

# RD - ICUAP

ISSN 2448 - 5829



AÑO 09, NÚMERO 26



Encuétrala en [www.rdicuap.buap.mx](http://www.rdicuap.buap.mx), o puedes colaborar con nosotros enviándonos un artículo para su publicación a [journalrd@viep.com.mx](mailto:journalrd@viep.com.mx)

RD-ICUAP ES UNA PUBLICACIÓN DEL  
INSTITUTO DE CIENCIAS  
DE LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA

latindex

HIDDEN  
NATURE

# RD-ICUAP

## CINTILLO LEGAL V9 No. 26

RD – ICUAP Año 9, No. 26, mayo-agosto de 2023, es una difusión periódica cuatrimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 sur No. 104, Col. Centro, C.P. 72000, difundida a través del Instituto de Ciencias BUAP, con domicilio en el edificio IC8, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, Puebla, Pue., C.P. 72570, Tel. 01 22 222 95500 ext. 7290, <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/rdinicio>, editores responsables Dr. Enrique González Vergara y M.C. Beatriz Espinosa Aquino, [enriquez.gonzalez@correo.buap.mx](mailto:enriquez.gonzalez@correo.buap.mx) [beatriz.espinosa@correo.buap.mx](mailto:beatriz.espinosa@correo.buap.mx) Reserva de derecho al uso exclusivo 04-2021-092723014900-203, ISSN 2448-5829 ambos otorgados por el Instituto Nacional del derecho de autor de la Secretaría de Cultura. Responsables de la última actualización de este número, Instituto de Ciencias Dr. Enrique González Vergara y M.C. Beatriz Espinosa Aquino, fecha de la última modificación, abril 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

## **DIRECTORIO**

Dra. Ma. Lilia Cedillo Ramírez

Rectora

Dr. Ygnacio Martínez Laguna

Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado

Dra. Carolina Morán Raya

Directora del Instituto de Ciencias

Dra. Blanca Susana Soto Cruz

Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado ICUAP

Dra. María del Rocío Bustillos Cristales

Secretaria Académica ICUAP

M.C. Yuriria Santoyo Páez

Coordinadora de Vinculación y Responsabilidad Social ICUAP

Dr. Enrique González Vergara

Director Editorial

M.C. Beatriz Espinosa Aquino

Subdirectora Editorial

## **COMITÉ EDITORIAL**

Dr. Plácido Zaca Morán, Área de Ciencias Exactas (BUAP)

Dra. Lourdes Millán Pérez Peña, Área de Ciencias de la Salud (BUAP)

Dra. Blanca Susana Soto Cruz, Área de Ingeniería y Tecnología (BUAP)

Dr. José Antonio Munive Hernández, Área de Ciencias Naturales (BUAP)

Dr. Ricardo Pérez Avilés, Área de Ciencias Sociales (BUAP)

## COMITÉ EDITORIAL EXTENDIDO

Dra. María Lilia Cedillo Ramírez (BUAP)

Dra. Claudia Fabiola Martínez de la Peña (BUAP)

Dra. Margarita María de la Paz Arenas Hernández (BUAP)

Dr. Miguel Ángel Méndez Rojas (UDLAP)

Dra. María del Carmen Durán Domínguez (UNAM)

Dra. Maricela Bernal González (UNAM)

M. C. Rolando Salvador García Gómez (UNAM)

Dra. Rebeca María López Rivas (UNAM)

Dr. Netzahualcoyotl Carlos Ramírez (INAOE)

Dr. Eduardo Torres Ramírez (BUAP)

Dr. Jorge Alejandro Fernández Pérez (BUAP)

## CORRECTORAS DE ESTILO LENGUA INGLESA

Mtra. Leticia Estudillo León

Mtra. Rocío Barbosa Trujillo

Mtra. Sara Merino Munive

Dra. Marisol Guzmán Cova

## EQUIPO DE SOPORTE

Mtro. Jesús Eladio Barrientos Mora

Mtro. Felipe Coca Córdova

# EDITORIAL

## Año 9 No. 26

Nos es muy grato compartir con nuestros seguidores y el público en general el nuevo número de nuestra revista RD-ICUAP, cuyo principal objetivo es la comunicación pública de avances recientes de las diferentes disciplinas que se cultivan en el Instituto de ciencias de la BUAP y en general de toda la comunidad universitaria, así como de Instituciones hermanas. Se destaca la pertenencia al índice Latinoamericano de revista **LATINDEX** y nuestra pertenencia al Catálogo de Revistas Europeas de Divulgación Científica **HIDDEN NATURE**, lo que pone de relieve nuestra visibilidad a nivel internacional. Con el objeto de llegar cada vez más a un público juvenil, estamos presente en las redes sociales, YouTube, Facebook, Twitter e Instagram. Y actualmente el programa **RD-Divulga**, transmite en vivo cada fin de mes un Webinar con destacados investigadores abarcando diversos temas de interés público. Así también la producción de vídeos de divulgación científica inspirados en los artículos más leídos en RD-ICUAP y recientemente se divulga también a través de podcast disponibles en SPOTIFY. Muchas gracias por su apoyo como seguidores de nuestras actividades.

En este número ponemos a disposición 13 artículos para su lectura y consulta que incluyen las aportaciones de estudiantes de licenciatura y posgrado, así como de profesores investigadores de nuestra universidad y otras instituciones hermanas, con temas importantes como lo es la Automoción eléctrica en México, que habla sobre la movilidad urbana experimenta cambios sociales, tecnológicos y económicos de una generación, motivado por tres fuerzas disruptivas: los vehículos eléctricos, servicios de movilidad bajo demanda, los vehículos conectados y autónomos. Aerosoles atmosféricos, partículas suspendidas en la atmósfera y que varían en origen, tamaño, composición y su peligro, la relevancia en el clima del planeta y un experimento demostrativo sobre su formación en la interfaz urbano-forestal. El planteamiento de problemas en la praxis de la enseñanza matemática, en la resolución de problemas que constituye en el centro de atención al enseñar las matemáticas; a partir de problemas matemáticos presentes en la literatura y varias estrategias didácticas.

Las hormonas esteroideas sexuales: moléculas moderadoras de la infección bacteriana, en el desarrollo de cualquier organismo como un evento jerárquico y secuencial que ocurre a través de la comunicación celular. Aves invernales de la laguna de San Baltazar, Campeche, ubicada en la parte sur de la Ciudad de Puebla entendiendo la biodiversidad de las aves, se realizan acciones como la sustitución de arbolado y remoción de especies de aves exóticas o invasoras para mejorar las condiciones del sitio en pro de incrementar su valor de conservación local. La tecnología y sus aplicaciones en la vida en el uso de los nanomateriales, este campo de estudio relativamente nuevo en el desarrollo y la aplicación de materiales con propiedades significativamente distintas a las de los materiales convencionales para diversas aplicaciones que pretenden mejorar la vida. Un tema que nos atañe a todos la vejez y el uso de las redes sociales el auge de las comunidades virtuales, el trabajo expone las implicaciones del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la vejez, dado que estas herramientas son de gran importancia para promover la autonomía en la realización de diferentes actividades cotidianas. ¿Qué hay de nuevo? Terapias emergentes para el tratamiento de diabetes mellitus tipo 2 es una enfermedad caracterizada por la resistencia a la insulina, su falta de generación, o ambas. Esta enfermedad afecta el metabolismo de quienes la padecen y pueden presentarse complicaciones si no es controlada. El optimizar la investigación mediante gestores bibliográficos y otras herramientas tecnológicas, tiene como objetivo brindar una perspectiva en torno a un conjunto de herramientas digitales para la eficiencia en la producción científica en la referenciación de la consulta bibliográfica, con el fin de proporcionar al investigador una serie de puntos de partida en el uso de las herramientas tecnológicas actuales. ¿Tienes fobia a las agujas? ¿Te has sentido estresado o con miedo cada vez que te ponen una inyección? ¡Entonces este artículo te interesa! Actualmente, existe una tecnología innovadora que permite administrar fármacos en el cuerpo humano sin necesidad de agujas. Microcelulosa, polímero natural disponible para todos, es uno de los polímeros naturales que han revolucionado la historia, principalmente la celulosa que se obtiene de materiales lignocelulósicos disponibles de manera ilimitada en biomasas como las plantas. Cryptosporidium: una amenaza biológica para la salud pública, Cryptosporidium es un protozoo parásito causante de una enfermedad conocida como criptosporidiosis. Este parásito puede infectar a humanos y a animales y suele ser transmitido a través del agua o alimentos contaminados, o por contacto directo con personas o animales infectados. Finalmente, el aprovechamiento del bagazo de café, como alternativa para enriquecer alimentos a partir de residuos, en la recuperación de compuestos fenólicos del bagazo de café, en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética etc.

Para nuestra portada, el talento fotográfico de Cynthia Yarami Díaz Gonzales nos permite apreciar la belleza del Mirlo Dorso Canela (*Turdus rufopalliatu*s). Agradecemos la colaboración del Artista Digital Edgar Enrique González Rosas en el diseño de la portada.

Por último, les recordamos que el próximo 5 de noviembre del año en curso será la fecha de cierre Año 9 (2023), así que invitamos a toda la comunidad universitaria a enviar sus contribuciones. Como siempre, agradecemos el apoyo de nuestras autoridades y el entusiasmo de nuestros autores que hacen posible esta publicación.

Nos leemos en el siguiente número.

Dr. Enrique González Vergara  
Director Editorial

PhDs. Beatriz Espinosa Aquino  
Subdirectora Editorial

PRESENTACIÓN Y CONVOCATORIA

EDITORIAL

Luis Abraham Sánchez Gaspariano, Clara Iliana Martínez Gómez	AUTOMOCIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO	1-12
Marco Antonio Mora-Ramírez, Jenaro Reyes-Matamoros, Luis Alberto RendónDel- gado	AEROSOLES ATMOSFÉRICOS. RELEVANCIA EN EL CLIMA DEL PLANETA Y UN EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO SOBRE SU FORMACIÓN EN LA INTERFAZ URBANO-FORESTAL	13-22
Manuel Enrique Peiso Cruz, Lidia Aurora Hernández Rebollar, José Antonio Juárez López	EL PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS EN LA PRAXIS DE LA ENSEÑANZA MATEMÁTICA	23-32
Gerardo A. Ramírez-Paz-y-Puente, Candelario Vázquez-Cruz* Patricia Sánchez-Alonso, y Erasmo NegreteAbascal.	HORMONAS ESTEROIDEAS SEXUALES: MOLÉCULAS MODERADORAS DE LA INFECCIÓN BACTERIANA	33-51
Jesús Hernández Castán*, Cynthia Yarami Díaz Gonzales	AVES INVERNALES DE LA LAGUNA DE SAN BALTAZAR: ENTENDIENDO SU BIODIVERSIDAD	52-60
Maria Corazón Flores Bautista*, Ernesto Chigo Anota	LA TECNOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN LA VIDA	61-70
Diana González Rodríguez*	VEJEZ Y REDES SOCIALES: EL AUGE DE LAS COMUNIDADES VIRTUALES	71-79
José Daniel D.L.S-Coronel, Jorge Rodolfo Belchez-Rodriguez, Diana Calderon-Quiroz*	¿QUÉ HAY DE NUEVO? TERAPIAS EMERGENTES PARA EL TRATAMIENTO DE DIABETES MELLITUS	80-90
Ricardo Vázquez-Serna*., Yadira Navarro-Rangel , Ricardo Villegas-Tovar	OPTIMIZAR LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE GESTORES BIBLIOGRÁFICOS Y OTRAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS	91-103

Rafael Zaca Morán, Doris Giovanna Mitre Martínez, Plácido Zaca Morán, Juan Castillo Mixcoatl, Rubén Ramos García, Juan Pablo Padilla Martínez

¿TIENES FOBIA A LAS AGUJAS?

104-113

Eliud Salvador Rodríguez-Quiroz\*, Claudia Santacruz-Vázquez, Verónica Santacruz-Vázquez, Santa ToxquiLopez

MICROCELULOSA, UN POLÍMERO NATURAL DISPONIBLE PARA TODOS.

114-125

Ramiro José González Duarte\*, Verna Cázares Ordoñez, Eduardo Antonio Maruri Herrera, Jazel Flores Romero, Itzel Citlalli Hilario Santos, Vicente Garcia Guerra y Yaritza Verónica Mora Castillo

CRYPTOSPORIDIUM: UNA AMENAZA BIOLÓGICA PARA LA SALUD PÚBLICA

126-135

Brenda Montserrat González-Vázquez, Minerva Rosas-Morales, Dalia Castillo Hernández, Ada María Ríos-Cortes

APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAFÉ, UNA ALTERNATIVA PARA ENRIQUECER ALIMENTOS A PARTIR DE RESIDUOS

136-146

# AUTOMOCIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO

## ELECTRIC AUTOMOTIVE IN MEXICO

<sup>1</sup>Luis Abraham Sánchez Gaspariano,  
<sup>2</sup>Clara Iliana Martínez Gómez

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de  
Ciencias de la Electrónica. Av. San Claudio y 18 Sur Edif. FCE1  
Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. CP 72570  
<sup>2</sup>Sin adscripción.

\* [luis.sanchezgaspariano@viep.com.mx](mailto:luis.sanchezgaspariano@viep.com.mx) , [c.iliana.mg@gmail.com](mailto:c.iliana.mg@gmail.com)

## Abstract

Urban mobility undergoes one of the more important social, technological, and economic changes of one generation. This is motivated by three disruptive forces: electric cars, on-demand mobility services, and connected vehicles. This work discusses the former of these forces, i.e., electric cars, focusing on the perspectives and challenges faced by electric automotive in Mexico. It should be remarked that by the time this article is being written, the state government of Puebla presented the plan for the deployment of electric vehicle chargers in this federal entity with the intention of positioning Puebla as an international electromobility hub. On the other hand, as in the case of autonomous vehicles, the legal framework on which regulations on electric cars are established must be adequate to promote the use of this technology. This adaptation covers both the laws established in energy matters and the new legal initiatives derived from the use of electric vehicles, as well as the official standards that address issues related to electromobility and vehicle safety. Finally, the transition towards electromobility in our country requires the implementation of a comprehensive public policy that includes: the appropriate legal framework to promote and regulate the use of new technologies; supporting potential consumers of hybrid and electric vehicles with fiscal and non-fiscal incentives; and promoting the growth of the charging station network.

**Keywords:** Electromobility, Electric Cars, Electric Automotive, Vehicular Electrification

## Resumen

La movilidad urbana experimenta uno de los mayores cambios sociales, tecnológicos y económicos de una generación, motivado por tres fuerzas disruptivas: los vehículos eléctricos, los servicios de movilidad bajo demanda, y los vehículos conectados y autónomos. En este trabajo se discute la primera de esas tres fuerzas, la electrificación vehicular, enfocándonos en las perspectivas y retos que enfrenta la automoción eléctrica en México. Cabe señalar que al momento de la redacción de éste artículo, el gobierno del estado de Puebla presentó el plan para el despliegue de cargadores de vehículos eléctricos en dicha entidad federativa con la intención de posicionar a Puebla como un Hub de electromovilidad de referencia internacional. Por otro lado, al igual que en el caso de los vehículos autónomos, el marco jurídico sobre el cual se establezcan las regulaciones en materia de autos eléctricos debe ser adecuado para impulsar el uso de esta tecnología. Esta adecuación abarca tanto a las leyes establecidas en materia energética como las nuevas iniciativas de ley derivadas del uso de la automoción eléctrica, así como a las normas oficiales que atienden temas relacionados con electromovilidad y seguridad vehicular. Finalmente, la transición hacia la electromovilidad en nuestro país requiere la implementación de una política pública integral que contemple: el marco jurídico adecuado para impulsar y regular el uso de las nuevas tecnologías; apoyar a los potenciales consumidores de vehículos híbridos y eléctricos con incentivos fiscales y no fiscales; y promover el crecimiento de la red de estaciones de recarga.

**Palabras clave:** Electromovilidad, vehículos eléctricos, automoción eléctrica, electrificación vehicular.

## 1 Introducción

La movilidad urbana es, en palabras simples, la manera en la que nos movilizamos o movemos mercancías de un punto a otro en una ciudad. Esta movilidad puede ser activa o pasiva. En el primer caso, nos trasladamos a pie o mediante un vehículo cuya propulsión depende enteramente del esfuerzo físico de las personas que se desplazan, por ejemplo la bicicleta, la patineta, etcétera. En la movilidad pasiva, empleamos vehículos propulsados por algún tipo de motor, como las motocicletas, las scooters eléctricas o los automóviles. Típicamente, el tipo de vehículo que se utiliza en la movilidad pasiva está en función de la distancia que nos trasladamos, así como las necesidades de desplazamiento. Por ejemplo, si tengo que desplazarme unos 7 km de distancia o menos, una scooter eléctrica puede ser una opción viable. Por otro lado, si tengo que llevar a más personas conmigo a una distancia de más de 7 km, es más conveniente transportarnos en un automóvil; o si debo trasladar diversas mercancías, un vehículo de carga es la mejor opción.

La movilidad urbana es un tema complejo dado que se encuentra cada vez más regulada por las políticas públicas estatales (Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía, 2019). Y es que las problemáticas asociadas al desplazamiento de personas y mercancías han cobrado una notoria relevancia a partir del incremento cada vez mayor de la densidad poblacional con la consecuente extensión espacial de las urbes, lo que genera a su vez un alto índice de movilidad vehicular o hipermovilidad. Aunado a esto, actualmente los sistemas de transporte se ven afectados por los precios cada vez más altos de los combustibles fósiles, los cuales también contribuyen al calentamiento global por las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (De Juan Ayuso, 2022).

Con esta problemática que debe ser atendida, la hipermovilidad y los problemas del calentamiento global asociados a las emisiones de los vehículos que emplean combustibles fósiles, la movilidad urbana está experimentando uno de los mayores cambios sociales, tecnológicos y económicos de una generación, motivado por tres fuerzas disruptivas (Simpson, C., et al., 2019): los vehículos eléctricos, los servicios de movilidad bajo demanda, y los vehículos conectados y autónomos. Con la sinergia de estas tres fuerzas, se estima que la movi-

lidad será más cómoda, segura y económica, sobre todo con menor impacto en la salud y el medio ambiente. En este trabajo, tratamos el tema de la electrificación vehicular, enfocándonos principalmente en el caso México.

## 2 Roadmap de la automoción eléctrica

Una suposición ampliamente difundida es la idea de que el coche eléctrico es una creación de nuestra civilización avanzada que lucha contra la contaminación, pero en realidad tiene casi doscientos años de antigüedad. Por lo tanto, los autos eléctricos fueron concebidos inclusive anteriormente que los vehículos propulsados por gasolina y diesel. Los albores de los automóviles eléctricos datan de la primera mitad del siglo XIX. El primer diseño de vehículo eléctrico fue obra de Ányos Jedlik en 1828 (Martín Moreno, 2016), aunque su prototipo no alcanzó la forma de un auto funcional. Del mismo modo, en 1835 Sibrandus Stratingh y Christopher Becker diseñaron un vehículo eléctrico a escala.

El primer coche eléctrico fue realizado entre 1832 y 1839 por Robert Anderson. Poco después, Thomas Davenport y Robert Davidson perfeccionaron el concepto instalando en los Estados Unidos el primer motor eléctrico en un coche sobre rieles electrificados (Díez González, 2019). Más de cuatro décadas después, en 1881 se presentó en la Exposición de la Electricidad en París el primer automóvil eléctrico de 3 ruedas. Siete años después, en 1888, Andreas Flocken construyó el primer coche eléctrico con cuatro ruedas (Iberdrola, 2022). Posteriormente, en 1897 aparecieron los taxis eléctricos en ciudades como Nueva York o Filadelfia (Laforet Coll, 2021). En 1899 el coche eléctrico bautizado como "Jamais Contente", construido en Francia, alcanza por primera vez la velocidad de 100 km/h (Talavera, 2011).

A inicios del siglo XX, los vehículos eléctricos suponían el 28% del mercado total en Estados Unidos, y en 1912 el total de vehículos eléctricos alcanzó la cifra de 30.000 unidades (Sanz Arnaiz, 2015). La aparición del vehículo con motor de combustión en la década de 1930, provocó la extinción casi total de los autos eléctricos. Sin embargo, las continuas crisis de los combustibles fósiles y los problemas asociados con la contaminación hicieron retomar la idea de la propulsión de vehículos con motores eléctricos. Después de la segunda guerra

mundial, en Japón la Tama Cars Co. se dedicó al desarrollo de vehículos eléctricos (Nissan, 2018). En 1966 el Congreso de Estados Unidos recomienda la vuelta al coche eléctrico como medida de contingencia por la contaminación ambiental y la General Motors comienza a fabricar el EV1 como respuesta a la ley “Zero Emission Vehicle Mandatory” del estado de California (Sanz Arnaiz, 2015). En la Figura 1 se muestra la foto de un Gremlin eléctrico de la American Motor Company (AMC), recargando batería en una acera de Seattle en el año de 1973. Más tarde, en 1997, la armadora japonesa Toyota lanza su primer auto híbrido, el Toyota Prius, del que se llegaron a vender 18.000 unidades el primer año de su comercialización (Pretextsa, 2021).



Figura 1. Cargando un AMC Gremlin eléctrico en Seattle, 1973. Fuente: página de Facebook de El Diario de Historia (<https://bsu.buap.mx/bgf>).

El sector de los eléctricos continúa en expansión. Hoy en día la mayor parte de las marcas, desde las de gama baja hasta las marcas premium, tienen algún tipo de vehículo eléctrico en su catálogo en casi todas las modalidades, incluidos los autos ciudadanos del segmento A, así como vehículos de mayores dimensiones,

tal es el caso de las camionetas tipo SUV, vehículos comerciales ligeros tipo VAN o para transporte de mercancías tipo Pick Up; inclusive autobuses para transporte de pasajeros.

Por otra parte, diversas instituciones gubernamentales han implementado políticas de regulación y legislación para mitigar la contaminación del aire y el calentamiento global, en conjunto con los fabricantes de vehículos automotores. Tal es el acuerdo de París, en el que diversos países comprometieron la reducción de las emisiones contaminantes con objeto de evitar el calentamiento global. En ese sentido, en la pasada cumbre de las partes del 2021, México se comprometió a modificar sus políticas económicas y regulatorias para que en el 2040 en nuestro país se comercialicen únicamente vehículos nuevos de cero emisiones (Brugada, 2021).

### 3 Tipos de vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico es aquel que es propulsado por un motor eléctrico. Estos vehículos se pueden dividir en tres categorías: vehículos eléctricos híbridos (HEV, por sus siglas en inglés), vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV, por sus siglas en inglés) y vehículos totalmente eléctricos (EV, por sus siglas en inglés). La Figura 2 ilustra las diferencias entre estos tres autos.



Figura 2. Tipos de vehículos eléctricos: Híbridos HEV, Híbridos enchufables (PHEV) y Eléctricos puros (EV). Elaboración propia.

Los HEV funcionan con dos motores, uno de combustión interna y un eléctrico que funciona gracias a la energía almacenada en una batería. La potencia adicional dada por el motor eléctrico permite que el motor de combustión empleado sea de una menor cilindrada sin sacrificar el rendimiento. La batería del

motor eléctrico también es aprovechada para alimentar otros sistemas electrónicos tanto de infotainment como de seguridad activa. Además, los HEV pueden desplazarse distancias cortas a velocidades reducidas usando solamente el motor eléctrico. Todas estas capacidades le otorgan a los HEV una muy buena economía de combustible y una reducida emisión de gases en comparación con los vehículos convencionales de características similares. La batería de los HEV se recargan a través de la energía del frenado regenerativo y del alternador acoplado al motor de combustión interna (U.S. Department of Energy, 2015).

Al igual que los HEV, los PHEV funcionan con ambos motores, el de combustión y el eléctrico. La diferencia entre éste tipo de híbridos radica en que la batería que acciona el motor eléctrico de un PHEV se conecta a la red eléctrica para recargarse, además de que también se puede cargar a través del alternador acoplado al motor de combustión y al frenado regenerativo. Las baterías de los PHEV suelen ser más grandes que las de los HEV, lo que permite que se desplacen únicamente con el motor eléctrico con una autonomía más extendida. De este modo, el motor de combustión interna puede propulsar al vehículo cuando la batería del motor eléctrico se descarga, o durante períodos donde la aceleración empleada es rápida y el vehículo alcanza una alta velocidad de desplazamiento, o inclusive cuando se requiere la calefacción o el aire acondicionado a alta potencia. Cabe mencionar que aún cuando el motor de combustión está en funcionamiento, los PHEV consumen menos gasolina y, por lo general, emiten menos gases que los vehículos convencionales similares. El consumo de gasolina de un PHEV depende de la distancia recorrida entre una carga y otra. Si el vehículo no se conecta, su economía de combustible cuando se usa solo con gasolina será casi igual a la de un HEV de tamaño similar. Pero si el vehículo se conecta y se desplaza una distancia que no supera su autonomía, éste funcionará únicamente con el motor eléctrico (U.S. Department of Energy, 2015).

Los EV usan únicamente motores eléctricos, los cuales son accionados por baterías que se recargan al conectar el vehículo a la red eléctrica. Aunque también se pueden recargar mediante el frenado regenerativo. La autonomía de desplazamiento de los EV actuales por cada carga es aún menor que la de los vehícu-

los convencionales por cada tanque de gasolina. La autonomía de un EV varía de acuerdo con las condiciones y hábitos de manejo. Las temperaturas ambiente extremas tienden a reducir la autonomía, ya que la energía de la batería debe alimentar los sistemas de acondicionamiento además de impulsar el motor. Conducir a altas velocidades, conducir de forma imprudente y llevar cargas pesadas también reducen la autonomía (U.S. Department of Energy, 2015). Quizás, el mayor atractivo de los EV está en el hecho de que no emiten gases de escape debido a la ausencia del motor de combustión. Aunque el eslogan de “vehículos cero emisiones” es cuestionable, ya que la energía eléctrica empleada para la recarga de sus baterías puede producirse, dependiendo del país donde se usen estos autos, mediante la quema de combustibles fósiles, por ejemplo el combustóleo y el carbón.

Algo que debe ser tomado en cuenta son los tiempos de carga de las baterías, tanto de los PHEV como de los EV, los cuales pueden llegar a ser bastante largos comparados con los tiempos para repostar de los vehículos de combustión (U.S. Department of Energy, 2015).

#### 4. Vehículos eléctricos en México

Hoy en día hay más de cuarenta marcas de vehículos que se comercializan en México (INEGI, 2022). La mayor parte de estas marcas tienen al menos una opción de vehículo eléctrico, ya sea HEV, PHEV, o EV, en su catálogo, por lo que la oferta es nutrida. La Tabla 1 muestra los vehículos eléctricos comercializados en territorio mexicano hasta Julio del 2022.

Tabla 1. Vehículos nuevos, Híbridos y Eléctricos, comercializados en México en Julio del 2022.

País	Marca	HEV Modelo (tipo)	PHEV Modelo (tipo)	EV Modelo (tipo)
Japón	Honda	Insight (Sedán)		
	Suzuki	Swift Booster Green (Hatchback)		
	Toyota	Prius (Sedán) Corolla (Sedán) Camry (Sedán) RAV4 (SUV) Sienna (Minivan)		
	Mazda	Mazda 2 i Grand Touring (Sedán)		
	Mitsubishi		Outlander (SUV)	
	Nissan			Leaf (Hatchback)
Corea del Sur	KIA	Niro (SUV)		
China	JAC			E 10X (Hatchback) E J7 (Sedán) E SE4 (SUV)
Estados Unidos	Ford	Escape (SUV) Lobo (Pick Up) F150 (Pick Up)		E-Transit (VAN) Mach-E
	Chevrolet			Bolt (SUV)
	Tesla			Model S (Sedán) Model 3 (Sedán) Model X (Hatchback) Model Y (Hatchback) Cybertruck (SUV)
México	Zacua			WX13 (Bibissa) WX15 (Bibissa)
India	Dodge		XC30 (2U) XC80 (Crossover) XC40 (2U) 260 (260h)	XC40 (Crossover) C40 (Crossover)
Alemania	BMW		serie 1 (Sedán) serie 2 (Sedán) X3 (SUV) X3 (SUV)	13 (Coupe) X3 (2U) X1 (Hatchback)
		Mercedes-Benz		E30 (Sedán) E30 (2U) E30 (2U) E30 (2U)
	Audi			(Sedán) e-tron 2 Sportback
	Renault			(Sedán) Z E

Fuente: [www.honda.mx](http://www.honda.mx), [www.suzuki.com.mx](http://www.suzuki.com.mx), [www.toyota.mx](http://www.toyota.mx), [www.mazda.mx](http://www.mazda.mx), [www.mitsubishi-motors.mx](http://www.mitsubishi-motors.mx), [www.nissan.com.mx](http://www.nissan.com.mx), [www.kia.com](http://www.kia.com), [www.jac.mx](http://www.jac.mx), [www.ford.mx](http://www.ford.mx), [www.chevrolet.com.mx](http://www.chevrolet.com.mx), [www.tesla.com](http://www.tesla.com), [www.renault.com.mx](http://www.renault.com.mx), [www.audi.com.mx](http://www.audi.com.mx), [www.mercedes-benz.com.mx](http://www.mercedes-benz.com.mx), [www.bmw.com.mx](http://www.bmw.com.mx), [www.volvocars.com](http://www.volvocars.com), [www.zacua.com](http://www.zacua.com)

Puede verse que el abanico de opciones es amplio, principalmente en las modalidades de híbridos y eléctricos puros. Se tienen autos biplaza, como en el caso de la armadora mexicana de Zacua, sedanes, hatchbacks, crossovers, furgones, SUVs, VANs y Pick Ups. Inclusive, aunque no se incluye en la tabla 1, hay una marca mexicana de vehículos de pasajeros (DINA), que produce un modelo eléctrico, el Ridder E, un autobús que recorre las principales rutas del área metropolitana de la CDMX y Guadalajara. Además, las opciones disponibles van desde autos de gama media hasta marcas premium. La Figura 3 muestra un vehículo premium y un vehículo de gama media de los mencionados en la Tabla 1.



Figura 3. Ejemplos de VE comercializados en México: a la izquierda, vehículo de gama premium, el Ford Mach-E, y la derecha, vehículo de gama media, el JAC-E10X. Fuente: [www.ford.mx](http://www.ford.mx) y [www.jac.mx](http://www.jac.mx).

De acuerdo con las estadísticas de la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA), en marzo del 2022 las ventas de vehículos eléctricos e híbridos eran el 4.3% de ventas totales de vehículos nuevos en México (AMIA, 2022). Aún es un porcentaje pequeño en comparación con el de la venta de vehículos con motor de combustión, pero esto podría cambiar en el mediano plazo, ya que en la pasada cumbre de las partes del 2021, México se comprometió a modificar sus políticas económicas y regulatorias para que en el 2040 en nuestro país se comercialicen únicamente vehículos nuevos de cero emisiones (Brugada, 2021).

La Figura 4 muestra la distribución de la venta de vehículos electrificados por entidad federativa en 2021 (AMIA, 2022). Se aprecia que más de la mitad de los vehículos eléctricos vendidos en México se concentran en 4 entidades: CDMX, Estado de México, Nuevo León y Jalisco.

Un dato interesante es que, si bien el costo inicial para adquirir un auto electrificado es mayor en comparación con un vehículo convencional, éste es un gasto que se irá subsanando a medida que pase el tiempo dado que el precio por kilómetro es más caro en un coche de combustión que en un eléctrico (Burnham, et. al., 2021).



Figura 4. Distribución de la venta de vehículos electrificados por entidad federativa en México. Fuente: Elaboración AMIA con datos del Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros INEGI. [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

## 5 ¿Qué se está haciendo y qué queda por hacer para fomentar la transición a la electromovilidad en México?

Los incentivos fiscales vigentes para fomentar el uso de vehículos híbridos y eléctricos se enlistan a continuación (AMIA Electromovilidad, 2022):

- Descuento de 20% en casetas de cobro y segundos pisos de CDMX y EdoMex.

- Tarifa preferencial de electricidad para estaciones de recarga domiciliaria.

- Instalación gratuita de medidores para estaciones de recarga domiciliaria.

- Exentos de pago del Impuesto Sobre Automóviles Nuevos (ISAN).

- Exentos de pago del impuesto a la tenencia en los estados que existe el impuesto.

- Deducibilidad de hasta \$250,000 para personas morales.

- Exentos de Verificación Vehicular en Zona CAME (Vehículos Eléctricos, Eléctricos Conectables y Strong Hybrids).

- Renovación de la flota de taxis: bono de chatarrización por cada unidad entregada para ser sustituida, por concepto de enganche de los vehículos nuevos, \$100,000 para vehículos híbridos o eléctricos.

En términos de infraestructura, en 2021 en México había alrededor de 1200 estaciones de carga disponibles al día de hoy, en espacios públicos, residenciales y agencias (Google México, 2021). Por otro lado, según datos del sitio web de PETROIntelligence, en México existen actualmente 12.961 gasolineras, las cuáles comercializan 277 marcas de gasolina (PETROIntelligence, 2022). De este modo, puede apreciarse que se requiere una mayor inversión en electrolineras para fomentar la migración de vehículos con motor de combustión a autos eléctricos. Algunos puntos a considerar para el desarrollo de infraestructura de carga según la AMIA son los siguientes (AMIA Electromovilidad, 2022):

- Patrones de crecimiento del mercado, la capacidad de la red, las vías de comunicación disponibles y los criterios y estándares establecidos.

- Considerar la carga de vehículos eléctricos como un componente en el desarrollo de infraestructura urbana, en los planes de movilidad urbana.

Coordinar la implementación y operación de las entidades distribuidoras de energía, con el propósito de dotar de capacidad de líneas de suministro en zonas urbanas con alta demanda.

Facilitar la instalación de cargadores (uso privado e industrial)

Mantener los esquemas actuales de apoyo para la instalación de cargadores privados, así como el nivel de subsidio ofrecido por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para la carga.

Identificar las barreras para la expansión de la industria nacional en materia de movilidad eléctrica, principalmente en la generación de incentivos para el suministro y cobro de energía, mejorar las condiciones de regulación y competencia, con el propósito de crear las condiciones de servicio.

Cabe señalar que al momento de la redacción de éste artículo, el gobierno del estado de Puebla presentó el plan para el despliegue de cargadores de vehículos eléctricos en dicha entidad federativa con la intención de posicionar a Puebla como un Hub de electromovilidad de referencia internacional (Gobierno de Puebla, 2022).

Algunos incentivos que pueden abonar a la adopción del uso de vehículos eléctricos en México incluyen:

Reducción en las cuotas de peaje para este tipo de autos.

Tarifa \$0.00 de estacionamiento en vía pública (parquímetros) o en estacionamientos gestionados por los gobiernos federal y locales.

Carriles confinados para el uso de vehículos electrificados.

Finalmente, al igual que en el caso de los vehículos autónomos, el marco jurídico sobre el cual se establezcan las regulaciones en materia de autos eléctricos debe ser adecuado para impulsar el uso de esta tecnología. Esta adecuación abarca tanto a las leyes establecidas en materia energética como las nuevas iniciativas de ley derivadas del uso de la automoción eléctrica, así como a las normas oficiales que atienden temas relacionados con electromovilidad y seguridad vehicular.

## 6 Conclusiones

La electrificación vehicular es una de las fuerzas disruptivas que impactan como nunca antes a la movilidad urbana, la cual enfrenta el reto de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en pro del alivianamiento del calentamiento global.

Los vehículos eléctricos no son una idea novedosa, fueron concebidos hace ya casi dos siglos, pero en últimas fechas han llamado la atención de la industria, los gobiernos a nivel mundial, así como de los consumidores. Y es que, además de los problemas de calentamiento global, que por sí mismos son muy importantes de atender, los costos de los combustibles fósiles se han encarecido bastante en años recientes, situación que no va a cambiar en el futuro, más bien se va a agudizar.

Los vehículos eléctricos actuales se pueden clasificar en tres grandes grupos: vehículos híbridos, vehículos híbridos enchufables y vehículos eléctricos puros. Los híbridos e híbridos enchufables usan dos motores para propulsar al auto, uno de combustión y otro eléctrico, el cual es alimentado por una batería que se recarga mediante la energía cinética generada por la acción de frenado del carro (frenado regenerativo) o por conexión directa a la red eléctrica. Los eléctricos puros sólo usan motor eléctrico y ésta debe cargarse directamente en la red eléctrica, lo cual puede durar bastante tiempo.

Es posible adquirir algún tipo de vehículo eléctrico en México, ya que existe una amplia oferta de autos eléctricos en casi todas las marcas. Los autos eléctricos e híbridos enchufables son excelentes para conductores que desean reducir las emisiones y los costos de combustible. Sin embargo, la carga de la batería puede llevar mucho tiempo, lo que puede no satisfacer las necesidades de manejo. Por otro lado, un vehículo híbrido es una mejor opción si la meta es únicamente reducir el costo de gasto de combustible sin tener que limitar la distancia de recorrido. En cualquier caso, se tiene el plus de no pagar el impuesto sobre automóviles nuevos, tenencia, refrendo, así como estar exento de la verificación vehicular y no estar obligado a seguir el programa Hoy No Circula. Otra ventaja de los vehículos híbridos y eléctricos es que, a la larga, son de más bajo costo que los vehículos de combustión.

Finalmente, la transición hacia la electromovilidad en nuestro país requiere la implementación de una política pública integral que contemple: el marco jurídico adecuado para impulsar y regular el uso de las nuevas tecnologías; apoyar a los potenciales consumidores de vehículos híbridos y eléctricos con incentivos fiscales y no fiscales; y promover el crecimiento de la red de estaciones de recarga.

## **Declaración de privacidad**

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## **Declaración de no Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen al Dr. Daniel Mocencahua Mora por sus comentarios, los cuales ayudaron a mejorar este trabajo.

## Referencias

- AMIA. (2022). AMIA: Ventas de vehículos Híbridos y Eléctricos. Recuperado de <https://www.amia.com.mx/ventas-de-vehiculos-hibridos-y-electricos1/>
- AMIA Electromovilidad. (2022). AMIA: Transición a la electromovilidad en México. Recuperado de <https://amia.com.mx/2022/03/10/transicion-a-electromovilidad-en-mexico/>
- Brugada, A. (2021). Autodinámico: México prohibirá la venta de vehículos a combustión para el año 2040. Recuperado de <https://autodinamico.mx/entradas/mexico-prohibira-la-venta-de-vehiculos-a-combustion-para-el-ano-2040/>
- Burnham, A. et. al. (2021). Office of Scientific and Technical Information. Technical report: Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains (ANL/ESD-21/4 167399). U.S. Department of Energy.
- Comisión Nacional para el uso eficiente de la Energía. (2019). Políticas para la movilidad urbana (p. 1-4). Ciudad de México: Secretaría de Energía
- De Juan Ayuso, I. (2022). Geografía del colapso, límites estructurales y ecológicos de la ciudad capitalista. Editorial Mirahadas
- Díez González, P. Principios básicos del vehículo eléctrico [Tesis profesional, Universidad de Valladolid]. Repositorio de Tesis de la Universidad de Valladolid. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/36790>
- Gobierno de Puebla. (2022). Plan para el Despliegue de Cargadores de Vehículos Eléctricos en el Estado de Puebla [Archivo de video]. Youtube. <https://youtu.be/n19-Ynnf4LU>
- Google México. (2021). Estaciones eléctricas de carga. Recuperado de <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=16KoGoFCcbCx65yIV3KypAUqucv0j5W3x&ll=24.090530471364612%2C-101.89983310000002&z=5>
- Iberdrola. (2022). Iberdrola, sostenibilidad, historia coche eléctrico, El vehículo eléctrico, un viaje de más de 200 años de historia. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/historia-coche-electrico>
- INEGI. (2022). INEGI: Registro administrativo de la industria automotriz de vehículos ligeros. Venta de vehículos. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/#Datos_abiertos)
- Laforet Coll, C. (2021). Forcitylovers: El taxi amarillo en Nueva York: su historia desde 1897 hasta la actualidad. Recuperado de <https://www.forcitylovers.com/es/el-taxi-amarillo-en-nueva-york-su-historia-desde-1897-hasta-la-actualidad>
- Martín Moreno, F. (2016). Vehículos eléctricos. Historia, estado actual y retos futuros [Proceeding]. 2nd Pan-American Interdisciplinary Conference, PIC 2016. Buenos Aires, Argentina.
- Nissan. (2018). Nissan news: El antecesor de Nissan LEAF: Tama, el vehículo eléctrico de 1947. Recuperado de <https://nsam.nissannews.com/es/releases/las-ra-ces-de-nissan-en-su-liderazgo-en-veh-culos-el-ctricos?query=tama#>
- PETROIntelligence. (2022). Sector de transporte y gasolinero en México. Recuperado de <https://petrointelligence.com/precios-de-la-gasolina-y-diesel-hoy.php>
- Pretexsa. (2021). Pretexsa: Historia del Toyota híbridos. Recuperado de <http://www.pretexsa.com/yXZoGPV2.html>

Sanz Arnaiz, I. (2015). Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea [Título profesional, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España]. Repositorio de Tesis de la Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/3803>

Simpson, C., et. al. (2019). Mobility 2030: transforming the mobility landscape, how consumers and businesses can seize the benefits of the mobility revolution. (p. 1-24). KPMG International. <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/mobility-2030-transforming-the-mobility-landscape.pdf>

Talavera, M. (2011). Motorpasión: El Jamais Contente, el eléctrico que superó los 100 km/h. Recuperado de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-jamais-contente-el-electrico-que-supero-los-100-kmh>

U.S. Department of Energy. (2015). Vehículos eléctricos, híbridos y enchufables [White paper]. [https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev\\_spanish.pdf](https://afdc.energy.gov/files/u/publication/hpev_spanish.pdf)

# AEROSOLLES ATMOSFÉRICOS. RELEVANCIA EN EL CLIMA DEL PLANETA Y UN EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO SOBRE SU FORMACIÓN EN LA INTERFAZ URBANO-FORESTAL

## ATMOSPHERIC AEROSOLS. RELEVANCE IN THE PLANET'S CLIMATE AND A DEMONSTRATIVE EXPERIMENT ON ITS FORMATION IN THE URBAN-FOREST INTERFACE

Marco Antonio Mora-Ramírez<sup>1,\*</sup>  
Jenaro Reyes-Matamoros<sup>2</sup>  
Luis Alberto Rendón-Delgado<sup>3</sup>

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Av. San Claudio 1814, Edificio  
FCQ 5, Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, Pue., México

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, Av. 14 sur 6301,  
Col. San Manuel, C. P. 72570, Puebla, Pue., México, e-mail: jenaro.  
reyes@correo.buap.mx

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, Av. San Claudio 1814,  
Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, Pue., México, e-mail: luis.  
rendon@correo.buap.mx

M. A. Mora-Ramírez, e-mail: marco.morar@correo.buap.mx

## Abstract

Atmospheric aerosols are particles suspended in the atmosphere that vary in origin, size, and composition. In addition to being dangerous to human health, atmospheric aerosols can have short- and long-term effects on climate dynamics and are considered one of the greatest sources of uncertainty in global climate prediction models. In this work, we make an introduction to the subject of atmospheric aerosols as a key element of climate change. Likewise, a demonstrative experiment we carried out in the university laboratory is presented to illustrate one of the possible chemical mechanisms of aerosol formation from biogenic emissions from forests and secondary pollutants from cities, knowing that this type of chemical reaction occurs in the forest environment or at the forest-city interface. We consider it important to spread this phenomenon since forest ecosystems are basically considered particle sinks when particles are deposited on the surface of plants and leaves due to the mechanical effects of the wind. However, it is less known that forests can emit elements that are precursors to forming atmospheric aerosols.

**Keywords:** Secondary aerosols, terpenes, biogenic emissions, atmospheric chemistry, urban-rural pollution.

## Resumen

Los aerosoles atmosféricos son partículas suspendidas en la atmósfera y estas varían en origen, tamaño y composición. Además de ser peligrosos para la salud humana, los aerosoles atmosféricos pueden tener efectos a corto y largo plazo sobre la dinámica del clima, y son considerados una de las mayores fuentes de incertidumbre en los modelos de predicción del clima global. En este trabajo realizamos una introducción al tema de los aerosoles atmosféricos como elemento clave del cambio climático. Así mismo, se presenta un experimento demostrativo que realizamos en el laboratorio universitario de la BUAP para ilustrar uno de los posibles mecanismos químicos de formación de aerosoles a partir de emisiones biogénicas de los bosques y contaminantes secundarios de las ciudades, a sabiendas de que este tipo de reacciones químicas ocurren en el ambiente forestal, o en la interfaz forestal-ciudad. Consideramos importante difundir este fenómeno, ya que típicamente los ecosistemas forestales son considerados como sumideros de partículas cuando estas se depositan en la superficie de las plantas y hojas debido a efectos mecánicos del viento. Sin embargo, es menos conocido que los bosques pueden emitir elementos precursores de la formación de aerosoles atmosféricos.

**Palabras clave:** Aerosoles secundarios, terpenos, emisiones biogénicas, química atmosférica, contaminación urbana-rural.

## ¿Por qué estudiar a los aerosoles?

El cambio climático (CC) se relaciona con sequías y lluvias más frecuentes y de mayor intensidad, un aumento global de la temperatura promedio, frecuencia e intensidad de incendios y deshielo, entre otros temas. Así mismo, cuando se habla del tema de CC típicamente se relaciona con una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y en este contexto podría venir a nuestra memoria el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y después quizá el metano (CH<sub>4</sub>) como el que se genera en grandes cantidades en los tiraderos de basura. También, se habla todo el tiempo de ahorro de energía, eficiencia energética, implementación de tecnologías, y más recientemente de economía circular, como se muestra en el lado izquierdo de la figura 1. Pero los científicos en el mundo nos dicen que esto solo es una parte de la historia del problema del CC. Los aerosoles representan otra parte fundamental del problema, pero quizá mucho menos conocida. En el lado derecho de la figura 1 se muestran algunos temas asociados a los aerosoles y el sistema climático.

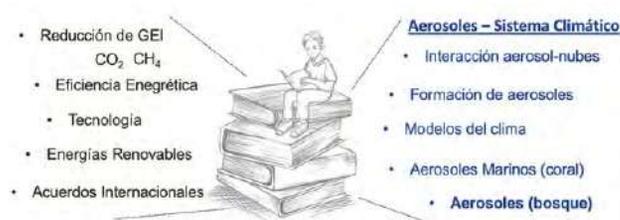


Figura 1. El problema del cambio climático se asocia a diversos temas (lado izquierdo) más o menos bien conocidos, sin embargo es poco conocido que los aerosoles (lado derecho) son una parte fundamental del problema del cambio climático. Fuente: Elaboración propia.

