginamos, es por ello que actualmente existen varias investigaciones que se enfocan en evaluar el efecto que tienen las nanopartículas y cómo se pueden utilizar, tanto en enjuagues bucales para tratar la placa bacteriana, en heridas abiertas en forma de apósitos para evitar infecciones o en tratamientos contra patógenos de las plantas. Seguramente pensarás que la creación de estas nanopartículas se realiza utilizando métodos físicos y químicos complejos, y que solo empresas con tecnología de punta las pueden realizar, pues no es así; existe un método llamado síntesis verde, el cual ocupa productos biológicos como microorganismos y plantas.

En el caso de la plantas se usan los extractos de diversos tejidos ya que contienen metabolitos (terpenos, ácidos carboxílicos, carbohidratos, etc.), que, al reaccionar con una sal metálica, como por ejemplo el nitrato de plata para este caso, permiten la forma -

ción de las nanopartículas y confieren diferentes propiedades dependiendo de la planta origen. Estas nanopartículas de plata pueden ayudar a contrarrestar infecciones ocasionadas por bacterias como *Escherichia coli*, la posible causante de enfermedad de diarrea o contra *Staphylococcus aureus*, que ocasiona diversas afectaciones a la piel. Lo más atractivo es que estas nanopartículas también ayudan a contrarrestar enfermedades en cultivos agrícolas como es el caso de la marchitez bacteriana ocasionada por una bacteria llamada *Ralstonia solanaceum*.

Ya que te platique lo anterior, describiendo los beneficios de las nanopartículas metálicas y en especial las de plata contra infecciones bacterianas y los posibles usos de éstas, te invito a que la próxima vez que te coloques una cadena o comas con una cuchara de plata recuerdes las nanopartículas de plata y todos los beneficios que estas pueden tener y que aún no se conocen, quien sabe a lo

mejor algún día combatas una enfermedad causada por bacterias con nanopartículas de plata.

Ya vez, hoy aprendimos ¡el tamaño sí importa!

## Referencias

Alonso-González, P. (2021). Síntesis de estructuras metal-orgánicas UiO-66 nanométricas y su modificación superficial con derivados de  $\beta$ -ciclodextrina [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Almería]. Repositorio de la Universidad de Almería.

Cardoso, P. (2016). Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud. *Revista Hospital Niños (Buenos Aires)*, 58(260), 19-28.

Lee, S., & Jun, B.-H. (2019). Silver nanoparticles: Synthesis and application for nanomedicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4), 865. <https://doi.org/10.3390/ijms20040865>

Quintili, M. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (42). Recuperado de

<http://www.palermo.edu/dyc/publicaciones/ensayos.html>.

Tang, S., & Zheng, J. (2018). Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles: Structural Effects. *Advanced Healthcare Materials*, 7(13). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/adhm.201701503>

Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 2555–2562. <https://doi.org/10.2147/IJN.S246764>

## Cita

Jaramillo, Ó. A., Román-Ponce, B., & Rivera Corona, J. L. (2024). ¡El tamaño sí importa!: Nanopartículas de plata contra las infecciones bacterianas. *Biotechnológica Magazine*, 2(5), 62–65. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14124653>