Primero que todo, los aerosoles son partículas suspendidas en la atmósfera que tienen relevancia en el balance radiativo y el clima del planeta (Haywood, 2016; Miller & Tegen, 1998; Ramanathan, Crutzen, Kiehl, & Rosenfeld, 2001) y son un elemento clave en los procesos de formación de nubes (Bréon, Tanré, & Generoso, 2002) que se evidencia en los modelos climáticos donde la interacción de los aerosoles atmosféricos con las nubes es una de las mayores fuentes de incertidumbre en

las proyecciones climáticas (Lee, Reddington, & Carslaw, 2016). También, es bien sabido que los aerosoles atmosféricos afectan la calidad del aire (Che et al., 2015) y tienen consecuencias en la salud humana (Davidson, Phalen, & Solomon, 2005; Pöschl, 2005). Los aerosoles tienen una amplia gama de fuentes y pueden clasificarse de acuerdo a su origen como naturales (polvo, sal marina, humo, entre otros) y antropogénicos. Los aerosoles atmosféricos varían en tamaño desde unos pocos nanómetros, hasta decenas de micrómetros como el ancho (diámetro) de un cabello humano (Ehara, Hagwood, & Coakley, 1996). El tamaño de una partícula altera su comportamiento, incluido el tiempo que permanece suspendida en el aire (Jia, 2014) durante el cual pueden participar en reacciones químicas (Hallquist et al., 2009). La figura 2 muestra ejemplos de partículas con diferentes tamaños, algunas tan pequeñas como 0.001 micrómetros (0.0000001 m) y tan grandes como 100 o 200 micrómetros (0.0001m). Para poner esto en perspectiva, multiplicamos el tamaño por un factor de 1x10<sup>5</sup> (100,000), entonces por ejemplo el virus de Zika reescalado, tendría un tamaño aproximado de un chícharo, el coronavirus tendría un tamaño de una pelota de golf, las partículas de humo de los incendios la estatura promedio de una persona, el polen entre 3 y 4 m y el cabello humano la altura de un edificio (30 m). Esto enfatiza la extensa variación de tamaños de las partículas que componen los aerosoles atmosféricos. ¡Hay cinco órdenes de magnitud de variación del tamaño!

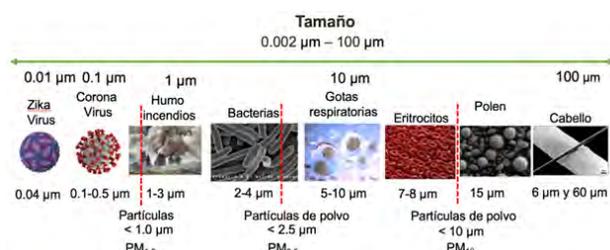


Figura 2. Variación del tamaño de las partículas de los aerosoles.

Fuente: Elaboración propia con base en diversas imágenes de la web: de izquierda a derecha Cápside del virus del Zika coloreada por cadenas. Fuente: Sirohi, D., Chen, Z., Sun, L., Klose, T., Pierson, T., Rossman, M. and Kuhn, R. (2016). The 3.8Å resolution cryo-EM structure of Zika virus. DOI: 10.2210/pdb5ire/pdb disponible en: <http://www.rcsb.org/pdb/explore/explore.do?structureId=5IRE> [Consultada el 3 de abril de 2016] Imagen generada usando QuteMol y GIMP. Coronavirus, ilustración de Alissa Eckert, MS; Dan Higgins, MAMS / Center for Disease Control (CDC) de los Estados Unidos <https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=23311>. El humo de los incendios forestales puede favorecer la propagación del coronavirus. (FOTO: DRI) <https://www.diariomedico.com/medicina/neumologia/politica/el-humo-de-los-incendios-forestales-favorece-la-propagacion-del-coronavirus.html>. Bacterias.

Cepas de *E. coli* resistentes a cefalosporinas (CR). / National Institute of Allergy and Infectious Diseases (NIAID)

<https://www.agenciasinc.es/Noticias/La-bacteria-E.-coli-aparece-en-cerdos-tratados-con-antibioticos-betalactamicos>. New coronavirus is known to be spread via large droplets that fall to the ground. But whether it can be spread by smaller airborne particles remains unclear. Credit: Getty Images

<https://www.scientificamerican.com/article/how-coronavirus-spreads-through-the-air-what-we-know-so-far1/>. Eritrocitos Image credit: "Jn7ws94a-2" by Annie Cavanagh is licensed under CC BY-SA 4.0), Polen

This work has been released into the public domain by its author, Dartmouth College Electron Microscope Facility[3]. This applies worldwide. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Misc\\_pollen.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Misc_pollen.jpg), Carbon fiber compared with human hair (photo credit: Anton).Liu, Yue & Zwingmann, Bernd & Schlaich, Mike. (2015). Carbon Fiber Reinforced Polymer for Cable Structures—A Review. *Polymers*. 7. 2078-2099. 10.3390/polym7101501.

También es importante comentar que las partículas que componen los aerosoles tienen diversas formas. Estas pueden tener formas esféricas, de cadenas, fibras como los microplásticos suspendidos en el aire, de gotas como las que generamos al respirar, de los

cristales provenientes de las emisiones de un volcán y las caprichosas e ingeniosas formas que presenta el polen.

Toda esta complejidad dificulta la predicción y el modelado de las propiedades de los aerosoles atmosféricos sub-micrométricos en el planeta son producidos por emisiones biogénicas de compuestos orgánicos volátiles (COV), estos compuestos que contienen carbón son emitidos por las plantas, bosques y en general de la naturaleza. Dentro de los COV emitidos encontramos principalmente el isopreno (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>) y monoterpenos y provienen principalmente de las plantas (Andreae & Crutzen, 1997; Surratt et al., 2006). Los aerosoles producidos a partir de la oxidación de COV son conocidos como aerosoles orgánicos secundarios (SOA, por sus siglas en inglés), y representan una fracción significativa de las partículas atmosféricas transportadas en el aire. Un caso particular de formación de SOA es cuando se tienen emisiones de las plantas (terpenos) y reaccionan químicamente con el O<sub>3</sub> que es un contaminante secundario. Este fenómeno puede ocurrir en el aire ambiente del dosel urbano que contiene O<sub>3</sub>, y las emisiones provenientes de zonas forestales alrededor de las ciudades (Gao et al., 2022).

### Los aerosoles y el calentamiento global

La diferencia entre la cantidad de energía que ingresa a la atmósfera de la Tierra y la que sale de ella se conoce como forzamiento radiativo. Este parámetro permite estimar la magnitud de una perturbación o factor climático sobre el balance de energía radiativa del sistema climático de la Tierra (Houghton et al., 1996). Entre los factores climáticos encontramos a los de origen antropogénico como los gases de efecto invernadero (GEI) y a los aerosoles, por otra parte, los factores de origen natural como la irradiancia solar. Para cada factor climático, se calculan los llamados valores de forzamiento para el período de tiempo entre 1750 y la actualidad. Un "forzamiento positivo" representa un factor climático que contribuye al calentamiento de la superficie terrestre, mientras que un "forzamiento negativo" es ejercido por factores climáticos que enfrían la superficie terrestre. La figura 3 muestra el forzamiento radiativo global de factores climáticos naturales (radiancia solar) y antropogé-

cos (GEI, aerosoles y otros) y señala el nivel de confianza de estos cálculos que se aprecia a través de las barras de error. Como es bien sabido, los GEI son factores que contribuyen al calentamiento del planeta, entre ellos el CO<sub>2</sub> tiene forzamiento radiativo global aproximado de +1.6 W m<sup>-2</sup>, seguido por el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>) de la parte de baja de la atmósfera (< 14 km) con forzamientos radiativos de +1.0 W m<sup>-2</sup> y +0.5 W m<sup>-2</sup> respectivamente. Nótese que todos estos valores tienen asociadas barras de error relativamente pequeñas; más pequeñas que el valor mismo. En contraste, los aerosoles contribuyen al enfriamiento del planeta con valores estimados de forzamiento radiativo de -0.6 W m<sup>-2</sup> y -0.8 W m<sup>-2</sup> por efecto directo o indirecto (formación de nubes) respectivamente. En este caso las barras de error son igual o incluso más grandes que los valores estimados del forzamiento radiativo. En otras palabras, la estimación del impacto de los aerosoles sobre el clima del planeta tiene una incertidumbre mayor que la de los GEI. Por esta razón, la importancia de su estudio.

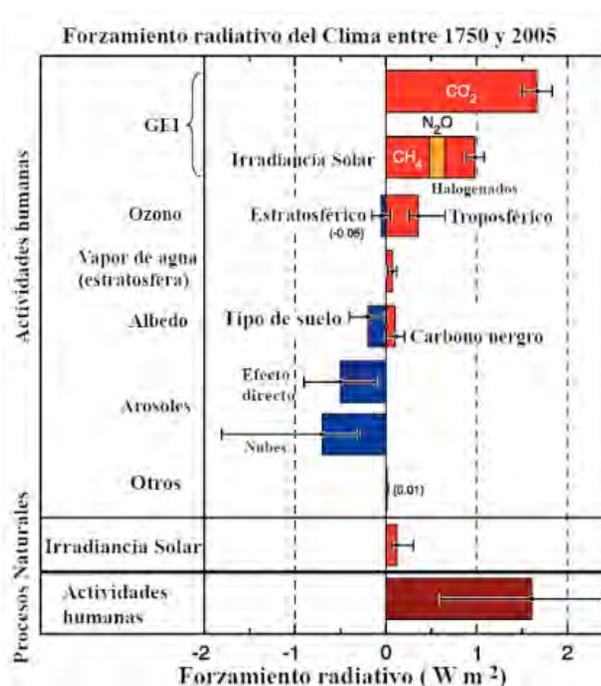


Figura 3. Resumen de los principales componentes del forzamiento radiativo del cambio climático. Los valores representan los forzamientos en 2005 en relación con el inicio de la era industrial (alrededor de 1750). Las actividades humanas provocan cambios significativos en los gases de vida prolongada, el ozono, el vapor de agua, el albedo superficial, los aerosoles y las estelas de condensación. El único aumento significativo en el forzamiento natural entre 1750 y 2005 ocurrió en la radiación solar. Los forzamientos positivos conducen al calentamiento del clima y los forzamientos negativos conducen al enfriamiento. La delgada línea negra adjunta a cada barra de color representa el rango de incertidumbre para el valor respectivo. Figura adaptada del 5º Informe del IPCC (IPCC, 2013)

IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

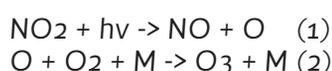
Un experimento demostrativo sobre la formación de aerosoles.

La formación de aerosoles: las reacciones químicas del ozono y los terpenos



Figura 4. Mecanismo fisicoquímico para la formación de aerosoles en la interfaz de las ciudades y los bosques. Fuente: Elaboración propia.

En la atmósfera los aerosoles se pueden generar a través de la reacción química entre el ozono ( $O_3$ ) y los terpenos, como se muestra en la figura 4. Primero, el  $O_3$  se forma por procesos químicos de varios pasos que requieren luz solar. En la parte alta de la atmósfera llamada estratosfera, el proceso comienza con la ruptura de una molécula de oxígeno ( $O_2$ ) por la radiación ultravioleta del sol. Sin embargo, en la parte baja de la atmósfera (troposfera), el  $O_3$  se forma principalmente a través de un conjunto de reacciones químicas que involucran hidrocarburos y gases nitrogenados ( $NO_2$ ) que son resultado de los procesos de combustión (Seinfeld & Pandis, 2016) principalmente por los automóviles y que son conocidos como contaminantes primarios. La formación del  $O_3$  troposférico ocurre por interacción del  $NO_2$  con la luz solar (la fotólisis) en el ultravioleta (UV) en longitudes de onda menores de 424 nm, de acuerdo al siguiente conjunto de reacciones



donde M representa un "tercer cuerpo" que puede ser una tercera molécula ( $N_2$  o  $O_2$ ) que absorbe el exceso de energía (vibración) y estabiliza la molécula de  $O_3$  formada. La reacción (2) es una de las principales reacciones que generan  $O_3$  en la troposfera.

De manera simultánea, los terpenos son emitidos por la vegetación y los árboles que rodean las ciudades y reaccionan químicamente con el  $O_3$  para producir finalmente los aerosoles.

Experimento: formación de aerosoles

En el experimento propuesto en este trabajo, en vez de utilizar la energía de la luz UV del sol para la fotólisis del  $NO_2$ , se emplea un generador de ozono ( $O_3$ ) que emplea un alto voltaje para romper las moléculas de oxígeno ( $O_2$ ) en el aire. Este proceso se puede representar de acuerdo a (Yagi & Tanaka, 1979)



Donde, e es un electrón que debe poseer una energía  $\sim 6$  eV (206.6 nm) para que se pueda lograr la disociación de la molécula de oxígeno ( $O_2$ ), en consecuencia, casi inmediatamente el oxígeno (O) de acuerdo con la reacción (2) produce  $O_3$ .

Además, se emplean cítricos para generar terpenos. El olor característico de los cítricos proviene de su contenido rico en grupos de compuestos aromáticos, en particular de los llamados terpenos. Típicamente, la mayor proporción (96%) de los volátiles totales en una cáscara de naranja corresponde a un tipo de terpeno llamado monoterpeneo limoneno (Rodríguez et al., 2011). Estos terpenos en presencia del  $O_3$  realizan procesos de nucleación hasta alcanzar niveles de concentración de partículas aproximadamente estables, produciendo aerosoles que pueden percibirse en forma de neblina. Es interesante mencionar que la reacción entre el  $O_3$  y los terpenos no solo ocurre en la atmósfera, también se presenta en el aire ambiente de espacios cerrados, en interiores cuando se emplean productos de limpieza con aromatizantes y como consecuencia también se producen partículas (Coleman, Lunden, Destailats, & Nazaroff, 2008). Estas partículas son asociadas a contaminación del aire en interiores.

La figura 5 muestra los elementos del diseño experimental, entre ellos están una (1) bomba de aire que satura de oxígeno, el (2) generador de ozono comercial (Boelter & Davidson, 1997) y este a su vez está conectado a una (3) llave de paso que permite el paso del ozono hacia un (4) recipiente cilíndrico de acrílico. Este recipiente está sellado lo mejor posible para evitar que se escape el ozono. Finalmente, una manguera extrae aire desde el interior del recipiente cilíndrico hacia (5) un instrumento para medir particular de diámetros menores a  $2.5 \mu m$  ( $PM_{2.5}$ ) y  $10 \mu m$  ( $PM_{10}$ ) por medio de un sensor SDO11 Nova Fitness calibrado y montado en una tarjeta Arduino-UNO. Antes de comenzar la ejecución del experimento Se hace incidir un laser Helio-Neón

(He-Ne) para que atraviese el ancho del recipiente, por lo que se puede observar solo la reflexión especular del haz laser en la superficie del recipiente, y dentro del recipiente no se logra observar cómo viaja la luz debido a que en el interior solo existe aire, y moléculas de O<sub>2</sub>



Figura 5. Configuración experimental, con los elementos (1) bomba de aire que introduce aire en el (2) generador de ozono y pasa por una (3) válvula para introducir el O<sub>3</sub> en el (4) recipiente cerrado. Por último, a través de una manguera se conecta un sensor de partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>). Fotografía del experimento elaborado en el Laboratorio de interferometría holográfica de la BUAP.

Hasta esta etapa del experimento hemos logrado producir O<sub>3</sub> e introducirlo en el recipiente, pero aún falta hacer reaccionar químicamente el O<sub>3</sub> con terpenos para realizar la conversión gas-partícula y generar aerosoles dentro del recipiente. Para conseguir los terpenos, masajeamos una naranja, removemos la cáscara de una naranja e introducimos rápidamente pequeñas porciones de la cáscara de la naranja en el recipiente. Es recomendable no dejar pasar mucho tiempo desde que se pela la naranja hasta que se introducen las cáscaras en el recipiente. En la mayoría de los casos, se logra observar de manera cuasi-instantánea una neblina que emana de la superficie de la piel de la cáscara de naranja y comienza a inundar el interior del recipiente. Nuevamente, se hace pasar el haz de luz laser del apuntador a través del envase, Observamos cómo viaja la luz del láser dentro del recipiente formando una línea recta y observamos fenómenos de dispersión debido a la presencia de partículas, lo cual hace evidente la presencia de aerosol dentro del recipiente, como se muestra en la figura 6(a). Asimismo, una gráfica de los datos del sensor de partículas muestra un incremento en la cantidad de partículas observado

a partir del momento en el que se depositaron las cáscaras de naranja (franja amarilla) confirmando la formación de aerosoles, ver figura 6(b). El lector interesado puede mirar la realización del experimento en YouTube

#### Formación de Aerosoles.

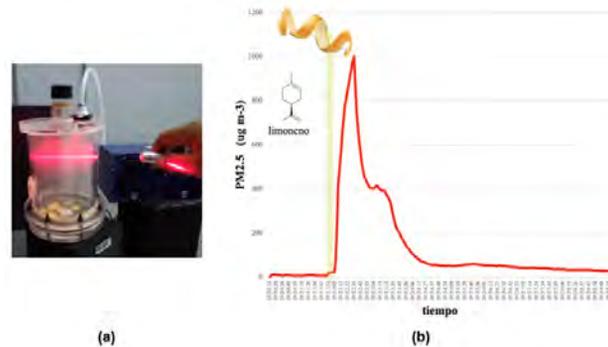


Figura 6. Muestra (a) el camino óptico del láser que se hace visible al interior del recipiente cerrado debido a la presencia de aerosoles y (b) el monitor de partículas registra un aumento en la concentración de partículas PM<sub>2.5</sub>.

## Conclusiones

Consideramos necesario, evidenciar a nivel universitario e interdisciplinario la importancia de los aerosoles en el clima, así como su origen y mecanismos fisicoquímicos de formación. Para ello hemos resaltado (i) algunas de las características más importantes de los aerosoles, entre ellas la de contribuir al balance radiativo de energía que incrementan la incertidumbre de los modelos del clima global, y (ii) comentamos sobre el fenómeno que ocurre entre los límites urbanos-forestales donde se presenta la formación de aerosoles a partir de las reacciones químicas de contaminantes secundarios y COV provenientes de los bosques que rodean la ciudad, y finalmente (iii) para ilustrar el punto anterior mostramos detalles sobre un experimento realizado en el laboratorio universitario para estudiar el proceso de formación de aerosoles a partir de emisiones biogénicas (terpenos) y motivar la discusión sobre la importancia de los aerosoles en diversos aspectos como el clima global, modelos de cambio climático, fenómenos de dispersión de luz y visibilidad, entre otros. Los resultados del experimento, y la realización del mismo, motiva una serie de lecturas sugeridas en este documento.

## Conflicto de intereses

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés.

## Declaración de privacidad

Los datos de este artículo, así como los detalles técnicos para la realización del experimento, se pueden compartir a solicitud directa con el autor de correspondencia.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Agradecimientos

El apoyo del proyecto grupal del Programa Institucional para la Consolidación de los Cuerpos Académicos; Apoyo complementario a Proyectos de Investigación 2022 (VIEP-2022-0013) para la adquisición de materiales de este experimento. Finalmente, al Laboratorio de interferometría holográfica por las facilidades otorgadas durante la configuración del experimento.

## Referencias

- Andreae, M. O., & Crutzen, P. J. (1997). Atmospheric aerosols: Biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, 276(5315), 1052–1058. <https://doi.org/10.1126/science.276.5315.1052>
- Boelter, K. J., & Davidson, J. H. (1997). Ozone generation by indoor, electrostatic air cleaners. *Aerosol Science and Technology*, 27(6), 689–708. <https://doi.org/10.1080/02786829708965505>
- Bréon, F. M., Tanré, D., & Generoso, S. (2002). Aerosol effect on cloud droplet size monitored from satellite. *Science*, 295(5556), 834–838. <https://doi.org/10.1126/science.1066434>
- Che, H., Xia, X., Zhu, J., Wang, H., Wang, Y., Sun, J., ... Shi, G. (2015). Aerosol optical properties under the condition of heavy haze over an urban site of Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2), 1043–1053. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3415-5>
- Coleman, B. K., Lunden, M. M., Destailats, H., & Nazaroff, W. W. (2008). Secondary organic aerosol from ozone-initiated reactions with terpene-rich household products. *Atmospheric Environment*, 42(35), 8234–8245. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.031>
- Davidson, C. I., Phalen, R. F., & Solomon, P. A. (2005, August). Airborne particulate matter and human health: A review. *Aerosol Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/02786820500191348>
- Ehara, K., Hagwood, C., & Coakley, K. J. (1996). Novel method to classify aerosol particles according to their mass-to-charge ratio - Aerosol particle mass analyser. *Journal of Aerosol Science*, 27(2), 217–234. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(95\)00562-5](https://doi.org/10.1016/0021-8502(95)00562-5)
- Gao, Y., Ma, M., Yan, F., Su, H., Wang, S., Liao, H., ... Gao, H. (2022). Impacts of biogenic emissions from urban landscapes on summer ozone and secondary organic aerosol formation in megacities. *Science of the Total Environment*, 814, 152654. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152654>
- Hallquist, M., Wenger, J. C., Baltensperger, U., Rudich, Y., Simpson, D., Claeys, M., ... Wildt, J. (2009). The formation, properties and impact of secondary organic aerosol: Current and emerging issues. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(14), 5155–5236. <https://doi.org/10.5194/acp-9-5155-2009>
- Haywood, J. (2016). Atmospheric Aerosols and Their Role in Climate Change. In *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth: Second Edition* (pp. 449–463). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63524-2.00027-0>
- Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N. (Neil), Katterberg, A., Maskell, K. (Kathy), ... WMO. (1996). *Climate change 1995* :, 572. Retrieved from <https://digitalibrary.un.org/record/223181>
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Jia, G. (2014). Atmospheric Residence Times of the Fine-aerosol in the Region of South Italy Estimated from the Activity Concentration Ratios of  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$  in Air Particulates. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(6), 1–9. <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000216>
- Lee, L. A., Reddington, C. L., & Carslaw, K. S. (2016). On the relationship between aerosol model uncertainty and radiative forcing uncertainty. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(21), 5820–5827. <https://doi.org/10.1073/pnas.1507050113>

Miller, R. L., & Tegen, I. (1998). Climate response to soil dust aerosols. *Journal of Climate*, 11(12), 3247–3267. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<3247:CRTSDA>2.o.CO2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<3247:CRTSDA>2.o.CO2)

Pöschl, U. (2005, November 25). Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects. *Angewandte Chemie - International Edition*. <https://doi.org/10.1002/anie.200501122>

Ramanathan, V., Crutzen, P. J., Kiehl, J. T., & Rosenfeld, D. (2001). Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science (New York, N.Y.)*, 294(5549), 2119–2124. <https://doi.org/10.1126/science.1064034>

Riemer, N., & Ault, A. (2019). The Diversity and Complexity of Atmospheric Aerosol. *Eos*, 100. <https://doi.org/10.1029/2019e0124333>

Rodríguez, A., Andrés, V. S., Cervera, M., Redondo, A., Alquézar, B., Shimada, T., ... Peña, L. (2011). The monoterpene limonene in orange peels attracts pests and microorganisms. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11), 1820–1823. <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.16980>

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd Edition | Wiley (3rd Editio). NY Wiley & Sons. Retrieved from <https://www.wiley.com/en-us/Atmospheric+Chemistry+and+Physics%3A+From+Air+Pollution+to+Climate+Change%2C+3rd+Edition-p-9781118947401>

Surratt, J. D., Murphy, S. M., Kroll, J. H., Ng, N. L., Hildebrandt, L., Sorooshian, A., ... Seinfeld, J. H. (2006). Chemical composition of secondary organic aerosol formed from the photooxidation of isoprene. *Journal of Physical Chemistry A*, 110(31), 9665–9690. <https://doi.org/10.1021/jp061734m>

Yagi, S., & Tanaka, M. (1979). Mechanism of ozone generation in air-fed ozonisers. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 12(9), 1509–1520. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/12/9/013>

# EL PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS EN LA PRAXIS DE LA ENSEÑANZA MATEMÁTICA

## PROBLEM POSING IN THE MATHEMATICAL TEACHING PRAXIS

Manuel Enrique Peiso Cruz\*  
Lidia Aurora Hernández Rebollar  
José Antonio Juárez López

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Avenida San Claudio y 18 Sur, San Manuel, Ciudad Universitaria,  
C.P. 72570, Puebla, México

(e-mail [manuel.peiso@alumno.buap.mx](mailto:manuel.peiso@alumno.buap.mx), [lidia.hernandez@correo.buap.mx](mailto:lidia.hernandez@correo.buap.mx),  
[jajul32@hotmail.com](mailto:jajul32@hotmail.com))

## Abstract

Problem solving has been, for many years, the focus of attention when teaching mathematics. To achieve this, dissimilar mathematical problems present in the literature and various didactic strategies are used that seek to bring the resolution of these problems to a successful conclusion. The development of educational theories has evolved towards student-centered teaching, where representing and responding to their realities plays a fundamental role. From this perspective, the existing problems, for the most part, ceased to be pertinent, since the specific realities of each group of students could not usually be represented by them. With this premise, the problems posing began to be the center of the scientific production of several researchers, who not only demonstrated its relevance for the teacher, but also found a close relationship between it and problem solving, the understanding of mathematical concepts, creativity and mathematical ability, among others, which pointed to a need for students to also learn to problems posing. In the Mexican curriculum, the problems posing is present as a disciplinary competence. Despite this, its use in educational institutions is not widespread and there is little understanding of its importance. This article aims to raise awareness about the advantages that its application entails and it is proposed to encourage it from different spaces that enable a deeper understanding of this skill in the teaching community.

**Keywords:** mathematical problems, problems solving, problems posing, mathematical education.

## Resumen

La resolución de problemas ha constituido por muchos años el centro de atención a la hora de enseñar matemáticas. Para su consecución se utilizan disímiles problemas matemáticos presentes en la literatura y varias estrategias didácticas que persiguen llevar a buen término la resolución de esos problemas. El desarrollo de las teorías educativas ha evolucionado hacia una enseñanza centrada en el estudiante, donde representar y darles respuesta a sus realidades juega un papel fundamental. Desde esta perspectiva, los problemas existentes, en su mayoría, dejaron de ser pertinentes, pues las realidades específicas de cada grupo de alumnos usualmente no podían ser representadas por estos. Con esta premisa, la formulación de problemas comenzó a ser el centro de la producción científica de varios investigadores, que no solo demostraron su pertinencia para el docente, sino que encontraron una estrecha relación entre esta y la resolución de problemas, la comprensión de conceptos matemáticos, la creatividad y la habilidad matemáticas, entre otras, que apuntaban hacia una necesidad de que los alumnos también aprendieran a formular problemas. En el currículo mexicano está presente la formulación de problemas como competencia disciplinar. A pesar de ello no está generalizada su utilización en las instituciones docentes y existe poca comprensión de su importancia. En el presente artículo se pretende reflexionar acerca de las ventajas que la formulación de problemas posee para la enseñanza de las matemáticas y se propone fomentarla desde diferentes espacios para que esté cada vez más presente en la praxis profesoral.

**Palabras clave:** problemas matemáticos, resolución de problemas, formulación de problemas, educación matemática.

## Problemas

Los problemas son parte indisoluble de la especie humana. Su solución juega un papel importante no solo en el desarrollo individual, sino en el desarrollo de toda la sociedad. El ser humano, en su vida cotidiana, necesita resolver problemas con diferentes niveles de complejidad, que van desde la simple necesidad de abrir una botella, hasta la compleja tarea de planificar las finanzas familiares. A lo largo de la historia, la resolución de problemas se ha traducido en hitos para la evolución de la especie humana y ha sido la piedra angular del desarrollo alcanzado hasta nuestros días. Es de suponer entonces que esta, es una habilidad necesaria para las personas.

Se denomina problema a toda situación en la que hay un planteamiento inicial y una exigencia que obliga a transformarlo. La vía para pasar de la situación inicial a la nueva situación exigida tiene que ser desconocida y la persona debe querer hacer la transformación (Campistrous & Rizo, 1996). O sea, es una situación en la que a partir de un cierto estado inicial de cosas se trata de alcanzar una meta identificando y aplicando el o los procedimientos necesarios para ello.

Problemas en la enseñanza de las matemáticas  
En la enseñanza de las matemáticas los problemas juegan un papel preponderante, por ello hay una amplia producción científica sobre el tema. La resolución de problemas es la forma más eficaz, no solo del desarrollo de la actividad matemática de los estudiantes, sino también del aprendizaje de los conocimientos, de las habilidades, de los métodos y de las aplicaciones matemáticas. Disímiles autores han dejado clara esta importancia como parte de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas (Brown & Walter, 1993; Cai et al., 2022; Killpatrick, 1987; Papadopoulos, Ioannis Patsiala et al., 2022; Silver, 1994).

La resolución de problemas matemáticos implica la ejecución de varios pasos. A algunos estudiantes les resulta demasiado difícil resolver un problema matemático complejo, aunque sepan los pasos a seguir. Por lo tanto, los profesores juegan un papel crucial para ayudarlos a obtener una profunda comprensión de las matemáticas. La enseñanza de estrategias adecuadas podría ayudar a los estudiantes a resolver problemas matemáticos de forma más

efectiva. Además de eso, es importante implementar varias estrategias didácticas en matemáticas, especialmente para la resolución de problemas, enfocadas a atender las diferencias individuales de los estudiantes (Ishak et al., 2021).

Para enseñar matemáticas a los estudiantes, de manera significativa, el maestro no solo debe dominar los contenidos, sino que necesita saber cómo enseñar a resolver problemas de manera efectiva (Chapman, 2015; Ling et al., 2019). En los libros de texto hay un gran cúmulo de problemas de matemáticas que pueden ser usados por los profesores a la hora de enseñar. Pero ¿acaso esos problemas son los más adecuados para utilizar en el salón de clases? El maestro debe ser capaz de identificar cuán efectivo, o no, puede ser un problema a la hora de seleccionarlo y en ocasiones esto resulta muy complicado ante situaciones determinadas.

Las situaciones específicas en las que se desenvuelve el entorno educativo hacen que la utilización textual de los problemas presentes en la literatura sea insuficiente para lograr los objetivos propuestos. Su modificación, para adaptarlo a las características individuales del grupo, o la creación de nuevos problemas que capten la atención de los estudiantes y que los invite a reflexionar, se convierte en tarea obligada para el profesor. Resulta entonces evidente que un profesor debe dominar la habilidad de formular problemas (Malaspina, 2013).

## Formulación de problemas

Como ya se había mencionado, el maestro necesita saber cómo enseñar a resolver problemas de manera efectiva. Para Polya (1945), la formulación de problemas juega un papel primordial en el desarrollo del razonamiento matemático y en el aumento de la empatía con las matemáticas por parte de los alumnos. Si el maestro emplea sus horas de clase para que sus estudiantes hagan cálculos, terminará por ahogar su interés, detener su desarrollo mental y desperdiciar la oportunidad que se le presenta. En cambio, si despierta la curiosidad de los estudiantes, formulando problemas de dificultad proporcional a los conocimientos de los

escolares y los ayuda a resolver las cuestiones propuestas con preguntas oportunas, él sabrá inspirar en ellos el gusto por un razonamiento original (Polya, 1945).



*Figura 1. Actividad de formulación de problemas con el uso de aros y conos para desarrollar el concepto de adición en alumnos de la enseñanza especial*

No es tarea fácil formular problemas de matemáticas, pues requiere tiempo y energía. Se necesita tener un objetivo bien preciso por lograr, al interior de un proyecto bien definido y claro. Además, el maestro debe conocer bien a sus estudiantes; no solo en cuanto a las capacidades reales de cada uno de ellos, sino también en cuanto a sus posibilidades creativas. En el momento de aventurarse en la formulación de un problema, el maestro debe tener claras las operaciones mentales que tal situación requerirá, para poderlas reconocer en las actividades de los estudiantes y poder guiarlos (D'Amore, 2011).

La formulación de problemas es el proceso mediante el cual se crean nuevos problemas a partir de una situación dada o se modifican problemas ya existentes (Akay & Boz, 2008; Guvercin & Verbovskiy, 2014; Kojima et al., 2015; Malaspina, 2016). Un problema está constituido por información, requerimiento, contexto y contenido matemático. Precisamente, se puede considerar que se formuló un problema a partir de uno existente, cuando se modifica alguna de estas características (Malaspina, 2013).

Poseer esta habilidad abre un abanico de oportunidades para poner en práctica situaciones didácticas que contribuyan a la enseñanza matemática enfatizada en el hecho de que cada docente conoce la realidad específica en su aula, el entorno sociocultural y las motivaciones de sus alumnos. Es un desafío profesional para él, tanto crear secuencias de actividades y problemas adecuados para esa realidad, como estimular a sus alumnos no solo a resolver problemas, sino a ir más allá y a crear sus propios problemas (Malaspina & Vallejo, 2014). Ventajas de formular problemas desde la enseñanza

La formulación de problemas mejora la capacidad de resolución de problemas y la comprensión de conceptos matemáticos, genera un pensamiento diverso y flexible, tiene relación con la creatividad y la habilidad matemática y contribuye al desarrollo de la aptitud matemática y al aprendizaje autónomo. No se puede hablar de formulación de problemas sin mencionar la resolución de problemas y la mayoría de los autores está de acuerdo en que la primera, es una habilidad necesaria para el desarrollo de la segunda (English, 1997; Singer et al., 2013; Stoyanova, 1999; Tichá & Hošpesová, 2009).

Precisamente, la formulación de problemas por parte del docente se traduce en el mejoramiento de habilidades de resolución de problemas, razonamiento y reflexión, así como el enriquecimiento del aprendizaje de las matemáticas por parte de los estudiantes que son guiados a una comprensión más profunda de los conceptos matemáticos (Abu-Elwan, 2002; Guvercin & Verbovskiy, 2014; Haghverdi & Gholami, 2015).

Hay un acuerdo casi unánime sobre el hecho de que el profesor debe crear estrategias didácticas que favorezcan la creación de problemas por parte del alumno (Kojima et al., 2015; Walsh, 2016). Al igual que la historia juega un papel fundamental en la mejora de la percepción por parte de los estudiantes acerca de las matemáticas, pareciera ser que la formulación de problemas tiene un efecto similar si se tiene en cuenta que fomenta la participación activa del estudiante (Akay & Boz, 2008, 2010; English, 1997, 1998). La formulación de proble-

mas va más allá del entorno escolar y prepara a los alumnos para el futuro, donde muchos de los problemas, si no la mayoría, deben ser creados o descubiertos por él mismo (Malaspina & Vallejo, 2014).

Un gran cúmulo de estudios experimentales han sido desarrollados sobre la temática. La mayoría de ellos han arrojado resultados interesantes, como la existencia de una estrecha relación entre la formulación de problemas y el éxito académico. La aplicación de estrategias de formulación de problemas en el aula ha permitido una comprensión más profunda de los conceptos y el desarrollo de un pensamiento más creativo, divergente y flexible (Abu-Elwan, 2002; Cankoy & Darbaz, 2010; Demir, 2005; Fetterly, 2010; Guvercin et al., 2014; Guvercin & Verbovskiy, 2014; Haghverdi & Gholami, 2015; Kesan et al., 2010).

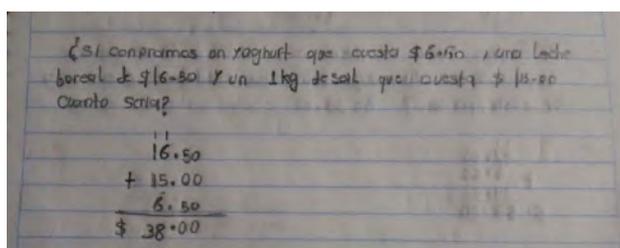


Figura 2. Problema formulado por un alumno relacionado con la adición de números decimales

A partir de lo anteriormente descrito se puede identificar que, la formulación de problemas en la educación matemática se manifiesta desde dos aristas fundamentales:

- La enseñanza (creación de problemas por los profesores): El profesor formula problemas, en su afán de que se adapten a las características específicas del grupo;
- El aprendizaje (creación de problemas por los alumnos): El profesor crea situaciones didácticas de formulación de problemas en el aula, en su afán de consolidar la habilidad de resolución de problemas de sus estudiantes.

La formulación de problemas, desde la enseñanza, según Malaspina & Vallejo (2014), contribuye a que estos sean cercanos a las motivaciones de los alumnos y a los contextos en los que viven; crear secuencias de dificultad gradual que lleven a un problema particular-

mente importante; recoger las iniciativas, percepciones o interrogantes de los alumnos, y aplicarlas para que contribuyan a aclarar o ampliar sus ideas ante el reto de resolver problemas o de comprender temas de matemáticas; que respondan a las orientaciones generales que suelen darse en los diseños curriculares y documentos complementarios desde los organismos centralizados de educación; llenar el vacío que hay en la mayoría de los textos de matemáticas, sobre todo en los de nivel escolar (básico y medio-superior); tener problemas adecuados para aplicar las teorías sobre educación matemática, fuertemente apoyadas en la resolución de problemas; mejorar la calidad de las evaluaciones; y consolidar la formación matemática de los profesores.

Por otra parte, desde el aprendizaje, contribuye a: motivar el estudio; fortalecer las capacidades de resolución, formulación e identificación de problemas; adquirir una formación matemática más sólida; ver aspectos matemáticos en el medio que los rodea; y establecer conexiones con otros campos del conocimiento (Malaspina, 2013).

Pareciera ser que la formulación de problemas solo arroja resultados positivos en los estudiantes y en la comprensión matemática en general. Por lo que se puede afirmar que es una habilidad necesaria que los profesores deben desarrollar y aplicar en el aula para que los estudiantes propongan sus propios problemas. A pesar de todas las ventajas que tiene la formulación de problemas, no solo a nivel empático para con las matemáticas, sino como catalizador del pensamiento matemático, en los currículos de matemáticas y en la praxis profesoral se pone poco énfasis en esta habilidad (Malaspina & Vallejo, 2014).

### Formulación de problemas matemáticos en México

El currículo mexicano hace referencia a la resolución de problemas en varias ocasiones. Indica su promoción en la enseñanza de las matemáticas y para ello propone impulsar prácticas pedagógicas que la desarrollen y, al aprendizaje basado en problemas como una estrategia metodológica a seguir. Precisamente, el aprendizaje basado en problemas incluye la formulación de problemas específicos para guiar el aprendizaje (Nuño, 2017). También se aprecia que entre las competencias

disciplinares se encuentra “Formula y resuelve problemas matemáticos, aplicando diferentes enfoques” (Subsecretaría de Educación Media Superior, 2018).

Pareciera ser que el currículo sí incluye la formulación de problemas desde sus dos aristas, pero la manera en que está concebida se percibe más como una estrategia que puede seguir el profesor para acercar los problemas a la realidad de sus alumnos, y no da la impresión de que puede ser un contenido matemático a enseñar. Es decir, se aprecia un mayor peso hacia la formulación de problemas desde la enseñanza y uno casi nulo desde el aprendizaje. Considera necesario el desarrollo de un pensamiento matemático flexible, crítico y reflexivo que les permita emitir a los estudiantes, juicios fundados en argumentos válidos (Nuño, 2017), lo cual refuerza la necesidad de formular problemas desde el aprendizaje como se vio anteriormente.

Indiscutiblemente, la formulación de problemas es una estrategia didáctica certera para desarrollar la resolución de problemas y en la que se pone poco énfasis en la praxis profesoral (Malaspina & Vallejo, 2014) a pesar de su presencia en el currículo. Prácticamente se vuelve una necesidad innegable, si se tiene en cuenta que el currículum aboga por una enseñanza matemática centrada en las prácticas sociales, donde el objeto matemático es el mecanismo mediante el cual se le da explicación a esta última (Nuño, 2017). Esto solo sería posible si se visualiza a la enseñanza de las matemáticas desde una perspectiva sociopolítica, comenzando por un proceso investigativo para conocer las realidades de los estudiantes y con posterioridad formular problemas adecuados para representar esas realidades (Sánchez & Torres, 2017).

La actividad de formulación de problemas no debe ser considerada como un aspecto separado de la resolución de problemas; es sólo un momento diferente en esta práctica. Desde esta perspectiva, se necesita repensar la manera en que las instituciones escolares y los profesores de matemática traducen el currículo a la práctica educativa. Pensar que la sola presencia del término “formular” en el currículo mexicano, es suficiente para que el profesor entienda lo que eso significa, resulta muy simplista y errado si se tiene en cuenta la amplia producción científica que se ha tenido que

desarrollar para lograr entender a profundidad su necesidad en la práctica docente y su importancia en la enseñanza de las matemáticas. Por tanto, se debe incentivar la formulación de problemas desde diferentes espacios que posibiliten una comprensión más profunda de esta habilidad en la comunidad docente.

Otro punto al que se debería poner atención es el señalado por Thompson et al. (1994): las acciones que desarrolla un docente en el aula están influidas por las imágenes que posee de las matemáticas y de la enseñanza. Es decir, un mentor que adopta una orientación operacional de las matemáticas posiblemente permeará la actividad de formulación de problemas en esa dirección. De ahí la importancia de contemplar la capacitación de profesores donde se cuestionen este tipo de tendencias (Medina, 2003) y se fomente el desarrollo de habilidades de creación de problemas en sus dos dimensiones, para la enseñanza y el aprendizaje.

## Conclusiones

La formulación de problemas, teniendo en cuenta lo antes planteado, se presenta como una estrategia didáctica que puede brindar muy buenos resultados en la labor docente, tanto como forma de ajustar los problemas a las características individuales del entorno escolar, como para desarrollar el pensamiento matemático y la resolución de problemas de los educandos. Uno de los elementos que pueden ralentizar la adopción de la formulación de problemas por parte de los maestros son sus creencias y conocimientos sobre la temática, por lo que la realización de talleres o espacios de divulgación donde se introduzca esta estrategia puede servir como punto de partida para su desarrollo.

En el currículo mexicano está presente la formulación de problemas, por lo que aplicar prácticas de instrucción enfocada en esta estrategia no es solo una opción, sino una necesidad para lograr los objetivos de la asignatura.

## Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Conflicto de intereses

Los autores de este artículo declaran que no poseen ninguna situación de conflicto de interés real, potencial o evidente acerca de su contenido.

## Agradecimientos

Se agradece al claustro de profesores de la Maestría en Educación Matemática de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por su dedicada entrega para con los estudiantes que formamos parte de la misma. Un agradecimiento especial a CONACYT por su apoyo en la formación académica de las nuevas generaciones.

## Referencias

Abu-Elwan, R. (2002). Effectiveness of problem posing strategies on prospective mathematics teachers problem solving performance. *Journal of Science and Mathematics Education*, 56–69.

Akay, H., & Boz, N. (2008). The effect of problem posing oriented calculus-II instruction on academic success. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/263627772\\_The\\_Effect\\_of\\_Problem\\_Posing\\_Oriented\\_Calculus-II\\_Instruction\\_on\\_Academic\\_Success](https://www.researchgate.net/publication/263627772_The_Effect_of_Problem_Posing_Oriented_Calculus-II_Instruction_on_Academic_Success)

Akay, H., & Boz, N. (2010). The effect of problem posing oriented analysis-II course on the attitudes toward mathematics and mathematics self-efficacy. *Australian Journal of Teacher Education*, 35, 59–75.

Brown, S. I., & Walter, M. I. (1993). *Problem posing: Reflection and applications*. Hillsdale.

Cai, J., Koichu, B., Rott, B., Zazkis, R., & Jiang, C. (2022). Mathematical Problem Posing: Task Variables, Processes and Products. *Proceedings of the 45th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 119–145.

Campistrous, L., & Rizo, C. (1996). *Aprende a resolver problemas aritméticos*. Editorial Pueblo y Educación.

Cankoy, O., & Darbaz, S. (2010). Effect of problem posing based problem solving instruction on understanding problem. *Journal of Education*, 38, 11–24.

Chapman, O. (2015). Mathematics teachers' knowledge for teaching problem solving. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(1), 19–36. <https://doi.org/https://doi.org/10.31129/lumat.v3i1.1049>

D'Amore, B. (2011). *Didáctica de las Matemáticas* (2nd ed.). Cooperativa Editorial Magisterio.

Demir, B. B. (2005). The effect of instruction with problem posing on tenth grade students probability achievement and attitudes toward probability. Middle East Technical University, Turkey.

English, L. D. (1997). The development of fifth-grade children's problem posing abilities. *Educational Studies in Mathematics*, 34, 183–217. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1023/A:1002963618035>

English, L. D. (1998). Children's problem posing writing formal and informal contexts. *Journal for Research in Mathematics Education*, 29, 83–106.

Fetterly, J. (2010). An exploratory study of the use of a problem-posing of preservice elementary education teachers' mathematical creativity, beliefs, and anxiety. Florida State University, Tallahassee, FL.

Guvercin, S., Cilavdaroglu, A. K., & Savas, A. C. (2014). The effect of problem posing instruction on 9th grade students' mathematics academic achievement and retention. *Anthropologist*, 17(1), 129–136.

Guvercin, S., & Verbovskiy, V. (2014). The effect of problem posing tasks used in mathematics instruction on mathematics academic achievement and attitudes toward mathematics. *International Online Journal of Primary Education*, 59–65.

Haghverdi, M., & Gholami, M. (2015). A study of the effect of using "What if Not" strategy in posing geometry problems. <https://www.researchgate.net/publication/283327008>

Ishak, A. H. N., Osman, S., Wei, C. K., Kurniati, D., Ismail, N., & Nanna, A. W. I. (2021). Teaching Strategies for Mathematical Problem-Solving through the Lens of Secondary School Teachers. *TEM Journal*, 10(2), 743–750. <http://10.0.71.245/TEM102-31>

Kesan, C., Kaya, D., & Guvercin, S. (2010). The effect of problem posing approach to the gifted student's mathematical abilities. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2, 677–687.

Killpatrick, J. (1987). Problem formulating: Where do good problems come from? *Cognitive Science and Mathematics Education*, 123–147.

Kojima, K., Miwa, K., & Matsui, T. (2015). Experimental study of learning support through examples in mathematical problem posing. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*. [Doi%OA10.1007/s41039-015-0001-5](https://doi.org/10.1007/s41039-015-0001-5)

Ling, C. Y., Osman, S., Daud, M. F., & Hussin, W. (2019). Application of Vee Diagram as a problem-solving strategy in developing students' conceptual and procedural knowledge. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(10), 2796–2800. <https://doi.org/https://doi.org/10.35940/ijitee.J9591.0881019>

Malaspina, U. (2013). Variaciones de un problema. El caso de un problema de R. Douady. *UNION, Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 34, 141–149.

Malaspina, U. (2016). Creación de problemas: sus potencialidades en la enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas. *Cuadernos de Investigación y Formación En Educación Matemática*, 0(15), 321–331.

Malaspina, U., & Vallejo, E. (2014). Creación de problemas en la docencia y la investigación. *Reflexiones y Propuestas En Educación Matemática*, 7–54.

Medina, J. E. (2003). La formulación y reformulación de problemas o preguntas en el aprendizaje de las matemáticas en el nivel medio superior. *EDUCACIÓN MATEMÁTICA*, 15(2), 77–103. <http://www.revista-educacion-matematica.org.mx/descargas/vol15/vol15-2/vol15-2-4.pdf>

Nuño, A. (2017). Planes de estudio de referencia del marco curricular común de la educación media superior. Primera edición, Secretario de Educación Pública. <http://www.sems.gob.mx/work/models/sems/Resource/12491/4/images/libro.pdf>

Papadopoulos, Ioannis Patsiala, N., Baumanns, L., & Rott, B. (2022). Multiple approaches to problem posing: theoretical considerations regarding its definition, conceptualisation, and implementation. *CEPS Journal*, 12(1), 13–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.26529/cepsj.878>

Polya, G. (1945). *How to Solve it*. In Princeton University Press. <https://doi.org/10.1017/cb09780511616747.007>

Sánchez, B., & Torres, J. (2017). La responsabilidad del currículo de matemáticas en la formación de ciudadanos que cuestionen la estructura social de clases. Una mirada desde perspectivas sociopolíticas. *Revista Colombiana de Educación*, 73, 299–322.

Silver, E. A. (1994). On mathematical problem posting. *For the Learning of Mathematics*, 19–28.

Singer, F. M., Ellerton, N., & Cai, J. (2013). Problem posing research in mathematics education: New questions and directions. *Educational Studies in Mathematics: An International Journal*, 82(3). <https://doi.org/10.1007/s10649-013-9478-2>

Stoyanova, E. (1999). Extending students' problem solving via problem posing. *The Australian*

Mathematics Teacher., 55(3), 29–35.

Subsecretaría de Educación Media Superior. (2018). Documento Base Bachillerato General ( MEPEO ).

Tichá, M., & Hošpesová, A. (2009). Problem posing and development of pedagogical content knowledge in pre-service teacher training. Proceedings of CERME 6, 1941–1950. [www.inrp.fr/editions/cerme6](http://www.inrp.fr/editions/cerme6)

Walsh, M. (2016). Pre-service primary teachers understanding of mathematical problem posing and problem solving: Exploring the impact of a study intervention. University of Limerick.

# HORMONAS ESTEROIDEAS SEXUALES: MOLÉCULAS MODERADORAS DE LA INFECCIÓN BACTERIANA

## SEX STEROID HORMONES: MODERATING MOLECULES OF BACTERIAL INFECTION

<sup>1</sup>Gerardo A. Ramírez-Paz-y-Puente  
<sup>2</sup>Candelario Vázquez-Cruz\*  
<sup>2</sup>Patricia Sánchez-Alonso  
<sup>1</sup>Erasmus Negrete-Abascal.

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. De Los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepantla de Baz, Edo. de México. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, ICUAP, BUAP

candelario.vazquez@correo.buap.mx, tonypazypuente@gmail.com, ecobacilos@yahoo.com, maria.sanchez@correo.buap.mx, negreteee@yahoo.com

## Abstract

The development of any organism is a hierarchical and sequential event that occurs through cellular communication. Communication processes in eukaryotes are carried out through various molecules, including hormones. Steroid hormones participate in the development of vertebrates to control distinctive gender traits, and thus reproduction can occur. Androgens, estrogens, and progestogens are fundamental for the growth and development of new living beings; the hormones mark the different cells of the pregnant mother and the embryo. These hormones, messengers of metabolic flows, are perceived by the cell receptors of the developing vertebrate. They can also be detected by some surrounding microorganisms that are part of the microbiome. Thus, microorganisms can recognize three environmental conditions: i) the moment of the host's development; ii) the vigor or weakness of the host; and iii) the defense systems against infections and the formation of biofilm. The microbial community perceives the strength of the immune system through the concentration of hormones and remains contained in biofilms or disperses to other tissues when detecting a weak immune system, damaging the host. Changes in the concentration of hormones also cause changes in the rate of molecules of glucose and amino acids, which modify microbial growth, making it more difficult to control infection. Understanding the importance of hormones in determining susceptibility to infection is intricate and challenging. Therefore; this text shows an overview of the subject.

**Keywords:** Steroid hormones, sex hormones, immune system, infections, pathogens, biofilm, dysbiosis

## Resumen

El desarrollo de cualquier organismo es un evento jerárquico y secuencial que ocurre a través de la comunicación celular. Estos procesos de comunicación en eucariontes se llevan a cabo por medio de moléculas diversas, incluidas las hormonas. Las hormonas esteroideas participan en el desarrollo de los vertebrados, para controlar los rasgos distintivos de género, y que con ello pueda ocurrir la reproducción. Los andrógenos, estrógenos y progestágenos son fundamentales en el desarrollo del nuevo ser vivo, porque marcan a las diferentes células, de la madre gestante y del producto. Estas hormonas al ser mensajeros de flujos metabólicos son percibidas por los receptores celulares del vertebrado en desarrollo, aunque también pueden ser detectadas por algunos microorganismos circundantes que forman parte del microbioma. Así, estos microorganismos reconocen: i) el momento de desarrollo del hospedero, ii) el vigor o la debilidad del hospedador y iii) los sistemas de defensa contra las infecciones incluyendo la formación de biopelícula. La comunidad microbiana percibe la fortaleza del sistema inmune, por medio de la concentración de hormonas, y se mantiene contenida en las biopelículas o se dispersa a otros tejidos al detectar un sistema inmune débil, dañando al hospedero. Los cambios en la concentración de hormonas también provocan cambios en concentraciones de moléculas como glucosa y aminoácidos, que modifican el crecimiento microbiano, dificultando más el control de una infección. Comprender la importancia de las hormonas en la susceptibilidad a las infecciones es intrincado y desafiante; en este texto se muestra un panorama del tema.

**Palabras clave:** Hormonas esteroideas, hormonas sexuales, sistema inmune, infecciones, patógenos, biopelícula, disbiosis



Figura 1. Fotografía del mural de Santa Ana Chiautempan Tlaxcala (abril-2018), muestra la importancia de la alimentación para el cuidado de la salud de la población. Fuente propia de los autores.

## INTRODUCCIÓN

El cuidado de la salud está siempre presente en el desarrollo de las personas y de las comunidades. Si existe un ambiente sano y alimentación balanceada en nutrientes para el ser humano, debe haber pocas preocupaciones por la salud humana (Figura 1). Sin embargo, el escenario mundial muestra que hay importantes desequilibrios que son vigilados con emisión de alertas por la Organización Mundial de la Salud. En Latinoamérica existe una política por el cuidado de las personas y los animales con el fin de prevenir la transmisión de las enfermedades en humanos y animales, denominada “Una Sola Salud”. A nivel técnico para el cuidado de la salud existen procedimientos que coadyuvan a disminuir o erradicar la enfermedad infecciosa, como el cultivo y la identificación de los microorganismos patógenos (Figura 2), con el fin de orientar el tratamiento médico más apropiado y efectivo, de acuerdo a la idiosincrasia de la población. Sin embargo, las infecciones son un serio problema de salud y se ha observado que existe un componente hormonal asociado a estas afecciones, como ejemplo citaremos a las hormonas esteroideas.

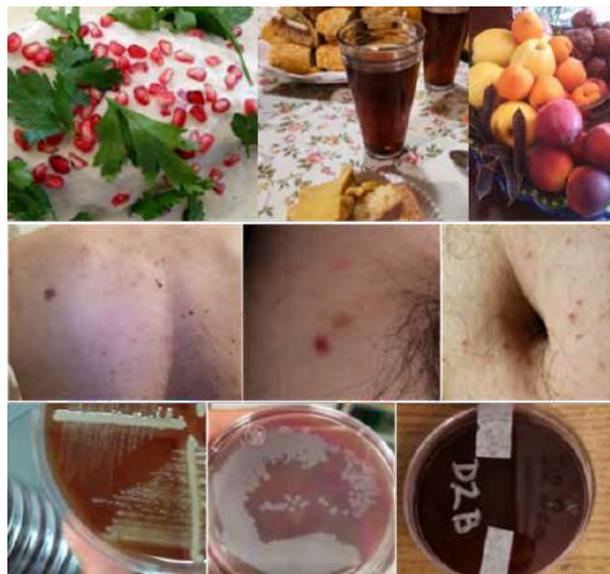


Figura 2. Composición fotográfica. Primera línea, algunos alimentos que actualmente se consumen en la megalópolis de México. Segunda línea, algunas afecciones cutáneas de personas adultas. Tercera línea, medios de cultivo con bacterias patógenas de origen humano y animal: *Staphylococcus*, *Avibacterium* y *Gallibacterium*; géneros cultivados en el CICM-BUAP (Cortesía de María Elena Cobos Justo, Doctorante del Posgrado en Microbiología). Microorganismos de preocupación, en el marco de la política mundial de la OMS-PAHO “Una salud”. <https://www.paho.org/es/documentos/cd599-salud-enfoque-integral-para-abordar-amenazas-para-salud-interfaz-entre-seres>. Fotografías - fuente propia de los autores.

Las hormonas esteroideas (HE) son macromoléculas pertenecientes al grupo de los lípidos que en células eucariotas se derivan del colesterol y tienen diversas funciones; con base en el tipo de receptor al cual se unirán, estas hormonas se han dividido en cinco grupos principales: glucocorticoides, mineralocorticoides, andrógenos, estrógenos, y progestágenos. En esta revisión nos enfocaremos a los andrógenos, los estrógenos y los progestágenos (Figura 3) que son las principales hormonas sexuales en la gran mayoría de vertebrados, las cuales recientemente han despertado un gran interés debido a su relación entre los niveles de concentración de ellas y la susceptibilidad del humano y de diferentes organismos a parásitos y patógenos microbianos (Vidaillac, et al., 2020). Los andrógenos son las principales hormonas sexuales masculinas, cuya función es la estimulación en el desarrollo de los caracteres sexuales masculinos, estas hormonas

son secretadas principalmente por los testículos. Los estrógenos son considerados hormonas sexuales femeninas, producidas principalmente por los ovarios, además de tejido graso, y placenta; su concentración aumenta durante el embarazo. El tercer grupo, los progestágenos son un grupo de hormonas producidas principalmente en la placenta durante la etapa gestante de las hembras cuya función es mantener el embarazo (acción progestacional), aunque también están presentes en otras fases del ciclo estral y menstrual, el principal progestágeno natural es la progesterona.

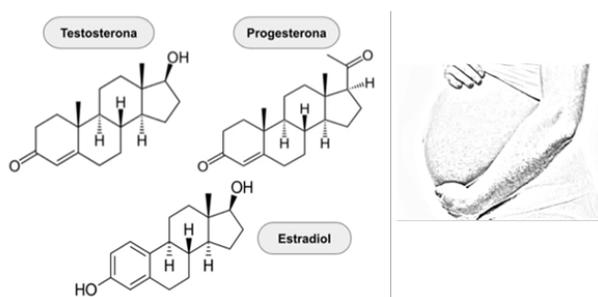


Figura 3. Estructura química de tres hormonas sexuales esteroideas

(Edición de Nelson y Cox, 2019, con KingDaw, <http://www.kingdraw.cn/en/index.html>).

Las hormonas estradiol y testosterona desempeñan una serie de funciones fisiológicas importantes que incluyen la reproducción, la diferenciación, el desarrollo, la proliferación celular, la apoptosis (muerte celular programada), la inflamación, el metabolismo, la homeostasis y la función cerebral (Edwards, 2005), para ello se liberan del órgano fuente al torrente sanguíneo para actuar en los tejidos diana, por ejemplo, en el sistema nervioso central (Wilson, et al., 1998). Las hormonas esteroideas sexuales se unen a receptores celulares específicos (receptores androgénicos o de estrógenos, respectivamente), capaces de identificar neurotransmisores y hormonas como “mensajeros químicos”. Estos receptores intracelulares actúan como factores de transcripción dependientes de ligandos o sustancias que forman un complejo activo “receptor-ligando” (mecanismo clásico), con lo cual modula la expresión de genes (Scarpin, et al., 2009).

Se ha reportado que las hormonas esteroideas sexuales (HES) también participan en la comunicación entre los microorganismos,

incluyendo patógenos, y sus hospedadores; esta interacción (HE-microorganismo) puede ser ventajosa para dichos microorganismos, y determinante para el desarrollo de enfermedades en el hospedero (Clabaut, et al., 2021; Vidailiac, et al., 2020). La presencia de las HE favorece la expresión coordinada de diferentes factores de virulencia (moléculas responsables del daño) y agrava el curso de una enfermedad infecciosa (Gómez-Chang, et al., 2012). Además, se ha observado que las HES, principalmente la testosterona y el estradiol, alteran la expresión y el comportamiento de los genes que influyen en la susceptibilidad y la resistencia del hospedero a una infección (Loria, 2009). Se ha reportado que los genes que codifican para la síntesis de proteínas del complemento y la expresión de inmunoglobulinas como respuesta del sistema inmune del hospedero, cambian su expresión en respuesta a las HES. Particularmente, los machos de todas las especies son más propensos a sufrir infecciones, lo cual podría estar asociado con una respuesta inmune diferente a la de las hembras (Klein, 2000).

En este trabajo se reseña brevemente la participación de las hormonas sexuales, principalmente testosterona, estradiol y progesterona, en las infecciones bacterianas, ya sea favoreciendo la expresión de factores de virulencia o la comunicación entre microorganismos y hospedadores.

### Estructura y función de las hormonas esteroideas sexuales

Las HES son sintetizadas generalmente en las gónadas (testículos y ovarios) y en las glándulas suprarrenales. Los machos y hembras pueden producir varios tipos de hormonas, la concentración de ellas variará dependiendo del sexo y del estado de desarrollo del organismo. Así, la testosterona es la hormona esteroidea más abundante en machos, mientras que, en hembras es el estradiol; estas hormonas inducen el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de la especie, los cuales se encuentran ligados al perfil hormonal de los animales favoreciendo con ello el incremento en la talla, peso y, en astados, cuernos más largos, entre otras características dependientes de la especie y el sexo del organismo. Bioquímicamente, estas hormonas provienen del colesterol (Figura 4), y tienen como estructura química

“base” al ciclopentanoperhidrofenantreno, el cual es hidrofóbico, y consta de cuatro ciclos o anillos fusionados, tres de seis carbonos y uno de cinco.

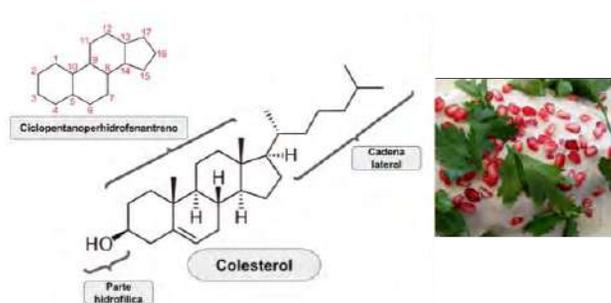


Figura 4. Estructura del Colesterol como molécula base para las hormonas esteroideas (Edición de Nelson y Cox, 2019, con KingDaw, <http://www.kingdraw.cn/en/index.html>).

Contienen también diferentes sustituyentes hidrofílicos, los cuales les brindan un carácter anfifílico, particularidad que le confiere a estas moléculas cierta solubilidad en agua, aunque otra parte de la molécula no puede interactuar con ésta (Figura 4). Estas moléculas, al presentar un carácter lipídico, pueden pasar a través de la membrana celular y luego unirse a receptores intracelulares específicos, ya sean nucleares (donde llevan a cabo una regulación genética) o citosólicos (a partir de los cuales se genera una cascada de señalización), donde generan cambios moleculares dentro de la célula. El transporte de estas moléculas en el organismo ocurre por transportadores específicos mediante interacciones proteína-proteína, como los que acarrean las globulinas a través del torrente sanguíneo, donde juegan un papel fundamental en el combate contra infecciones. Su degradación metabólica y reciclamiento de remanentes se lleva a cabo en diferentes órganos blanco (testículos, ovarios, hígado, adipocitos, etcétera).

### Testosterona

La testosterona es la principal hormona esteroidea producida por los machos de todas las especies de animales vertebrados como peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos; también forma parte del sistema hormonal de las hembras en concentraciones disminuidas hasta en un 80%, dependiendo de la especie. Durante

el ciclo de vida de los organismos, la testosterona participa en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, principalmente, en la producción de espermatozoides, activando una cascada de señalización desde la hipófisis hasta las células de Sertoli, para su diferenciación en espermatozoides, proceso que se lleva a cabo cuando un individuo entra en su etapa reproductiva. De igual manera, participa en el desarrollo de la musculatura y sistema óseo, la aparición y desarrollo de cornamenta en mamíferos astados y, en el ser humano, participa en la aparición de vello corporal y engrosamiento de la voz. Por tales motivos, se considera que la testosterona presenta dos tipos de actividades: anabólica (desarrollo y crecimiento del organismo) y androgénica (desarrollo de caracteres sexuales secundarios masculinos). La mayor parte de la testosterona en el organismo es producida en las células de Leydig, que se hallan en los testículos, sin embargo, también puede ser producida a partir de un precursor (Dihidrotestosterona) en las glándulas suprarrenales, aunque la síntesis por esta vía es reducida (Edwards, 2005).

Las células de Leydig producen y regulan las concentraciones de testosterona en los machos, y a su vez, éstas son reguladas por la hormona luteinizante (LH), hormona gonadotrófica de naturaleza glucoproteica que al igual que la hormona foliculoestimulante (FSH), es producida por el lóbulo anterior de la hipófisis o glándula pituitaria.

La glándula pituitaria es esencial y a su vez está regulada por la FSH en un asa de retroalimentación específica en la que LH regula la expresión de la 17 - hidroxisteroide deshidrogenasa, que es la enzima encargada de transformar androstenediona en testosterona (Figura 5). Asimismo, la testosterona es la principal molécula precursora de estradiol, ya que, por medio de la actividad de las aromatasas del retículo endoplásmico rugoso, se forma el anillo A de la molécula (proceso mediante el cual se generan tres dobles enlaces, creando un anillo bencénico), donde posteriormente se elimina un grupo metilo en el C10 y el grupo ceto presente en el C3 se reduce para la formación de un grupo hidroxilo (Komesaroff, et al., 2001).

### Estradiol

Es la principal hormona sexual en las hembras de todas las especies de vertebrados, por lo tanto, juega un papel fundamental en el desarrollo de los óvulos, de las glándulas mamarias y participa en el desencadenamiento del proceso de menstruación. Se conocen tres periodos hormonales importantes en las hembras: el del estradiol como hormona predominante cuando las hembras son reproductivamente activas, el de la estrona como estrógeno principal de ingreso a la 'menopausia', y el de preñez, en el que predomina el estriol. La principal diferencia química entre estas tres hormonas es el número de grupos hidroxilo que presentan: la estrona contiene sólo uno, el estradiol dos y el estriol tres, estos cambios se asignan a la nomenclatura bioquímica por medio de los sufijos presentes en los nombres de las moléculas (Figura 6).

Durante los años reproductivos, la mayoría del estradiol en las hembras es producido por las células granulosas de los ovarios, a través de la aromatización de la androstenediona (producida en las células foliculares tecaes) para producir estrona, enseguida, ésta es convertida a estradiol por la enzima 17 -hidroxisteroide deshidrogenasa (Figura 7). Pequeñas cantidades de estradiol también son producidas por la corteza suprarrenal, y en machos, por los testículos (Edwards, 2005).

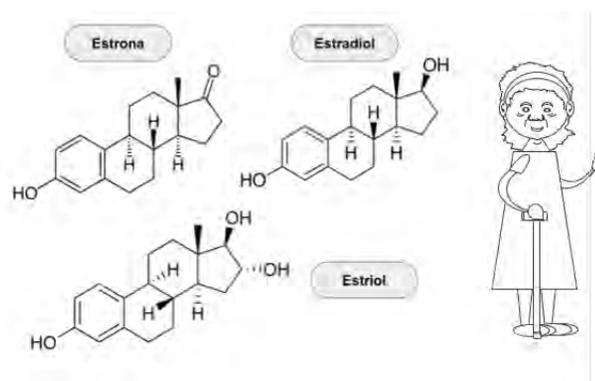


Figura 6. Representación de los tres principales estrógenos

(Edición de Nelson y Cox, 2019, con KingDaw, <http://www.kingdraw.cn/en/index.html>).

Durante los años reproductivos, la mayoría del estradiol en las hembras es producido por las células granulosas de los ovarios, a través de la aromatización de la androstenediona (producida en las células foliculares tecaes) para producir estrona, enseguida, ésta es convertida a estradiol por la enzima 17 -hidroxisteroide deshidrogenasa (Figura 7). Pequeñas cantidades de estradiol también son producidas por la corteza suprarrenal, y en machos, por los testículos (Edwards, 2005).

Esta hormona actúa principalmente en hembras favoreciendo el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios femeninos, induciendo el engrosamiento de las paredes vaginales, el desarrollo de las glándulas cervicales, del endometrio y el revestimiento de las trompas de Falopio; asimismo, parece ser necesaria en el mantenimiento de los óvulos dentro de los ovarios. Durante el ciclo menstrual (en humanos) o estral (en el resto de los mamíferos), el estradiol producido por el folículo en crecimiento produce, por medio de un sistema de retroalimentación positiva, cascadas de señalización en el hipotálamo-hipófisis que llevan a un incremento en los niveles de LH, induciendo la ovulación. En los machos, el estradiol es sintetizado en las células de Sertoli para evitar la apoptosis (o muerte celular programada) en las células espermáticas (Edwards, 2005).

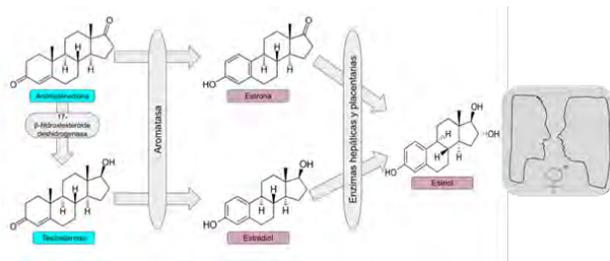


Figura 7. Biosíntesis de los principales Estrógenos (Edición de Abaffy et al, 2023, con KingDaw, <http://www.kingdraw.cn/en/index.html>).

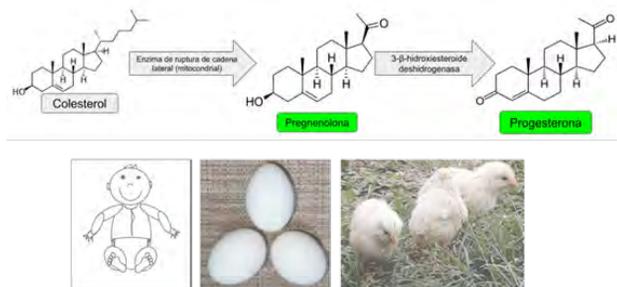


Figura 8. Biosíntesis de la progesterona (Edición de Abaffy et al, 2023, con KingDaw, <http://www.kingdraw.cn/en/index.html>).

## Progesterona

Hormona involucrada en el ciclo menstrual y estrol, la cual detiene los cambios endometriales que inducen los estrógenos y estimula así los cambios madurativos, que preparan al endometrio para la implantación del embrión, es decir, contribuye al embarazo y la embriogénesis, tanto en el humano como en el resto de los vertebrados. La progesterona también actúa sobre las glándulas mamarias estimulando su crecimiento y diferenciación celular, preparando las mamas para la lactación (Obr y Edwards, 2012; Hilton, et al., 2018); asimismo, actúa en el sistema digestivo generando un efecto miorrelajante causante de diarreas. Las fuentes principales de producción de progesterona son el ovario (específicamente el cuerpo lúteo) y la placenta, aunque también puede sintetizarse en las glándulas suprarrenales y es almacenada en el tejido adiposo (Komesaroff, et al., 2001).

La progesterona se produce naturalmente (proceso de biosíntesis) a partir del colesterol (figura 8). Inicialmente ocurre la oxidación doble para producir 20,22-hidroxicolesterol, a continuación, esta molécula se oxida con la pérdida de la cadena lateral de los carbonos C22 al C27 para producir pregnenolona, reacción catalizada por el citocromo P450scC (side-chain cleavage). Mas adelante la pregnenolona se convierte a progesterona en dos pasos. Primero, el grupo 3-hidroxilo se oxida a cetona y segundo, el doble enlace se isomeriza desde C5 a C4, a través de una reacción de tautomerización cetona/enol catalizada por la enzima 3-hidroxiesteroide deshidrogenasa .

La progesterona tiene una serie de efectos fisiológicos que son amplificados en presencia de estrógenos, llevando mensajes a todos los órganos del aparato genital femenino (útero, trompas y ovarios) para conseguir su correcta función. La progesterona ejerce su acción principal a través del receptor de progesterona intracelular (cuya expresión está inducida por una cascada de señalización iniciada en receptores de estrógenos), aunque también existe un receptor unido a la membrana celular denominado PGRMC1 y que es responsable de varias alteraciones de la fertilidad principalmente en machos, alterando la espermatogénesis (Luconi, et al., 1998). De igual manera, la progesterona tiene una serie de efectos fisiológicos negativos en altas concentraciones, reduciendo fuertemente la actividad de la aldosterona para retener sodio, generando una reducción en el volumen del líquido extracelular (Landau, et al., 1955).

## Las hormonas esteroideas y su relación con el sistema inmune

La incidencia de las infecciones bacterianas varía a lo largo del desarrollo de los organismos acorde a su edad, sexo, condiciones fisiológicas y ambiente en el que se desarrollen, debido a que estos factores (entre otros) influyen directamente en las interacciones patógeno-hospedero. El sistema inmune de cada hospedero también va “memorizando patrones moleculares de reconocimiento” conforme ocurren los contactos con diferentes microorganismos. Estos reconocimientos a partir de una “memoria inmune” se le conoce como Sistema Inmune Adaptativo, el cual se produce cuando se responde frente a una sustancia extraña o un microorganismo, como sucede después de una infección o vacunación. En la inmunidad adaptativa participan células in-

munitarias especializadas y anticuerpos que atacan o destruyen microorganismos invasores extraños que previenen futuras enfermedades. Esta respuesta inmune tiene diferente tiempo de permanencia, que pueden ser días, meses o incluso años (Toche, 2012).

Como se ha mencionado anteriormente, las hormonas esteroideas pueden modificar la actividad de las células inmunitarias con relación al sexo de cada organismo para adecuar la respuesta inmune tanto innata como adaptativa del hospedero frente a una infección bacteriana (von Steeg y Kleim, 2017). Al nacer los recién nacidos son particularmente susceptibles a infecciones bacterianas debido a las diferencias cualitativas y cuantitativas del sistema inmune innato neonatal (Shimabuku, et al., 2004), además, se sabe que los fetos están expuestos a altas concentraciones de estradiol y progesterona durante la gestación y en el momento del parto, estas hormonas juegan un papel fundamental en la interacción entre los recién nacidos y las bacterias existentes en el ambiente (Hunt, et al., 2004). Giannoni y colaboradores en 2011, analizaron los efectos de estradiol y progesterona en la respuesta de las células inmunes innatas neonatales frente a endotoxinas, y lipopéptidos bacterianos de *Escherichia coli* y *Streptococcus* del grupo B, las dos principales bacterias causantes de sepsis neonatal de aparición temprana. Trabajando con células mononucleares de sangre de cordón umbilical y monocitos de recién nacidos, encontraron que tanto el estradiol como la progesterona presentaban un alto efecto inhibitorio en la producción de citocinas proinflamatorias, por lo que la inflamación por efecto de una infección se ve disminuida, asimismo, se vio afectada la expresión del gen MYD88 que se encarga de la respuesta primaria de diferenciación mieloide en células del recién nacido, por lo que la cantidad de células granulocíticas (neutrófilos, eosinófilos, basófilos, etc.) se ve disminuida. En conjunto, los resultados obtenidos de esta investigación sugieren que las concentraciones de estradiol y progesterona, a las que se ve sometido el feto durante su desarrollo, contribuyen a alterar las respuestas inmunitarias innatas de recién nacidos, por lo que una elevada exposición intrauterina de estas hormonas puede propiciar el aumento a la susceptibilidad a infecciones durante el período próximo al nacimiento del neonato.

Por otro lado, en 2012, el equipo de trabajo de Leesa M. Pennell describió que cuando los receptores de estrógenos (ER  $\alpha$  y ER  $\beta$ ) se unen con elementos sensibles a estrógeno (como lo es el factor de transcripción NF- $\kappa$ B) y se trasladan al núcleo, donde se unen a los promotores de ciertos genes, controlando la transcripción de éstos, por ejemplo, los genes codificantes para los receptores de linfocitos T y B (TCR y BCR, respectivamente), encargados de la respuesta inmune adaptativa. Estas células se ven afectadas en su desarrollo y maduración por la presencia de estrógenos, los cuales disminuyen las concentraciones de interleucina 7 (IL-7), con lo que se reduce la expresión de factores involucrados en la transducción de señales, bloqueando parcialmente la transmisión de las señales que se dan en respuesta a un reconocimiento de antígenos bacterianos, con lo cual se evita una respuesta inmune en aquellos organismos que presentan una sobreproducción de estrógenos. Ejemplo de este tipo de afecciones son la Esclerosis Múltiple, Lupus Eritematoso Sistémico y Artritis Reumatoide. Una reacción similar se observa en enfermedades autoinmunes desencadenadas por infecciones bacterianas y virales de *Neisseria gonorrhoeae* causante de la gonorrea, y el VIH causante del SIDA respectivamente (Pennell, et al., 2012). Los autores, también descubrieron que la progesterona y los niveles elevados de estrógeno en hembras de ratón, inducen una mayor producción de inmunoglobulinas, en comparación con la encontrada en machos, donde la alta concentración de testosterona en éstos inhibe la expresión de esas inmunoglobulinas, por lo que el reconocimiento por parte de Linfocitos B en machos es deficiente comparado con las hembras (Pennell, et al., 2012).

Quintar y colaboradores en 2006 describieron que los receptores tipo Toll 4 (TLR4), considerados como importantes sensores de señales de peligro y desencadenantes clave de la respuesta inmune innata, se ven afectados frente a infecciones bacterianas que se desarrollan en la próstata, donde se reconoce a dichos patógenos y con ello inician una cascada de señalización para la activación de una respuesta inmune innata (activación de granulocitos y secreción de moléculas del complemento). La concentración de testosterona es fundamental para que esto se lleve a cabo ya que es un importante estimulante de la respuesta de los TLR4 frente a bacterias. También describieron que al activarse los TLR4, se inicia una cas-

cada de señalización que media una respuesta inmune adaptativa, donde los linfocitos T, presentes en mayor cantidad en machos, son activados para combatir a los patógenos aún existentes después de una primera respuesta por parte de las células de la inmunidad innata. De esta manera, podemos observar que las hormonas esteroideas participan de manera activa en la respuesta inmune de los individuos que se ven afectados por una infección bacteriana y que desde recién nacidos la concentración de dichas hormonas puede o no favorecer el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, para activar o inhibir la producción de anticuerpos específicos frente a los patógenos.

### Participación de las hormonas en infecciones bacterianas humanas

Vázquez-Martínez y colaboradores en 2018, realizaron una revisión bibliográfica acerca de las diferentes infecciones bacterianas que se dan de manera específica o con mayor impacto tanto en hombres como en mujeres. Ellos observaron que las HES juegan una función importante en el “dimorfismo sexual de dichas infecciones”, para lo cual proponen nueve clasificaciones: Infecciones del Tracto Gastrointestinal, del Tracto Respiratorio, Sanguíneas, del Tracto Urinario, de Transmisión Sexual, de heridas, Borreliosis de Lyme, Listeriosis, y Fiebre Q; encontrando que las infecciones gastrointestinales eran las más comunes en individuos del sexo masculino, y eran causadas principalmente por *Salmonella typhimurium*, *Campylobacter jejuni*, *Helicobacter pylori*, *Clostridium difficile*, *Yersinia enterocolitica* y *Vibrio spp.* (Braniste et al., 2009; Condliffe, et al., 2001; Nakano, et al., 2007, Scheckelhoff, et al., 2007). Para este tipo de infecciones los autores proponen que el estradiol tiene una gran importancia en el combate contra diferentes patógenos, ya que promueve la diferenciación y especialización de células T, así como la producción de citocinas antiinflamatorias (pequeñas proteínas cruciales para controlar el crecimiento y la actividad de células del sistema inmunitario y células sanguíneas). Por otro lado, los autores proponen que la testosterona favorece la respuesta de linfocitos Th1 a través de la actividad de los receptores de andrógenos localizados en macrófagos y linfocitos, a partir de los cuales se regula la producción diferencial de citocinas, interleucinas (IL-1, IL-2, IL-6 e IL-8) y la expresión del factor de necrosis

tumoral (TNF-). En consecuencia, se presenta una respuesta inflamatoria más baja que puede generar complicaciones mayores, debido a que una infección puede ser tratada de manera incorrecta o no ser percibida a tiempo.. Asimismo, las hembras cuentan con un sistema de reconocimiento de infecciones gastrointestinales en macrófagos peritoneales, lo cual contribuye a que presenten una mayor capacidad de eliminación de patógenos, sistema del que carecen los machos.

Con respecto a las infecciones en el tracto respiratorio, en el humano, los hombres son más susceptibles que las mujeres a enfermedades pulmonares: como el síndrome de dificultad respiratoria neonatal, la hipertensión arterial pulmonar, la fibrosis pulmonar idiopática y el asma, y esto también se observa en la neumonía bacteriana adquirida, en la que la gravedad y el mayor riesgo de mortalidad se asocian con pacientes masculinos. Este tipo de infecciones del tracto respiratorio está relacionado directamente con la presencia de hormonas esteroideas acorde al género del individuo involucrado, ya que como lo mencionan Abid y colaboradores (2017), a altas concentraciones de estradiol se favorece la infección por *Pseudomonas aeruginosa*, lo que induce una disminución de las concentraciones de óxido nítrico, y en consecuencia, una interferencia directa con la señalización celular del organismo, con lo cual se ve afectada la adecuada respuesta inmune.

En lo referente a infecciones en el tracto urinario, éstas ocurren con más frecuencia en mujeres que en hombres, debido a diferencias anatómicas y fisiológicas; por ejemplo, la uretra en mujeres es más corta que la de los hombres y la distancia entre el ano y el meato uretral también es más corta. Además, la región perimeatal tiene menos humedad en los hombres que en las mujeres y las secreciones prostáticas muestran actividad antibacteriana; por lo tanto, la probabilidad de colonización bacteriana y desarrollo de infección es menor en los hombres. El setenta por ciento de estas infecciones, en humanos, están relacionadas con *E. coli*. La menopausia es uno de los factores de riesgo de las infecciones urinarias, debido a la disminución de hormonas esteroideas, predominantemente estrógenos. Cuando los niveles de estrógenos son bajos, como en la mujer posmenopáusica, la colonización urogenital de los lactobacilos disminuye, lo que a su

vez produce un aumento del pH que permite el crecimiento de bacterias de la familia Enterobacteriaceae, particularmente *E. coli* (Ho, et al., 2020).

Se ha documentado que las infecciones por *Chlamydia trachomatis* y *N. gonorrhoeae*, están relacionadas con los niveles de estradiol y progesterona, que a lo largo del ciclo menstrual regulan el reclutamiento diferencial y la función de las células inmunes y otros componentes del sistema inmunológico (Giefing-Kroll et al., 2015). En un estudio de infección in vitro donde utilizan *C. trachomatis* y células HeLa adicionadas con 17- $\beta$ -estradiol o con dietilestilbestrol (un análogo de estrógeno sintético), se observó un incremento en adherencia, crecimiento y formación de colonias de la bacteria (Hafner et al., 2013). Además, se ha demostrado que los niveles de  $\beta$ -estradiol inducen una disminución en la concentración cervical de citocinas IL-1, IL-6 e IL-10 durante las infecciones primarias por *Chlamydia* spp, lo que favorece la infección por dicho microorganismo. La progesterona también genera una disminución de IL-1 en mujeres con infecciones recurrentes causadas por *C. trachomatis* (Agrawal et al., 2007). Los altos niveles de estrógeno también influyen en la susceptibilidad de las hembras a la infección gonocócica, ya que ratones infectados con *N. gonorrhoeae* y tratados con 17- $\beta$ -estradiol desarrollan bacteriemia rápidamente, debido al efecto inhibitor del estradiol sobre los niveles y la función de los leucocitos polimorfonucleares, que se vuelven incapaces de eliminar los gonococos (Kita et al., 1985). Además, niveles elevados de progesterona, como los observados durante la fase lútea del ciclo menstrual, también promueven la infección gonocócica en las células epiteliales del cuello uterino humano a través del aumento de la actividad de la cinasa Akt (serine/treonin cinasa, también llamada protein cinasa B), que a su vez aumenta la expresión de la enzima óxido nítrico sintasa y la producción de óxido nítrico, favoreciendo la supervivencia y replicación de *N. gonorrhoeae*.



Figura 9. Animales de compañía: gatos jóvenes con buena salud supervisada por el médico veterinario pero que pueden transmitir la pasteurelisis por mordeduras ocasionales; fotografía de un macho flanqueado por hembras (Fuente propia de los autores).

### Participación de las hormonas sexuales en infecciones bacterianas en animales

Es frecuente el reporte de lesiones en brazos y manos, y otras complicaciones infecciosas por lesiones propias al manejo de felinos o caninos en apariencia sanos, como los ejemplificados en la Figura 9 (Christidou et al., 2005; Wilson y Ho 2013). Sin embargo, también se ha visto un efecto de las hormonas esteroideas en infecciones por bacterias en otros vertebrados (Pretzer, 2008; Wenger et al., 2011), en los que se presenta un patrón de acción por estas moléculas, por ejemplo, los machos de muchas especies de vertebrados suelen ser más propensos a las enfermedades e infecciones que las hembras, y esta diferencia sexual está parcialmente influenciada por las propiedades inmunosupresoras de la testosterona en los machos. La inmunosupresión inducida por la testosterona se ha considerado tradicionalmente como una discapacidad “pleiotrópica” (fenómeno por el cual un solo gen o alelo es responsable de efectos fenotípicos o caracteres distintos y no relacionados entre sí), más que como una adaptación (García-Gómez et al., 2013; Wittman et al., 2020). Ashley y colaboradores en 2009 realizaron un experimento de reemplazo hormonal para examinar cuánto ayuda la testosterona a suprimir las enfermedades en el pájaro cantor “gorrión de cabeza blanca de Gambel (*Zonotrichia leucophrys gambelii*)”, analizando “el decaimiento del animal enfermo” o comportamiento deprimido del animal enfermo inducido por una endotoxina (Lipopolisacarido Bacteriano). Esta ave es muy vivaz, se reproduce estacionalmente y sus hormonas varían de acuerdo al periodo ambiental, por lo que los investigadores propusieron evaluar el efecto del suministro hormonal experimental sobre el sistema inmune y su comportamiento. Los investigadores hallaron que el suministro de testosterona inmunosuprime de forma temporal a las aves y disminuye algunos tipos de células inmunitarias,

aunque, se desconoce si es un efecto directo o indirecto de la testosterona. El autor observó que la testosterona ayudó al animal a reducir el impacto de los padecimientos que enfrenta, por ejemplo, cuando los machos resultan heridos y/o infectados durante el combate entre machos competitivos de la misma especie. El autor también sugiere que los aumentos naturales repentinos y breves de testosterona suprimen las enfermedades en periodos cortos para permitirles reproducirse, a pesar de estar asediados por parásitos y otras enfermedades.

Asimismo, se ha mencionado la propensión de los machos de presentar una mayor cantidad de infecciones en el tracto respiratorio, en estos casos, las respuestas de las hormonas y sus efectos frente a los diferentes patógenos dependen en gran medida del modelo experimental que se utilice: en experimentos realizados por Chen y colaboradores en 2003, usando ratones ovariectomizados infectados con *Pseudomonas aeruginosa*, el estradiol indujo un aumento de citocinas inflamatorias (tales como TNF- $\alpha$  e IL-6) y quimiocinas (moléculas que participan en la regulación del desarrollo de órganos linfoides, diferenciación de linfocitos T, metástasis celular, y recientemente se ha demostrado que tienen una función neuromoduladora), reacción que a su vez se asocia con una disfunción de los neutrófilos y falla de éstos al participar en la respuesta inmune innata de los organismos. Por el contrario, en un modelo experimental de pleuresía (inflamación pleural), propuesto por Abid y colaboradores en 2017, en ratas ovariectomizadas, el tratamiento con estradiol antes de la agresión inflamatoria se asoció con una disminución en la producción de óxido nítrico, migración de células polimorfonucleares y lesión tisular, que también dependía de estrógenos. Además, se ha sugerido que el estradiol promueve un aumento del transporte de Inmunoglobulina A hacia la mucosa del tracto respiratorio protegiendo contra la neumonía. Sin embargo, los autores de estos estudios afirman que hacen falta estudios que corroboren la información, esto para dilucidar los efectos beneficiosos o perjudiciales del estradiol y otras hormonas esteroideas durante la inflamación del tracto respiratorio.

Por otro lado, Wenger y colaboradores en 2011, estudiaron el posible papel inmunomodulador del 17 $\beta$ -estradiol en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), enfocándose en examinar si

los estrógenos pudieran modular los niveles de transcripción de genes relacionados con la respuesta inmune, y si esto tenía implicaciones funcionales para la resistencia de la trucha a los patógenos. En esta investigación, encontraron que los estrógenos efectivamente modulaban la expresión de genes relacionados con la respuesta inmune asociada a la resistencia frente a patógenos. Un posible mecanismo para la supresión génica mediada por estrógenos, es la acción reguladora de esta hormona en la expresión de genes que participan en mecanismos inmunológicos, a través de elementos sensibles al estrógeno dentro de la región promotora de estos genes en el genoma de la trucha arco iris. Elementos sensibles a estrógenos, por ejemplo, en el gen C3 de mamífero (gen que participa en la síntesis de proteínas del complemento), no fue identificado en el genoma de la trucha arco iris, por lo que se propone seguir adelante con este tipo de investigaciones.

Otro caso es el de bovinos y ovinos infectados por el microorganismo *Actinobacillus seminis*, la bacteria habita naturalmente en el tracto reproductor masculino de estos mamíferos. Este microorganismo puede ser aislado en individuos de tres meses de edad hasta los 4.5 años, y es fácilmente transmisible a través de la membrana mucosa de todas las cavidades (poco común en las vías respiratorias) o por contacto directo (Al-Katib y Dennis, 2009; Montes-García et al., 2018; Santos et al., 2019). Esta bacteria es causante común de epididimitis ovina, infertilidad y esterilidad de carneros en todo el mundo (Appuhamy et al. 1998; Montes-García et al., 2020; Moustacas et al., 2014), esta patología se establece cuando los borregos alcanzan la madurez sexual, pero por ser una condición irreversible, también se ha diagnosticado en carneros adultos quienes continúan la transmisión de dicho microorganismo a través de la cópula con hembras susceptibles (Acosta et al. 2006). Se sabe que *A. seminis*, es un patógeno oportunista de la población microbiana de tejidos prepuciales de ovinos jóvenes, por lo que asciende de la punta prepucial al epidídimo cuando las hormonas luteinizantes y estimulantes foliculares incrementan su concentración (Montes-García et al., 2019). El conocimiento acerca de los factores de virulencia expresados por *A. seminis* es escaso, sin embargo, se ha reportado que esta bacteria se une a diversos tipos celulares, especialmente aquellas que forman parte

del epitelio del riñón ovino, y caprino considerándose esta unión como un primer paso en un proceso de patogenicidad (Montes-García et al., 2018). Este evento está mediado por diferentes componentes celulares en el cual se ven involucradas estructuras fimbriales o afimbriales. Gracias a estos descubrimientos, se ha planteado que la testosterona presenta cierta influencia en la infección del ganado bovino y ovino por *A. seminis*, sin embargo aún no hay datos que confirmen esta hipótesis, por lo que actualmente, nuestro equipo de investigación, de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, lleva a cabo investigaciones relacionadas con el efecto que tiene la testosterona en *A. seminis*, mismas que han ayudado a determinar que la presencia de esta hormona favorece el crecimiento del microorganismo y, por lo tanto, la infección en el ganado mencionado (datos no publicados).

La influencia de hormonas esteroideas en la formación de biofilms

Las biopelículas (o bien biofilms), son estructuras complejas que le permiten a un microorganismo, anteriormente considerado unicelular e individual, presentar conductas multicelulares, sobrevivir en ambientes hostiles, resistir varios tipos de estrés y coordinadamente controlar la expresión de múltiples genes, por medio de la liberación y detección de moléculas autoproducidas (quorum sensing), que les garantice un efecto específico y suficiente para sobrevivir y permanecer por períodos más prolongados en el ambiente o dentro de su hospedero, causándole una enfermedad crónica (Montes-García, et al., 2017). Esta biopelícula está formada, principalmente, por polisacáridos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Montes-García et al., 2020). Una biopelícula constituida por miembros de una sola especie bacteriana estará limitada a las capacidades metabólicas y defensivas de este microorganismo; en cambio, una constituida por diferentes especies bacterianas presentará mayor capacidad para utilizar metabolitos más variados y responder a los estímulos adversos del ambiente (Petruzzi, et al., 2016).

Son muchas y muy variadas las especies bacterianas que presentan la capacidad de formar biopelículas, sin embargo, aquellas que se encuentran de manera natural en la zona periodontal, son las que llegan a formar con mayor frecuencia estas estructuras. La biopelícula

periodontal es una estructura compleja que puede cambiar de acuerdo con la competencia inmune del hospedero y las condiciones ambientales. Los cambios ambientales pueden generar un cambio en el perfil microbiológico al aumentar la cantidad y variedad de microorganismos asociados con la aparición y progresión de la periodontitis y disminuir los asociados con la salud periodontal, asimismo, se ha reportado que la presencia de hormonas esteroideas y sus derivados influyen directamente en la formación de estas estructuras. von Stein y colaboradores en 2021 estudiaron el efecto que tienen los andrógenos en la formación de biopelículas en la zona periodontal en hombres; los análisis microbiológicos de los individuos estudiados mostraron que aquellos que consumían andrógenos, presentaban un perfil microbiano más disbiótico (desbalance del equilibrio microbiano de la microbiota normal) que aquellos pacientes que no utilizaron estos compuestos. En general, los individuos del grupo que consumieron andrógenos albergaron proporciones más bajas de especies bacterianas compatibles con el hospedador y proporciones más altas de patógenos periodontales que el grupo control, lo que sugiere la formación de una biopelícula disbiótica. Estos investigadores llegaron a la conclusión de que un exceso en el consumo de andrógenos conlleva a afectar negativamente la salud periodontal.

Por otro lado, Wang y colaboradores en 2016 estudiaron el efecto que tiene el estradiol en la formación de biopelículas *in vitro*, en cultivos de *Staphylococcus epidermidis* (microorganismo que genera infecciones en dispositivos médicos), incubados a diferentes tiempos (4, 6, 12, 24, 48 y 72 horas) y en presencia de diferentes concentraciones de estradiol (0, 50, 125, 250 y 500 pmol/L). Los autores encontraron que estos microorganismos presentan un mayor crecimiento con respecto a controles sin estradiol, deduciendo que en mujeres la proporción de infecciones es mayor que en varones debido a las elevadas concentraciones de estradiol presentes en ellas. También se observó que el estradiol favorece en gran medida la formación de biopelículas, mismas que, en esta especie, está considerada como uno de los principales factores de virulencia, “características que poseen los microorganismos para producir un daño en un organismo hospedero susceptible” (Feraco, et al., 2016).

Se ha descrito el poder que tienen las hormonas y/o hormonas esteroideas para reorientar el metabolismo celular, reprogramando la transcripción génica celular y la actividad metabólica microbiana. Actualmente, el tema cobra importancia por la existencia de varias comorbilidades que deben conocerse para entender cómo las hormonas esteroideas, junto con otras hormonas, interactúan en redes que controlan la disponibilidad y redistribución de moléculas como glucosa y aminoácidos (Dixon, et al., 1964; Kuo, et al., 2015; Wolowczuk, et al., 2008), al alterar la permeabilidad del sistema linfático, producir el síndrome de resistencia a la insulina o síndrome metabólico, la mala nutrición fetal, la inflamación, la acumulación adiposa visceral y la obesidad (Abate, et al., 2002; Aronson, et al., 2004; Leite et al., 2022; Li, et al., 2017). Si adicionalmente, las hormonas esteroideas en los vertebrados (Figura 10), favorecen la expresión de diferentes factores de virulencia de los patógenos, incluidos mecanismos que promueven el crecimiento y la colonización del hospedero, la modulación de respuestas a diferentes tipos de estrés, y, sobre todo, la formación/producción de biopeículas en el hospedero, y si no existe un tratamiento adecuado en una infección, esta puede llegar a causar la muerte del individuo. Varios aspectos mencionados pueden estar ocurriendo en la actualidad por la frecuente presencia doméstica de animales de compañía o aparición de zoonosis (Perez et al., 2014).



*Figura 10. Tipos de vertebrados que comúnmente están en contacto con el ser humano. De izquierda a derecha: reptil, ave, felino y canino. La transmisión de microbios de animales a personas puede generar una enfermedad infecciosa o zoonosis (Fuente propia de los autores).*

## Conclusión

En esta revisión corta se ha mostrado que las hormonas esteroideas sexuales juegan un papel fundamental en la infección bacteriana en vertebrados, favoreciendo la colonización de microorganismos patógenos. Este tipo de moléculas puede favorecer la activación o represión de diferentes factores de virulencia de las bacterias o, en su defecto, activar diferentes mecanismos de defensa en aquellos organismos que se ven afectados por diversos microorganismos. Aunque, también es importante mencionar que las infecciones microbianas en el dimorfismo sexual se pueden atribuir a otros factores, entre los que se encuentran los socioeconómicos, el estilo de vida y la conducta de los organismos. Respecto a enfermedades infecciosas bacterianas puntuales los datos son contradictorios. Se sabe que, debido a los cambios de las hormonas esteroideas, en los machos las enfermedades bacterianas gastrointestinales, las respiratorias y las sepsis son más frecuentes. Mientras que en las hembras hay más susceptibilidad a las infecciones bacterianas del tracto urinario. Estas infecciones asociadas al dimorfismo sexual se explican en parte por las propiedades proinflamatorias del estradiol y por los efectos antiinflamatorios de la testosterona, a través de la interacción con sus receptores intracelulares específicos. También se ha visto que la presencia de hormonas esteroideas favorece la formación de biopelículas de microorganismos, la cual utilizan como uno más de sus factores de virulencia, pues les ayuda en los procesos de infección y persistencia en sus huéspedes. Sin embargo, se necesitan más estudios que corroboren la participación de las hormonas sexuales en el favorecimiento o combate de infecciones bacterianas.

## Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

## Declaración de Privacidad

Los autores declaran que se ha protegido la información sensible de las personas nombradas. La recopilación, el procesamiento y el almacenamiento de su información personal se hace en apego a la Declaración de Privacidad que rige a la Revista y a las Instituciones mencionadas. De acuerdo a la norma vigente, en el presente escrito se da el crédito a los autores de trabajos previos. Otras tecnologías electrónicas de seguimiento y almacenamiento de información poseen los derechos de divulgación y consulta que aquí se reconocen.

## Agradecimientos

A la BUAP por el apoyo del Proyecto BUAP 100103133-VIEP2022 y a la UNAM por el apoyo al Proyecto UNAM-DGAPA-PAPIIT IN204122.

## Referencias

- Abaffy, T., Lu, H. y Matsunami H. (2023). Sex steroid hormone synthesis, metabolism, and the effects on the mammalian olfactory system. *Cell and tissue research*. 391(1):19-42.
- Abate, N., Haffner, S. M., Garg, A., Peshock, R. M. y Grundy, S. M. (2002). Sex steroid hormones, upper body obesity, and insulin resistance. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 87(10):4522-4527.
- Abid, S., Xie, S., Bose, M., Shaul, P. W., Terada, L. S. y Brody, S. L. (2017). 17 -estradiol dysregulates innate immune responses to *Pseudomonas aeruginosa* respiratory infection and is modulated by estrogen receptor antagonism. *Infection and Immunity*. 85(10):e00422-17.
- Acosta, J., Díaz, E., Arellano, B., Tenorio, V. R. y Tórtora, J. (2006). Experimental induction of epididymitis in sheep, by intra-urethral inoculation of *Actinobacillus seminis*: A bacteriological, serological, and histopathological study. *OVINOS Técnica Pecuaria en México*, 44(2):257-267.
- Agrawal, T., Vats, V., Wallace, P. K., Salhan, S. y Mittal, A. (2007). Cervical cytokine responses in women with primary or recurrent chlamydial infection. *Journal Interferon Cytokine Response*. 27:221-226.
- Al - Katib, W. A. y Dennis, S. M. (2009). Ovine genital actinobacillosis: A review. *New Zealand Veterinary Journal*, 57(6):352-358.
- Appuhamy, S., Coote, J. G., Low, J. C. y Parton, R. (1998). PCR methods for rapid identification and characterization of *Actinobacillus seminis* strains. *Journal of Clinical Microbiology*. 36(3):814-817.
- Aronson, D., Bartha, P., Zinder, O., Kerner, A., Markiewicz, W., Avizohar, O., Brook, G. J., y Levy, Y. (2004). Obesity is the major determinant of elevated C-reactive protein in subjects with the metabolic syndrome. *International journal of obesity and related metabolic disorders. Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 28(5):674-679.
- Ashley, N. T., Hays, Q. R., Bentley, G. E. y Wingfield, J. C. (2009). Testosterone treatment diminishes sickness behavior in male songbirds. *Hormones and Behavior*. 56:169-176.
- Braniste, V., Leveque, M., Buisson-Brenac, C., Bueno, L., Fioramonti, J. y Hondeau, E. (2009). Oestradiol decreases colonic permeability through oestrogen receptor -mediated up-regulation of occludin and junctional adhesion molecule-A in epithelial cells. *The Journal of Physiology*. 587(13):3317-3328.
- Chen, Y., Dales, R. y Lin, M. (2003). The epidemiology of chronic rhinosinusitis in Canadians. *Laryngoscope*. 113:1199-1205.
- Christidou, A., Maraki, S., Gitti, Z., & Tselentis, Y. (2005). Review of *Pasteurella multocida* infections over a twelve-year period in a tertiary care hospital. *Am J Infect Dis*, 1(2), 107-10.
- Clabaut, M., Suet, A., Racine, P.-J., Tahrioui, A., Verdon, J., Barreau, M., Maillot, O., Le Tirant., A., Karsybayeva, M., Kremser, C., Redziniak, G., Duclairoir-Poc, C., Pichon, C., Chevalier, S. y Feuilloley, M. G. J. (2021). Effect of 17 -estradiol on human vaginal *Lactobacillus crispatus* strain. *Scientific Reports*. 11(1):7133.
- Condliffe, S. B., Doolan, C. M. y Harvey, B. J. (2001). 17 -Oestradiol acutely regulates Cl- secretion in rat distal colonic epithelium. *The Journal of Physiology*. 530(1):47-54.

Dixon, P. F., Gray, C. H. y Quincey, R. V. (1964). The action of steroid hormones at the cellular level. *Postgraduate Medical Journal*. 40(466):448-456.

Edwards, D. P. (2005). Regulation of signal transduction pathways by estrogen and progesterone. *Annual Review of Physiology*. 67:335-376.

Feraco, D., Blaha, M., Khan, S., Green, J. M., y Plotkin B.J. (2016). Host environmental signals and effects on biofilm formation. *Microbial Pathogenesis* 99:253-263.

García-Gómez, E., González-Pedrajo, B. y Camacho-Arroyo, I. (2013). Role of sex steroid hormones in bacterial-host interactions. *BioMed Research International*. 3:928-238.

Giannoni, E., Guignard, L., Reymond, M. K., Perreau, M., Roth-Kleiner, M., Calandra, T. y Roger, T. (2011). Estradiol and progesterone strongly inhibit the innate immune response of mononuclear cells in newborns. *Infection and Immunity*. 79:7.

Giefing-Kroll, C., Berger, P., Lepperdinger, G. y Grubeck-Loebenstien, B. (2015). How sex and age affect immune responses, susceptibility to infections, and response to vaccination. *Aging Cell*. 14:309-321.

Gómez-Chang, E., Larrea, F. y Martínez-Montes, F. (2012). Vías de señalización asociadas a la esteroidogénesis. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 15(1): 24-36.

Hafner, L. M., Cunningham, K. y Beagley, K. W. (2013). Ovarian steroid hormones: effects on immune responses and Chlamydia trachomatis infections of the female genital tract. *Mucosal Immunology*. 6:859-875.

Hilton, H., Clarke, C. y Graham, J. (2018). Estrogen and progesterone signaling in the normal breast and implications for cancer development. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 466:2-14.

Ho, C.-H., Lu, Y.-C., Fan, C.-K., Yu, H.-J., Liu, H.-T., Wu, C.-C., Chen, K.-C., Liu, S.-P. y Cheng, P.-C. (2020). Testosterone regulates the intracellular bacterial community formation of uropathogenic Escherichia coli in prostate cells via STAT3. *International Journal of Medical Microbiology*. 310(7):151.

Hunt, R., Davis, P. G. y Inder, T. E. (2004). Replacement of estrogens and progestins to prevent morbidity and mortality in preterm infants. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 4:38-48.

Kita, E., Takahashi, S., Yasui, K. y Kashiba, S. (1985). Effect of estrogen (17-beta-estradiol) on the susceptibility of mice to disseminated gonococcal infection. *Infection and Immunity*. 49:238-243.

Klein, S. L. (2000). The effects of hormones on sex differences in infection: from genes to behavior. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 24(6): 627-638.

Komesaroff, P. A., Black, C. V., Cable V. y Sudhir, K. (2001). Effects of wild yam extract on menopausal symptoms, lipids and sex hormones in healthy menopausal women. *Climacteric* 4(2):144-50.

Kuo, T., McQueen, A., Chen, T. C. y Wang, J. C. (2015). Regulation of Glucose Homeostasis by Glucocorticoids. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 872: 99-126.

Landau, R. L., Bergenstal, D. M., Lugibihl, K. y Kascht, M. E. (1955). The metabolic effects of progesterone in man. *Journal of Endocrinology and Metabolism*. 15(10):1194-1215.

Leite, L. C. G., Dos Santos, M. C., Duarte, N. E., Horimoto, A. R. V. R., Crispim, F., Vieira Filho, J. P. B., Dal Fabbro, A. L., Franco, L. J., & Moises, R. S. (2022). Association of fat mass and obesity-associated (FTO) gene rs9939609 with obesity-related traits and glucose intolerance in an indigenous population, the Xavante. *Diabetes & metabolic syndrome*, 16(1), 102358.

Li, J., Lai, H., Chen, S., Zhu, H. y Lai, S. (2017). Interaction of sex steroid hormones and obesity on insulin resistance and type 2 diabetes in men: The Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Journal of Diabetes and its Complications*, 31(2):318–327.

Loria, R. M. (2009). Beta - Androstenes and resistance to viral and bacterial infections. *Neuroimmunomodulation*.16:88-95.

Luconi, M., Bonaccorsi, L., Maggi, M., Pecchioli, P., Krausz, C., Forti, G. y Baldi, E. (1998). Identification and characterization of functional non-genomic progesterone receptors on human sperm membrane. *Journal Clinical of Endocrinology*. 83(3):877-885.

Montes-García, J. F., Chincoya, D., Vaca, S., Vázquez, C., Sánchez, P., Cortes, J., Trujillo-Ruiz, H. y Negrete-Abascal, E. (2018). Identification of two adhesins of *Actinobacillus seminis*. *Small Ruminant Research*. 167:100–103.

Montes-García, J.F., Delgado-Tapia, W.A., Vaca, S., Negrete-Abascal, E., Vazquez-Cruz, C. y Cruz-Córdova, A. (2019). *Actinobacillus seminis* GroEL-homologous protein agglutinates sheep erythrocytes. *Antonie van Leeuwenhoek*. 112:1655-1662.

Montes-García, J. F., Paniagua-Contreras, G. L., Uribe-García, A., Vaca-Pacheco, S., Vazquez-Cruz, C. y Negrete-Abascal, E. (2017). Bacterias de la familia Pasteurellaceae como modelo de estudios de la biopelícula. En *Modelos microbianos para la investigación básica y la Biotecnología*. pp. 19-34. UNAM, BUAP.

Montes-García, J.F., Rojas, L., Zenteno, E., Vazquez-Cruz, C. y Negrete-Abascal, E. (2020). Characterization of *Actinobacillus seminis* biofilm formation. *Antonie van Leeuwenhoek*. 113:1371-1383.

Moustacas, V. S., Silva, T. M. A., Costa, L. F., Carvalho-Júnior, C. A., Santos, R. L. y Paixão, T. A. (2014). Clinical and pathological changes in rams experimentally infected with *Actinobacillus seminis* and *Histophilus somni*. *The Scientific World Journal*. 24:1452-1465.

Nakano, M., Takahashi, A., Sakai, Y. y Nakaya, Y. (2007). Modulation of Pathogenicity with Norepinephrine Related to the Type III Secretion System of *Vibrio parahaemolyticus*. *The Journal of Infectious Diseases*. 195(9):1353-1360.

Nelson D. L. y Cox M. (2019). *Lehninger Principios de Bioquímica*. 7a. Edición. pp 349-369. Editorial Omega.

Obr, A. y Edwards D. (2012). The biology of progesterone receptor in the normal mammary gland in breast cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 357(1-2):4-17.

Pennell, L. M., Galligan, C. L. y Fish, E. N. (2012). Sex affects immunity. *Journal of Autoimmunity*. 38(3):282-291.

Pérez Márquez, V. M., Ochoa, J. L., Cruz, C. V., Alonso, P. S., Olmedo-Alvarez, G., Vaca, S., & Abascal, E. N. (2014). Isolation of *Actinobacillus pleuropneumoniae* from layer hens showing clinical signs of infectious coryza. *Avian diseases*, 58(4), 638–641.

Petruzzi, B. y Inzana, T. J. (2016). Exopolysaccharide production and biofilm formation by *Histophilus somni*. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 396:149-160.

Pretzer, S. D. (2008). Clinical presentation of canine pyometra and mucometra: a review. *Theriogenology*. 70:359-363.

Quintar, A. A., Roth, F. D., De Paul, A. L., Aoki, A. y Maldonado, C. A. (2006). Toll - Like Receptor 4 in rat prostate: Modulation by testosterone and acute bacterial infection in epithelial and stromal cells. *Biology of Reproduction*. 75(5): 664-672.

Santos, F. A., Figueiredo da Costa, D., Ferreira da Silva, A., Dos Santos Pessoa, R. M., Figueiredo Rocha, V. C., Gomes Olinda, R., Dantas, A. F. M., de Melo, M. A., Peña Alfaro, C. E., Azevedo, S. S. y Alves, C. J. (2019). Microbiological, molecular, and histopathological findings in goats experimentally infected with *Actinobacillus seminis*. *Microbial Pathogenesis*. 133:103-125.

Scarpin, K. M., Graham, J. D., Mote, P. A. y Clarke, C. L. (2009). Progesterone action in human tissues: regulation by progesterone receptor (PR) isoform expression, nuclear positioning and coregulator expression. *Nuclear Receptor Signaling*. 7:100-109.

Scheckelhoff, M. R., Telford, S. M., Wesley, M. y Hu, L. T. (2007). *Borrelia burgdorferi* intercepts host hormonal signals to regulate expression of outer surface protein A. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*. 107(17): 7247-7252.

Shimabuku, R., Velásquez, P., Yábar, J., Zerpa, R., arribasplata, G., Fernández, S., Sánchez, V. y Olivares, N. (2004). Etiología y susceptibilidad antimicrobiana de las infecciones neonatales. *Anales de la Facultad de Medicina*. 65(1):19-24.

Toche, P. (2012). Panoramic vision of the immune system. *Revista Médica Clínica Las Condes*. 23(4):446-457.

Vázquez-Martínez, E. R., García-Gómez, E., Camacho-Arroyo, I. y González-Pedrajo, B. (2018). Sexual dimorphism in bacterial infections. *Biology of Sex Differences*. 9(1):27.

Vidaillac, C., Yong, V. F. L., Aschtgen, M. S., Qu, J., Yang, S., Xu, G., Seng, Z. J., Brown, A. C., Ali, M. K., Jaggi, T. K., Sankaran, J., Foo, Y. H., Righetti, F., Nedumaran, A. M., Mac Aogáin, M., Roizman, D., Richard, J. A., Rogers, T. R., Toyofuku, M., Luo, D., Loh, E., Wohland, T., Czarny, B., Horvat, J. C., Hansbro, P. M., Yang, L., Li, L., Normark, S., Henriques-Normark, B. y Chotirmall, S. H. (2020). Sex steroids induce membrane stress responses and virulence properties in *Pseudomonas aeruginosa*. *mBio* 11:1774-1793.

von Steeg, L. y Klein, S. L. (2017). Sex steroids mediate bidirectional interactions between hosts and microbes. *Hormones and Behavior*. 88:45-51.

von Stein Cubas Warnavin, S., Valenga, H. M., Costa, T. B. C., Chaves, J. D. P., Spolidorio, L. C., Spolidorio, D. M. P., Feres, M., Soares, G. M. S. y Steffens, J. P. (2021). Periodontal clinical status, microbial profile, and expression of interleukin-1 in men under androgenic anabolic steroids abuse. *Clinical Oral Investigations*. 25(6):3567-3575.

Wang, X., Zhou, Y. C., Huang, Y. C., Zou, T. N., Lü, Z. Y., Chen, Y, Liu, X. y Duan, W. S. (2016). Estradiol stimulates the growth and biofilm formation of clinical *Staphylococcus epidermidis*. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 96(38):3083-3089.

Wenger, M., Sattler, U., Goldschmidt-Clermont, E. y Segner, H. (2011). 17- $\beta$ -estradiol affects the response of complement components and survival of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) challenged by bacterial infection. *Fish and Shellfish Immunology*. 31(1):90-97.

Wilson, J. W., Foster, D. W., Kronenberg, H. y Larsen, P. R. (1998). Principles of endocrinology, en *William Textbook of Endocrinology*, J. W. Wilson, Ed., pp. 1-10, WB Saunders Company.

Wilson, B. A., y Ho, M. (2013). *Pasteurella multocida*: from zoonosis to cellular microbiology. *Clinical microbiology reviews*, 26(3), 631–655. <https://doi.org/10.1128/CMR.00024-13>

Wittman, T. N., Robinson, C. D., McGlothlin, J. W. y Cox, R. M. (2020). Hormonal pleiotropy structures genetic covariance. *Evolution Letters*. 5-4:397–407.

Wolowczuk, I., Verwaerde, C., Viltart, O., Delanoye, A., Delacre, M., Pot, B. y Grangette, C. (2008). Feeding our immune system: impact on metabolism. *Clinical & Developmental Immunology*. 2008: 639803.

# AVES INVERNALES DE LA LAGUNA DE SAN BALTAZAR: ENTENDIENDO SU BIODIVERSIDAD

## WINTER BIRDS FROM SAN BALTAZAR LAGOON: UNDERSTANDING ITS BIODIVERSITY

Jesús Hernández Castán<sup>1,2</sup>,  
Cynthia Yarami Díaz Gonzales<sup>2</sup>

<sup>1</sup>El Colegio de Puebla A.C,  
<sup>2</sup> Verde y Azul Desarrollo Integral

\*Autor de correspondencia: Jesús Hernández-Castán  
Dirección: 21 Ote. 210, San Pablo Tecamac, 72750 Cholula, Pue.  
Email:jesus\_castan@hotmail.com

## Abstract

At the San Baltazar Lagoon, located in the south part of the city of Puebla, actions such as the replacement of trees and the removal of exotic or invasive birds are carried out in order to improve the site conditions and increase the conservation value of local biodiversity. The investigation analyzes the birdlife dynamics of the place during the second part of December 2021 and the first trimester of 2022. We calculate the Shannon diversity index and dominance using the program PAST 4.0 from Oslo University to know the behavior of the bird community during the winter period. In addition, a comparative study was made considering the results of the single previous study available, which dates back to 2008. We sighted 583 individuals belonging to 45 species. The Mexican duck was the species with more individuals (*Anas diazi*). The study is focused only on one season of the year; however, it reports a species richness equivalent to 97.8% related to the annual birdlife dynamic of San Baltazar Lagoon, registered a decade ago. In relation to the species, it is necessary to mention that 28 sightings were not previously reported in that area, and besides that, an increase in endemism levels has been found, which might indicate a rise in the conservation value of the site of study.

**Keywords:** Birdlife, biodiversity, dominance, endemism.

## Resumen

En la Laguna de San Baltazar, ubicada en la parte sur de la ciudad de Puebla, se realizan acciones como la sustitución de arbolado y remoción de especies de aves exóticas o invasoras para mejorar las condiciones del sitio en pro de incrementar su valor de conservación para la biodiversidad local. El estudio analiza la dinámica de la avifauna del sitio durante la segunda mitad de diciembre del 2021 y el primer trimestre del 2022. Calculamos los índices de diversidad de Shannon y dominancia empleando el programa Past 4.0 de la Universidad de Oslo para conocer el comportamiento de la comunidad de aves durante el periodo invernal. Adicionalmente se realizó un comparativo de los resultados obtenidos con el único estudio previo disponible, mismo que data del año 2008. Avistamos 583 individuos pertenecientes a 45 especies. La especie que más individuos presentó fue el Pato Mexicano (*Anas diazi*). El trabajo se encuentra focalizado en sólo una temporada del año, no obstante, reporta una riqueza de especies equivalente al 97.8% en relación con la dinámica anual de la avifauna de la Laguna de San Baltazar registrada hace más de una década. Con relación a las especies cabe mencionar que 28 fueron avistamientos no reportados previamente para el área, además de ello se encontró un incremento en el grado de endemismo, lo que podría indicar un crecimiento en el valor de conservación en el sitio de estudio.

**Palabras clave:** Avifauna, biodiversidad, dominancia, endemismo.

## Introducción

El crecimiento de las ciudades genera transformaciones importantes en los ecosistemas naturales, alterando el funcionamiento de éstos y la posibilidad de adaptación para muchas especies (Díaz et al, 2021). Particularmente, en torno a las aves, existe evidencia de que la urbanización puede conducir a una simplificación de las comunidades biológicas, las cuales a nivel global en dichos entornos son mayoritariamente dominadas por organismos generalistas, lo que reduce la variedad de especies y, por ende, de funciones que las mismas desarrollan en un sitio determinado (Morelli et al, 2016). Así, la riqueza de especies de aves en áreas urbanas se relaciona con factores como el tamaño de los espacios arbolados, la cobertura vegetal que presentan, los disturbios que allí se dan y la conectividad o aislamiento que éstos poseen (Medrano-Guzmán et al, 2020).

En función de lo anterior, la calidad del hábitat es un factor importante que influye en la distribución de las aves y que varía al interior de las ciudades, por lo que resulta importante conocer y comprender la dinámica de éstas en relación con las áreas verdes, para así mejorar la gestión integrada de las urbes y propiciar con ello la conservación de la diversidad biológica que allí habita (Medrano-Guzmán et al, 2020).

Desde el año 2018 en La Laguna de San Baltazar, Puebla, una importante área verde urbana de la capital de dicha entidad, se realizan acciones como la sustitución de arbolado y remoción de especies de aves exóticas o invasoras para mejorar las condiciones del sitio en pro de incrementar su valor de conservación para la biodiversidad local y también para quienes visitan el área. La presente nota de investigación es resultado de los primeros esfuerzos generados con el fin de iniciar estudios que den pie a la evaluación de los efectos de dichas acciones.



Figura 1. Laguna de San Baltazar, Ciudad de Puebla, México  
Fuente: Propia

## Metodología

La Laguna de San Baltazar es un área verde urbana que mide aproximadamente 14 hectáreas, de las cuales cerca del 50% se encuentran arboladas presentándose allí hoy día 3404 árboles de especies principalmente norteamericanas, entre las que destacan, el Cedro blanco (*Hesperocyparis lusitánica* Mill), el Trueno lila (*Ligustrum lucidum* W.T.Aiton) los Fresnos (*Fraxinus uhdei* Wenz), Sauces (*Salix* sp), Casuarinas (*Casuarina equisetifolia* L.) y Ahuehuetes (*Taxodium huegelii* C. Lawson ). (Hernández-Castán et al, 2022). La laguna está totalmente inserta en la mancha urbana y actualmente funge como un espacio de recreación y esparcimiento para los habitantes de la ciudad de Puebla.

Durante la segunda mitad del mes de diciembre del 2021 y el primer trimestre del 2022, periodo que coincide con la temporada invernal en la citada Ciudad de Puebla, se realizaron 6 evaluaciones quincenales de las aves presentes en la Laguna, registrándose las especies avistadas en cada ocasión, así como la abundancia de ellas.

Las observaciones se hicieron mediante recorridos de tres horas en el perímetro interior de esta área verde urbana, empleando binoculares 10x50 e identificando los organismos en función de sus características taxonómicas principales con ayuda del aplicativo Merlin del Cornell LAB y su base de datos asociada para México. Se generó un registro fotográfico de la mayor parte de las especies para facilitar su posterior identificación, así como una base

de datos conteniendo nombres comunes, endemismo y nivel de riesgo, información sistematizada a partir del portal [www.aves.mx](http://www.aves.mx) de la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO).

Se calcularon valores de diversidad de Shannon y dominancia empleando el programa Past 4.0 de la Universidad de Oslo. Adicionalmente se realizó un comparativo de los resultados obtenidos con el único estudio previo disponible, mismo que data del año 2008 (Almazán-Núñez y Hinterholzer-Rodríguez, 2010).

### Resultados

Se identificaron un total de 45 especies presentes durante la temporada invernal evaluada, habiendo registrado 582 organismos. La especie que más individuos presentó fue el Pato Mexicano (*Anas diazi*) (ver Figura 2), mientras que 12 especies, entre ellas el Águila Pescadora (*Pandion haliaetus*) o el Gavilán de Cooper (*Accipiter cooperii*) sólo se reportaron una vez en el estudio (ver Figura 3).



Figura 2. Pato Mexicano (*Anas diazi*)  
Fuente: Propia

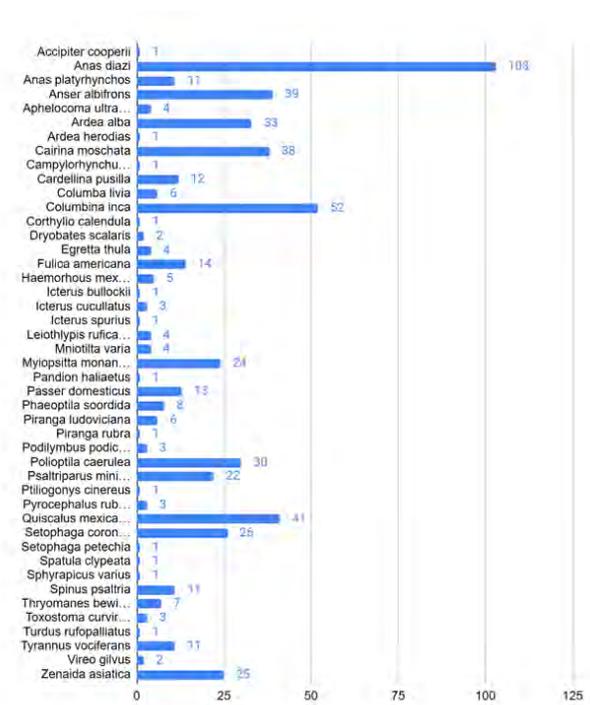


Figura 3. Abundancias de las especies reportadas en el estudio  
Fuente: Elaboración Propia

De las especies registradas, el 6% (3 especies) tienen algún grado de riesgo en Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 para Protección ambiental de Especies nativas de México, (ver Figura 4), el 18% (8 especies) ofrece algún grado de endemismo y el 4% (9 especies) es endémico a México (ver Figura 5).

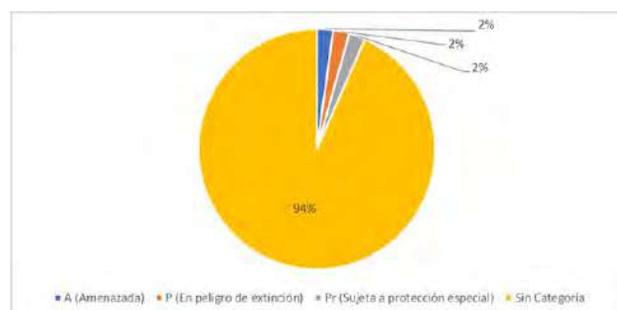


Figura 4. Categoría en la NOM-059 SEMARNAT 2010 de las Aves Invernales de la Laguna de San Baltazar.  
Fuente: Elaboración Propia a partir de la investigación (época invernal)



Igualmente, la primera quincena del mes de febrero del 2022 fue un periodo de menor dominancia (ver Figura 9), es decir los individuos de las especies presentes se hallaron repartidos de forma más equitativa.

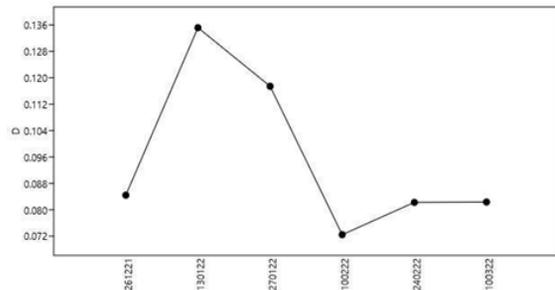


Figura 9. Índice de Dominancia para las aves invernales 2022 de la Laguna de San Baltazar  
Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación (época invernal)

## Discusión

Almazán-Núñez y Hinterholzer-Rodríguez realizaron en 2010 un análisis de la dinámica de las aves presentes en la laguna de San Baltazar, cabe destacar que dichos autores reportan los avistamientos efectuados en 11 meses de dicho año y con un esfuerzo estimado de 132 horas totales, mientras que el presente trabajo contempla 18 horas efectivas de muestreo en campo en un periodo de tres meses.

A pesar de las diferencias citadas entre los dos periodos de análisis, se identificó prácticamente el mismo número de especies en ambos trabajos, 46 en el 2008 y 45 en el periodo de estudio 2021-2022, en cuanto al número de individuos avistados en este último periodo el cual fue de 582, este representó el 44.5% de los reportados por Almazán-Núñez (2010). Con relación a las especies cabe mencionar que 18 resultaron compartidas y 28 fueron avistamientos nuevos para el área.



Figura 10. Concentración de Pato Mexicano (*Anas diazi*)  
Fuente: Propia

Las especies que resultan en registros nuevos para la Laguna de San Baltazar, en relación con estudios previos, son:

Tabla 2. Nuevos avistamientos reportados para la Laguna de San Baltazar en relación con estudios previos.

Nombre común	Nombre científico
Águila Pescadora	<i>Pandion haliaetus</i>
Calandria Castaña	<i>Icterus spurius</i>
Calandria Cejas Naranjas	<i>Icterus bullockii</i>
Carpintero Mexicano	<i>Dryobates scalaris</i>
Carpintero Moteado	<i>Sphyrapicus varius</i>
Chara Transvolcánica	<i>Aphelocoma ultramarina</i>
Chipe Amarillo	<i>Setophaga petechia</i>
Colibrí Opaco	<i>Phaeoptila soordida</i>
Cuitlacoche	<i>Toxostoma curvirostre</i>
Gallareta Americana	<i>Fulica americana</i>
Ganso Careto Mayor	<i>Anser albifrons</i>
Garza Morena	<i>Ardea herodias</i>
Gavilán de Cooper	<i>Accipiter cooperii</i>
Matraca del Balsas	<i>Campylorhynchus jocosus</i>
Mirlo Dorso Canela	<i>Turdus rufopalliatus</i>
Paloma Alas Blancas	<i>Zenaidura macroura</i>
Papamoscas	<i>Empidonax sp.</i>
Pato de Collar	<i>Anas platyrhynchos</i>
Pato Mexicano	<i>Anas diazi</i>
Pato Real	<i>Cairina moschata</i>
Perico Monje Argentino	<i>Myiopsitta monachus</i>
Piranga Capucha Roja	<i>Piranga ludoviciana</i>
Piranqa Roja	<i>Piranqa rubra</i>
Reyezuelo Matraquita	<i>Corthylio calendula</i>
Sastrecillo	<i>Psaltirparus minimus</i>
Tirano Chibíú	<i>Tyrannus vociferans</i>
Vireo Gorjeador	<i>Vireo gilvus</i>
Zambullidor Pico Grueso	<i>Podilymbus podiceps</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de la investigación (época invernal)

De las mismas, dos son semi endémicas (*Icterus bullockii* y *Tyrannus vociferans*) cuatro endémicas (*Aphelocoma ultramarina*, *Phaeoptila soordida*, *Campylorhynchus jocosus*, *Turdus rufopalliatus*), una se encuentra sujeta a protección especial (*Accipiter cooperii*), una está amenazada (*Anas diazi*) y una en peligro de extinción (*Cairina moschata*).

El presente trabajo representa el 13.6% del esfuerzo de muestreo en relación con referentes previos pues se encuentra focalizado en sólo una temporada del año, no obstante, reporta una riqueza de especies equivalente al 97.8% en relación con la dinámica anual de la avifauna de la Laguna de San Baltazar registrada hace más de una década, así mismo se reporta aquí en sólo tres meses una abundancia de individuos del 44.5% respecto a los trabajos anteriores. Del total de la diversidad avistada, el 62% son registros nuevos para la Laguna, y de éstos el 21% poseen algún grado de endemismo, así como el 11% se reportan categorizadas dentro de la NOM-059-Semarnat 2010. Lo anterior representa un incremento del 100% de especies con grado de endemismo (4 en 2008 vs 8 en 2022) así como del 200% de especies bajo alguna categoría de riesgo (1 en 2008 vs 3 en 2022).



Figura 11. Mirlo Dorso Canela (*Turdus rufopalliatus*)  
Fuente: Propia

## Reflexiones finales

Si bien han pasado más de 10 años desde que se realizó el primer levantamiento de la avifauna en el sitio, su valor de conservación parece haber aumentado en relación con la presencia de organismos endémicos o en peligro. Son muchos los factores que pudieron haber influido en ello: las acciones recientes para el mejoramiento de la calidad del sitio, un efecto acumulado en el tiempo, una pérdida de espacios circundantes o a la ausencia de condiciones óptimas en éstos, incluso una mezcla de todo ello; no es posible determinarlo con este estudio. No obstante, el mismo nos da hoy la certeza de que la Laguna de San Baltazar presenta en sólo un cuarto del año, valores de diversidad similares a los que presentaba durante todo un ciclo anual hace más de una década, asimismo en sólo 3 meses se ha podido determinar que ahora duplica el total de especies endémicas o cuasi endémicas y triplica las especies con algún grado de amenaza para su conservación. Se recomienda continuar con el trabajo cubriendo las temporadas del año faltantes para así tener mayor claridad de lo que ocurre en todas las estaciones en relación con los parámetros evaluados.

## Agradecimientos

Se agradece a Puebla Verde A.C. por su valioso apoyo para la realización de este trabajo.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés

## Declaración de privacidad

No se han recopilado datos personales o sensibles durante la presente investigación

## Referencias

1. Almazán-Núñez, R. C. & Hinterholzer-Rodríguez, A. (2010). Dinámica temporal de la avi-fauna en un parque urbano de la ciudad de Puebla, México. *Huitzil*, 11(1), 26-32. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-74592010000100007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-74592010000100007&lng=es&tlng=es).
2. Hernández-Castán, J., Cuesta E., Ortiz B. & Reyes E. (2022). Servicios Ecosistémicos del Arbolado Urbano en la Laguna de San Baltazar, Puebla, mediante el uso del software i-Tree. *CIENCIA ergo-sum*, 30(2). <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/17831>.
3. Díaz, M., Concepción, E., Page, A., Sánchez, B. & Herrera-Dueñas, A. (2021). Contaminación y Biodiversidad: las Aves Urbanas Como Indicadores y Proveedores de Salud Humana. En J. J. Nogueira (Ed.), *Contaminación, Salud y Políticas Públicas*. Respira Madrid.
4. Medrano-Guzmán, A. P., Enríquez, P. L., Zuria, I. & Castellanos-Albores, J. (2020). Riqueza y abundancia de aves en áreas verdes en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México. *Revista Peruana de Biología*, 27(2), 169-182. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i2.17883>
5. Morelli, F., Benedetti, Y., Ibáñez-Álamo, J., Jokimäki, J., Mänd, R., & Tryjanowski, P. & Moller, A. (2016). Evidence of evolutionary homogenization of bird communities in urban environments across Europe. *Global Ecology and Biogeography*. 25(11), 1284–1293. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.12486>
6. Medrano, M., Hernández, F., Corral, S., & Nájera, J. (2017). Diversidad arbórea a diferentes niveles de altitud en la región de El Salto, Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(40), 57-68. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322017000200057&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322017000200057&lng=es&tlng=es).

# LA TECNOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN LA VIDA

## TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS IN LIFE

Maria Corazón Flores Bautista\*  
Ernesto Chigo Anota

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Facultad de Ingeniería Química  
Área de materiales: química teórica computacional  
Ciudad Universitaria. Puebla. México. C.P. 72570  
Teléfono: 222 229 5500

corazon.flores@alumno.buap.mx  
ernesto.chigo@correo.buap.mx

## Abstract

Nanomaterials is a relatively new field of study dedicated to the development and application of materials with properties significantly different from those of conventional materials for a variety of life-enhancing applications. The term “nanomaterials” encompasses a wide range of types of materials at the nanoscale, i.e., small scale (with composite sizes between 1 and 100 nm). The characteristics of nanoparticles depend largely on their size, shape and deterioration of their properties, such as electrical conduction, thermal conductivity, magnetic properties among others. The applications of these materials are also diverse and include coatings, light filtration, chemical detection, antifouling, medical and dental applications. Nanomaterials are already used in numerous products, such as nanoparticle-filled polymers to improve the performance of radar and sonar, carbon fiber reinforced plastic composites for more efficient aircraft, and graphene for better performing tennis rackets, to name just a few examples. Nanotechnology has also become the next big breakthrough in medicine. This has led to the development of nanoparticle drug delivery platforms, which offer new opportunities to deliver drugs to specific parts of our body. In this review we discuss some of the various applications of boron nitride nanomaterials in biomedical and environmental sciences including their use as drug nanocarriers. As it offers new opportunities to treat cancer, heart disease, prostheses and infections, to mention a few ailments.

**Keywords:** Drug development, Public health, Quality of life, nanomaterials, Novel therapies.

## Resumen

Los nanomateriales son un campo de estudio relativamente nuevo que se dedica al desarrollo y la aplicación de materiales con propiedades significativamente distintas a las de los materiales convencionales para diversas aplicaciones que pretenden mejorar la vida. El término “nanomateriales” engloba una amplia gama de tipos de materiales a nanoescala, es decir, a pequeña escala (con tamaños compuestos entre 1 y 100 nm). Las características de las nanopartículas dependen en gran medida de su tamaño, forma y deterioro de sus propiedades, como la conducción eléctrica, la conductividad térmica, las propiedades magnéticas entre otros. Las aplicaciones de estos materiales también son diversas e incluyen revestimientos, filtración de luz, detección química, antiincrustantes, aplicaciones médicas y dentales. Los nanomateriales ya se utilizan en numerosos productos, como polímeros rellenos de nanopartículas para mejorar el rendimiento de radares y sonares, materiales compuestos de plástico reforzado con fibra de carbono para aviones más eficientes y grafeno para raquetas de tenis de mejor rendimiento, por citar sólo algunos ejemplos. La nanotecnología también se ha convertido en el próximo gran avance de la medicina. Esto ha llevado al desarrollo de plataformas de administración de fármacos mediante nanopartículas, que ofrecen nuevas oportunidades para administrar fármacos a partes específicas de nuestro cuerpo. En esta revisión se analizan algunas de las diversas aplicaciones de los nanomateriales de nitruro de boro en las ciencias biomédicas y ambientales incluido su uso como nanotransportadores de fármacos. Ya que ofrece nuevas oportunidades para tratar el cáncer, las cardiopatías, prótesis y las infecciones, por mencionar algunos padecimientos.

**Palabras clave:** Desarrollo de medicamentos, Salud pública, Calidad de vida, nanomateriales, nuevas terapias.

## Introducción

La administración y las formulaciones de fármacos han sido revolucionadas con el advenimiento de las nanotecnologías. El empleo de las nanopartículas en la medicina promete resolver los problemas de administración de fármacos en células específicas y facilitar el movimiento de dichos fármacos a través de diferentes barreras en el organismo (por ejemplo: la hematoencefálica) (Reinier y Jáuregui, 2012). Los avances en nanomateriales de baja dimensión portadores de fármacos se han traducido rápidamente en la práctica clínica.

Los nanomateriales bidimensionales (2D) del nitruro de boro hexagonal (h-BN), el llamado “grafito blanco”, son explorados recientemente ya que sus propiedades son únicas entre los diferentes tipos de nanomateriales, los nanomateriales de h-BN son adecuados para la administración de quimioterapéuticos en el tratamiento del cáncer (Shazid, 2019). Estudios recientes han demostrado que el material de nitruro de boro es un candidato potencial en ciencias biomédicas, tanto como nanoportadores y nano-transductores.

Los materiales de nitruro de boro (BN) son perfectamente solubles en agua y porosos si presentan grados de hidroxilación sin precedentes. Estos BN hidroxilados son biocompatibles y pueden cargar eficazmente medicamentos contra el cáncer (doxorubicina: DOX) hasta contenidos tres veces superiores a su propio peso. Los mismos medicamentos, que se cargan en dichos portadores de BN exhiben una potencia mucho mayor al reducir la viabilidad de las células cancerosas que los medicamentos libres (Qunhong, et al, 2014).

Los nanomateriales de BN han atraído recientemente atenciones en el campo biomédico, por ejemplo, con respecto a la ingeniería de tejido óseo (Lahiri, et al. 2010), administración de fármacos (Ciofani, et al, 2009; Li, et al. 2013), terapia de cáncer de captura de neutrones de boro (Buzatu, et al, 2009), tratamiento de cáncer de electroporación letal irreversible (Raffa, et al. 2012) y así sucesivamente.

En el estudio para tratamiento de cáncer, los nanotubos de BN de superficie modificada y nanomateriales de BN porosos altamente solubles en agua (Li, et al. 2013) se cargaron de manera efectiva con doxorubicina y se mejoró

el suministro intracelular de fármacos a las células de cáncer de próstata LNCap (Línea celular de adenocarcinoma prostático humano). Además, su aplicación en la terapia del cáncer de captura de neutrones de boro que es una radioterapia dirigida para las células de cáncer donde aumenta significativamente la relación terapéutica en relación con las modalidades radioterapéuticas convencionales (Coderre y Morris, 1999).

## Nanomateriales: características y un poco de historia

Los nanomateriales se definen como aquellos materiales en los cuales al menos una de sus dimensiones se encuentra en el orden de los nanómetros ( $1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{ m}$ ). La dimensionalidad es uno de los parámetros en materiales fundamentales, que no sólo define la estructura atómica del material, sino que también determina las propiedades en un grado significativo. El mismo elemento o compuesto químico puede presentar diferentes propiedades en diferentes dimensiones.

En las últimas décadas, se han obtenido cientos de nuevos nanomateriales, los cuales no tenían una clasificación general. Fue hasta el año 2007, donde Pokropivny y Skorokhod informaron respecto a un esquema de clasificación modificada para todos los nanomateriales en el que se incluyen estructuras 0D, 1D, 2D y 3D (Pokropivny, et al. 2007), siendo la clasificación que actualmente es más aceptada.

El descubrimiento de la primera molécula de la familia de fullerenos tuvo lugar en el año 1985 por Smalley junto con el Dr. Kroto, encontraron moléculas con 60 y 70 átomos de carbono. Además, resultó que la molécula de 60 carbonos tenía la forma de una pelota de fútbol (Figura 1), y por este motivo, el C<sub>60</sub> también tiene otros dos nombres: buckyball (en inglés) o futboleno. El futboleno tiene una simetría muy alta (icosaédrica), solamente existen dos tipos de enlaces no equivalentes: (i) los enlaces situados entre un pentágono y un hexágono, enlaces de tipo [5,6], y (ii) los enlaces situados entre dos hexágonos, enlaces de tipo [6,6].

Los fullerenos tienen un nombre que refleja su estructura. Kroto, Smalley y sus colaboradores denominaron al C<sub>60</sub> fullereno, que pronto se escribió fullereno, se pronuncia fulerenos para respetar la fonética original (Franco, 2009).

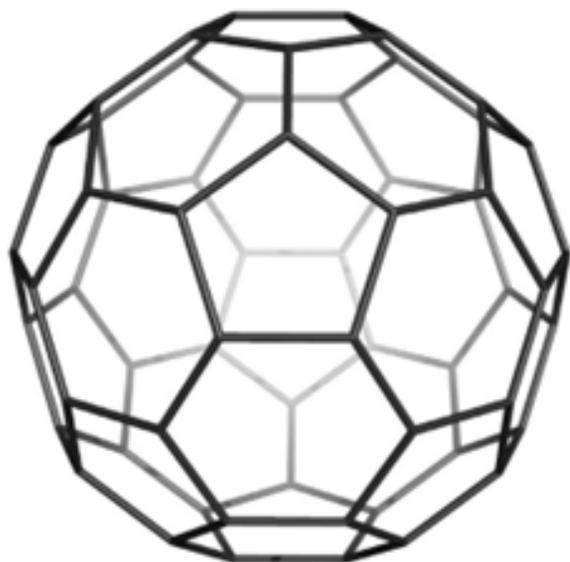


Figura 1. Estructura del futboleno C<sub>60</sub> visualizada con programa Gaussian 09. (Franco, 2009)  
Fuente: Propia

### Aspectos generales de los materiales de nitruro de boro

Tras el descubrimiento y desarrollo de los nanomateriales de carbono, se evidenció su amplia variedad de características que los hacen aplicables en múltiples sectores. Se logró la creación de nanotubos, láminas y fullerenos con distintos tamaños y formas.

Debido a todas las bondades presentadas por los nanotubos de carbono, se pensó en la posibilidad de la existencia de nanotubos de otras especies atómicas. Esto motivó a que los nanotubos de nitruro de boro (BNNT) fueran predichos teóricamente por Rubio et al en 1994 y sintetizados por primera vez por el grupo de Chopra en el año de 1995 (Chopra, 1995).

Los nanotubos de BN (nitruro de boro) tienen excelentes propiedades mecánicas, alta conductividad térmica, resistencia a la oxidación y estabilidad química, lo cual los hace más valiosos en dispositivos que trabajan en medios peligrosos y altas temperaturas. Se ha muestra-

do que pueden ser utilizados para crear dispositivos para almacenar hidrógeno, así como en el uso de escudos protectores para especies encapsuladas (Golberg, et al. 2007).

Los enlaces de los compuestos Boro-nitrógeno, es decir, tienen los mismos electrones de valencia y la misma estructura que el enlace Carbono-Carbono (Atkins, et al. 2010).

El material de nitruro de boro se diferencia del grafito en que actúa como un aislante electrónico incoloro (Atkins, et al. 2010). Una de las cualidades más destacadas es su excepcional dureza, lo que convierte a este material en uno de los más duros conocidos (Wang, et al. 2010).

La naturaleza polar de sus enlaces B-N, permite que el material sea empleado en el aislamiento de instalaciones eléctricas. Tiene estabilidad térmica a altas temperaturas.

La posible funcionalización permite su uso en distintas aplicaciones dentro del campo de la nanomedicina (Wang, et al. 2010).

Aplicaciones de los nanomateriales de nitruro de boro en la medicina

En la medicina se han estudiado las diversas posibilidades, interacciones entre favipiravir y una jaula BNC (nitruro de boro con carbono). A fines del año 2019, el mundo se conmovió por un ataque de un tipo de coronavirus de amplia propagación que causa la enfermedad por coronavirus (COVID-19) con impactos nocivos en el sistema de salud humana y la vida en todo el mundo (Arshizadeh, et al. 2021).

A la fecha, el problema del tratamiento del COVID-19 aún no ha sido resuelto y aún se ven los impactos mortales para las personas. Entre los exámenes investigados, para el desarrollo de un tratamiento seguro se ha visto que el favipiravir (Fav) es un fármaco útil para la medicación de pacientes infectados con coronavirus para salvarles la vida o mejorar su nivel de salud (Cotofan, et al. 2021).

Se han realizado varios intentos de mostrar las ventajas y desventajas de la medicación de los pacientes por Fav (favipiravir), en los que aún no se tiene certeza sobre su prescripción (Lou, et al 2021). Por lo tanto, varios investiga-

dores han tratado de concentrarse en mejorar las características de Fav para una prescripción y medicación más eficientes (Yuksel, et al. 2021).

También se ha propuesto el empleo de portadores para la entrega dirigida de Fav a los tejidos infectados, en los que dichos portadores deben investigarse cuidadosamente para una aplicación adecuada.

Entre los métodos para abordar tales problemas, los métodos informáticos basados en conceptos de estructura electrónica podrían ayudar a proporcionar información detallada para avanzar y llegar a una solución propuesta para un problema tan complicado (Harismah, 2021).

Se analizó la combinación de una nanoestructura como portadora de Fav para la administración de fármacos. Para acercarse a este objetivo, se realizaron cálculos cuánticos para estabilizar cada uno de los modelos.

La nanoestructura representativa NB era una estructura de jaula similar a un fullereno con partes atómicas de boro, nitrógeno y carbono con la estequiometría de C<sub>8</sub>B<sub>6</sub>N<sub>6</sub> llamada jaula BNC.

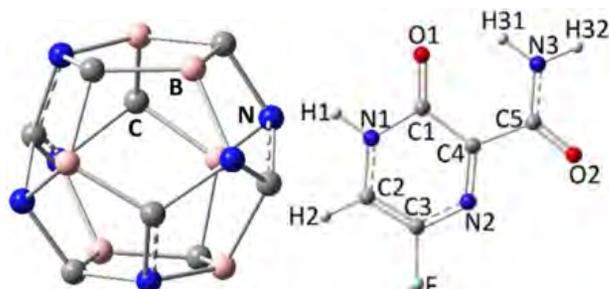


Figura 2. Jaula de NBC y Favipiravir (fármaco). Estructura en fase gas, visualizada en el programa Gauss View (Cotofan, et al. 2021).

Por la importancia de los tipos atómicos y las posiciones de la contraparte Fav. La jaula BNC se consideró útil para emplear en el proceso de administración de fármacos de Fav cargado para futuras investigaciones.

## Degradación del insecticida imidacloprid

El imidacloprid (Im) es el insecticida principal en la familia de los neonicotinoides. Su alta especificidad y baja toxicidad en mamíferos lo posicionaron como el favorito en la actividad agrícola. Sin embargo, debido a sus propiedades fisicoquímicas, a su larga vida media en el suelo y al agua, además de ser resistente a la hidrólisis, el Im es susceptible de ser transportado a los ecosistemas acuáticos a través de ríos subterráneos, generando un riesgo ambiental.

El impacto ambiental del imidacloprid ha sido objeto de atención debido al riesgo de contaminación del agua, en particular, después de los eventos de lluvia (Oriol, et al. 2019). Se han propuesto varios mecanismos para la degradación de este contaminante en muestras de aguas contaminadas. Sin embargo, el desarrollo de nuevos materiales orientados a la eliminación de estos contaminantes está en aumento.

Experimentalmente, los filtros de carbono activado se han utilizado para tal objetivo. La superficie extendida de estas nanoestructuras es adecuada para la captura de imidacloprid y otros. Además, las estructuras más sofisticadas podrían usarse en la captura / detección de estos insecticidas, como el grafeno y nanopartículas de nitruro de boro con magníficos resultados. Por ejemplo, el nitruro de boro es capaz de generar fullerenos de baja composición química como B<sub>12</sub>N<sub>12</sub>, B<sub>16</sub>N<sub>16</sub> y B<sub>28</sub>N<sub>28</sub>, estos han sido evaluados como estructuras prometedoras en la captura y/o detección de contaminantes (Shakerzadeh, et al. 2016).

Este estudio reveló que para los sistemas que interactúan con el insecticida, se observa una separación del enlace N-O (nitrógeno-oxígeno) del Im (imidacloprid), por lo tanto, se observa la migración de este átomo de oxígeno al material, sugiriendo una forma de degradar el imidacloprid a través de la producción de especies radicales.

Por lo tanto, es evidente la importancia de los enlaces homo-nucleares en la nanojaula B<sub>12</sub>N<sub>12</sub> para mejorar sus capacidades de detección / captura y degradación de este

compuesto contaminante. Por otro lado, los resultados sugieren la alta solubilidad de los sistemas, bastante conveniente para la eliminación de dicho insecticida en muestras acuosas.

Además, estas moléculas se proponen como buenos candidatos para degradar las especies contaminantes debido a que tienen una alta capacidad de adsorción.

Nanoestructuras de nitruro de boro como adsorbentes efectivos para el fármaco melfalán contra el cáncer de ovario

El melfalán es un fármaco disponible comercialmente con un impresionante fármaco de quimioterapia para tratar el cáncer de ovario, el mieloma múltiple, el melanoma y la amiloidosis. Está catalogado como un medicamento esencial por la Organización Mundial de la Salud y clasificado como un medicamento seguro y eficaz para el sistema de salud (OMS, 2019). El melfalán puede administrarse por vía oral o inyectable por vía intravenosa y está disponible como medicamento genérico con una semivida biológica corta de 1,5 hrs. con una biodisponibilidad del 25 al 89% en la administración oral (British, 2018).

La rápida hidrólisis y la baja estabilidad de este fármaco bajo el pH fisiológico y la rápida eliminación del sistema circulatorio requirieron la administración de altas dosis de este fármaco, que provocan múltiples efectos secundarios como supresión de la médula ósea, náuseas, anafilaxia y, especialmente, promoción de otros cánceres (Shokuhi, et al. 2016).

El melfalán es una clase de agentes alquilantes de la mostaza nitrogenada y puede interferir con la creación de ADN y ARN, causando daño al bebé durante el embarazo.

La nanotecnología permitió utilizar medicamentos dirigidos con diversas nanoestructuras como portadores de fármacos para controlar la liberación del fármaco en el tejido objetivo. Las interesantes características de estos materiales nanoestructurados con gran superficie y diversas funcionalidades de superficie les han permitido encontrar diversas aplicaciones en la vida (Wang, et al 2018).

La inclusión de fármacos contra el cáncer en nanoportadores adecuados puede disminuir la toxicidad común y mejora la eficacia del tratamiento debido a la reducción de la concentración de fármaco libre circulante (Oku, et al. 2004).

Estos estudios evidenciaron que esta nanoestructura tiene una buena capacidad para unirse con moléculas biológicas, proporcionando un material potencial para aplicaciones biomédicas como la bioimagen, la biodetección y la administración de varios fármacos.

Como continuación de estudios previos sobre la capacidad de diversas nanoestructuras como sensores químicos (Xie, et al. 2010) el estudio de diferentes nanoestructuras en la administración de diversos fármacos (Hoseininasr, et al. 2018), la eficacia de las nanoestructuras de nitruro de boro se describe en la administración de melfalán (Mph).

La nanoestructura sintetizada se utilizó en la administración del fármaco anticanceroso melfalán y se alcanzó una carga de ~42%. Después de eso, se estudió la adsorción de melfalán en la nanoestructura representativa de B<sub>12</sub>N<sub>12</sub>. Considerando la energía de unión, se estableció la interacción de la molécula del fármaco a través de su grupo amina hacia B<sub>12</sub>N<sub>12</sub>. Las nanoestructuras XB<sub>12</sub>N<sub>12</sub> facilitan la adsorción de melfalán en comparación con el B<sub>12</sub>N<sub>12</sub> prístino. Se puede sugerir la nanoestructura GeB<sub>12</sub>N<sub>12</sub> como un sensor adecuado para la detección del fármaco anticanceroso melfalán en sistemas biológicos.

Se realizó una citotoxicidad celular preliminar Yuksel N, Köse A, Fellah MF (2021) en las nanopartículas de GeB<sub>12</sub>N<sub>12</sub> preparadas utilizando la línea celular OVCAR-3. Además, el efecto de las nanopartículas de GeB<sub>12</sub>N<sub>12</sub> sobre el crecimiento promedio de la línea celular cancerosa reveló un patrón dependiente de la dosis y mostró una disminución en la señal MTT en comparación con las células no tratadas.

Por lo tanto, para el ensayo MTT, la línea celular OVCAR-3 se incubó con nanopartículas de GeB<sub>12</sub>N<sub>12</sub> de 0 a 25 µg / ml durante 48 h. Este fue el más eficaz contra las células OVCAR-3. Como se muestra, el análisis de CI<sub>50</sub>

reveló que una concentración de 15  $\mu\text{g} / \text{ml}$  de  $\text{GeB}_{12}\text{N}_{12}$  era la dosis a la que se inhibe  $\sim 50\%$  del crecimiento celular de OVCAR-3, en comparación con el control.

Además, los experimentos realizados revelaron que las nanopartículas de  $\text{GeB}_{12}\text{N}_{12}$  pueden reducir la actividad metabólica de la línea celular seleccionada e inhibir la proliferación celular. La inhibición de la tasa de proliferación se confirmó mediante un ensayo de formación de colonias y demostró colonias más pequeñas en presencia de nanopartículas de nitruro de boro.

Luego, se determinó la viabilidad celular y se estudiaron los cambios morfológicos usando un microscopio. El porcentaje de formación de colonias se estimó identificando el número de colonias en ausencia de nanopartículas de  $\text{GeB}_{12}\text{N}_{12}$  al 100%. Esta nanoestructura con el fármaco resultó mucho mejor tratamiento para cáncer de ovario en comparación a la aplicación del fármaco.

## Conclusión

La nanotecnología tiene un futuro grande y brillante. Entender la importancia y los usos de los nanomateriales es ahora tan importante para nuestras vidas como entender la informática, la salud y la medicina. La nanotecnología ha logrado grandes avances significativos en diversos campos de investigación como la medicina, en el enfoque ambiental, sensores y muchos más. El desarrollo con plataformas de administración de fármacos mediante nanopartículas que ofrecen la posibilidad de tratar afecciones como el cáncer, las cardiopatías con el principal objetivo de mejorar la calidad de vida del paciente así como la de la sociedad en general ya que permite generar nuevas fuentes de trabajo, alternativas médicas o técnicas de mejoras ambientales. Las aplicaciones potenciales de los nanomateriales son infinitas y pueden utilizarse de innumerables maneras. Pueden utilizarse en la producción de pilas de combustible más eficientes, baterías, células solares e incluso una forma más eficaz de almacenar hidrógeno para su uso en pilas de combustible de hidrógeno. El desarrollo de nuevas tecnologías que permitan conocer un nuevo enfoque de lo que hasta ahora conocemos.

## Agradecimientos

Especiales agradecimientos al Cuerpo Académico de Ingeniería en Materiales (BUAP-CA-177) y la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (Beca: 100378777-VIEP2021). Agradecemos el apoyo otorgado por el Laboratorio Nacional de Supercómputo Sureste alojado en la BUAP (Subsidio: 202001027C) y por los recursos computacionales a través del proyecto CONICYT (Chile)/FONDEQUIP EQM180180.

## Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## Referencias

- Arshizadeh S, Gorgani SH, Taheri P, Givgol M, Shahrokhi S, Abdalisousan A (2021) The impact of COVID-19 on oil supply in the short term. *Adv J Sci Eng* 2:120–135
- Atkins, P. W. Overton, T.L. Rourke, J.P. Weller, M.T. Armstrong, F. A. Shiver. *Atkins Inorganic Chemistry, Fifth Edition.* 335-336. (2010). Buzatu, D. A. et al. Nanotubes for cancer therapy and diagnostics, US patent 7608240 (2009).
- British national formulary: BNF 76. 76 ed., Pharmaceutical Press, 2018 873–874.
- Ciofani, G. et al. Boron nitride nanotubes: a novel vector for targeted magnetic drug delivery. *Curr. Nanosci.* 5, 33–38 (2009).
- Chopra, N. G. R. J. Luyken, K. Cherrey, V. H. Crespi, M. L. Cohen, S. G. Louie A. Zettl. “Nanotubos de nitruro de boro”. *Science* 269, 966. (1995).
- Coderre, J. A. Morris, G. M. The radiation biology of boron neutron capture therapy. *Radiat. Res.* 151, 1–18 (1999).
- Cotofan M, De Neve JE, Golin M, Kaats M, Ward G (2021) Work and well-being during COVID-19: impact, inequalities, resilience, and the future of work. *World Happiness Report 2021* 153–190
- Vora A, Tiwaskar M (2020) Favipiravir. *J Assoc Phys India* 68:91–92
- Franco, M. A. *Rev. R. Academia de ciencias Exactas Fís. Nat. (Esp).* 103. (2009).
- Gahlot, S. Kulshrestha, V. White graphene based composite proton exchange membrane: improved durability and proton conductivity, *Int. J. Hydrog. Energy* 43 (2018) 21683.
- Golberg, D. Bando, Y. Tang, C. Zhi, Y. *Advanced Materials Rev.* 19, 2413-2432. (2007). Lahiri, D. et al. Boron nitride nanotube reinforced polylactide-polycaprolactone copolymer composite: mechanical properties and cytocompatibility with osteoblasts and macrophages in vitro. *Acta Biomater.* 6, 3524–3533. (2010).
- Harismah K, Hajali N, Zandi H (2021) 6-Thioguanine bimolecular formation for dual chelation of iron: DFT study. *Comput Theor Chem* 1202:113308
- Hoseiniasr, A.S. Akbarzadeh, H. Tayebbe, R. Fabrication of temperature and pH sensitive decorated magnetic nanoparticles as effective biosensors for targeted delivery of acyclovir anti-cancer drug, *J. Mol. Liq.* 254 (2018) 64.
- Li, X. et al. Boron nitride nanotubes functionalized with mesoporous silica for intracellular delivery of chemotherapy drugs. *Chem. Commun.* 49, 7337–7339. (2013).
- Lou Y, Liu L, Yao H, Hu X, Su J, Xu K, Luo R, Yang X, He L, Lu X, Zhao Q (2021) Clinical outcomes and plasma concentrations of baloxavir marboxil and favipiravir in COVID-19 patients: an exploratory randomized, controlled trial. *Eur J Pharm Sci* 157:105631
- Oku, T. Nishiwaki, A. Narita, I. Formation and atomic structures of BnNn (n=24–60) clusters studied by mass spectrometry, high-resolution electron microscopy and molecular orbital calculations, *Physica B* 351 (2004) 184–190.
- Oriol, R. Bernícola, M. PBrillas, E. Cabot, P.L Sirés, I. Paired electro-oxidation of insecticide imidacloprid and electrodenitrification in simulated and real water matrices, *Electrochim. Acta* 317 (2019) 753–765, <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.05.002>.

Pokropivny, V. Skorokhod, V. *Materials Science and Engineering: C*, 27, 990–993. (2007). Raffa, V. et al. BNNT-mediated irreversible electroporation: Its potential on cancer cells. *Technol. Cancer Res. Treat.* 11, 459–465. (2012).

Qunhong, W. Binju, W. Xuebin, W. Nobutaka, H. Xia, L. Dequan, L. Xi, W. Xiangfen, J. Yoshio, B. Dmitri G. Nitruros de boro altamente solubles en agua, porosos y biocompatibles para la administración de medicamentos contra el cáncer. <https://doi.org/10.1021/nn5014808>. (2014).

Reinier, O. N. Jáuregui, U.J. Las nanopartículas como portadores de fármacos: características y perspectivas. *CENIC. Volumen 43. Número 3.* (2012).

Shakerzadeh, E. A DFT study on the formaldehyde ( $H_2CO$  and  $(H_2CO)_2$ ) monitoring using pristine  $B_{12}N_{12}$  nanocluster, *Physica E* 78 (2016) 1–9, <https://doi.org/10.1016/j.physe.2015.11.038>. [24] M.T. Baei,  $B_{12}N_{12}$  sodalite like

Shazid, Md S. Hexagonal Boron Nitrides (White Graphene): A Promising method for cancer drug delivery. *International Journal of Nanomedicine.* 14 9983–9993. (2019).

Shokuhi Rad, A. Ayub, K. Ni adsorption on  $Al_{12}P_{12}$  nano-cage: a DFT study, *J. Alloys Compd.* 678 (2016) 317–324.

Wang, J. Huei Lee, C. Yap, Y. K. Recent advancements in boron nitride nanotubes. *Nanoscale* 2, 2028–034. (2010).

Wang, J. Xu, Y. Ding, B. Chang, Z. Zhang, X. Yamauchi, Y. Wu, K.C.W. Confined selfassembly in two-dimensional interlayer space: monolayered mesoporous carbon nanosheets with in-plane orderly arranged mesopores and a highly graphitized framework, *Angew. Chem. Int. Ed.* 57 (2018) 2894.

World Health Organization Model List of Essential Medicines: 21st List 2019

Xie, X. Zhang, L. Zhang, W. Tayeb, R. Hoseininasr, A. Vatanpour, H.H Behjati, Z. Li, S. Nasrabad, M. Liu, L. Fabrication of temperature and pH sensitive decorated magnetic nanoparticles as effective biosensors for targeted delivery of acyclovir anti-cancer drug, *J. Mol. Liq.* 309 (2020) 113024

Yuksel N, Köse A, Fellah MF (2021) The supramolecularly complexes of calix [4] arene derivatives toward favipiravir antiviral drug (used to treatment of COVID-19): a DFT study on the geometry optimization, electronic structure and infrared spectroscopy of adsorption and sensing. *J Incl Phenom Macrocycl Chem* 5:1–3

# VEJEZ Y REDES SOCIALES: EL AUGE DE LAS COMUNIDADES VIRTUALES

# OLD AGE AND SOCIAL NETWORKS: THE RISE OF THE VIRTUAL COMMUNITIES

Diana González Rodríguez\*

Colegio de Antropología Social, Facultad de Filosofía y Letras,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio  
24 Sur, Edificio Fil 1, Ciudad Universitaria, San Miguel, 72570  
Puebla, Pue., México.

dianaglzo298@gmail.com

## Abstract

The present work exposes the implications of using information and communication technologies (ICT) in old age since these tools are important in promoting autonomy in performing different daily activities. However, there is a tendency to create gaps in access, learning, and perception of digital media as people age, crossed by stereotypes and the conditions of backwardness experienced by people aged 55 and older in Mexico (McCabe, Montes de Oca, Vivaldo-Martínez, Alhena, Arroyo, Aparicio, Avalos, Garay, and Rivera, 2022). All this, manifested in the midst of the pandemic by COVID-19, reflects relations of inequality in old age, but also ways of connecting and solidarity through virtual communities on Facebook or other communication networks in the digital space, interacting from comments to reactions to accompanying each other. By way of conclusion, the impact of confinement on the elderly resulted in exercising the right to information and access to technology to ensure a full life with the variety of opportunities offered by virtuality as forms of hybrid coexistence between the face-to-face and the digital, rising awareness of the dangers involved in this environment.

**Keywords:** old age, elderly people, digital social networks, virtual communities, Internet, pandemic.

## Resumen

El presente trabajo expone las implicaciones del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la vejez, dado que estas herramientas son de gran importancia para promover la autonomía en la realización de diferentes actividades cotidianas. Sin embargo, se observa la tendencia a crear brechas en el acceso, aprendizaje y percepción de los medios digitales, a medida que las personas envejecen, atravesado por los estereotipos y las condiciones de rezago que viven las personas de 55 años en adelante en México (McCabe, Montes de Oca, Vivaldo-Martínez, Alhena, Arroyo, Aparicio, Avalos, Garay y Rivera, 2022). Todo ello, manifestado en medio de la pandemia por COVID-19, reflejando relaciones de desigualdad en la vejez, pero también maneras de conectar y solidarizar a través de las comunidades virtuales en Facebook u otras redes de comunicación en el espacio digital, interactuando desde los comentarios, hasta las reacciones, para acompañarse mutuamente. A modo de conclusiones, el impacto del confinamiento en las personas mayores dio lugar a ejercer el derecho a la información y el acceso a la tecnología, para garantizar una vida plena con la variedad de oportunidades que ofrece la virtualidad como las formas de convivencia híbrida, entre lo presencial y lo digital, haciendo consciencia de los peligros que implica este entorno.

**Palabras clave:** vejez, personas mayores, redes sociales digitales, comunidades virtuales, Internet, pandemia.

## Vejez y redes sociales: el auge de las comunidades virtuales

### Introducción

En la actualidad, la tecnología forma parte de nuestras vidas, ya sea usando un smartpho-ne o teléfono inteligente, una computadora, o empleando diferentes aparatos electrónicos que facilitan el día a día. No obstante, el acceso a los medios digitales no es uniforme, puesto que los beneficios no llegan a todas las personas, sobre todo en el grupo de edad de 55 años en adelante (INEGI, 2022).

Lo cual hace referencia, a la relación con la vejez y las tecnologías, dado que socialmente prevalece la idea de que la tecnología pertenece a las generaciones jóvenes, mientras que las personas de edades avanzadas se les dificulta apropiarse de ella. En el cual se expresan los estereotipos y prejuicios, que se convierten en una motivación o un obstáculo, debido a los miedos, falta de apoyo, desinterés o descalificaciones que conlleva saber usar estas herramientas, pero que ofrecen ventajas a todos los sectores de la sociedad.

Así, desde la antropología de la vejez se plantea reconocer las expresiones sociales y experiencias que enmarcan ser una persona envejecida, en su actuar y el lugar que ocupan en el mundo. De tal manera que Ley de Derechos de las Personas Adultas Mayores, define a la persona mayor como aquellas que cuentan con 60 años o más, esto refiere a las experiencias de haber pasado por otras etapas del ciclo vital, a lo que se reconoce como el curso de vida (Ley de Derechos de las Personas Adultas Mayores de México, 2002, art. 3).

De este modo, el presente artículo de divulgación científica tiene por objetivo explicar las implicaciones de integrar a las personas mayores como usuarias del mundo virtual. Tomando en cuenta, la coyuntura sanitaria por COVID-19 que ha traído consigo la necesidad de acercarse a las plataformas virtuales y aprender a conectarnos por distintos medios de comunicación, por lo que es preciso poner en relieve la situación de las personas mayores frente al uso de Internet, la brecha digital y la manera en qué se gestionan comunidades virtuales en Facebook como una alternativa para el acompañamiento en la vejez.

Tan solo, en el escenario actual las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) permiten llevar a cabo tareas de manera ágil y oportuna. De ahí que se puedan emplear buscadores de información, como Google, Yahoo! o Bing, servicios de mensajería desde WhatsApp, Telegram o mensajes de texto, las redes sociales virtuales (Facebook, Twitter, Instagram, etc.), el uso de computadoras, teléfonos celulares o tabletas, hasta el correo electrónico, o los servicios de banca en línea, que reflejan la facilidad para comunicarse, realizar labores cotidianas e interactuar en el espacio digital.

### El arribo del coronavirus en México

Como punto de partida, el COVID-19 es una enfermedad infecciosa aguda producida por el virus SARS-CoV-2, se adquiere por las vías respiratorias y ocular, por lo cual las medidas de prevención se basan en el uso de cubrebocas, caretas, lavado de manos constante, gel antibacterial, distanciamiento físico y evitar las aglomeraciones en espacios cerrados (Secretaría de Salud, 2020b). De ahí que, las poblaciones con mayor riesgo de sufrir complicaciones sean las personas mayores y aquellos que padecen enfermedades crónicas como diabetes, cáncer y afecciones pulmonares.

Inicialmente, se implementó el control de los contagios masivos, mediante el confinamiento voluntario u obligatorio, todo ello siguiendo las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En México se “acordó la suspensión inmediata del 30 de marzo al 30 de abril de 2020, de actividades no esenciales en los sectores público, privado y social, con la finalidad de mitigar la dispersión y transmisión del virus SARS-CoV-2 en la comunidad (Secretaría de Salud, 2020a, consultado en línea). Pero las consecuencias dieron lugar a la ansiedad, miedo a lo desconocido o a ser contagiados, la información excesiva de los medios de comunicación, afectaciones en la salud mental, hasta la pérdida de las redes de apoyo existentes, dando cuenta que el confinamiento fue un desafío en todos los sectores de la sociedad, hasta el entorno de las personas con edades avanzadas, al tiempo que se hallaron los beneficios de los medios digitales en tiempos de pandemia (McCabe, Montes de Oca, Vivaldo-Martínez, Alhena, Arroyo, Aparicio, Avalos, Garay y Rivera, 2022).

Sin embargo, esta coyuntura también refleja un proceso de homogeneización, canalizando que las personas de 60 años en adelante tuvieran que ser confinadas por razones de edad. Precisamente, se retoma el cuestionamiento “¿a cuál vejez se hace referencia?, ¿a cuáles personas viejas o adultas mayores se alude? Ya que, en medio de la pandemia, se hizo evidente la tendencia a uniformar lo enormemente diverso, y que se puede llamar como las vejeces” (Dulcey-Ruiz, 2020, p. 1). En el cual, se desdibujó la complejidad de situaciones que viven las personas mayores como los modos de vivienda, rural o urbano, las relaciones interpersonales, presenciales o virtuales, las redes de apoyo, las personas que viven en situación de calle y pobreza, las que cuidan o requieren cuidados, la pertenencia étnica, entre otros (Dulcey-Ruiz, 2020; McCabe, et al., 2022).

Además, se promovieron acciones y discursos paternalistas entre las instancias gubernamentales y los medios de comunicación masiva, es decir que se difundió una necesidad de tutela hacia las personas mayores en la toma de decisiones (McCabe, et al., 2022). Por consiguiente, la pandemia permite reconsiderar cuando se habla de proteger y no vulnerar, debido a que se hicieron evidentes prácticas de discriminación y homogenización de la vejez, sin olvidar que no solo se requiere respaldar a las personas mayores, sino también a los cuidadores, familiares y el personal de las residencias, siendo figuras fundamentales en las labores del cuidado, al sobreponer los sentires propios frente a la seguridad de las personas, reflejando la vulnerabilidad que experimentan las personas cuidadoras.

Así, a finales del 2020 distintas industrias farmacéuticas encabezaron la creación de una vacuna ante el combate contra el COVID-19, y como resultado en México se llevó a cabo una campaña de vacunación, con el objetivo de inmunizar como mínimo al 70% de la población, con lo que se adquirieron distintas vacunas como: Pfizer-BioNTech, Cansino, COVAX, AstraZeneca, Sputnik V, Sinovac, Janssen y Moderna. En síntesis, la pandemia ha mostrado las desigualdades que viven las personas mayores, pero también una oportunidad para reconocer el impacto de las dinámicas digitales en el proceso de envejecimiento, reajustando la vida social a la comunicación virtual, hasta posicionar la salud mental en medio de un fenómeno tan peculiar (McCabe, et al., 2022).

## El internet y los actores envejecidos

Tomando en consideración, la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH, 2021) plantea que en el país, hay 88.6 millones de personas usuarias de internet, que representan 75.6 % de la población de seis años en adelante. El grupo con mayor porcentaje de personas usuarias fue el de 18 a 24 años con una participación de 93.4 por ciento. Le siguieron los grupos de edad de 12 a 17 y de 25 a 34 años, teniendo ambos el 90.0 por ciento. Y en tercer lugar, se localizan las y los usuarios con edades de 35 a 44 años que representan el 82.7 por ciento (INEGI, 2022).

Mientras que, las personas de 55 y más años reflejan el menor uso de internet con una participación de 42.4 por ciento. No obstante, es un grupo en crecimiento, dado que el número de personas usuarias, en el 2017 tan solo representaban el 23.8%, y actualmente se ha duplicado esa cifra (INEGI, 2022).

En resumen, se mantiene el predominio del uso de internet en generaciones jóvenes, pero comienza a observarse el incremento de las personas usuarias con edades de 55 años o más para acercarse a estos medios. De ahí que, los principales usos sean: para comunicarse (93.8 %), buscar información (89.9 %), acceder a redes sociales (89.8 %), para el entretenimiento (88.5%) y para apoyar en la capacitación y educación (83.1%) (INEGI, 2022). Lo cual refleja la manera en qué se ha popularizado el uso de plataformas digitales como YouTube, Facebook, WhatsApp y Messenger para entretenerse mientras se realizan varias actividades.

Aun así, para acceder a internet se necesita de recursos con los que no toda la población cuenta, por ello es relevante pensar ¿qué es la brecha digital y cómo afecta a las personas mayores? Este término se empleó “por primera vez en los años noventa para hacer referencias a la brecha que se estaba creando entre los países, los grupos sociales y las personas que tenían acceso a las tecnologías digitales y las que no lo tenían” (Sunkel y Ullmann, 2019, p. 247). Dando cuenta que el internet se ha convertido en un recurso indispensable, pero si-

que siendo limitado, debido a que se presentan una serie de desigualdades en el acceso y aprendizaje para aprovechar el potencial educativo, económico y social de las nuevas tecnologías.

En este sentido, existen generaciones como los niños y jóvenes que nacieron y crecieron en la era digital, en cambio “los inmigrantes digitales son aquellos que no nacieron en el mundo digital, y tienen que adaptarse al nuevo entorno cultural, teniendo que lidiar con las innovaciones tecnológicas para tratar de apropiarse de ellas” (Prensky citado en Sunkel y Ullmann, 2019, p. 248). Por lo cual, la brecha digital también explica los distintos intereses, actitudes y experiencias hacia la tecnología, donde cada persona busca darle utilidad y aprovechar sus funciones para mejorar la vida diaria.

Por lo anterior, el Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM) (2021) señala los beneficios en la vejez sobre el acceso a las TICs:

Favorecer la comunicación con la familia a partir del uso de los teléfonos celulares o plataformas de videollamadas, hasta la mensajería instantánea; fomentar los lazos de interacción entre niños, jóvenes y personas mayores; compartir una variedad de actividades para el entretenimiento como ver videos, películas, realizar juegos, escuchar música; conocer personas con intereses similares desde las redes sociales virtuales; adquirir habilidades por medio de talleres, cursos o clases en línea (Consultado en línea, Blog del INAPAM, 2021).

Además, se encuentran barreras que se relacionan con el acceso, el aprendizaje o interés y la cobertura a nivel nacional, por ejemplo, en los obstáculos se pueden encontrar: el lugar de residencia (rural/urbana), nivel educativo, origen étnico, trayectoria laboral, género, edad (INAPAM, 2021). Asimismo, los estereotipos sobre la edad y la tecnología arraigan que las personas mayores sean vistas como sinónimo de pasado y no estén interesadas en los medios digitales, favoreciendo la reticencia, falta de motivación, dificultad o miedo a la hora de emplear un teléfono o una computadora, en el cual se sigue pensando que en la vejez ya no se aprende.



*Figura 1. El uso de herramientas digitales promueve dinámicas intergeneracionales, pues las generaciones jóvenes comparten su conocimiento del mundo digital, haciendo accesible la información a diferentes grupos de edad. Fuente: Andrea Piacquadio de Pexels <https://www.pexels.com/es-es/foto/mujeres-mirando-celular-3768137/>*

De ahí que, actualmente existen diversos programas de alfabetización digital para capacitar en temas de computación, facilitando el acceso a Internet y a dispositivos electrónicos, con el fin de motivar e informar a las personas mayores sobre los beneficios que pueden tener estas herramientas en la vida. En suma, las personas envejecidas que emplean Internet se relacionan con varios factores:

Principalmente, se utiliza Internet para su rutina diaria, para consultar información y comunicarse. Los factores que se relacionan a tener una computadora y acceder a Internet se basan en que son residentes de las ciudades, cuentan con un nivel educativo alto y un nivel económico alto para acceder a las TICs. Mientras que las personas pertenecientes a minorías étnicas tienen menos probabilidades de tener una computadora en el hogar. Además, a medida que aumenta la edad, la probabilidad de usar Internet disminuye, así las personas de edades avanzadas más jóvenes llevan ventajas en el uso de estos medios, al tiempo que las generaciones jóvenes desempeñan un papel decisivo en la introducción de sus padres a los usos de las TIC. (Sunkel y Ullmann, 2019, p. 257)

Lo dicho hasta aquí, permite reconocer las condiciones de la vejez en la disposición de la alfabetización digital, puesto que durante la pandemia ha sido una herramienta útil para las comunicaciones, desde los contextos fami-

liares, las dinámicas en el espacio digital para tejer relaciones más allá de lo presencial, hasta incentivar la independencia y autonomía, aprendiendo del entorno digital junto a muchos otros, a partir de las comunidades virtuales en Facebook o en cualquier otra red para interactuar.

### Las comunidades virtuales envejecidas

Con lo planteado, el confinamiento como estrategia para la prevención, se convirtió en un reto para las relaciones sociales que se mantenían bajo la presencialidad. Dando lugar a encontrar ventajas en los medios alternativos de comunicación, a través de la apropiación de los espacios virtuales en las redes sociales, sobre todo en la forma de crear grupos de personas mayores en Facebook compartiendo un mismo idioma y hasta entornos cercanos como Latinoamérica.

Por lo que, vale la pena mencionar que el uso de estas herramientas digitales posibilita encontrar nuevas maneras de conectarse con los pares del otro lado del mundo, conocer diferentes realidades y extender una red de relaciones socio virtuales. Debido a que, estos medios parten de la idea de comunidad para relacionarse con otros en la virtualidad, por ejemplo, en Facebook existe la función de hacer grupos, donde se intercambian experiencias, memes, frases, sentires, consejos y emociones de un tema en común, en el que es posible encontrar a hombres y mujeres mayores que lograron vencer la brecha digital, creando grupos o volviéndose miembros de comunidades existentes.

Para comprender el impacto del coronavirus en las comunidades virtuales, es posible dar cuenta que las personas mayores, a pesar de las condiciones de desigualdad en el acceso al espacio digital han encontrado maneras de relacionarse, en el que “hacen prácticamente las mismas cosas que en las comunidades habituales. Intercambiar ideas, hacer planes, brindar apoyo emocional, chismear, enamorarse, encontrar amigos, jugar y reír” (Miralbell y Sanz, 2011, p. 9). Así, la virtualidad ofrece un espacio para expresarse y dialogar, rompiendo los estereotipos en torno a la vejez y la tecnología, como se observa en la gráfica 1 haciendo alusión a los diversos usos del tiempo durante el confinamiento.

Gráfica 1. Principales actividades durante el confinamiento



Figura 1. El uso de herramientas digitales promueve dinámicas intergeneracionales, pues las generaciones jóvenes comparten su conocimiento del mundo digital, haciendo accesible la información a diferentes grupos de edad. Fuente: Andrea Piacquadio de Pexels <https://www.pexels.com/es-es/foto/mujeres-mirando-celular-3768137/>

Gráfica 1. Fuente: Este análisis fue realizado por Diana González Rodríguez, durante el trabajo de campo en línea en la temporalidad de enero a mayo de 2021, este gráfico pertenece a una publicación dentro de una comunidad virtual en Facebook, que contó con 319 comentarios de personas mayores, y se presentan los principales usos del tiempo en el confinamiento.

De esta manera, en las comunidades virtuales se comparten los aprendizajes acerca del confinamiento o el año del encierro, las actividades que se realizan para combatir la incertidumbre, ofrecer apoyo a pesar de la distancia física, en el cual se solidarizan con otros miembros del grupo ofreciendo consejos de salud, enviando bendiciones, compartiendo sus propios sentires para no perder el sentido de la vida, frente al miedo y la soledad que conlleva la pandemia. Asimismo, se apoyan mutuamente frente a las dudas sobre el proceso de vacunación contra el COVID-19, en el que brindan seguridad felicitándose por haberse vacunado, hablando de su experiencia y motivar a los demás miembros para no dejar de protegerse (Miralbell y Sanz, 2011; McCabe, et al., 2022).

## Conclusión

Como conclusión, las tecnologías cada vez se vuelven más esenciales en la realización de actividades cotidianas, dado que su facilidad de uso y constante actualización provee de mayores herramientas para mejorar el día a día. Sin embargo, el presente texto expuso la realidad del acceso a los medios electrónicos, a partir de la relación entre vejez y tecnología, haciendo alusión a los efectos de la pandemia en la sociedad, que no solo dieron lugar al miedo a lo desconocido, sino también en la necesidad de aprender a utilizar Internet, en el que han surgido las comunidades virtuales que aportan una vida social activa en redes sociales.

De tal manera que, las vejeces digitales surgieron como respuesta ante el confinamiento, para construir redes de apoyo en Facebook, en grupos de WhatsApp o interactuando en otras plataformas de comunicación. Ejerciendo el derecho a la información y al acceso de la tecnología, para garantizar una vida plena con la variedad de oportunidades que ofrece la virtualidad, haciendo consciencia de los peligros que se experimentan en este entorno, para evitar caer en los fraudes o robos. Además, permite cuestionar los estereotipos de la vejez y la tecnología, brindando mayor autonomía en el aprendizaje de los medios digitales que abren diferentes posibilidades para compensar la soledad y el aislamiento, generando formas de convivencia híbrida, entre lo presencial y virtual (INAPAM, 2021).

Aunque, el tema de las desigualdades sociales sigue vigente, puesto que hoy en día no todas las personas mayores tienen la oportunidad de conocer acerca de estas herramientas, ya sea por interés o necesidad. Dado que la desigualdad se presenta cuando las personas de mayor acceso a una computadora o dispositivo móvil, son habitantes de la ciudad, que lograron altos niveles educativos, contando con un nivel económico que les permite acceder a Internet desde casa, en una institución pública o privada, y la relevancia de las redes de apoyo que les ha facilitado comprender el uso de los dispositivos electrónicos. Todo ello, en comparación con otras vejeces que tienen menores probabilidades de que el Internet llegue hasta a las comunidades alejadas, sin olvidar las condiciones rezagadas que se viven fuera de las ciudades.

Aun así, la emergencia sanitaria por COVID-19 ha permitido que las personas mayores interactúen desde el espacio virtual, tejiendo una red extensa que comparte el proceso de envejecimiento, al mismo tiempo que se aprende a convivir por medio de los comentarios, reacciones y publicaciones. En el cual se transmiten los sentimientos de añoranza a los actos presenciales, las situaciones de crisis, recibiendo consejos, conociendo gente con intereses similares o miedos hacia las vacunas, y todo ello ha impulsado la creación de una comunidad envejecida que crece diariamente.

Esta reflexión concluye con un fragmento de un poema compartido en un grupo de personas mayores en Facebook:

No sé nada de tu historia, no sabes nada de mi vida, pero saber que lees lo que escribo me quita en segundos de la rutina. No sé de ti, no sabes de mí, somos dos extraños, pero si me necesitas estoy aquí (Anónimo, interacción en línea desde Facebook, 23 de julio de 2021).

## Conflicto de intereses

La autora declara que no existe ningún conflicto de intereses en relación con la publicación de este artículo.

## **Agradecimientos**

Este artículo se logró gracias a la colaboración de las personas mayores que permitieron interactuar con la autora desde una comunidad envejecida en Facebook, producto de un ejercicio etnográfico en medio de la pandemia.

Se agradece a la comunidad científica en general para seguir produciendo conocimientos científicos sobre temas relevantes para la sociedad.

## **Declaración de privacidad**

Se declara conformidad con las prácticas de privacidad para la recopilación de la información contenida en este artículo para la divulgación de forma virtual de este escrito. Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Referencias

Aprendiendo a envejecer. (2021, 23 de julio). #Quédateencasa [Grupo de Facebook]. Facebook. Consultado el 28 de agosto de 2021. <https://www.facebook.com/groups/ELARTEDEENVEJECER/permalink/386332592689548/>

Dulcey-Ruiz, E. (2020, 01 de junio). Vivir la vejez en tiempos de pandemia y confinamiento. Red Latinoamericana de Gerontología. <https://www.gerontologia.org/portal/information/showInformation.php?idinfo=4534>

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (25 de junio de 2002). Art. 3. [Título I]. Ley de Derechos de las Personas Adultas Mayores de México. [https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/programas/ninez\\_familia/material/ley-derechos-adultos-mayores.pdf](https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/programas/ninez_familia/material/ley-derechos-adultos-mayores.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022, 04 de julio). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) [comunicado de prensa]. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH\\_21.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/OtrTemEcon/ENDUTIH_21.pdf)

Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (2021, 09 de junio). Vejez interconectadas: Inclusión digital de las personas mayores. Blog del INAPAM. [https://www.gob.mx/inapam/articulos/vejeces-interconectadas-inclusion-digital-de-las-personas-mayores?idiom=es&fbclid=IwARoqb4r5-VmtloWwoH\\_ZdmEt6ckGhrU2MUzNpS6X4MsJMDjrv-bZITMGh8k](https://www.gob.mx/inapam/articulos/vejeces-interconectadas-inclusion-digital-de-las-personas-mayores?idiom=es&fbclid=IwARoqb4r5-VmtloWwoH_ZdmEt6ckGhrU2MUzNpS6X4MsJMDjrv-bZITMGh8k)

Miralbell, I. O., & Sanz, M. S. (2011). Redes sociales y comunidades virtuales. Universitat Oberta de Catalunya. <http://hdl.handle.net/10609/54382>

McCabe, L., Montes de Oca, Z. V., Vivaldo-Martínez, M., Alhena, C. N., Arroyo, R. M.; Aparicio, T. F.; Avalos, P. R., Garay, V. S., y Rivera, H. M. (2022). Personas mayores, tecnologías y conexión social. Experiencias de investigación en México durante la pandemia. Universidad Autónoma de México (UNAM).

Secretaría de Salud (2020a, 31 de marzo). Consejo de Salubridad General declara emergencia sanitaria nacional a epidemia por coronavirus COVID-19. [comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/salud/prensa/consejo-de-salubridad-general-declara-emergencia-sanitaria-nacional-a-epidemia-por-coronavirus-covid-19-23930>

Secretaría de Salud (2020b). ¿Qué es el SARS-CoV-2? Gobierno de México. <https://coronavirus.gob.mx/covid-19/>

Sunkel, G., & Ullmann, H. (2019). Las personas mayores de América Latina en la era digital: superación de la brecha digital. Revista de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (127), 243-268. <https://doi.org/10.18356/db143bd3-es>

# ¿QUÉ HAY DE NUEVO? TERAPIAS EMERGENTES PARA EL TRATAMIENTO DE DIABETES MELLITUS

## WHAT'S NEW? EMERGING THERAPIES FOR THE TREATMENT OF DIABETES MELLITUS

José Daniel D.L.S-Coronel  
Jorge Rodolfo Belchez-Rodriguez,  
Diana Calderon-Quiroz\*

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Licenciatura en Biotecnología.

diana.calderonquiroz@viep.com.mx  
enrique.gonzalez@correo.buap.mx  
josda2420@gmail.com  
jorger.belchezrodriguez@viep.com.mx  
diana.calderonquiroz@viep.com.mx\*

## Abstract

Insulin resistance, insulin deficiency, or both are characteristics of type 2 diabetes mellitus. The metabolism of people who have this illness is altered, and complications may arise if it is not managed. In addition to the fact that a link between specific genes and the propensity for the development of diabetes has been shown, the etiology, or origin, of the illness is related to the pancreas' failure to regulate blood glucose levels. There are currently treatments that enhance quality of life, with insulin injections being one of the most popular in Mexico. Other options include changing the patients' diets and ingesting certain phytochemicals with medicinal benefits. Pancreatic beta cell replacement, SGLT2 cotransporter inhibitors, stem cells, gene therapy, and other novel treatments are presented. Similar to that, computational knowledge for diabetes prediction is described.

**Keywords:** Diabetes, Antidiabetics, Phytochemicals, Genetically-Modified.

## Resumen

La diabetes mellitus tipo 2 es una enfermedad caracterizada por la resistencia a la insulina, su falta de generación, o ambas. Esta enfermedad afecta el metabolismo de quienes la padecen y pueden presentarse complicaciones si no es controlada. La etiología u origen de la enfermedad se atribuye al mal funcionamiento del control de glucemia en sangre por parte del páncreas, además de que se ha demostrado la relación entre algunos genes y el desarrollo potencial de diabetes. Actualmente existen terapias que mejoran la calidad de vida, en México una de las más empleadas es la inyección de insulina. Otras alternativas incluyen la modificación de la dieta de los pacientes y el consumo de algunos fitocompuestos con propiedades terapéuticas. Las terapias emergentes descritas incluyen: el reemplazo de células beta pancreáticas, inhibidores del cotransportador SGLT2, células madre, y la terapia genética. Así mismo se describe la importancia de los conocimientos computacionales en la predicción de la diabetes mellitus tipo 2.

**Palabras clave:** Diabetes, Antidiabéticos, Fitoquímicos, Genéticamente-Modificado.

## INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) es una enfermedad metabólica multifactorial caracterizada por la alteración del procesamiento de los carbohidratos, lípidos y proteínas, lo cual resulta en una resistencia a la insulina, la falta de generación a la misma, o ambas (DeFronzo, R. A., Ferrannini, E., Groop, L. et al., 2015). Entre las principales complicaciones a largo plazo propias de la enfermedad se encuentran la nefropatía diabética, ceguera, enfermedad cardiovascular y amputación de miembros inferiores. (Thompson A, Kanamarlapudi V., 2013). Por fortuna, existen múltiples terapias farmacológicas que permiten a los pacientes con diabetes contrarrestar los signos y síntomas propios del padecimiento, mejorando así su calidad de vida.

No obstante, los tratamientos más ampliamente usados en México, incluyendo la auto-aplicación de insulina mediante inyecciones diarias, tiene diversas complicaciones en los pacientes, que incluyen síntomas psicológicos como la ansiedad, el miedo a tener que administrarse su dosis por ellos mismos y el dolor asociado a las inyecciones (Figura 1) sobre todo en pacientes con poca experiencia (Polinski, J. M., Smith, B. F., Curtis, B. H., et al., 2012).

Por esa razón, existe la necesidad de innovar en las terapias disponibles para la población con diabetes, brindándoles así la posibilidad de acceder a tratamientos más eficaces, menos costosos y que les permitan tener una mejor adherencia para el mejor manejo de su enfermedad.



Figura 1. Administración de insulina mediante inyecciones. Izquierda: Pluma en la cual se configura la dosis de insulina Fuente: <https://bit.ly/3IMb8Vb> . Derecha: Administración mediante aguja de insulina de 30 unidades. Fuente: <https://bit.ly/3zb2pyT>

## ETIOLOGÍA DE LA DIABETES MELLITUS TIPO 2.

Para este artículo se realizó una extensa búsqueda de literatura utilizando las siguientes bases de datos: proporcionadas por bibliotecas buap. Solo revistas científicas peer-reviewed fueron utilizadas durante todo el proceso

El páncreas es una glándula mixta ya que está formado por tejido exocrino y tejido endocrino, este último está constituido por células, alfa, gamma, epsilon, y beta. Además son responsables de la síntesis, almacenamiento y la secreción de insulina, por lo que cualquier defecto en su secreción causará una alteración metabólica caracterizada por una hiperglucemia crónica, llamada diabetes mellitus. En este estado de glucotoxicidad, donde los niveles de glucosa en la sangre son altos, la capaci-

dad enzimática de las células beta adultas es reducida (inclusive inhibida) debido al estrés oxidativo, por consiguiente la glucólisis (degradación de la glucosa para obtener energía) es interrumpida (Rojas J, Bermudez V, Palmar J et al., 2018).

### TRATAMIENTOS ACTUALES (TRADICIONALES): PERSPECTIVA.

La primera línea de terapia implementada después del diagnóstico de diabetes es la indicación de que el paciente lleve una alimentación balanceada, controlando la ingesta de carbohidratos simples (Lau H.H. et al., 2020).

También se han dado a conocer y se han estudiado compuestos encontrados en ciertas plantas, a los cuales podemos llamar fitocompuestos, que han sido estudiados y han mostrado un efecto de supresor o de interventor del proceso de la diabetes en alguna de sus fases o incluso como preventor de ella. Entre estos mecanismos de acción se encuentran, el aumento de la secreción de insulina, el aumento de utilización de la glucosa por el músculo y el tejido adiposo, la reducción de la producción de glucosa por los hepatocitos entre otras. En la siguiente tabla se puede observar un resumen de estos fitocompuestos, la planta de donde se extraen y su mecanismo de acción.

Tabla 1. Fitocompuestos con actividad reguladora de Diabetes Mellitus. Fuente: elaboración propia con datos de: Alam, S. et al. (1AD) Antidiabetic phytochemicals from medicinal plants: Prospective candidates for New Drug Discovery and Development, Frontiers. Frontiers.

Nombre del Compuesto	Origen	Mecanismo De Acción y Efectos Sobre La Diabetes
Polisacáridos y Kinsenósido	<i>Anoectochilus roxburghii</i> (Wall.) Lindl.	Reducir los niveles de lípidos en sangre Mejorar la capacidad antioxidante del cuerpo Modular la actividad de enzimas que metabolizan la glucosa Promover la reparación del tejido dañado Minimizar el daño al tejido hepático Regular enzimas antioxidantes
Bacósidos A y B,	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst	Reducción pronunciada en niveles de glucosa en la sangre, propiedades anti hiperglucémicas Incremento significativo del nivel de glucógeno en el hígado
Berberina	<i>Berberis aristata</i> DC	Regula la homeostasis de la glucosa al reducir la gluconeogénesis Fuerte actividad anti hiperglucémica Aumenta la acción de la insulina por AMPK Reduce la resistencia a la insulina causando glicólisis por la kinasa C dependiente
Bixina	<i>Bixa Orellana</i> L	Aumento de la utilización periférica de glucosa Incrementa los niveles de insulina en plasma Aumento de la unión de la insulina a los receptores de insulina
Ευβοϊοί	Γ. αλωματισμός Ζυζυγισμός	Προβλεπόμενα αντιδιαβητικά
Ιερίλακοςανισό Μεϊλί B-αμιλινα γ	D' DOI Cοστύλο βικύλο	inhibición de la absorción de la glucosa intestinal Reduce la gluconeogénesis Reduce la resistencia a la insulina Aumenta la secreción de insulina Inhibe la actividad de la enzima glucoamilasa
μεϊλανθικό Εξίαρτιο	βΡΕΖΓ Λεπύλο γ. Cυμπαρομομύλο	la concentración de glucosa y el peso corporal Además, mezclada con té verde sirve para reducir Aumenta el número de receptores de insulina coexistente Reduce la glucosa de ayuno, hipoglucémico y amillasa Aumenta la actividad de la enzima glucoamilasa y
χιμικότιο Άρτιο χιμικόλ γ εϊαμολίκο δε Εξίαρτιο	ινύλορ γ. Cιχτομύλο	Aumenta la secreción de insulina Γε μπεκίλαρε Aumenta la captación de glucosa por las células glucosa metabólica a su vez puede reducir la concentración de Reducción de la glucosa-ε-τοξίνα metabólica due
μεϊλινθικό μυλοκί-3- αίδο άρτιο 3- Cυπαρομομύλο	ΑΓΓ μ νορπίε (Γ) Cυπαρομομύλο	Aumento de la resistencia a la glucosa Reducción de la glucosa de ayuno concentración de glucosa basales Actividad hipoglucémica reduciendo la
u-μεϊλαοί Dιχτομύλο	C' DOI λορτορ (Γ) Cατταρομύλο	μιορλατορ C5C15 o células βαυλεθίκορ p-TC Aumento de la captación de glucosa en sangre dependiente de la dosis Actividad significativa de reducción de azúcar en
B ανθ άρτιομύλο Bιβαϊαμύλο	ινύλορ B' B Cαλλίετομύλο	πορταμύλο Reduce el incremento del nivel de glucosa de ratón Aumenta la actividad de la enzima amilasa en plasma
Άρτιο βασίκο	MAK1 αφομύλο Bυμύλο	Aumento de los niveles de insulina basales glucógeno Incrementa la captación de glucosa y reduce de Actividad hipoglucémica significativa

Por otra parte, existen en la actualidad una amplia gama de fármacos que se clasifican según su naturaleza química. En la Tabla 2, se describen algunos de ellos.

Tabla 2. Fármacos comúnmente usados en la terapia de Diabetes Mellitus. Fuente: Piya, M. K., Tahrani, A. A., & Barnett, A. H. (2010). *Emerging treatment options for type 2 diabetes. British Journal of Clinical Pharmacology*, 70(5), 631-644. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2010.03711.x>

Clasificación	Nombre comercial	Modo de acción	Complicaciones
Biguanidas	Metformina	Suprime la producción de glucosa hepática, aumenta la sensibilidad a la insulina, mejora la captación de glucosa y disminuye la absorción de glucosa del tracto gastrointestinal.	Debe de usarse con precaución en adultos mayores de edad avanzada y con insuficiencia renal.
Sulfonilureas	Glibenclámda (Gliburida)	Estimulan la secreción de glucosa endógena	Es posible que la glucosa en sangre baje de forma indeseable (hipoglucemia).
Meglitinidas <sup>0</sup>	Repaglinida (Novonorm)	Actúan sobre canales de producción de potasio en las células beta del páncreas.	Se deben de utilizar con precaución en pacientes con insuficiencia hepática. Relacionado con el aumento de peso. Hipoglucemia
Tiazolidinedionas	Pioglitazona	Sensibilizan el páncreas a la hormona insulina, por lo que son uno de los primeros fármacos que abordan la resistencia a esta hormona.	Algunas clases de este tipo de fármacos se han asociado con eventos cardiovasculares. Su uso puede ser limitado en adultos mayores. Contraindicada en pacientes con insuficiencia cardíaca.
Inhibidores de la alfa-glucosidasa	Acarbosa, voglibosa y miglitol	Mejoran la tolerancia a la glucosa.	Deben evitarse en pacientes con insuficiencia renal.
Terapias basadas en	Sitagliptina	Frena la actividad de la enzima dipeptil-	La dosis debe de ser controlada en pacientes

Tal como se observa en la tabla, los fármacos actualmente disponibles presentan desventajas en común, entre las que destacan el riesgo de hipoglucemia y la contraindicación de ser administrados en pacientes con enfermedad renal.

## EL ORIGEN GENÉTICO DE LA ENFERMEDAD

A través de estudios de asociación genética se ha demostrado que la DM2 presenta una alta predisposición hereditaria, por consiguiente se han identificado alrededor de 75 loci (posición de un gen sobre un cromosoma) independientes que juegan un papel importante en el posible desarrollo de la enfermedad cuando existen mutaciones en los mismos. Por hacer mención de algunos: KCNJ11 está asociado con desarrollo autosomal dominante de DM2; SL-C2A2 está asociado a la respuesta glucémica a la metformina; mientras que SLCO1B3 y KCNQ se asocian con respuesta a sulfonilureas (Yue Z. et al., 2019).

Debido a su efecto sobre el metabolismo, nos debemos remitir a la mitocondria, organelo celular encargado de la generación de ATP (molécula energética) mediante una reacción denominada fosforilación oxidativa, que también contiene ADN (ADN mitocondrial o ADNmt) en un número de copias constante. Se ha encontrado que la disminución en el número de copias de ADN mitocondrial en la sangre periférica puede ser un indicador prematura de diabetes mellitus tipo 2, pudiendo predecir la hasta 2 años antes de ser diagnosticada (Y.M. Cho et al., 2007).



Figura 2. Asociación de la disminución del número de copias de ADN mitocondrial (ADNmt) en células periféricas sanguíneas con varias anomalías patofisiológicas. Modificado de Y.M. Cho et al. (2007)

## TERAPIAS EMERGENTES

### REEMPLAZO DE CÉLULAS BETA PANCREÁTICAS

El trasplante de páncreas proveniente de un donador es una de las  
Los cerdos son buenos candidatos como donadores de órganos a humanos, sin embargo, no son una opción óptima puesto que pueden llegar a ser portadores de diferentes virus. Esta preocupación ha sido contrarrestada con el uso de herramientas de modificación genética tal como CRISPR Cas9. Las siglas CRISPR, son el acrónimo en inglés para Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, o Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas, con la cual se ha logrado eliminar el gen que es necesario para producir estos virus, reduciendo así el riesgo de transmisión e infección a células humanas a 1 en 1000. (Dong, S., & Wu, H., 2018)

### INHIBIDORES DEL COTRANSPORTADOR 2 SODIO-GLUCOSA (SGLT-2)

Este cotransportador promueve la reabsorción de la glucosa en el túbulo proximal del riñón, en condiciones de normoglucemia, aproximadamente 200 gramos de glucosa son filtrados diariamente. La primera molécula descubierta que puede inhibir este sistema fue la florizina, extraída de la corteza del manzano en 1936. Sin embargo, no fue hasta 2012 cuando el dapagliflozin, un medicamento que bloquea este transportador, fue aprobado en Europa. Mientras que otros fármacos se enfocan en incrementar la secreción de insulina o la reducción de la resistencia a insulina, los inhibidores de SGLT-2 (Siglas para su nombre en inglés Sodium Glucose Cotransporter-2) promueven la excreción de la glucosa por vía urinaria (Kramer C.K. & Zinman B., 2019). No obstante, los inhibidores de SGLT-2 son comúnmente recetados como medicamentos suplementarios a otros con la capacidad de reducir la glucosa en sangre.

Los inhibidores más modernos tienen un efecto metabólico dual, la sotaglifozina puede inhibir tanto SGLT-2 como SGLT-1, por lo que afecta la absorción de glucosa a un nivel hepático e intestinal, respectivamente. También se ha encontrado que la sotaglifozina disminuye la presión arterial y promueve la pérdida de peso, ambos parámetros son importantes para

el manejo del metabolismo que a su vez permiten el manejo de la diabetes y disminuyen el riesgo de complicaciones cardiovasculares (Wu J, et al., 2022)

### CÉLULAS MADRE GENÉTICAMENTE MODIFICADAS

Ahora es posible revertir la diabetes ya preexistente en organismos con este padecimiento. Aunque todavía no se ha probado en humanos, existe un estudio en el que se modificaron células de personas con síndrome de Wolfram, el cual es una enfermedad autosomal que produce diabetes infantil, atrofia de los nervios oculares y neurodegeneración. Estas células entonces fueron inyectadas en ratones con diabetes y se vió un aumento de la diferenciación de las células madre beta, las cuales a su vez aumentaron la producción de primera y segunda fase de insulina. La aplicación de esta técnica para el tratamiento de la diabetes en ratones puede permitir el desarrollo de una terapia de reemplazo de células autolíticas en pacientes con diabetes. El procedimiento simplificado se ilustra en la Figura 3. Mediante el uso de células derivadas de pacientes que han sido corregidas genéticamente para corregir variantes diabéticas y producir células sólidamente funcionales, se podría evitar la necesidad de que el paciente tome medicamentos inmunosupresores para muchas formas de diabetes. Sin embargo, una de las limitaciones más grandes de este tratamiento es el suministro tan limitado de células madre afectadas por Wolfram ya que es una enfermedad recesiva rara. Además, no se conoce por completo el mecanismo de acción de dicha terapia. (Jimenes V. et al., 2018)

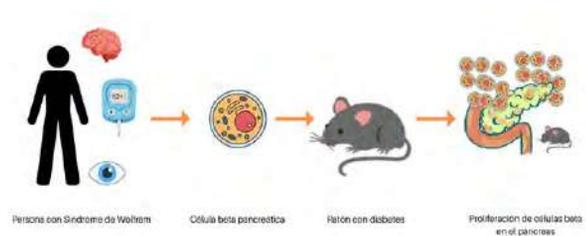


Figura 3. Procedimiento del trasplante de células a modelos animales de experimentación. Fuente: Elaboración propia.

## PREDICCIÓN DE LA DIABETES POR MÉTODOS COMPUTACIONALES

Hoy en día todo se puede resolver por medio de softwares y programas de computadoras, incluyendo temas tan complejos como lo es la diabetes. Este es el caso para un programa que estudia y puede predecir el riesgo de diabetes para una población en específico, en este caso la información fue adaptada para predecir el riesgo de diabetes en gente de mediana edad en Suecia, aunque estamos seguros que en unos años esta tecnología podría ser aplicada en México. El programa consistió en seleccionar alrededor de 11,000 personas a las cuales se les hicieron estudios como, factores genéticos, niveles de glucosa e insulina, tolerancia de glucosa oral, hemoglobina glicosilada, altura, presión arterial, entre otras, para encontrar factores que pudieran elevar o disminuir el riesgo de desarrollar diabetes. Después, se les volvieron a tomar muestras y a recolectar datos de 8 a 10 años después para analizar cual de estos factores aumentaron o disminuyeron el riesgo de desarrollar diabetes. Los datos recolectados en esos 10 años después fueron ingresados en una base de datos, la cual fue optimizada y evaluada por una máquina capaz de aprender de esos datos, lo cual resultó en una base de datos, que, al ser comparada con los datos de un paciente actual, puede predecir en qué porcentaje es posible que ese paciente desarrolle esa enfermedad. (Lama L. et al., 2021)

## TERAPIA GENÉTICA

La terapia génica consiste en el procedimiento de introducción de material genético ajeno a células del huésped para producir ventajas terapéuticas. Las condiciones que la vía de administración debe cumplir para que la introducción (transfección) sea exitosa son las siguientes: debe preservar las moléculas ADN o ARN evitando que se degraden, debe ser diseñado para que la transfección sea eficiente, debe ser estable y seguro durante la circulación en el torrente sanguíneo, es decir, que no interactúa con biomoléculas circundantes (Dehghan M, 2022).

Los vectores virales adenoasociados (VVA) son una de las principales herramientas en la administración de material genético debido a su biología, estructura simple, y no se asocian

al desarrollo de alguna enfermedad. VVA es un caparazón de proteínas que recubren y protegen ADN de una sola cadena, pertenecen a la familia de los parvovirus pero requieren de la infección en conjunto con adenovirus para poder multiplicarse (Naso M.F. et al., 2017).

Actualmente se ha probado la inserción de VVA que contienen los genes de la insulina y de la enzima glucoquinasa, a través del músculo esquelético, en ratones se ha logrado controlar la hiperglucemia y prevenir complicaciones secundarias. Así mismo, en perros se ha observado niveles normales de glucosa en sangre a largo plazo después del tratamiento, llegando hasta los 8 años en caninos. La combinación de estos dos genes actúa como un sensor de glucosa en el músculo diabético, que capta grandes cantidades de glucosa sólo cuando los niveles de la misma aumentan en la circulación (Jaén M.L. et al, 2017).

## Conclusión

La diabetes mellitus es una enfermedad que representa una problemática de relevancia global. Incluso cuando ya existen medicamentos destinados a controlar los síntomas, estos no han sido totalmente eficaces en el sentido de mejorar la calidad de vida del paciente.

Por ello, es importante dirigir las líneas de investigación en novedosas, mejores y más eficaces formas de tratamiento que puedan brindar a las personas que viven con diabetes una manera más segura de manejar su enfermedad, teniendo en cuenta tanto los efectos físicos como mentales de la implementación de estas formas de terapia.

Las alternativas presentadas con anterioridad, pueden ser soluciones a las preocupaciones descritas.

## Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

## Agradecimientos

Al Dr. Enrique González Vergara por guiarnos durante el proceso y proporcionarnos las herramientas necesarias para llevar a buen término este proyecto.

## Referencias

- A. A., & Barnett, A. H. (2010). Emerging treatment options for type 2 diabetes. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 70(5), 631–644. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2010.03711.x>
- Barbu, A. R., & Welsh, N. (2007). Diabetes Mellitus: Gene Therapy. *ELS*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.A0005758.PUB2>
- Chen, C., Yu, G., Huang, Y., Cheng, W., Li, Y., Sun, Y., Ye, H., & Liu, T. (2021). Genetic-code-expanded cell-based therapy for treating diabetes in mice. *Nature Chemical Biology* 2021 18:1, 18(1), 47–55. <https://doi.org/10.1038/s41589-021-00899-z>
- Cho, Y. M., Park, K. S., & Lee, H. K. (2007). Genetic factors related to mitochondrial function and risk of diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 77(3), S172–S177. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2007.01.052>
- Chou, F.-C., Huang, S.-H., & Sytwu, H.-K. (2012). Genetically Engineered Islets and Alternative Sources of Insulin-Producing Cells for Treating Autoimmune Diabetes: Quo Vadis? *International Journal of Endocrinology*, 2012, 296485. <https://doi.org/10.1155/2012/296485>
- DeFronzo, R. A. y Ferrannini, E. (1991). Resistencia a la insulina. Un síndrome multifacético responsable de NIDDM, obesidad, hipertensión, dislipidemia y enfermedad cardiovascular aterosclerótica. *Cuidado de la diabetes*, 14(3), 173–194. <https://doi.org/10.2337/diacare.14.3.173>
- Dehghan, M., Ghorbani, F., Najafi, S., Ravaei, N., Karimian, M., Kalhor, K., Movafagh, A., & Mohsen Aghaei Zarch, S. (2022). Progress toward molecular therapy for diabetes mellitus: A focus on targeting inflammatory factors. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 189, 109945. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.109945>
- Demidova, T. Y., & Zenina, S. G. (2021). Molecular genetic features of the diabetes mellitus development and the possibility of precision therapy. *Diabetes Mellitus*, 23(5), 467–474. <https://doi.org/10.14341/DM12486>
- Dong, S., & Wu, H. (2018). Regenerating cells of the pancreas – potential developments in diabetes treatment. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 18(2), 175–185. <https://doi.org/10.1080/14712598.2018.1402885>
- Jaén, M. L., Vilà, L., Elias, I., Jimenez, V., Rodó, J., Maggioni, L., Ruiz-de Gopegui, R., Garcia, M., Muñoz, S., Callejas, D., Ayuso, E., Ferré, T., Grifoll, I., Andaluz, A., Ruberte, J., Haurigot, V., & Bosch, F. (2017). Long-Term Efficacy and Safety of Insulin and Glucokinase Gene Therapy for Diabetes: 8-Year Follow-Up in Dogs. *Molecular Therapy - Methods & Clinical Development*, 6, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.omtm.2017.03.008>
- Jimenez, V., Jambriña, C., Casana, E., Sacristan, V., Muñoz, S., Darriba, S., Rodó, J., Mallol, C., Garcia, M., León, X., Marcó, S., Ribera, A., Elias, I., Casellas, A., Grass, I., Elias, G., Ferré, T., Molas, S., Franckhauser, S., ... Bosch, F. (2018). FGF21 gene therapy as treatment for obesity and insulin resistance. *EMBO Molecular Medicine*, 10(8), e8791. <https://doi.org/10.15252/EMMM.201708791>
- Jin, W., Chen, X., Kong, L., & Huang, C. (2022). Gene therapy targeting inflammatory pericytes corrects angiopathy during diabetic wound healing. *Frontiers in Immunology*, 13. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2022.960925>
- Jindal, R. M., Karanam, M., & Shah, R. (2001). Prevention of Diabetes in the NOD Mouse by Intra-muscular Injection of Recombinant Adeno-associated Virus Containing the Preproinsulin II Gene. *International Journal of Experimental Diabetes Research*, 2, 752645. <https://doi.org/10.1155/EDR.2001.129>

Joladarashi, D., Zhu, Y., Willman, M., Nash, K., Cimini, M., Thandavarayan, R. A., Youker, K. A., Song, X., Ren, D., Li, J., Kishore, R., Krishnamurthy, P., & Wang, L. (2022). STK35 Gene Therapy Attenuates Endothelial Dysfunction and Improves Cardiac Function in Diabetes. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcvm.2021.798091>

KAISER, A. M. Y. B., ZHANG, N., & der PLUIJM, W. V. A. N. (2018). Global Prevalence of Type 2 Diabetes over the Next Ten Years (2018-2028). *Diabetes*, 67(Supplement\_1), 202-LB. <https://doi.org/10.2337/db18-202-LB>

Lama, L., Wilhelmsson, O., Norlander, E., Gustafsson, L., Lager, A., Tynelius, P., Wärvik, L., & Östenson, C. G. (2021). Machine learning for prediction of diabetes risk in middle-aged Swedish people. *Heliyon*, 7(7), e07419. <http://www.cell.com/article/S240584402101522X/fulltext>

Lau, H. H., Gan, S. U., Lickert, H., Shapiro, A. M. J., Lee, K. O., & Teo, A. K. K. (2021). Charting the next century of insulin replacement with cell and gene therapies. *Med*, 2(10), 1138–1162. <https://doi.org/10.1016/J.MEDJ.2021.09.001>

Ma, S., Viola, R., Sui, L., Cherubini, V., Barbetti, F., & Egli, D. (2018). Cell Replacement after Gene Editing of a Neonatal Diabetes-Causing Mutation at the Insulin Locus. *Stem Cell Reports*, 11(6), 1407–1415. <https://doi.org/10.1016/J.STEMCR.2018.11.006>

Maxwell, K. G., Augsornworawat, P., Velazco-Cruz, L., Kim, M. H., Asada, R., Hoglebe, N. J., Morikawa, S., Urano, F., & Millman, J. R. (2020). Gene-edited human stem cell-derived cells from a patient with monogenic diabetes reverse preexisting diabetes in mice. *Science Translational Medicine*, 12(540). [https://doi.org/10.1126/SCITRANSLMED.AAX9106/SUPPL\\_FILE/AAX9106\\_SM.PDF](https://doi.org/10.1126/SCITRANSLMED.AAX9106/SUPPL_FILE/AAX9106_SM.PDF)

Mnafgui, K., Kaanich, F., Derbali, A., Hamden, K., Derbali, F., Slama, S., Allouche, N., & Elfeki, A. (2013). Inhibition of key enzymes related to diabetes and hypertension by Eugenol in vitro and in alloxan-induced diabetic rats. <http://Dx.Doi.Org/10.3109/13813455.2013.822521>, 119(5), 225–233. <https://doi.org/10.3109/13813455.2013.822521>

Naso, M. F., Tomkowicz, B., Perry, W. L., 3rd, & Strohl, W. R. (2017). Adeno-associated virus (AAV) as a vector for gene therapy. *BioDrugs: Clinical Immunotherapeutics, Biopharmaceuticals and Gene Therapy*, 31(4), 317–334. <https://doi.org/10.1007/s40259-017-0234-5>

Nauck, M. A., & Meier, J. J. (2018). Incretin hormones: Their role in health and disease. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 20, 5–21. <https://doi.org/10.1111/dom.13129>

Pavlovskii, V. v., Derevitskii, I. v., & Kovalchuk, S. v. (2022). Hybrid genetic predictive modeling for finding optimal multipurpose multicomponent therapy. *Journal of Computational Science*, 63, 101772. <https://doi.org/10.1016/J.JOCS.2022.101772>

Polinski, J. M., Smith, B. F., Curtis, B. H., Seeger, J. D., Choudhry, N. K., Connolly, J. G., & Shrank, W. H. (2013). Barriers to insulin progression among patients with type 2 diabetes: a systematic review. *The Diabetes educator*, 39(1), 53–65. <https://doi.org/10.1177/0145721712467696>

Rojas, J., Bermudez, V., Palmar, J., Martínez, M. S., Olivar, L. C., Nava, M., Tomey, D., Rojas, M., Salazar, J., Garicano, C., & Velasco, M. (2018). Pancreatic Beta Cell Death: Novel Potential Mechanisms in Diabetes Therapy. *Journal of Diabetes Research*, 2018, 9601801. <https://doi.org/10.1155/2018/9601801>

Sims, E. K., Carr, A. L. J., Oram, R. A., DiMeglio, L. A., & Evans-Molina, C. (2021). 100 years of insulin: celebrating the past, present and future of diabetes therapy. *Nature Medicine* 2021 27:7, 27(7), 1154–1164. <https://doi.org/10.1038/S41591-021-01418-2>

Singh, P., Jayaramaiah, R. H., Agawane, S. B., Vannuruswamy, G., Korwar, A. M., Anand, A., Dhaygude, V. S., Shaikh, M. L., Joshi, R. S., Boppana, R., Kulkarni, M. J., Thulasiram, H. v, & Giri, A. P. (2015). Potential Dual Role of Eugenol in Inhibiting Advanced Glycation End Products in Diabetes: Proteomic and Mechanistic Insights OPEN. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/srep18798>

Thompson, A., & Kanamarlapudi, V. (2013). Type 2 Diabetes Mellitus and Glucagon Like Peptide-1 Receptor Signalling. *Clinical and Experimental Pharmacology*, 3, 1-18.

Wu, J., Zhao, X., Chen, H., & Zhu, S. (2022a). Metabolic effects of the dual SGLT 1/2 inhibitor sotagliflozin on blood pressure and body weight reduction in people with diabetes: An updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 36(12), 108352. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2022.108352>

Wu, J., Zhao, X., Chen, H., & Zhu, S. (2022b). Metabolic effects of the dual SGLT 1/2 inhibitor sotagliflozin on blood pressure and body weight reduction in people with diabetes: An updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Diabetes and Its Complications*, 36(12), 108352. <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2022.108352>

Xu, X., Poulsen, K. L., Wu, L., Liu, S., Miyata, T., Song, Q., Wei, Q., Zhao, C., Lin, C., & Yang, J. (2022). Targeted therapeutics and novel signaling pathways in non-alcohol-associated fatty liver/steatohepatitis (NAFL/NASH). *Signal Transduction and Targeted Therapy* 2022 7:1, 7(1), 1–39. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01119-3>

Yaribeygi, H., Atkin, S. L., Montecucco, F., Jamialahmadi, T., & Sahebkar, A. (2021). Renoprotective Effects of Incretin-Based Therapy in Diabetes Mellitus. *BioMed Research International*, 2021, 8163153. <https://doi.org/10.1155/2021/8163153>

Yin, J., Meng, H., Lin, J., Ji, W., Xu, T., & Liu, H. (2022). Pancreatic islet organoids-on-a-chip: how far have we gone? *Journal of Nanobiotechnology*, 20, 308. <https://doi.org/10.1186/s12951-022-01518-2>

Yue, Z., Zhang, L., Li, C., Chen, Y., Tai, Y., Shen, Y., & Sun, Z. (2019). Advances and potential of gene therapy for type 2 diabetes mellitus. *Biotechnology, Biotechnological Equipment*, 33(1), 1150–1157. <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1643783>

Zhao, R., Hui, A. L., Xu, Y., & Rabijewski, M. (2021). Nontraditional Therapy of Diabetes and Its Complications. *Journal of Diabetes Research*, 2021, 1592049. <https://doi.org/10.1155/2021/1592049>

# OPTIMIZAR LA INVESTIGACIÓN MEDIANTE GESTORES BIBLIOGRÁFICOS Y OTRAS HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

## OPTIMIZE RESEARCH THROUGH BIBLIOGRAPHIC MANAGERS AND OTHER TECHNOLOGICAL TOOLS

Vázquez-Serna, Ricardo<sup>1\*</sup>  
Navarro-Rangel, Yadira<sup>2</sup>  
Villegas-Tovar, Ricardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor - Investigador Depto. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Doctorante del programa de Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos. Facultad de Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 18 Sur, Puebla, México.

<sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, Av. San Claudio y 18 Sur, Puebla, México.

\* ricardo.vazquezserna@viep.com.mx

## Abstract

This study aims to provide a perspective on a set of digital tools that can optimize efficiency in scientific production. It is not intended to exhaust the subject in question but to provide the researcher with a series of starting points to consider the possibility of incorporating the relevant technological tools into their practice. In this way, the researcher will be able to focus on the quality of the results without having to exhaust himself in the process. This work invites researchers to discover how these digital tools can make a significant difference in the quality and efficiency of their scientific work. In academia, many research projects are carried out without considering the use of technology in their planning. Despite the many resources available that offer guidance on how to produce a good, successful, quality, and impactful scholarly work, only some of them contemplate, before starting to write, the selection of specific technological tools. It is essential to include this step in the research process planning to optimize the short time available and avoid unnecessary procedures such as rereading, inefficient organization of information resources, etc. Considering technological tools such as bibliographic managers, artificial intelligence, citation analysts, conceptual maps of keywords, grammatical assistants, translators, etc., can be profitable for the efficient management of the research process and the optimization of limited resources such as time.

**Keywords:** Research tools; bibliographic manager; time optimization; organization of information resources; citation.

## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo brindar una perspectiva en torno a un conjunto de herramientas digitales que pueden optimizar la eficiencia en la producción científica. No se pretende agotar el tema en cuestión, sino proporcionar al investigador una serie de puntos de partida para que considere la posibilidad de incorporar en su práctica las herramientas tecnológicas pertinentes. De esta manera, el investigador podrá enfocarse en la calidad de los resultados, sin tener que agotarse en el proceso. A través de este trabajo, se invita a los investigadores a descubrir cómo estas herramientas digitales pueden hacer una diferencia significativa en la calidad y eficiencia de su trabajo científico. En el ámbito académico, muchos proyectos de investigación se llevan a cabo sin tener en cuenta el uso de la tecnología en su planificación. A pesar de la gran cantidad de recursos disponibles que ofrecen orientación sobre cómo producir un trabajo académico adecuado, exitoso, de calidad y con impacto, pocos de ellos contemplan, antes de comenzar a escribir, la selección de herramientas tecnológicas específicas. Es importante incluir este paso en la planificación del proceso de investigación para optimizar el escaso tiempo disponible y evitar procesos innecesarios como la relectura, la organización poco eficiente de recursos de información, etc. Considerar herramientas tecnológicas como gestores bibliográficos, inteligencia artificial, analistas de citas, mapas conceptuales de términos clave, asistentes gramaticales, traductores, etc., puede ser rentable para una gestión eficiente del proceso de investigación y la optimización de recursos limitados como el tiempo.

**Palabras clave:** herramientas para investigación; gestor bibliográfico; optimizar tiempo; organización de recursos de información; citado.

## Introducción

La necesidad de sistematizar la literatura científica, así como de dinamizar y facilitar la redacción y publicación de investigaciones personales y grupales, hacen que las herramientas tecnológicas digitales, como los gestores bibliográficos, proliferan a partir de los años ochenta del siglo pasado (Tramullas et al., 2015). Armenteros y Alfonso los definen como:

programas para computadoras que permiten a los especialistas, profesionales e investigadores almacenar las referencias bibliográficas recuperadas durante la búsqueda de información. Su diseño permite la elaboración de bibliografías, a partir de los datos acumulados de acuerdo con los formatos de descripción que exigen las diferentes revistas científicas. (2004, párrafo 6)

Donde podemos observar para el año en que se presenta este artículo, una perspectiva todavía un tanto individual del trabajo con referencias dentro de la investigación, en cambio, para la segunda década de este siglo, el énfasis recae cada vez más sobre generar, organizar, citar y compartir automáticamente referencias bibliográficas para colaborar con la comunidad científica (Gallegos et al., 2017), esta evolución del trabajo colaborativo en línea es propio de las redes de investigación que abundan actualmente. Los gestores bibliográficos han seguido el mismo rumbo que ha demandado el quehacer investigativo, del mismo modo, esta tecnología no sólo se ha enfocado en dinamizar el citado y referenciado de manera automatizada o en promover y facilitar el trabajo colaborativo en la nube, también se ha preocupado por la ubicuidad, por permitir el acceso a la información necesaria desde un sinnúmero de dispositivos, potenciar el acceso en línea desde diversas plataformas, potenciar la interconectividad con otras herramientas o programas informáticos que se utilicen en la investigación, y así optimizar también los procesos de comunicación de los resultados o la reutilización de la metadata. Así como migran o evolucionan otras aplicaciones, los gestores bibliográficos hacen lo propio poniendo a la vanguardia a los investigadores en la tarea de gestionar la información de sus investigaciones.

## Planteamiento del problema

A pesar de que dentro de algunas estrategias didácticas y metacognitivas se utilizan acciones que conducen a la relectura en repetidas ocasiones de los textos a fin de obtener una mejor comprensión de determinados tópicos (Muñoz-Muñoz y Ocaña de Castro, 2017), no se puede afirmar que esto siempre sea adecuado en algunos aspectos de la tarea investigativa. Lo que puede ser provechoso para obtener un mayor grado de comprensión, por ejemplo, dentro de una estrategia para la enseñanza del idioma inglés (Dwiningtiyas et al., 2020, página 66), para la tarea investigativa, la relectura puede representar una enorme pérdida de tiempo, sobre todo, cuando esta no representa una forma de lograr mayor comprensión, sino que significa únicamente el modo de retomar la lectura y volver a situarse en contexto para continuarla o para extraer un punto relevante que ya se había identificado con antelación.

Dado el actual contexto en el que ahora se enfatiza e incrementa el uso de los recursos digitales (Moser Froidevaux., 2011), donde la investigación no queda fuera de este ámbito, los investigadores realizan un gran número de actividades de recolección, análisis y filtrado de recursos de manera digital. Por tanto, un mal manejo de estos recursos digitales puede tener implicaciones de un bajo aprovechamiento de dichos recursos o de una inversión de tiempo innecesaria a la hora de trabajar en la tarea investigativa.

Derivado de lo anterior, autores como Contreras y Ochoa (2010) en su libro *Manual de redacción científica* en la sección de consejos para iniciarse, desarrollarse y sostenerse como investigador(a) proponen, entre otros puntos, “utilizar herramientas de la investigación para ser mejor profesional” (página 10). Es claro que existen herramientas tan fundamentales como una libreta, un bolígrafo, hasta otras más sofisticadas como los dispositivos electrónicos y el software o aplicaciones que permiten optimizar recursos valiosos a la hora de investigar; por tanto, una buena selección de herramientas que acompañen la labor investigativa es probable que mejoren el resultado, esto es, nos vuelvan más eficientes al producir investigación.

Dejando a un lado la preocupación de algunas cuestiones que son un tanto mecánicas y repetitivas, como el citado en determinados formatos o la recuperación de información leída que está vinculada a determinados temas, se puede optimizar el tiempo tan escaso con el que a veces se cuenta, y dedicarlo a algo de lo más importante en una producción científica que es vigilar la calidad de nuestras afirmaciones y análisis de la evidencia, u ofrecer conclusiones robustas entre otras actividades que requieren nuestro pensamiento de orden mayor. Con esto, podemos concentrarnos en alcanzar impacto y difusión que pueden ser el binomio ideal para una publicación que combina de manera adecuada a la investigación con una redacción, ambas de buena calidad, esto recordando que, con uno de estos dos elementos que no se logre, se mina el resultado que todo investigador desea, que su publicación resulte de calidad pero que pueda alcanzar la difusión suficiente, llegando al público para quien fue pensada o diseñada (Contreras & Ochoa, 2010).

Por otro lado, al momento de que se toman las decisiones para optimizar el tiempo cuando se inicia un trabajo de investigación, es común cometer el error desde un principio, e incluso cuando no se tiene un propósito o tema específico de investigación, pensar que cada lectura o indagación que se realiza no deba ser registrada, anotada y organizada; “la mayoría de los investigadores dejan la organización de las citas y referencias bibliográficas para el final de la investigación, cuando esto constituye una tarea esencial a partir de concebir la idea a investigar” (Rodríguez Castilla y López Collazo, 2021, página 2); este simple error ocasiona que, al momento de tener un propósito para una investigación a pesar de ya contar con un gran número de lecturas sobre un tema, se tenga nuevamente que releer mucho en busca de las piezas que armen el nuevo rompecabezas que resuelve el nuevo proyecto de investigación o simple indagación, esto se traduce en demoras o retrasos y, sobre todo, pérdida de tiempo valioso que bien se podría dedicar al cuidado de la calidad de lo que se pretende producir, en lugar de esas relecturas en las que solo se busca algo que uno sabe que ya había encontrado. Rueda y Meneses (2021), en su estrategia para potenciar el comportamiento informacional en docentes, encontraron que muchas de las declaraciones con respecto a la recuperación de información estaban enfo-

cadadas a la falta de tiempo para lograr buenos resultados, sin embargo, el análisis de su comportamiento revelaba que tampoco se valían de herramientas, como un gestor bibliográfico, por ejemplo, o de otras estrategias para sacar el mejor partido del mismo.

Es evidente entonces, como mencionan Rodríguez Castilla y López Collazo que “El desarrollo tecnológico de la informática incrementa cada día el acceso y el uso de la información mediante Internet, por lo que el investigador requiere con inmediatez de un mayor avance en sus habilidades para la gestión bibliográfica.” (2021, página 3)

### **Evolución de los gestores bibliográficos**

La definición inicial de un gestor bibliográfico presentada por Armenteros y Alfonso (2004) habla de almacenar y recuperar información para su citado, sin embargo, actualmente un gestor bibliográfico ofrece más funcionalidades, ahora no solo almacenan las referencias, sino que adjuntan los archivos, normalmente en formato pdf, permiten anotaciones y otras funcionalidades para marcar y organizar los documentos y su metadata, y se orientan mucho más a facilitar la tarea de investigar a partir de otras más herramientas como el etiquetado, el mapeo, algunos ofrecen minería de información o facilitan el trabajo colaborativo para la misma investigación. Una lista de características generales la ofrece Muñoz-Alonso (2013) pero la propia autora hace énfasis en uno de los modos avanzados para utilizar un gestor bibliográfico, en este caso habla de la personalización de estilo de citado, sin duda una de las características más especializadas de los gestores bibliográficos y que puede resultar poco conocida por el usuario más común, que en términos más precisos, los propios usuarios de gestores bibliográficos suelen no ser tan comunes dado la relativa reciente creación de los mismos, como lo afirma Fernández (2018, página 58).

## La ventaja de contar con un gestor bibliográfico

El problema comienza por poder encontrar recursos de calidad y termina por poder discriminar aquellos con la pertinencia necesaria. Cuando un investigador ya cuenta con un nivel de habilidades suficiente para definir su necesidad de información, así como para encontrar el material adecuado al tema de investigación, se puede proceder al análisis de la pertinencia de la información, aquí es cuando, para poder organizar, clasificar, etiquetar, anotar y marcar los recursos para su posterior utilización en la producción de nuevo conocimiento, puede tornarse un proceso complicado si no se realiza con un mínimo de orden y disciplina, es posible que el rigor científico no solo dependa de la calidad de los recursos utilizados, sino también del cuidado para almacenar y clasificar de manera precisa toda la información y el análisis que se va generando por medio de anotaciones o marcado, es aquí también cuando un gestor bibliográfico puede hacer la gran diferencia ofreciendo posibilidades de facilitar todo el etiquetado y la organización de las ideas que surgen al dialogar con el conocimiento que se tiene enfrente, si este diálogo y las ideas nacientes son no solo almacenadas, sino que además clasificadas de manera puntual, las posibilidades de su uso para proyectos presentes y futuros son ilimitadas, este diálogo con los autores que se van leyendo, y las ideas que esto genera, son la materia prima de las nuevas producciones científicas; muchas veces, estas ideas por sí solas no son capaces de producir todo un artefacto de conocimiento, pero con el paso del tiempo, muchas de ellas se vuelven semillero de nuevos proyectos, o precisiones necesarias que complementan otras ideas y poco a poco van llenando el tintero de proyectos futuros de investigación.

## Múltiples opciones para gestionar la información almacenada

Una de las grandes ventajas de los actuales gestores bibliográficos de los más robustos y conocidos como Zotero, Mendeley y Endnote, es que cuentan con múltiples opciones que permiten, sobre todo para documentos digitales, tener una extensa variedad de herramientas para gestionar la información. Podemos imaginar que, con un enfoque más empático, se abrieron a la diversidad de posibles usua-

rios e incluyen opciones para los diferentes estilos de trabajo, por ejemplo, dentro de las opciones de organización de recursos de información, para los usuarios más tradicionales están las carpetas o colecciones para organizar los recursos, pero posiblemente para usuarios más nuevos, se incluyen las etiquetas, que ofrece otro modo de organizar, pero que además estos dos estilos pueden convivir y mezclarse otorgando más poder sobre los resultados en las búsquedas dentro de los propios recursos. Y considerando que, a pesar de la escasa familiaridad de los usuarios con los sistemas de etiquetas (Mears-Delgado & Montano-Durán, 2013), parece ser que el uso de un sistema jerárquico no es necesariamente mejor que el uso de etiquetas para organizar información previamente identificada, lo que hace del uso de etiquetas un modo relativamente nuevo para lograr una excelente organización de la información (Walhout et al., 2020). Esto demuestra, de algún modo, cómo los actuales gestores bibliográficos tienden a mejorar su desempeño en favor de la investigación aprovechando las nuevas tendencias.

Característica	EndNote	Mendeley *	Zotero
<b>Accesos al recurso</b>			
Versión gratuita		✓	✓
Suscripción	✓	✓	✓
<b>Almacenamiento</b>			
Versión gratuita		2GB	300MB
Suscripción	5GB	5GB	2GB
<b>Entorno de trabajo</b>			
Disponibilidad estilos	+5000	+6700	+6500
Detección duplicados	✓	✓	✓
<b>Gestión documentos</b>			
Adjuntar archivos	✓	✓	✓
Anotar y subrayar PDF	✓	✓	✓
Reconocimiento metadatos	✓	✓	✓
<b>Tecnología</b>			
Plataforma	Híbrida Escritorio/Web	Híbrida Escritorio/Web	Híbrida Escritorio/Web
Compatibilidad	Mac/Win	Total: Basado en servicio WEB	Mac/Win/Linux
Interconexión Word/procesador de texto	Plugin para Word / Word online / Openoffice / Docsc Google	AppSource para Word y Word online*	Plugin para Word / LibreOffice / OpenOffice / NeoOffice

\*El nuevo enfoque de Mendeley de software de servicio promete mayor portabilidad entre dispositivos a partir de su versión 2022 (Mendeley Cite y Reference Manager)

Tabla 1. Comparativa gestores bibliográficos. Elaboración propia basada en las características de los sitios oficiales de las aplicaciones.

Asimismo, para gestionar las propias lecturas, nos encontramos con herramientas que parten de los usos tradicionales dentro de las bibliotecas físicas en el papel, y se trasladan de manera magistral a lo digital, y para los usuarios más tradicionales que acostumbran o subrayar, o resaltar con el marcatextos, o incluso,

sobre todo cuando el libro no era nuestro, pegar notas adheribles o post-it con breves notas y, además, utilizar diferentes colores en notas y subrayados para codificar lo importante de lo accesorio o lo revisado por lo que falta revisar o citar; ahora, todas estas modalidades, los actuales gestores bibliográficos las trasladan a lo digital con la posibilidad de generar resaltes o subrayados y notas que incluyen al mismo tiempo el resalte, la nota y diversos colores para uno u otro, las combinaciones resultan muy atractivas si lo que se busca, es trabajar con algún código de colores para hacer más visual las futuras revisiones y así evitar relecturas innecesarias, ya que entre las notas y los colores bien se puede tener todo un sistema que permita regresar al recurso e identificar lo sustantivo de manera más ágil.

Por otro lado, el sistema de búsqueda propio de la mayoría de las plataformas digitales, permite también localizar aquella información que se requiera cada vez con mayor facilidad, dado que este es el empeño de muchas bibliotecas (Rodríguez-Bravo et al., 2017, página 465), y aunado a lo anterior, algunos gestores bibliográficos como los mencionados con antelación, permiten además que haya búsquedas contextualizadas, esto es, si nos encontramos en la biblioteca donde se visualizan todos los recursos, las búsquedas son en todos los artículos, sin embargo, si nos encontramos con un documento digital abierto, las búsquedas se remite exclusivamente al documento abierto, permitiendo un mejor manejo de cada recurso o de todo el conjunto, esto también aplica cuando nos encontramos en una carpeta o colección, la búsqueda se aplica solo a la carpeta o colección seleccionada. Es posible que esto parezca evidente cuando nos encontramos en el directorio de documentos de nuestro equipo de cómputo, pero para fines de investigación, esto permite un cribado selectivo que hace más eficiente la gestión de información si se conoce de dichas funcionalidades. Docear, otro gestor bibliográfico, se enfoca en gestionar la información bibliográfica a través de sus notas por medio de un mapa mental (Carreño, 2014, página 53), que para fines de producción científica puede resultar muy útil cuando el usuario tiene una predominancia visual o gusta de una visión general previa a la escritura. Algunas herramientas similares se han presentado para ayudar a la exploración de un tema de forma más visual, por ejemplo, Intelligo, que permite crear estos mapas con-

ceptuales sobre una colección de recursos partiendo de palabras clave en una búsqueda (Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, s/f), donde se pueden realizar búsquedas de patentes y repositorio de manera separada, y su limitación es que se enfoca exclusivamente en LARreferencia, que es una red latinoamericana de repositorios de acceso abierto (La Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas, s/f), así mismo, Ebsco actualmente ofrece dentro de su descubridor el complemento, de reciente creación, Search Concept Map, que permite, de manera similar a Docear, este tipo de búsquedas visuales dentro de los recursos que se tengan contratados en esta plataforma de investigación. Cuándo utilizar un gestor bibliográfico

Sin embargo, el objetivo del presente trabajo no es solo describir las características de los gestores bibliográficos, para eso están los espacios de soporte propios de cada proveedor que se muestran simplemente con poner su nombre en un buscador de la internet (Clarivate, s/f; Digital Scholar, s/f; Elsevier, s/f), el objetivo es resaltar y evidenciar que el poco conocimiento y manejo de éstos puede limitar la productividad de cualquier estudiante o profesional que utilice información académica sobre todo para investigación. Existe un gran número de recursos que resaltan las bondades de los gestores bibliográficos (Carreño, 2014; Gallegos et al., 2017; Kratochvíl, 2017; Muñoz-Alonso, 2013; Rodríguez Castilla & López Collazo, 2021; Withorn et al., 2019), pero el asunto principal parece recaer en que usuarios principiantes buscan utilizarlos hasta que ya va avanzada una investigación (Rodríguez Castilla & López Collazo, 2021), lo cual, muchas veces, representa el problema de sentir que se requiere mucho tiempo para aprender a utilizar una nueva herramienta para luego tener que capturar todas las referencias que ya se habían realizaron por otros medios, esto representa una tarea muy pesada que terminará minando el poco tiempo que se tiene, problema por el que seguramente lo trajo en búsqueda de una herramienta de este tipo.

Es así que, si se trata de alguien que ya lleva un avance significativo en la organización de sus recursos de información y solo se pretende cumplir con una entrega casi exclusiva de este tipo, por ejemplo, alguien que está en la tesis de un grado quizás de licenciatura o pregrado, es posible que sea mejor dejar que

continúe bajo su misma modalidad de trabajo; sin embargo, si estamos hablando de alguien que o está al inicio de una investigación y su trabajo se vincula al uso de información científica, o se tiene el interés de publicar en el futuro, sin duda un gestor bibliográfico es algo que se debe aprender a ocupar no importando qué tan avanzado se encuentre en un proyecto presente de investigación, ya que esta herramienta le puede ahorrar mucho tiempo al usuario. Aprender a utilizar en modo experto un gestor bibliográfico no puede llevar mucho tiempo, y lo mejor es que este tipo de aplicaciones se pueden empezar a utilizar y a aprovechar desde un modo básico y poco a poco ir obteniendo el nivel necesario para la tarea que se desee optimizar o profesionalizar.

Es probable que algunos de los lectores se encuentren listos o entusiasmados para empezar a utilizar ya un gestor bibliográfico, se comparten los siguientes estudios comparativos de algunos de los principales gestores que se utilizan actualmente, esto busca ayudar a la elección de aquél que le pueda resultar más conveniente, sin embargo, más que preocuparse por la elección de uno, lo importante es que si usted se dedica a la investigación o a tareas académicas, sin duda, un gestor bibliográfico le puede ayudar a optimizar ese tiempo que, normalmente, es precario en dichas tareas.

Para Carreño (2014) al comparar Zotero, Docear y Mendeley, concluye que existen algunas diferencias que pudieran resultar significativas, por ejemplo, que Docear ofrece menos prestaciones que los otros dos, sin embargo, es el único de esta selección que ofrece representaciones gráficas que mapean los conceptos y su relación con otros conceptos vinculados al tema de búsqueda, sin embargo, fuera de elementos puntuales de lo que pretenden las aplicaciones, en términos generales, los gestores orientados al texto, ofrecen características muy similares; prácticamente, en 2014, la única diferencia entre Zotero y Mendeley era que en Zotero no se podía hacer anotaciones directamente sobre el texto de los pdf, cuestión que actualmente es simple y realizable.

Para Tramullas, Sánchez-Casabón y Garrido-Picazo (2015), que ofrecen una revisión de literatura de 37 artículos sobre gestores bibliográficos, donde 23 recursos resultan de corte comparativo, en sus conclusiones respecto al contraste de estos se indica que el conjunto

de comparativos, viene limitado a identificar la presencia o ausencia de alguna característica del software, también se identifica que la mayoría de los comparativos parten de una apreciación personal o subjetiva sobre las bondades que encuentran en cada plataforma o proveedor de los programas, aquí no queremos ahondar más en este tipo de comparaciones, el objetivo que aquí se persigue no es ofrecer un comparativo exhaustivo, dado que de manera precipitada se pueden presentar cambios en alguno de los programas y este comparativo deja de ser válido o vigente.

Respecto a los cambios que se presentan en este tipo de programas, valga como ejemplo que en 2021 se inició el proceso de migración de Mendeley versión de escritorio, a la versión tipo aplicación, en 2022 se anuncia que la versión anterior dejará de recibir soporte e invitan a los usuarios a utilizar la nueva versión, Reference Manager, ya que en algún momento de 2023 no será posible ingresar sus credenciales desde la versión anterior (Elsevier, s/f). Esta migración que promete varios cambios interesantes, como apostar por un nuevo enfoque donde se pretende ya no depender del sistema operativo para funcionar adecuadamente, o se puede contar ahora con libretas integradas para llevar los apuntes de las investigaciones, o la posibilidad de descargar los documentos con todo y observaciones, y todo, como ha venido siendo desde su inicio, sin necesidad de ingresar a la versión de paga, que sirva de paso, que solo ofrece mayor espacio de almacenamiento y el trabajo con más grupos colaborativos y de mayor tamaño, pero que en su versión libre, cumple adecuadamente con las necesidades de un investigador promedio, si se nos permite este término.

### **Consideraciones para elegir un gestor bibliográfico**

Sirva saber ahora que Mendeley ha adoptado una política abierta, actualmente hay dos posturas en cuanto a desarrollo y consumo tecnológico, los que se cierran y pretenden que el usuario se meta en su ecosistema y solo en el suyo, y están los que se abren a otros ecosistemas con tal de que el usuario utilice sus servicios, software como servicio, ya no como producto sin importar el dispositivo (López-Sevilla et al., 2018). Mendeley ha adoptado esta segunda postura para desarrollar sus aplicaciones (web, Windows, Ubuntu,

macOS), pero no entre competidores, o lo que es lo mismo, hay que elegir uno u otro, no se pueden combinar.

Así mismo, para Zotero, podemos enfatizar que es el único programa de acceso abierto total, incluso de código abierto, o que además ofrece herramientas como ZoteroBib, que es un modo fácil y rápido de citar un recurso sin necesidad de contar con una cuenta, a pesar de no requerir inicio de sesión, permite guardar los registros generados y convertirlos en una bibliografía mientras se está utilizando el navegador y persiste mientras no se cierre la sesión o no sea una sesión de incógnito (Zotero, 2022), servicio que para fines académicos y no de investigación, seguramente será muy útil para estudiantes o generación de productos que no requieren un almacenamiento a mediano o largo plazo, como presentaciones, infografías, etc. Esto no quita que, en sí el gestor bibliográfico completo, cuente con la mayoría de las prestaciones que otros gestores ofrecen como ya hemos mencionado. Quizás y seguramente solo de momento, no cuente con tantas posibilidades multiplataforma o multidispositivos como Mendeley, pero gracias a su filosofía de código abierto, es muy probable que solo sea cuestión de tiempo para que se pueda contar con prestaciones similares, o que las prestaciones que ofrece, sobre todo en el cuidado de la privacidad de sus datos, sea suficiente para considerarlo la mejor opción para sus necesidades.

Se podría seguir revisando otros ejemplos, como Endnote, que ciertamente es un programa que no es gratis, pero si usted cuenta con acceso a Web of Science, este programa viene incluido en su versión institucional, quizás, en este momento, no tenga todas las prestaciones que la versión de paga, pero sin duda, es otra excelente opción que cubre la mayoría de las prestaciones ya comentadas. Reiteramos, lo importante es saber cuándo es necesario contar con uno y empezar a utilizar el de su agrado.

#### **Otras herramientas para la investigación**

Vale la pena comentar, que los gestores bibliográficos son una excelente herramienta para acompañar la investigación, sin embargo, sería importante ofrecer a manera de introducción o como detonante de la curiosidad del lector, que también es posible incluir algunas otras

herramientas muy útiles en la tarea investigativa. Nuevamente, el objetivo de este apartado no es realizar una revisión exhaustiva de dichas herramientas y ofrecer una tipificación de ellas, podemos afirmar que solo es una pequeña muestra del potencial de la tecnología para acompañar en su ardua tarea a todo investigador.

#### **Capturar otros recursos digitales y tomar notas**

Para no perder nada en la red será oportuno contar con un bloc de notas digital, que permita organizar cualquier recurso fuera de los de corte académico o científico, esto es, páginas web, vídeos, fotos, noticias, imágenes, o cualquiera que provenga del propio dispositivo como fotos capturadas por uno mismo, notas de voz, etc., pero, sobre todo, acompañar estos elementos de anotaciones escritas o por voz, poder etiquetar y catalogar los recursos, para organizarlos en colecciones o libretas para su fácil recuperación. Un investigador requiere una herramienta que lo posibilite, como ejemplo hay un sinfín de herramientas que ofrecen varias de las descripciones anteriores, pero a pesar de la limitante de que la mayoría de las herramientas que logran conjugar la gran mayoría de estas posibilidades son de paga, hay que reconocer que muchas veces ese costo es una gran inversión, podemos sugerir algunos ejemplos con este potencial como Evernote (Evernote Corporation, 2021) que en su versión gratuita ofrece muy poco almacenamiento pero su versión de paga ofrece prestaciones que resultan sumamente útiles y justifican muy bien la relación costo beneficio; otros como Dropbox Paper, ofrecen secciones de pago para tener más herramientas o almacenamiento también, o OneNote que puede no resultar tan intuitivo y portable, pero que pueden cumplir en gran medida esta función, y finalmente, podemos sugerir otro programa gratuito que hace muy bien muchas de las funciones y no tiene todo el desarrollo que la primera opción, pero poco a poco va tomando más fuerza, Zoho Notebook, representa una gran opción y es completamente gratuita.

#### **Herramientas para mejorar las ecuaciones de búsqueda**

Es posible que si cuenta con una suscripción desde su universidad para Ovid de Wolters Kluwer en el área de salud, pueda ingresar al

conjunto de herramientas para apoyar la investigación basada en evidencia, sin embargo de formar gratuita se ofrece el widget para elaborar búsquedas bajo la estrategia PICOS: Patient/Poblacion, Intervention, Comparison, Outcome, Study, (Wolters Kluwer, s/f) el cual puede apoyar mucho a definir estrategias de búsqueda, de igual manera se encuentran disponibles las PICO cards que resultan excelentes formularios para ir construyendo una cadena de búsqueda, se puede explorar en este sitio más recursos, solo que algunos están diseñados especialmente para usuarios registrados.

Del mismo modo, sería importante para el análisis de conjuntos de referencias y poder generar mejores reportes que ayuden a facilitar las revisiones bibliográficas por ejemplo para marcos teóricos o estados del arte, hacerse de programas como VOSviewer (Leiden University, s/f-b) y CitNetExplorer (Leiden University, s/f-a) que permiten construir y visualizar redes bibliométricas, el primero por ejemplo especialmente para Scopus y el segundo para WOS; el mapeo de redes resulta especialmente útil para identificar patrones de publicaciones acerca de autores, revistas, líneas del tiempo en un tema de investigación, y, sobre todo, confluencias de citado que ayudan a orientar la búsqueda de información y otorgar mayor sentido al desarrollo de un tema en diferentes ámbitos, pueden ser temporales, geográficos, vínculos, etc.

### Escritura

Por otro lado, y sabiendo que el tema de una escritura adecuada se requiere para lograr una buena comunicación de los hallazgos, herramientas como Grammarly para redactar en inglés o LanguageTool que permite revisión del español en cuanto a gramática, resultan herramientas complementarias que, mediante el uso de inteligencia artificial, son útiles en este sentido. Es posible que muchas veces se requiera de traducción, un modo de lograr resultados menos literales y que pueden ser un buen punto de partida para lograr traducciones adecuadas es utilizando DeepL, aunque su versión completa y de pago no está disponible para Latinoamérica, la versión libre funciona muy bien si se seccionan las traducciones sin pasar de cinco mil palabras, se puede trabajar bastante bien gracias a sus traducciones en contexto, con posibilidad de revisión y ajuste

que ofrece mediante opciones de traducción intervenidas manualmente y apoyadas del asistente. Esta labor se puede conjugar con una inteligencia artificial, como ChatGPT e ir mejorando las traducciones de acuerdo al propósito o nivel que se busca.

### Fuentes de datos

No hay que olvidar que para complementar los recursos de información, muchas veces se requiere de colecciones de datos que pueden por un lado, ofrecer claridad de cómo fueron abordados por otros científicos y así modelarnos sus metodologías, pero, por otro, proveen de materia prima para ensayar análisis alternativos a los autores y poder ratificar, explorar o comprender a mayor profundidad muchos estudios, estos son los Repositorios abiertos de datos de investigación, el propio Mendeley cuenta con su sección Data, donde se pueden descargar infinidad de colecciones, se encuentran organizados por tipo, y con búsquedas similares a las que se hacen en bases de datos académicas y científicas, se pueden encontrar aquellas que puedan ser utilizadas y citadas en los propios estudios o proyectos de investigación. Otras alternativas que por ejemplo nos comparte la biblioteca de la Universidad de Huelva, son UK Data Archive: la colección más grande de datos digitales de investigación de ciencias sociales y humanidades, del Reino Unido. World Bank Open Data: acceso abierto y gratuito a datos sobre el desarrollo en el mundo. Zenodo: repositorio que ofrece una ventanilla única para los resultados de la investigación europea (Universidad de Huelva, 2022); entre otros que suman alrededor de 40 espacios.

### Inteligencia artificial

Finalmente, no podemos dejar de comentar que actualmente se cuenta con la inteligencia artificial, que a pesar de encontrarse en una fase donde ofrece algunas inconsistencias sobre todo cuando de trabajo de investigación se trata, representa una gran oportunidad de mejora en la labor investigativa si la utilizamos en sus versiones abiertas, OpenAI y su ChatGPT por ejemplo, para la parte indagatoria de una investigación, esto es, para saber qué autores han abordado el tema, cómo se definen desde ciertas perspectivas algunos conceptos, qué relación guardan algunos temas o conceptos desde la literatura; sin embargo,

al menos desde las pruebas realizadas al momento de escribir este artículo, cuando se le solicitan referencias concretas, suele ser imprecisa la información devuelta, varias veces inexistente y otras es una mezcla de fuentes. Hay que considerar que, en este momento, estas aplicaciones se encuentran todavía en desarrollo, pero es muy posible que en breve el propio aprendizaje de estas redes neuronales vaya prosperando y ofreciendo mejores resultados.

Otras alternativas de paga enfocadas a ofrecer resultados más académicos pueden ser ChatSonic y Consensus, la primera es muy similar en funcionamiento a ChatGPT pero la app tiene el modo investigar, cuando se activa ofrece referencias muy precisas y ligas a los trabajos referenciados que pueden no dar acceso si también son de paga, pero en realidad es una gran ventaja que permite encontrar el recurso, de este modo, se pueden encontrar y revisar a los autores en las fuentes primarias. La segunda alternativa, Consensus, es una herramienta específicamente diseñada para la investigación, y devuelve a cada pregunta que se le hace en concreto una lista de referencias que pueden contener recursos valiosos, en realidad esta herramienta es un metabuscador de ciencia, y dependiendo de las palabras de búsqueda, devolverá o no resultados pertinentes, se jacta de mejorar los metabuscadores o descubridores que tienen incorporados algunas bibliotecas para lograr búsquedas más amplias, sin embargo, en las pruebas realizadas todavía no logra un desempeño tan eficiente, sin embargo, es una excelente opción, aunque de pago, para quien no tiene acceso institucional a una biblioteca o su biblioteca no cuenta con un descubridor tipo metabuscador que aglutina un gran número de fuentes en una sola caja de búsqueda.

Esta última sección presentada no pretende agotar el tema de inteligencia artificial en la investigación, es claro que este tema requerirá de artículos completos solo para abordar el tema desde diferentes miradas, sin embargo, no se quiso pasar por alto dado lo vívido que está siendo su abordaje actualmente.

## Conclusiones

Contemplar de manera puntual la estrategia de gestión de la información desde el proceso de planeación de una investigación de cualquier nivel, que considere de manera puntual alguna herramienta específica de gestión bibliográfica, así como otras herramientas de apoyo, puede posibilitar una mejor optimización del tiempo a partir de un mejor control de los documentos, organización y recuperación eficiente de los hallazgos, evitando relecturas innecesarias de lo investigado o agilizando procesos vinculados a las referencias entre otros.

Las funcionalidades de los gestores bibliográficos cada vez son más completas y se enfocan en satisfacer las necesidades propias de los investigadores desde niveles elementales de citado y referenciado automatizado para proyectos académicos, hasta los más sofisticados de trabajo de investigación colaborativa o personalización de formatos de citado para bibliotecólogos.

Un gestor bibliográfico que se utiliza de manera eficiente como herramienta en los quehaceres cotidianos del investigador puede favorecer su producción científica a partir de la optimización de los tiempos para organizar, recuperar y utilizar de manera adecuada y, posiblemente, hasta ética, la información con la que se construye un proyecto de investigación.

Llevar nuestra mirada también a otras herramientas que abonen a una eficiente gestión de todo el proceso investigativo, como la inteligencia artificial, analistas de citas, mapas conceptuales de términos clave, asistentes gramaticales, traductores, etc., puede mejorar de manera significativa los resultados que se requieren en estos tiempos en que la tecnología va permeando de manera benéfica estos procesos investigativos.

## Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

## Agradecimiento

Se agradece al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de doctorado a través de la beca CVU: 1070770. Programa de Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos. Facultad de Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

## Declaración de no conflictos de interés

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

## Referencias

Armenteros Vera, I., & Alfonso Sánchez, I. (2004). Los gestores personales de bases de datos bibliográficas: conoce usted qué es y cómo se maneja el Procite. *ACIMED*, 12(2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1024-94352004000200006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1024-94352004000200006)

Carreño, M. L. (2014). Análisis comparativo de los gestores bibliográficos sociales Zotero, Docear y Mendeley: características y prestaciones. *Cuadernos de Gestión de Información*, 4, 51-79. <https://revistas.um.es/gesinfo/article/view/219511>

Clarivate. (s/f). EndNote Training & Support - Web of Science Group. Recuperado el 2 de septiembre de 2021, a partir de <https://clarivate.com/webofsciencegroup/support/endnote/>

Contreras, A. M., & Ochoa, R. (2010). Manual de redacción científica (E. de la Noche, Ed.; Primera). <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2016/01/manual-Contreras-ebevidencia.pdf>

Digital Scholar. (s/f). start [Zotero Documentation]. Recuperado el 2 de septiembre de 2021, a partir de <https://www.zotero.org/support/>

Dwiningtiyas, G. N., Sofyan, D., & Puspita, H. (2020). Teachers' strategies in teaching reading comprehension. *JALL (Journal of Applied Linguistics and Literacy)*, 4(2), 66-77. <https://doi.org/10.25157/jall.v4i2.3682>

Elsevier. (s/f). Guides | Mendeley. Recuperado el 2 de septiembre de 2021, a partir de <https://www.mendeley.com/guides>

Evernote Corporation. (2021). Uso de Evernote. Ayuda de Evernote & Aprendizaje. <https://help.evernote.com/hc/es/categories/10681-UsodeEvernote>

Fernandez, F. (2018). Una aproximación a los instrumentos metodológicos digitales: los gestores bibliográficos. En *Ayer* (Vol. 110, Issue 2). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6446473>

Gallegos, M. C., Peralta, C. A., & Guerrero, W. M. (2017). Utilidad de los gestores bibliográficos en la organización de la información para fines investigativos. *Formacion Universitaria*, 10(5), 77-85. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062017000500009>

Kratochvíl, J. (2017). Comparison of the Accuracy of Bibliographical References Generated for Medical Citation Styles by EndNote, Mendeley, RefWorks and Zotero. *The Journal of Academic Librarianship*, 43(1), 57-66. <https://doi.org/10.1016/J.ACALIB.2016.09.001>

La Red Federada de Repositorios Institucionales de Publicaciones Científicas. (s/f). LA Referencia - Preguntas Frecuentes. LA Referencia. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, a partir de <https://www.lareferencia.info/es/preguntas-frecuentes>

Leiden University. (s/f-a). CitNetExplorer: analysis of citation patterns in the scientific literature. CitNetExplorer. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, a partir de <https://www.citnetexplorer.nl/>

Leiden University. (s/f-b). VOSviewer - Visualizing scientific landscapes. VOSviewer. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, a partir de <https://www.vosviewer.com/>

López-Sevilla, G., Medina-Chicaiza, P., Freire-Aillón, T., & Fiallos-López, W. (2018). Caracterización de tecnologías "SAAS" como medio para la optimización de recursos TI. *SINAPSIS*, 2(13). [www.itsup.edu.ec/myjournal](http://www.itsup.edu.ec/myjournal)

Mears-Delgado, B., & Montano-Durán, C. (2013). Innovación educativa y evaluación de programas de alfabetización informativa (U. A. de C. Juárez, Ed.; 1a ed.). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3666644.pdf>

Muñoz-Alonso, G. (2013). Citación y referenciación en el ámbito de la filosofía: personalización de estilos internacionales mediante gestores bibliográficos. *Endoxa*, 31, 211–252. <https://doi.org/10.5944/endoxa.31.2013.9372>

Muñoz-Muñoz, Á. E., & Ocaña de Castro, M. (2017). Uso de estrategias metacognitivas para la comprensión textual. *Cuadernos de Lingüística Hispánica*, 29, 223–244. <https://doi.org/10.19053/0121053x.n29.2017.5865>

Observatorio Iberoamericano de la Ciencia. (s/f). Intelligo. Explorador Del Espacio Académico Iberoamericano. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, a partir de <http://www.explora-intelligo.info/>

Moser Froidevaux, S. (2011). Risks of ubiquitous information and communication technologies: how individuals perceive, cause, and seek to mitigate them [University of Zurich]. <https://doi.org/10.5167/uzh-164027>

Rodríguez Castilla, L., & López Collazo, Z. S. (2021). Entrenamiento de los doctorandos para el dominio del gestor bibliográfico EndNote en un nivel avanzado. *Revista Cubana de Información En Ciencias de La Salud*, 32(1), 1–24. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1280206>

Rodríguez-Bravo, B., Simões, M.-D.-G., Vieira-de-Freitas, M.-C., & Frías, J.-A. (2017). Descubrimiento de información científica: ¿todavía misión y visión de la biblioteca académica? *El Profesional de La Información*, 26(3), 464. <https://doi.org/10.3145/epi.2017.may.13>

Rueda Tamayo, D., & Meneses Placeres, G. (2021). Estrategia para potenciar el comportamiento informacional de profesores universitarios en Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Información En Ciencias de La Salud*, 32(1), 1–22. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=105362>

Tramullas, J., Sánchez-Casabón, A. I., & Garrido-Picazo, P. (2015). Studies and analysis of reference management software: A literature review. *El Profesional de La Información*, 24(5), 680. <https://doi.org/10.3145/epi.2015.sep.17>

Universidad de Huelva. (2022). Repositorios de datos abiertos. Guías de La BUH at Universidad de Huelva. <https://guiasbuh.uhu.es/c.php?g=498100&p=3907565>

Walhout, J., Jarodzka, H., Van Strien, J. L. H., & Brand-Gruwel, S. (2020). To tag or not to tag? How to support organizing and classifying bookmarks from the Web (¿Con etiquetas o sin etiquetas? Cómo asistir en la organización y clasificación de los marcadores de páginas Web) (¿Con etiquetas o sin etiquetas? Cómo asistir en la o. *Journal for the Study of Education and Development*, 43(1), 139–173. <https://doi.org/10.1080/02103702.2019.1692290>

Withorn, T., Caffrey Gardner, C., Kimmitt, J. M., Eslami, J., Andora, A., Clarke, M., Patch, N., Guajardo, K. S., & Lunsford, S. (2019). Library instruction and information literacy 2018. *Reference Services Review*, 47(4), 363–447. <https://doi.org/10.1108/RSR-08-2019-0047>

Wolters Kluwer. (s/f). Ovid Tools & Resources Portal. Support & Training. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, a partir de <https://tools.ovid.com/ovidtools/pico.html>

Zotero. (2022). ZoteroBib: Fast, free bibliography generator. ZoteroBib. <https://zbib.org/>

## ¿TIENES FOBIA A LAS AGUJAS?

## DO YOU HAVE A PHOBIA OF NEEDLES?

Rafael Zaca Morán<sup>1,3</sup>  
Doris Giovanna Mitre Martínez<sup>2</sup>  
Plácido Zaca Morán<sup>2</sup>  
Juan Castillo Mixcoatl<sup>3</sup>  
Rubén Ramos García<sup>4</sup>  
Juan Pablo Padilla Martínez\*

<sup>1</sup>División de Posgrado, Universidad Politécnica de Tulancingo,  
Tulancingo, Hidalgo, 43629  
<sup>2</sup>Instituto de Ciencias, BUAP, Puebla, 72050  
<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, BUAP, Puebla, 72050  
<sup>4</sup>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, INAOE,  
Tonantzintla, Puebla, 72840

juan.padilla@correo.buap.mx\*

## Abstract

Do you feel stressed or anxious every time you get a shot? Then this article will interest you! Currently, there is an innovative technology that makes it possible to administer drugs to the human body without needles, thanks to jet injectors. This type of injector generates a column of liquid with a micrometric diameter that is ejected at a very high speed in order to penetrate the tissue by its own momentum. Initially, jet injectors used mechanical or electromechanical methods to operate. However, in the last 10 years, our group has explored a novel technique based on optical cavitation, which involves the formation, growth and collapse of a vapor bubble in a liquid, induced by a laser. Our group has used this technique to develop needle-free injections using a laser to generate the necessary impulse and expel the liquid at high speeds, demonstrating that they can penetrate skin models. This optical technique is proving to be an effective and less invasive alternative for drug delivery. It could also eliminate the unpleasant sensations associated with traditional injections. In short, jet injectors represent a revolution in drug delivery by eliminating the need for needles and reducing patient anxiety. In the near future, we may be able to say goodbye to needles and receive treatments more comfortably and without fear. The era of needle-free injections is fast approaching.

**Keywords:** Needle-free injections, jet injectors, optical cavitation.

## Resumen

¿Te has sentido estresado o con miedo cada vez que te ponen una inyección? ¡Entonces este artículo te interesa! Actualmente, existe una tecnología innovadora que permite administrar fármacos en el cuerpo humano sin necesidad de agujas, y esto es gracias a los inyectoros a chorro. Este tipo de inyectoros generan una columna de líquido de diámetro micrométrico, expulsada a grandes velocidades, con el objetivo de penetrar el tejido mediante su propio impulso. Inicialmente, los inyectoros a chorro utilizaban métodos mecánicos o electromecánicos para su funcionamiento. Sin embargo, en los últimos años nuestro grupo de investigación ha explorado una técnica novedosa basada en la cavitación óptica, la cual implica la formación, crecimiento y colapso de una burbuja de vapor dentro de un líquido mediante un láser. Nuestro grupo ha utilizado esta técnica para desarrollar inyecciones sin aguja, utilizando un láser para generar el impulso necesario y expulsar el líquido a altas velocidades, demostrando que pueden penetrar modelos de piel. Esta técnica óptica está demostrando ser una alternativa eficaz y menos invasiva en la administración de medicamentos. Además, podría eliminar las sensaciones desagradables asociadas con las inyecciones tradicionales. En resumen, los inyectoros a chorro representan una revolución en la administración de medicamentos al eliminar la necesidad de agujas y disminuir la ansiedad en los pacientes. En un futuro próximo, podríamos despedirnos de las agujas y recibir tratamientos de forma más cómoda y sin temor. La era de las inyecciones sin agujas está cada vez más cerca.

**Palabras clave:** Inyecciones sin aguja, inyectoros a chorro, cavitación óptica

## Inyectores libres de aguja

Desde hace más de 150 años, las inyecciones con aguja han sido el método más común para la entrega de fármacos o medicamentos hacia el interior del cuerpo humano (Chavan, 2013) y de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que al año se administran alrededor de 12 billones (millón de millones) de inyecciones para propósitos médicos, donde el 3% es usado para inmunización (Pepin, 2014). Sin embargo, estas cifras aumentaron significativamente en los últimos dos años debido a campañas de vacunación por la pandemia de COVID-19. Se calcula que de todos los residuos (jeringas/aguja) generados por esta actividad, aproximadamente un 85% son desechos no peligrosos y el 15% restante se considera material peligroso que puede ser infeccioso (Bell, 1997; Mitragotri, 2005). Aunque existen protocolos para el correcto desecho de agujas, no todas son eliminadas correctamente después de su uso, por lo que este 15% representa un potencial riesgo de infección de enfermedades como Hepatitis B, Hepatitis C y VIH (virus de la inmunodeficiencia humana) en pacientes de los hospitales, en el personal sanitario y en la población en general.

Debido a lo anterior, la investigación y desarrollo de dispositivos libres de aguja ha recibido mucha atención en los últimos años. Sin embargo, cabe mencionar que esta tecnología no es del todo reciente, fue desarrollada en la década de 1930 para programas de vacunación masiva contra la viruela, la poliomielitis y el sarampión (Mitragotri, 2005; Mitragotri, 2006). Estos primeros inyectores usaban la compresión mecánica para forzar al fluido pasar a través de un pequeño orificio o boquilla, produciendo un chorro líquido de alta presión que podía penetrar la piel y el tejido subcutáneo y así administrar la vacuna (Mitragotri, 2005; Mitragotri, 2006). Sin embargo, se dejaron de usar por varios años debido a que empleaban la misma boquilla para inyectar a todos los individuos, provocando la transmisión de patógenos entre individuos. A pesar de ello, la investigación de los inyectores a chorro continua y actualmente existen diversos tipos, los cuales pueden clasificarse de acuerdo con el principio físico de funcionamiento. Entre los inyectores más comunes se encuentran los mecánicos y electromecánicos, los cuales hacen uso de un resorte (Mohizin, 2018; Rohilla, 2019) o gas comprimido (Moradiafrapoli,

2017; Barolet, 2018), piezoeléctricos (Römgens, 2016) o actuadores de fuerza de Lorentz (Taberner, 2012). En los últimos 10 años la inyección a chorro ha sido investigada mediante métodos ópticos basados en el fenómeno de cavitación (Brennen, 2014), la cual puede ser inducida mediante el uso de láseres pulsados (Franco-Gómez, 2021) o de onda continua (Rodríguez, 2017). A continuación, se describe al lector brevemente cada uno de estos mecanismos, enfocando nuestra atención en los inyectores ópticos y en especial a los que emplean láseres de onda continua, llamando a estos últimos como inyectores basados en el fenómeno de termocavitación (Rodríguez, 2017; Cu, 2020).

## Inyectores mecánicos

Existen dos tipos de inyectores basados en métodos mecánicos: el primero emplea la expansión de un gas o aire comprimido, y el segundo la expansión de un resorte, ambos inyectores se encuentran disponibles comercialmente (Mohizin, 2018). En el primer tipo de inyector, el gas comprimido puede ser suministrado por un compresor de aire o por generación de gas por medios químicos. El gas en el cartucho se libera por activación mecánica o eléctrica y su expansión acelera un pistón (Figura 1.a), que a su vez empuja el fluido que se inyectará creando un impulso de alta presión (Barolet, 2018). Este impulso de alta presión hace que una pequeña cantidad del fármaco se expulse a alta velocidad (~200 m/s) perforando la piel. Posteriormente, la fase restante de inyección procede con una menor presión de impulso para crear chorros con velocidades de 100-150 m/s, los cuales se dispersan por el canal de penetración producido por la fase anterior. Las profundidades de penetración de estos dispositivos pueden controlarse variando la presión de suministro y expandiendo el volumen (Dukare, 2018). La desventaja de alguno de estos dispositivos es que pueden llegar generar mal olor debido a la reacción química, haciéndolos menos atractivos en comparación con un dispositivo de compresión de aire; sin embargo, estos pueden llegar a ser voluminosos debido al cartucho o compresor (Barolet, 2018).

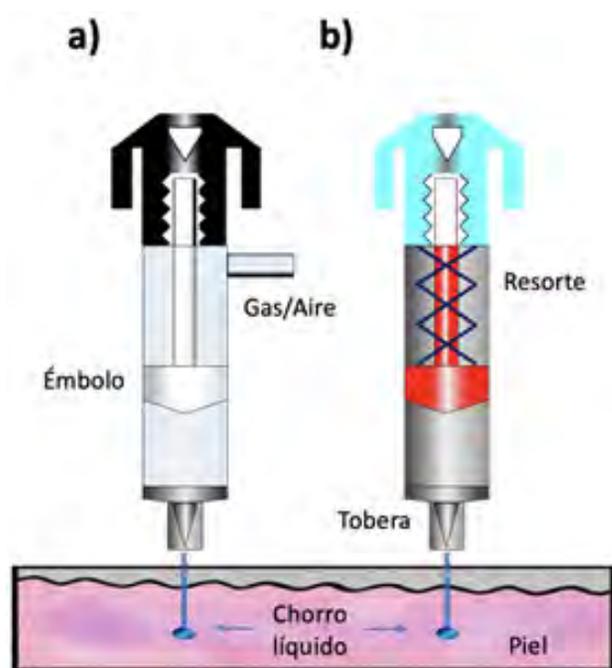


Figura 1. Inyectores basados en métodos mecánicos: a) por expansión de un gas o aire comprimido y b) por expansión de un resorte. Esquema elaborado por el grupo de trabajo del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

El segundo tipo de inyector emplea la energía almacenada durante la compresión mecánica de un resorte (Figura 1.b), la cual es liberada al presionar un gatillo y utilizada para acelerar un pistón, el cual expulsará al líquido a través de un orificio situado en un extremo del cartucho (Rohilla, 2019). La fuerza motriz generada por este dispositivo se rige por la ley de Hooke (describe cuánto se alarga un resorte bajo una cierta fuerza) (Mohizin, 2018), por lo cual, al ajustar la fricción del pistón y la compresión del resorte, se puede controlar el rango de velocidad del chorro expulsado (80-200 m/s). Una de las desventajas de este dispositivo, es que el resorte se debe volver a comprimir manualmente para la próxima inyección y este puede ser retirado en caso de ser necesario (Barolet, 2018).

### Inyectores electromecánicos

Este tipo de inyector emplea un actuador piezoeléctrico para acelerar un chorro líquido (40-130  $\mu\text{m}$  de diámetro) a velocidades entre 50 y 160 m/s, para la penetración cutánea y la administración de fármacos (Stachowiak, 2007). Un actuador piezoeléctrico es un dispositivo que tiene incorporado un piezoeléctrico (un cristal que es sometido a tensiones mecáni-

cas) que permite accionar cualquier dispositivo para llevar a cabo determinado movimiento o acción. El inyector emplea una microboquilla acrílica hecha a medida, en donde se coloca un émbolo o pistón. El émbolo está conectado al cristal piezoeléctrico, que se activa mediante un generador de pulsos (Hogan, 2015), por lo que la expansión del piezoeléctrico está en función del voltaje aplicado y, por tanto, el volumen inyectado puede ser controlado electrónicamente (Figura 2.a) (Trimzi, 2019). Los inyectores basados en la fuerza de Lorentz son similares a los que usan piezoeléctricos, la diferencia radica en que el pistón o émbolo está conectado a un motor de fuerza de Lorentz, el cual comprende una bobina de cobre enrollada firmemente y un circuito magnético para producir la fuerza de actuación (Shergold, 2006), como se observa en la Figura 2.b.

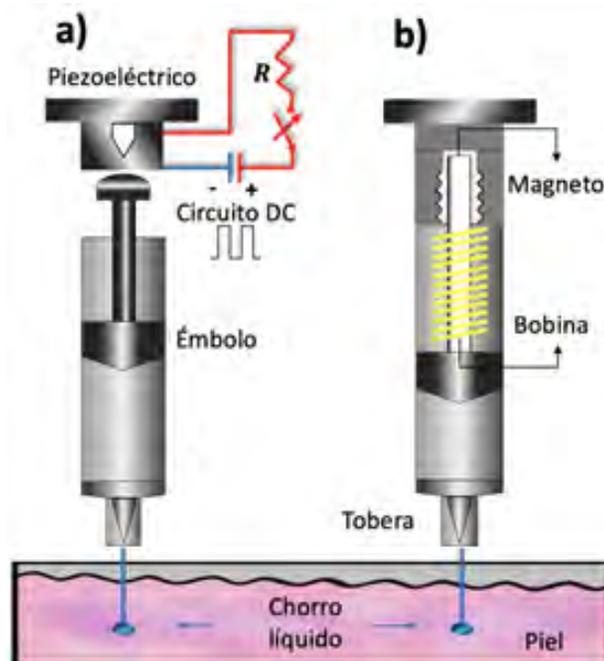


Figura 2. Inyectores basados en métodos electromecánicos: a) mediante un piezoeléctrico y b) por motor de fuerza de Lorentz. Esquema elaborado por el grupo de trabajo del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

### Inyectores ópticos

En los últimos 10 años, la inyección por chorro líquido de alta velocidad ha sido investigada a través del fenómeno de cavitación óptica (Zaca-Moran, 2020; Padilla-Martinez, 2013; Ramirez-SanJuan, 2010). El uso de láseres tiene la ventaja de que puede concentrar la energía

de los fotones (partículas que transportan la energía en las diferentes formas de radiación electromagnética) en una región muy pequeña, por lo que el tamaño del inyector podría reducirse mediante el uso de una fibra óptica (Han, 2010). Esta clase de inyector puede clasificarse en dos tipos dependiendo del láser utilizado, el cual puede ser pulsado o de onda continua. En los láseres pulsados, el haz o rayo láser se interrumpe a intervalos regulares para permitir que la energía se acumule y alcance una mayor potencia de pico que con los láseres de onda continua.

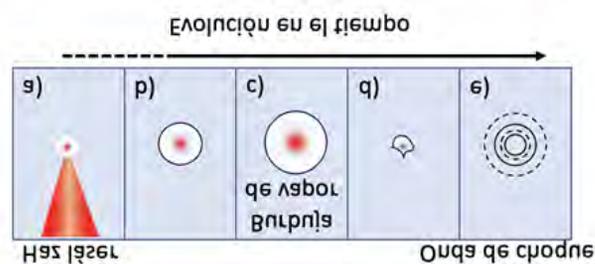


Figura 3. Dinámica de una burbuja de cavitación: a) generación, b) crecimiento, c) radio máximo, d) colapso y e) emisión de la onda de choque. Esquema elaborado por el grupo de trabajo del Centro de Investigación en Físicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

La mayoría de los inyectores ópticos basados en cavitación por láser pulsado reportados en la literatura, emplean el uso de un tubo capilar para la generación del chorro líquido (Hogan, 2015; Krizek, 2020), o constan de dos depósitos separados por una membrana elástica termorresistente (Han, 2010; Rohilla, 2020), los cuales contienen de forma independiente agua y el fármaco. En ambos casos, la generación del chorro líquido se lleva a cabo enfocando el láser pulsado en el interior del tubo capilar o en el interior de una cámara llena de agua, donde la vaporización abrupta de una pequeña parte de líquido es provocada por la absorción de la energía luminosa del pulso láser, dando como resultado la formación de una burbuja de vapor, la cual crece y colapsa, emitiendo una onda acústica de gran amplitud denominada onda de choque (Figura 3). En el caso de los tubos capilares, la rápida expansión de la burbuja y la onda de choque se propagan en el interior del tubo, expulsando el líquido en el extremo abierto (Rohilla, 2020). En el caso de los inyectores basados en el uso de cámaras, la expansión de la burbuja en combinación

con la onda de choque deforma la membrana elástica expulsando el líquido a través de una tobera o micro canal en forma de chorro, como se muestra en la Figura 4.a. Pruebas de penetración han sido llevadas a cabo para ambos inyectores, reportando excelentes resultados en modelos de tejido como geles de agar, agrosa y piel de cochino.

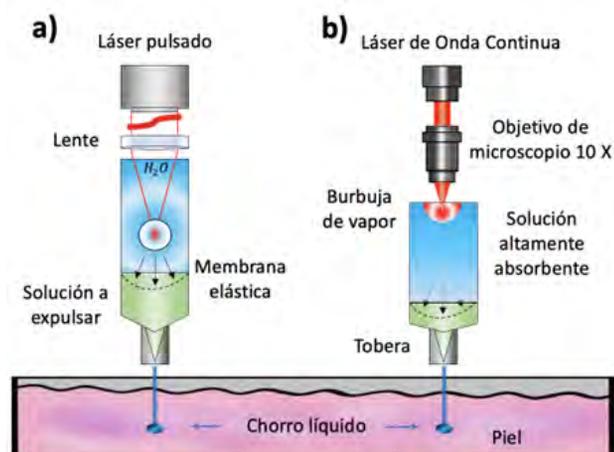


Figura 4. Inyectores basados en métodos ópticos: a) mediante cavitación por láser pulsado y b) por cavitación por láser de onda continua (termocavitación). Esquema elaborado por el grupo de trabajo del Centro de Investigación en Físicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

En los inyectores basados en termocavitación, el mecanismo físico de formación de la burbuja es la absorción lineal de la energía de los fotones generando una región de agua sobrecalentada (~300 °C), seguida de una transición explosiva de fase líquido-vapor. Una vez inducida la burbuja de termocavitación, esta crece hasta llegar a su radio máximo (ver Figura 4.b) y posteriormente colapsa, emitiendo una onda acústica (Padilla-Martinez, 2013). Los inyectores basados en este fenómeno, al igual que los inyectores que emplean un láser pulsado se basan en el uso de cámaras (Chavan, 2023; Mitragotri, 2005; Rohilla, 2020). En la mayoría de estos inyectores, el rápido crecimiento de la burbuja es empleado como un émbolo mecánico, para expulsar el líquido a través de una tobera, canal o tubo capilar (Figura 4.b). En el 2020, nuestro grupo de trabajo reportó un inyector basado en el fenómeno de termocavitación, en el cual se estudió la concentración de la onda acústica producida por el colapso de la burbuja dentro de una cavidad elíptica

truncada (Zaca-Moran, 2020). Aquí, el colapso de la burbuja y emisión de la onda se produce en uno de los focos de la cavidad y, debido a la geometría del inyector, es enfocada en el foco superior expulsando líquido en forma de chorro al exterior. Con este primer prototipo de inyector, se logró expulsar chorros líquidos a una velocidad máxima de 20 m/s, con longitudes del chorro de 16 mm y diámetro de  $\sim 200 \mu\text{m}$  (Zaca-Moran, 2020).

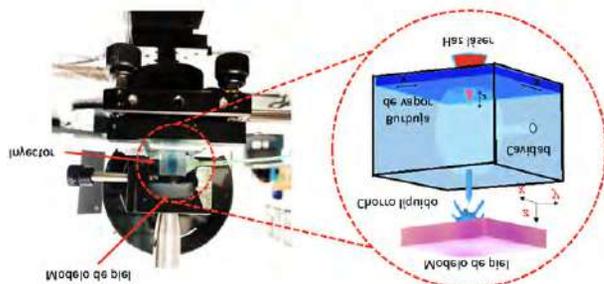


Figura 5. Inyector a chorro basado en el fenómeno de termocavitación. Imagen proporcionada por el grupo de investigación del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

Pocos años después, el inyector mencionado anteriormente fue re-diseñado y fabricado en una impresora 3D de alta resolución empleando un material polimérico (Figura 5). En este nuevo inyector, se incorporó un canal de expulsión de  $250 \mu\text{m}$  de radio y  $200 \mu\text{m}$  de longitud, con el que se logró generar chorros líquidos a una velocidad máxima de 84 m/s, los cuales fueron utilizados para penetrar geles de agar, un modelo de piel ampliamente utilizado en la ingeniería de tejidos. Las pruebas de penetración fueron realizadas por triplicado a diferentes concentraciones, desde 1% a 2% y visualizadas mediante el uso de una cámara rápida. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran que la máxima profundidad de penetración fue de  $\sim 3 \text{ mm}$ , después de que 6 chorros líquidos impactaran consecutivamente el gel de agar a una concentración del 1.0% (como se muestra en la Figura 6), lo cual los hace atractivos para la administración subcutánea de fármacos, por ejemplo, algunas vacunas, pruebas de alergia y tatuajes médicos.

La Figura 6, muestra la evolución temporal y penetración del chorro líquido en el interior del maniquí de piel a una concentración de 1.0%.

De acuerdo con la literatura, esta concentración de agar proporciona un módulo de elasticidad entre 20 y 38 kPa, comparable al límite inferior del módulo de la piel (Salati, 2020). En esta figura, las filas representan la secuencia de penetración del chorro en el interior de la muestra para cada disparo (ver descripción de la Figura 6).

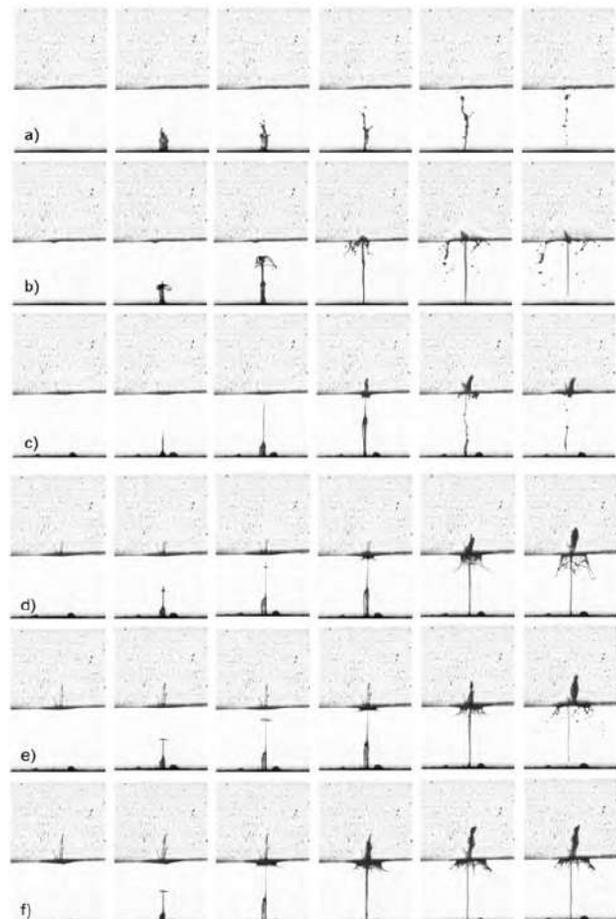


Figura 6. Evolución temporal y penetración de los chorros líquidos en un gel de agar a 1.0%. Las filas representan el número de disparo: a) primer disparo, b) segundo disparo, c) tercer disparo, d) cuarto disparo, e) quinto disparo y f) sexto disparo. Imagen proporcionada por el grupo de investigación del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

La Figura 7, muestra un zoom de la profundidad de penetración alcanzada por cada disparo, es decir, la sombra en el gel de la última imagen de cada fila de la Figura 6. En esta figura es posible observar que el primer disparo no penetra la muestra (Figura 7.a), debido a que su velocidad es baja, de aproximadamente 18

m/s. Además, se muestra con flechas la profundidad de penetración ( $P_p$ ) y el ancho de penetración ( $A_p$ ), las cuales son utilizadas para obtener una aproximación del volumen de líquido inyectado.

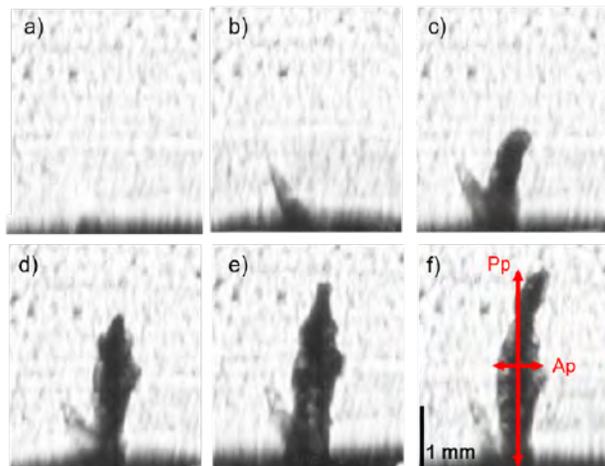


Figura 7. Imagen representativa de la penetración a 1.0% de gel de agar; a) disparo 1, b) disparo 2, c) disparo 3, d) disparo 4, e) disparo 5, f) disparo 6. Imagen proporcionada por el grupo de investigación del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

La Figura 8, muestra la gráfica de la profundidad de penetración y el volumen de líquido inyectado por nuestro inyector óptico, en función del número de disparos obtenida de la Figura 7. El volumen se obtuvo al considerar que el ancho de penetración es radial, calculando el volumen aproximado a una forma cilíndrica. La penetración se inicia a partir del primer disparo, obteniendo una profundidad de penetración de  $\sim 0.1574$  mm, hasta alcanzar una profundidad de penetración máxima de hasta  $\sim 2.9$  mm para el sexto disparo. El volumen total administrado es de aproximadamente  $\sim 4 \mu\text{l}$ .

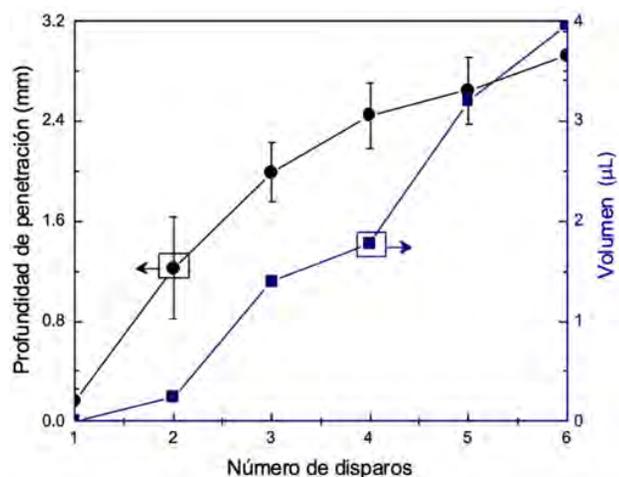


Figura 8. Profundidad y volumen de penetración promedio del líquido expulsado a diferentes disparos en un gel de agar a 1.0%. Imagen proporcionada por el grupo de investigación del Centro de Investigación en Fisicoquímica de Materiales del ICUAP-BUAP.

Los resultados obtenidos por nuestro grupo de trabajo, formado por investigadores del Instituto de Ciencias y la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP e investigadores del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), sugieren que los chorros líquidos generados por este inyector podrían penetrar la piel sin el uso de una aguja convencional, reduciendo riesgos relacionados a pinchazos. Así que estás de suerte, porque en el futuro se desarrollarán nuevos y mejores inyectores que pondrán fin a las inyecciones con aguja, evitando así el temor que te producen.

## **Declaración de privacidad**

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## **Conflicto de interés**

Los autores participantes en la elaboración de este artículo manifestamos no tener ningún conflicto de interés personal o económico.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen el apoyo proporcionado por la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) a través de los proyectos 100526492-VIEP2022 y 100426688-VIEP2023.

## Referencias

Barolet, D., & Benohanian, A. (2018). Current trends in needle-free jet injection: an update. *Clinical, cosmetic and investigational dermatology*, 1(11), 231-238.

Bell, D. M. (1997). Occupational risk of human immunodeficiency virus infection in healthcare workers: an overview. *The American journal of medicine*, 102(5), 9-15.

Brennen, C. E. (2014). *Cavitation and bubble dynamics*. Cambridge university press.

Chavan, B., Doshi, A., Malode, Y., & Misal, B. (2013). Review on needle free drug delivery systems. *Int J Pharm Res Rev*, 2, 30-36.

Cu, K., Bansal, R., Mitragotri, S., & Fernandez Rivas, D. (2020). Delivery strategies for skin: comparison of nanoliter jets, needles and topical solutions. *Annals of biomedical engineering*, 48(7), 2028-2039.

Dukare, M. V., & Saudagar, R. B. (2018). Needle free injection system. *Internatioanl Journal of Current Pharmaceutical Research*, 10(2), 17-24.

Franco-Gómez, A., Onuki, H., Yokoyama, Y., Nagatsu, Y., & Tagawa, Y. (2021). Effect of liquid elasticity on the behaviour of high-speed focused jets. *Experiments in Fluids*, 62, 1-15.

Han T. & Yoh, J. J. (2010). A laser based reusable microjet injector for transdermal drug delivery. *Journal of Applied Physics*, 107(10), 103110.

Hogan, N. C., Taberner, A. J., Jones, L. A., & Hunter, I. W. (2015). Needle-free delivery of macromolecules through the skin using controllable jet injectors. *Expert opinion on drug delivery*, 12(10), 1637-1648.

Krizek, J., Delrot, P., & Moser, C. (2020). Repetitive regime of highly focused liquid microjets for needle-free injection. *Scientific Reports*, 10(1), 1-9.

Mitragotri, S. (2005). Immunization without needles. *Nature Reviews Immunology*, 5(12), 905-916.

Mitragotri, S (2006). Current status and future prospects of needle-free liquid jet injectors. *Nat Rev Drug Discov* 5, 543-548 (2006).

Mohizin, A., & Kim, J. K. (2018). Current engineering and clinical aspects of needle-free injectors: A review. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32, 5737-5747.

Moradiafrapoli, M., & Marston, J. O. (2017). High-speed video investigation of jet dynamics from narrow orifices for needle-free injection. *Chemical Engineering Research and Design*, 117, 110-121.

Padilla-Martinez, J. P., Ramirez-San-Juan, J. C., Korneev, N., Banks, D., Aguilar, G., & Ramos-Garcia, R. (2013). Breaking the Rayleigh-Plateau instability limit using thermocavitation within a droplet. *Atomization and Sprays*, 23(6).

Pepin, J., Abou Chakra, C. N., Pepin, E., Nault, V., & Valiquette, L. (2014). Evolution of the global burden of viral infections from unsafe medical injections, 2000-2010. *PLoS one*, 9(6), e99677.

Ramirez-San-Juan, J. C., Rodriguez-Aboytes, E., Martinez-Canton, A. E., Baldovino-Pantaleon, O., Robledo-Martinez, A., Korneev, N., & Ramos-Garcia, R. (2010). Time-resolved analysis of cavitation induced by CW lasers in absorbing liquids. *Optics Express*, 18(9), 8735-8742.

Rodríguez, C. B., Visser, C. W., Schlautmann, S., Rivas, D. F., & Ramos-Garcia, R. (2017). Toward jet injection by continuous-wave laser cavitation. *Journal of biomedical optics*, 22(10), 105003.

Rohilla, P., Rane, Y. S., Lawal, I., Le Blanc, A., Davis, J., Thomas, J. B. & Marston, J. O. (2019). Characterization of jets for impulsively-started needle-free jet injectors: Influence of fluid properties. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53, 101167.

Rohilla, P., & Marston, J. (2020). Feasibility of laser induced jets in needle free jet injections. *International journal of pharmaceutics*, 589, 119714.

Römgens, A. M., Rem-Bronneberg, D., Kassies, R., Hijlkema, M., Bader, D. L., Oomens, C. W., & van Bruggen, M. P. (2016). Penetration and delivery characteristics of repetitive microjet injection into the skin. *Journal of controlled release*, 234, 98-103.

Salati, M. A. et al. (2020). Agarose-Based biomaterials: Opportunities and challenges in cartilage tissue engineering. *Polymers (Basel)*, 12(5), 1–15. doi: 10.3390/POLYM12051150.

Shergold, O. A., Fleck, N. A., & King, T. S. (2006). The penetration of a soft solid by a liquid jet, with application to the administration of a needle-free injection. *Journal of biomechanics*, 39(14), 2593-2602.

Stachowiak, J. C., von Muhlen, M. G., Li, T. H., Jalilian, L., Parekh, S. H., & Fletcher, D. A. (2007). Piezoelectric control of needle-free transdermal drug delivery. *Journal of Controlled Release*, 124(1-2), 88-97.

Taberner, A., Hogan, N. C., & Hunter, I. W. (2012). Needle-free jet injection using real-time controlled linear Lorentz-force actuators. *Medical engineering & physics*, 34(9), 1228-1235.

Trimzi, M. A., Ham, Y. B., An, B. C., Park, J. H., & Yun, S. N. (2019). Numerical analysis and simulation of an impulse driven piezoelectric needle-free jet injector. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33, 3851-3858.

Zaca-Morán, R., Castillo-Mixcóatl, J., Sierra-Gonzalez, N. E., Pérez-Corte, J. M., Zaca-Moran, P., Ramírez-San-Juan, J. C. & Padilla-Martínez, J. P. (2020). Theoretical and experimental study of acoustic waves generated by thermocavitation and its application in the generation of liquid jets. *Optics Express*, 28(4), 4928-4937.

# MICROCELULOSA, UN POLÍMERO NATURAL DISPONIBLE PARA TODOS

## MICROCELLULOSE A NATURAL POLYMER AVAILABLE TO EVERYONE

Eliud Salvador Rodríguez-Quiroz\*<sup>1</sup>  
Claudia Santacruz-Vázquez<sup>1</sup>  
Verónica Santacruz-Vázquez<sup>1</sup>  
Santa Toxqui-Lopez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química, Ciudad Universitaria, Av. San. Claudio y Blvd. 18 sur, Col. Jardines de San Manuel, C.P.72570, Puebla, Pue.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Capitán Carlos Camacho Espíritu s/n, Jardines de San Manuel, C.P. 72570 Puebla, Pue.

\*Correo electrónico: 221570078@viep.com.mx

## Abstract

One of the natural polymers that have revolutionized history is cellulose, which is obtained from lignocellulosic materials available in unlimited quantities in biomasses such as plants. Physically, cellulose has the form of long and inelastic fibers superimposed in layers that provide the resistance to support the weight of the plant and chemically cellulose is a linear homopolymer of D-glucopyranose units, joined by  $\beta(1-4)$  glycosidic bonds, its parallel chains are aligned on their longitudinal axis and establish a large number of intermolecular hydrogen bridges, which gives rise to highly structured microcellulose fibers. Therefore, the objective is the extraction of these micrometer-sized cellulosic fibers due to their physicochemical characteristics. The most accessible method is by mechanical treatments such as grinding, high pressures, defibrillations that break the cell walls into small fragments reducing the degree of polymerization to access the fibers, followed by chemical methods that hydrolyze, saponify, dissolve or oxidize the structure of the lignocellulosic components surrounding the cellulose. The results are the manufacture of paper, from the biomass of trees or wood, in construction using insulators formed with microcellulose fibers. Other results are the generation of thermoplastic materials, biopolymeric films and molded parts, seen in the food industry for fresh food packaging and have been used to improve the mechanical properties of materials with polymeric matrix to generate new materials in various areas.

**Keywords:** Lignocellulosic Materials, microcellulosic fibers, biomass cellulose.

## Resumen

Uno de los polímeros naturales que han revolucionado la historia, es la celulosa que se obtiene de materiales lignocelulósicos disponibles de manera ilimitada en biomásas como las plantas. De manera física la celulosa tiene forma de fibras largas e inelásticas superpuestas en forma de capas que brindan la resistencia para soportar el peso de la planta y químicamente la celulosa es un homopolímero lineal de unidades de D-glucopiranosas, unidas mediante enlaces glucosídicos  $\beta(1-4)$ , sus cadenas paralelas se alinean sobre su eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a fibras microcelulósicas altamente estructurada. Por lo que el objetivo es la extracción de estas fibras celulósicas de tamaño micrómetro debido a sus características fisicoquímicas. El método más accesible es por tratamientos mecánicos como la molienda, altas presiones, desfibrilaciones que rompen las paredes celulares en fragmentos pequeños reduciendo el grado de polimerización para acceder a las fibras, siguiendo con métodos químicos que hidrolizan, saponifican, disuelven u oxidan la estructura de los componentes lignocelulósicos que rodean a la celulosa. Teniendo como resultados la fabricación de papel, provenientes de la biomasa de los árboles o de las maderas, en el área de la construcción usando aislantes formados con fibras microcelulósicas. Otros resultados es la generación de materiales termoplásticos, películas biopoliméricas y piezas moldeadas, vistos en la industria alimentaria para el embalaje de alimentos frescos y se han empleado para mejorar las propiedades mecánicas de materiales con matriz polimérica para generar nuevos materiales en diversas áreas.

**Palabras clave:** Materiales lignocelulósicos, fibras micro celulósicas, biomasa, celulosa.

## Introducción

Un hallazgo que marcó el desarrollo de los biomateriales poliméricos, fue la extracción de la celulosa en 1838 por el científico Anselme Payen, quien determinó su fórmula química a partir de diversos tratamientos químicos en leños (Jawaid et al., 2017). La celulosa proviene de materiales lignocelulósicos (MLCs), presentes en las plantas, que contienen celulosa, hemicelulosa y lignina en diferentes concentraciones. Varios autores han reportado la composición de diferentes biomásas, estableciendo que el 35-45% corresponde a celulosa, 6-35% a hemicelulosa y de 15-36% de lignina. Se resalta que la celulosa es el componente con mayor porcentaje (Cardoso & Cerecedo, 2008), tal y como se presenta en la Tabla 1. La composición y características de los MLCs, han permitido ser empleados como materias primas en multitud de procesos en la industria química. Su carácter renovable, abundancia y bajo costo aumentan el interés de su uso a nivel industrial aunado a que es considerado un soporte estructural, por su impermeabilidad y resistencia en el desarrollo de materiales compuestos. La biomasa vegetal, está conformada por cenizas, humedad, grasas, un nivel bajo de proteínas y por último los carbohidratos que son biomoléculas, donde se incluyen los compuestos lignocelulósicos (Möller, 2014; Flor & Coral, 2019; Ee et al., 2021).

Tabla 1. Compuestos lignocelulósicos de diversas plantas

Biomasa	Celulosa %	Hemicelulosa %	Lignina %	Referencia
Arroz	35	25	20	(Ee et al., 2021)
Plátano	47	29	22	(Sernaqué Aucahuasi et al., 2020).
Maíz	45	35	15	(Cuervo et al., 2009).
Cacahuete	45	6	36	(Ee et al., 2021).

Tabla 1. Compuestos lignocelulósicos de diversas plantas

La lignina se encarga de transportar agua, nutrientes y metabolitos en el sistema vascular (Baruah et al., 2018). La hemicelulosa permite la rigidez de la pared celular a través de la interacción de la celulosa con la lignina (Wyman, 1999). La celulosa contiene forma de fibras largas e inelásticas superpuestas en forma de capas que brindan la resistencia a las presiones osmóticas que endurecen a las plantas obteniendo un crecimiento erguido soportando todo el peso de la planta (McNamara et al., 2015).

## Materiales lignocelulósicos (MLCs)

### Lignina

La lignina representa típicamente entre un 10-25% en peso seco de los materiales lignocelulósicos (MLCs). Rodea y protege a las fibras de celulosa lo que brinda una mayor rigidez a las células, impermeabilizándolas y protegiéndose de ataques enzimáticos (Ten & Vermerris, 2015). Se trata de un polímero tridimensional amorfo formado por la polimerización de unidades de fenilpropano que implica la formación de diferentes tipos de enlaces que se alternan de manera desordenada. La mayoría de la lignina se encuentra situada en el espacio intercelular y en la pared primaria de la célula. Se va depositando a lo largo de la vida de la célula comenzando por el espacio intercelular. La lignina es el polímero natural más complejo con relación a su estructura y heterogeneidad por lo que no es posible adscribirle una estructura definida. Los componentes estructurales de los compuestos lignocelulósicos se presentan en la Figura 1. (Cuervo et al., 2009)

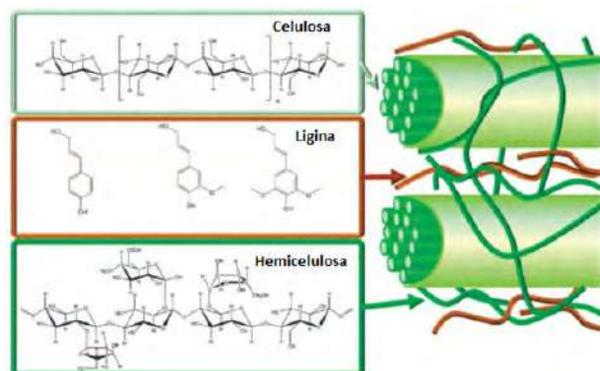


Figura 1. Componentes estructurales de los compuestos lignocelulósicos (Alonso, et. al., 2012).

### Hemicelulosa

La hemicelulosa o hemicelulosas son un grupo de heteropolisacáridos constituidos por cadenas cortas y ramificadas de azúcares presentes en la Figura 2, entre los que destacan pentosas (generalmente D-xilosa y L-arabino-sa), hexosas (como D-galactosa, D-glucosa y D-manosa), así como ácidos urónicos (ácidos glucurónicos, 4-O-metilgalacturónico y galacturónico) y desoxihexosas (ramnosa y fucosa)

(Grilli et al., 2015). Los grupos hidroxilo de los azúcares constituyentes pueden estar parcialmente sustituidos por grupos acetilo (Ten & Vermerris, 2015).

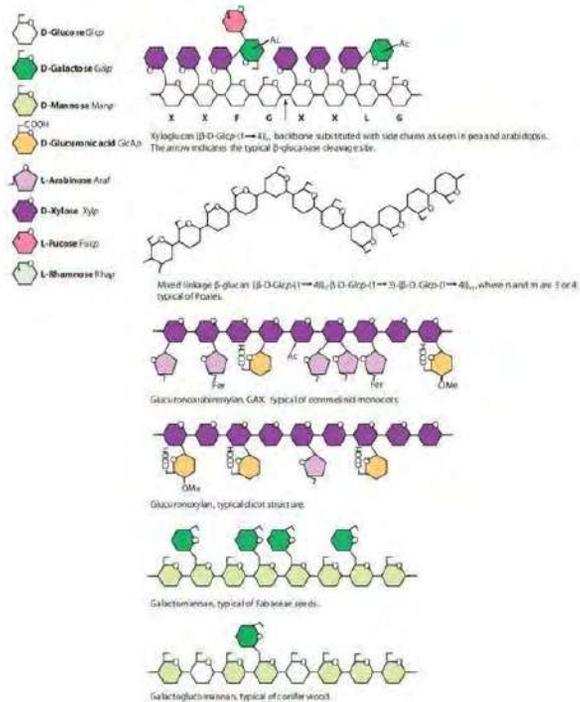


Figura 2. Estructura química de las unidades estructurales de las hemicelulosas (Scheller & Ulvskov, 2010).

La naturaleza ramificada de las hemicelulosas determina su carácter amorfo, y la facilidad con que transcurren las reacciones de hidrólisis de los polímeros para dar lugar a sus azúcares constituyentes. Generalmente son solubles en soluciones alcalinas concentradas (18 a 24% de los hidróxidos de sodio o de potasio), presentan una estructura amorfa (aun cuando algunos tipos desarrollan una forma fibrilar), y actúan como agentes cementantes en el tejido vegetal. Las hemicelulosas son más fáciles de solubilizar e hidrolizar que la celulosa (Di Donato et al., 2014). Las hemicelulosas representan entre un 10-45% en peso seco de los materiales lignocelulósicos (MLCs). En estado natural se encuentran en forma amorfa con un grado de polimerización de aproximadamente 200-300. Existen dos tipos principales de hemicelulosas: los xilanos y los glucomanos (Grilli et al., 2015). Los xilanos son las hemicelulosas mayoritarias en las paredes celulares de las maderas duras y de las plantas herbáceas, y constituyen el 20-30% en peso de los materiales (Farinas et al., 2018).

## Celulosa

Han pasado más de 185 años desde el descubrimiento de la celulosa y sigue estando vigente y al alcance en el mundo de los biopolímeros. Ya se dijo que la celulosa es el polímero natural más abundante de la tierra (Zhao et al., 2021). En términos fisicoquímicos la lignina, hemicelulosa y celulosa son macromoléculas que pueden formar polímeros naturales (Wyman, 1999). Sin embargo, la celulosa se compone de piezas con una estructura cristalina en forma de microfibrillas de celulosa o paquetes de celulosa como se aprecia en la Figura 3, convirtiéndola en el compuesto de mayor interés en la investigación e industria de los materiales poliméricos (Jawaid et al., 2017). La celulosa puede tener una función en las plantas, también puede utilizarse por las fibras para elaboración de biomateriales, o fuente de energía para ciertos microorganismos, es decir que su composición química permite diversificar los usos de la celulosa (Liu et al., 2021).

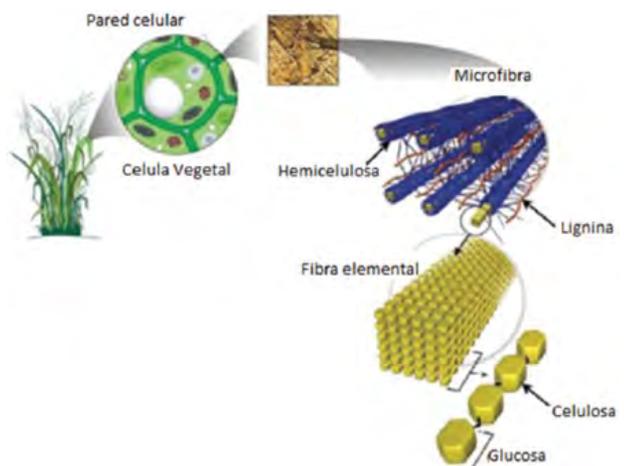


Figura 3. Estructura de la pared vegetal (Suárez et al., 2019).

## Propiedades fisicoquímicas de las fibras microcelulósicas

Es importante mencionar que las fibras celulósicas presentes en la biomasa están disponibles en tamaño microscópico (Somerville, 2006). La celulosa posee grupos hidroxilos que la hacen químicamente ser considerada un polialcohol. La cadena carbonada de los monosacáridos no está ramificada y todos los átomos de carbono con excepción de uno contienen un grupo alcohol (-OH). El átomo de carbono restante tiene unido un grupo car-

bonilo (C=O). Si este grupo carbonilo está en el extremo de la cadena se trata de un grupo aldehído (-CHO) y el monosacárido recibe el nombre de aldosa. Si el grupo carbonilo está en cualquier otra posición, se trata de una cetona (-CO-) y el monosacárido recibe el nombre de cetosa (Lee & Yoo, 2021; Keller, 2019; Budtova, 2019; Jawaid et al., 2017).

La celulosa es un homopolímero lineal de unidades de D-glucopiranosas, estando estas unidades monoméricas unidas mediante enlaces glucosídicos (1-4), su peso molecular y resistencia mecánica y química se debe a que sus cadenas paralelas se alinean sobre su eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas (Chávez-Guerrero et al., 2018; Budtova, 2019). Tiene zonas cristalinas y amorfas: las primeras se producen cuando las moléculas se entrelazan con alto grado de ordenación, mientras que en las zonas amorfas no existe este orden. A pesar de tener muchos hidroxilos libres como se muestra en la Figura 4, es muy poco soluble en agua, debido a que estos grupos no se hidratan por estar actuando entre sí (Tian et al., 2016)

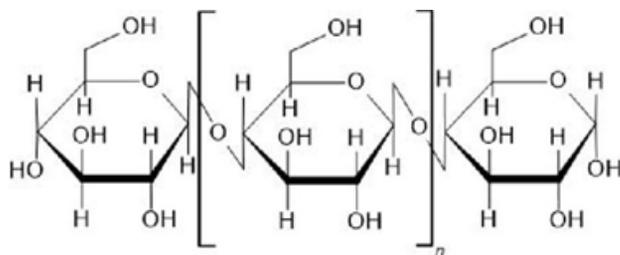


Figura 4. Estructura química de la celulosa (Molina & Flórez, 2020).

Su configuración le permite tener una estructura estable, formando cadenas largas y lineales de glucosa, las cuales se presentan unidas entre sí por medio de enlaces de puentes de hidrógeno con el oxígeno y fuerzas de Van der Waals (Liu et al., 2021). Formando regiones cristalinas, fuertes y rígidas. Estos componentes estructurados están conectados a las regiones flexibles (Chávez-Guerrero et al., 2018). Las largas y delgadas hebras de celulosa conectadas forman lo que se llaman microfibrillas con particularidades de resistencia y flexibilidad (Ramos Cassellis et al., 2020). For-

mando múltiples tipos de morfologías, estructuras supramoleculares, relaciones de aspecto y por ende propiedades físicas y mecánicas muy variadas (Jawaid et al., 2017).

### Obtención de microcelulosa

La forma más sencilla para obtener este polímero natural se lleva a cabo por acciones mecánicas tales como proceso de molienda, altas presiones, desfibrilaciones entre otras, como se observa en la Figura 5 que consisten en el corte de la biomasa lignocelulósica en fragmentos pequeños reduciendo el grado de polimerización (Omran et al., 2021). Técnicas como la desfibrilación o la homogenización de altas presiones rompen las paredes vegetales de la planta hasta la obtención de las microfibras celulósicas (Tian et al., 2016). Existen métodos de explosión o de vapor que son considerados tratamientos mecánicos que llevan a la biomasa a temperaturas altas para generar un choque térmico y así despresurizar la materia orgánica (Zeng et al., 2014). Inclusive con agua caliente se puede solubilizar parte de la hemicelulosa para efectuar la separación de los compuestos lignocelulósicos (Terinte et al., 2017).

Estas técnicas promueven el fácil acceso para la obtención del componente microcelulósico, siendo estas técnicas métodos amigables con el medio ambiente y de fácil alcance, es decir todos podríamos obtener estos polímeros naturales (Ee et al., 2021). Sin embargo, la eficiencia, es la desventaja principal de estas técnicas, ya que no logran separar por completo las fibras microcelulósicas de la lignina y la hemicelulosa. (Jawaid et al., 2017).



Figura 5. Mecanismos para la obtención física de las fibras microcelulósicas. (Imágenes tomadas de (Microfluidics, 2023; Hielscher, 2023; Ceva-graf, 2023; HRS, 2023). Síntesis propia.

Para mejorar la extracción celulósica es conveniente la incorporación de tratamientos químicos que descomponen las estructuras de los componentes lignocelulósicos (Budtova, 2019). En la Tabla 2 se señalan los métodos para la disociación de la lignina y hemicelulosa.

Método Químico	Reactivos	Efecto	Referencia
Alcalino	NaOH, KOH, Ca(OH) <sub>2</sub>	Solvatación y saponificación	(Liu et al., 2021)
Ácido	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HBr	Hidrólisis	(Gong et al., 2017)
Solventes orgánicos	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> OH, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	Hidrólisis	(Jawaid et al., 2017)
Agente oxidante	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> , O <sub>3</sub>	Oxidación	(Isogai & Bergström, 2018)
Líquidos iónicos	1-alkil-3-metilimidazolio, 1-butil-3-metilpiridinio	Disolventes	(Cruz et al., 2013)
Tratamientos biológicos	Celulasas, Trichoderma reesei	Proceso enzimático	(Farinas et al., 2018)

Tabla 2. Métodos químicos para la obtención de celulosa.

Para obtener microcelulosa pura, no es suficiente un procedimiento químico, por lo que combinar diversos tratamientos es la manera más eficiente para su obtención. Varios autores proponen usar el método alcalino como un pretratamiento de la biomasa lignocelulósica, seguido de un tratamiento con algún agente oxidante para terminar con una hidrólisis ácida (Gonçalves et al., 2021; Omran et al., 2021). En la Figura 6 A) se presenta la forma final que tiene la celulosa después de la separación de los compuestos lignocelulósicos y B) las apariencias de las fibras microcelulósicas por medio de una micrografía de un microscopio electrónico de barrido.

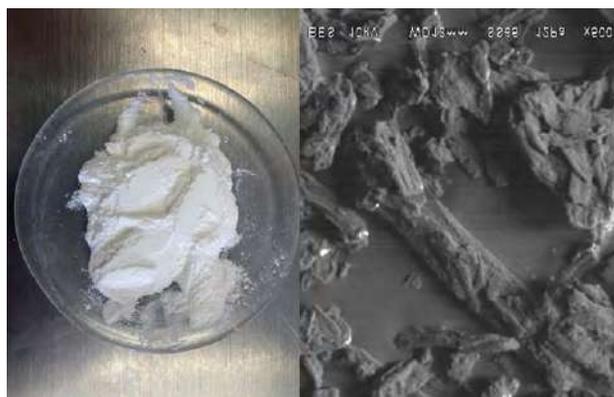


Figura 6. Presentación del compuesto celulósico. A) Observación macroscópica B) Observación microscópica en MEB (500X). (Elaboración propia).

Aunque el objetivo de estos métodos es aislar a la celulosa de la materia vegetal, cada tratamiento o la combinación de estos, afecta directamente las propiedades de las fibras microcelulósicas, por lo que la elección de los métodos depende de la aplicación que se desea (Liu et al., 2021). Una de las ventajas que ofrecen estos tratamientos, es la selectividad para ajustar cada tratamiento con la biomasa que se trabaje, otra ventaja es la eficiencia de la extracción de las fibras celulósicas, además de la manipulación de la materia celulósica para mezclar con otros materiales poliméricos (McNamara et al., 2015). Por otro lado, una desventaja importante de estos tratamientos químicos es la generación de algunos residuos químicos, pero cada fracción puede tener un tratamiento para reducir la nocividad o puede ser utilizado como materia prima para un nuevo estudio (Cruz et al., 2013). Esto no quiere decir que los métodos químicos sean difíciles de acceder o que solo científicos capacitados puedan emplear los tratamientos, pues con las condiciones establecidas y una capacitación es posible la obtención de la celulosa pudiendo estar al alcance de todos (Wyman, 1999).

#### Aplicaciones de las fibras microcelulosas

Una de las primeras aplicaciones que recibieron las fibras microcelulósicas es la fabricación de papel, provenientes de la biomasa de los árboles o de las maderas (Jawaid et al., 2017). La industria textil también se vió beneficiada con las fibras microcelulósicas pues son empleadas en la elaboración de una enorme gama de ropa. Un efecto se puede apreciar cuando los enlaces de hidrógeno que mantienen a las cadenas moleculares inmóviles entre sí son débiles y cuando las telas se doblan o arrugan, en especial en presencia de humedad las cadenas se mueven libremente hasta nuevas posiciones. Al retirar la presión no hay fuerzas entre las fibras que restauren a las cadenas a sus posiciones originales, de manera que las telas permanecen arrugadas (Yousefian & Rodrigue, 2017).

Con el paso del tiempo y de las investigaciones hechas se fueron creando materiales termoplásticos, películas biopoliméricas y piezas moldeadas, este tipo de materiales se ven en la industria alimentaria para el embalaje o para la conservación de alimentos frescos. Se puede utilizar como espesante en los alimentos tipo salsas actuando como emulsión para evitar la

humedad (Liu et al., 2021; Lee & Yoo, 2021). En la industria de la construcción se usan aislantes formados con las fibras microcelulósicas. Pero lo más importante es que las fibras microcelulósicas se pueden emplear para mejorar las propiedades mecánicas de materiales con matriz polimérica para generar nuevos materiales en diversas áreas (Yousefian & Rodrigue, 2017).

## Conclusión

Es un hecho que donde allá materiales lignocelulósicos es posible obtener el contenido celulósico, ya que la disponibilidad está presente en todo el ciclo de transformación de la planta, desde la semilla, el tallo, la hoja, el fruto e incluso los residuos que se van formando. Las fibras microcelulósicas son obtenidas por medio de procesos mecánicos y/o químicos teniendo una eliminación del compuesto lignina y del compuesto hemicelulosa debido a la estructura jerárquica que acompañan a la reducción progresiva de tamaño, pureza y aplicación deseadas. Estas microfibras de celulosa son altamente ordenadas brindando características de insolubilidad, rigidez y mejoras a ciertas propiedades mecánicas como la tensión, elasticidad, etc. Por lo que es necesario seguir generando estudios que siguen evaluando el contenido lignocelulósico de las diversas biomásas para la manufacturación de microcelulosa, innovando en los métodos de obtención y de aplicación.

## Agradecimientos

Se agradece a todos los colaboradores que participaron para esta publicación, se extiende el agradecimiento al estudio de posgrados de Facultad de ingeniería química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, así como a CONACYT por el apoyo brindado.

## Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## Referencias

Alonso, D. M.; Wettstein, S. G.; Dumesic, J. A. (2012). Bimetallic catalysts for upgrading of biomass to fuels and chemicals. *Chemical Society Reviews*, 41: 8075-8098. (<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/f86f3bf7a54bd6a536737ecd685893ffd36b2011/3-Figure2-1.png>)

Baruah, J., Nath, B. K., Sharma, R., & Kumar, S. (2018). Recent Trends in the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Value-Added Products. *Front. Energy Res.* 6(141), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00141>.

Di Donato, P., Poli, A., Taurisano, V., & Nicolaus, B. (2014). Polysaccharides Applications in Biology and Biotechnology Polysaccharides from BioagroWaste New Biomolecules Life Polysaccharides. *Polysaccharides*, 2017(May), 1-19. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03751-6>

Breznak, J. A., & Brune, A. (1994). Role of microorganisms in the digestion of lignocellulose by termites. *Annu. Rev. Entomol.*, 39, 453–487.

Budtova, T. (2019). Cellulose II aerogels: a review. *Cellulose* 26,(1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2189-1>

Cardoso, E., & Cerecedo, M. (2008). Obtención de carboximetil celulosa usando Lemna como materia prima *Revista iberoamericana de.* 20(1), 1–2. <https://rieoei.org/historico/deloslectores/2652EspinosaV2.pdf>

Cevagraf Blog (2023). Cevagraf Imprenta. Cevagraf Coop. Recuperado de <https://www.cevagraf.coop/blog/pasta-mecanica-y-pasta-quimica/>. (<https://www.cevagraf.coop/blog/wp-content/uploads/sites/16/2014/05/desfibrador-de-muela.jpg>).

Chávez-Guerrero, L., Sepúlveda-Guzmán, S., Silva-Mendoza, J., Aguilar-Flores, C., & Pérez-Camacho, O. (2018). Eco-friendly isolation of cellulose nanoplatelets through oxidation under mild conditions. *Carbohydrate Polymers*, 181(November), 642–649. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.100>

Cruz, A. G., Scullin, C., Mu, C., Cheng, G., Stavila, V., Varanasi, P., Xu, D., Mentel, J., Chuang, Y. De, Simmons, B. A., & Singh, S. (2013). Impact of high biomass loading on ionic liquid pretreatment. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-52>

Cuervo, L., Folch, J., & Quiroz, R. (2009). Lignocelulosa como fuente de azúcares para la producción de etanol. *Bio Tecnología*, 13(3), 11–25. [http://www.smbb.com.mx/revista/Revista\\_2009\\_3/Lignocelulosa.pdf](http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Lignocelulosa.pdf)

Ee, L. Y., Fong, S., & Li, Y. (2021). Recent advances in 3D printing of nanocellulose: structure, preparation, and application prospects *Nanoscale Advances*. 3(5). <https://doi.org/10.1039/d0na00408a>

Farinas, C. S., Marconcini, J. M., & Mattoso, L. H. C. (2018). Enzymatic conversion of sugarcane lignocellulosic biomass as a platform for the production of ethanol, enzymes and nanocellulose. *Journal of Renewable Materials*, 6(2), 203–216. <https://doi.org/10.7569/JRM.2017.6341578>

Flor, M., & Coral, C. (2019). CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DEL BAMBÚ. *Av. Cien. Ing.* 10(4). 1-13.

Gonçalves, B. M. M., Camillo, M. de O., Oliveira, M. P., Carreira, L. G., Moulin, J. C., Neto, H. F., de Oliveira, B. F., Pereira, A. C., & Monteiro, S. N. (2021). Surface treatments of coffee husk fiber waste for effective incorporation into polymer biocomposites. *Polymers*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/polym13193428>

Gong, J., Li, J., Xu, J., Xiang, Z., & Mo, L. (2017). Research on cellulose nanocrystals produced from cellulose sources with various polymorphs. *RSC Advances*, 7(53), 33486–33493. <https://doi.org/10.1039/c7ra06222b>

Grilli, D., Egea, V., Lama, S. P., Carcaño, D., Allegretti, L., Escudero, M. S., & Arenas, G. N. (2015). Degradación y utilización de la hemicelulosa contenida en especies forrajeras por *Pseudobutyrvibrio ruminis* y *Pseudobutyrvibrio xylanivorans*. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), 231–243.

Hielscher Ultrasonics. (1999). Hielscher Ultrasonics Technology. Hielscher Ultrasonics GmbH. Recuperado de <https://www.hielscher.com/es/ultrasonic-homogenizers-for-liquid-processing-3.htm>. (<https://www.hielscher.com/wp-content/uploads/UIP1000hdT-ultrasonicator-dispersion-solid-liquid-25ox333.jpg>).

HRS Heat Exchangers. (2023). Heat Exchangers. HRS Group. Recuperado de <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/noticias/la-hidrolisis-termica-impulsa-la-produccion-de-biogas/>. (<https://www.hrs-heatexchangers.com/wp-content/uploads/2022/03/HRS-Unicus-Heat-Exchangers-Thermal-Hydrolysis.jpg>).

Isogai, A., & Bergström, L. (2018). Preparation of cellulose nanofibers using green and sustainable chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 12, 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.008>

Jawaid, M., Alothman, O. Y., & Salit, M. S. (2017). Cellulosic Biocomposites: Potential Materials for Future. *Green Energy and Technology*, 0(9783319493817), vii–viii. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49382-4>

Keller, S. (2019). Por qué el papel prospera en un mundo digital. *ChemMatters*, 1–4. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/resources/highschool/chemmatters/spanishtranslations/cm-april2019-celebrate-paper-spanish.pdf>

Lee, D., & Yoo, B. (2021). Cellulose derivatives agglomerated in a fluidized bed: Physical, rheological, and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 232–240. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.142>

Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., Li, S., & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. *Trends in Food Science and Technology*, 112(April), 532–546. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>

Microfluidics Corporation, M.I. (2023). Microfluidizer Processors. IDEX: Materials Processing Technologies. Recuperado de <https://www.microfluidics-mpt.com/microfluidizers/pilot-scale-m-110eh>. (<https://www.microfluidics-mpt.com/hubfs/M-110EH-30-001-1-website-1.jpg>).

McNamara, J. T., Morgan, J. L. W., & Zimmer, J. (2015). A molecular description of cellulose biosynthesis. *Annual Review of Biochemistry*, 84, 895–921. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-060614-033930>

Molina, A. B., & Flórez, C. J. M. (2020). Biopolímeros como sistemas de bioencapsulación. *Researchgate.Net*, August. (<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19521.17767/1>). ([https://www.researchgate.net/profile/Jm-Florez-Castillo/publication/343452469/figure/fig4/AS:921262239014912@1596657442013/Figura-2123-Estructura-de-la-celulosa-fuente-autor\\_W640.jpg](https://www.researchgate.net/profile/Jm-Florez-Castillo/publication/343452469/figure/fig4/AS:921262239014912@1596657442013/Figura-2123-Estructura-de-la-celulosa-fuente-autor_W640.jpg)).

Möller, J. (2014). Comparación de los métodos para la determinación de fibra en pienso y en los alimentos. *Dedicated Analytical Solutions*, December, 1–5. <https://docplayer.es/82653469-Comparacion-de-los-metodos-para-la-determinacion-de-fibra-en-pienso-y-en-los-alimentos.html>

Omran, A. A. B., Mohammed, A. A. B. A., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., Koloor, S. S. R., & Petrů, M. (2021). Micro-and nanocellulose in polymer composite materials: A review. *Polymers*, 13(2), 1–30. <https://doi.org/10.3390/polym13020231>

Ramos Cassellis, M. E., Luna Guevara, M. L., Campos Contreras, J. E., Salazar Rojas, V. M., Karina, A., Teutli, L., & Silva, J. L. (2020). Evaluation of cellulase activity of fungi isolated from vanilla beans (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews). *International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology research* 8, 33–39. <https://doi.org/10.33500/ijambr.2020.08.004>

Scheller, H. V., & Ulvskov, P. (2010). Hemicelluloses. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 263–289. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112315>. ([https://th.bing.com/th/id/OIP.\\_CexRuPYWv-4nmonuTeniwHaHz?pid=ImgDet&w=156&h=164&c=7](https://th.bing.com/th/id/OIP._CexRuPYWv-4nmonuTeniwHaHz?pid=ImgDet&w=156&h=164&c=7)).

Sernaqué Aucchuasi, F. A., Huamán mogollón, L. del C., Hugo, P. C., & Chacón, M. E. (2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro de Investigaciones Agropecuarias*, 47(4), 22–31. <http://cagricola.uclv.edu.cu>

Somerville, C. (2006). Cellulose synthesis in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 22, 53–78. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.22.022206.160206>

Suárez, S. J., Candela, A. M., Henao, J. A., & Bayona, O. L. (2019). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL PRETRATAMIENTO CON PERÓXIDO DE HIDRÓGENO SOBRE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA REMOCIÓN DE LIGNINA TT - Evaluation of the performance of the preteretment with the hydrogen peroxide on sugar cane bagasse for removing lignina. *Iteckne*, 16, 21–28. [http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v16n1/1692-1798-itec-16-01-21.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-17982019000100021&lang=es](http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v16n1/1692-1798-itec-16-01-21.pdf%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982019000100021&lang=es). ([https://www.researchgate.net/profile/Soleidy-Suarez-Forero/publication/334436704/figure/fig1/AS:780021350285312@1562982990163/ESTRUCTURA-DE-LA-PARED-VEGETAL\\_W640.jpg](https://www.researchgate.net/profile/Soleidy-Suarez-Forero/publication/334436704/figure/fig1/AS:780021350285312@1562982990163/ESTRUCTURA-DE-LA-PARED-VEGETAL_W640.jpg)).

Ten, E., & Vermerris, W. (2015). Recent developments in polymers derived from industrial lignin. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(24), 1–13. <https://doi.org/10.1002/app.42069>

Terinte, N., Ibbett, R., & Schuster, K. C. (2017). Overview on native cellulose and microcrystalline cellulose I structure studied by X-ray diffraction ( WAXD ): Comparison between measurement techniques OVERVIEW ON NATIVE CELLULOSE AND MICROCRYSTALLINE CELLULOSE I STRUCTURE STUDIED BY X-RAY DIFFRACTION (. January 2011.

Tian, C., Yi, J., Wu, Y., Wu, Q., Qing, Y., & Wang, L. (2016). Preparation of highly charged cellulose nanofibrils using high-pressure homogenization coupled with strong acid hydrolysis pretreatments. *Carbohydrate Polymers*, 136, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.055>

Wyman, C. E. (1999). Technical Progress, Opportunities, and Commercial Challenges. 189–226.

Yousefian, H., & Rodrigue, D. (2017). Morphological, physical and mechanical properties of nanocrystalline cellulose filled Nylon 6 foams. *Journal of Cellular Plastics*, 53(3), 253–271. <https://doi.org/10.1177/0021955X16651241>

Zambrano, G., Cedeño, C., Garcia, V., & Ulbio, A. (2021). Aprovechamiento de la cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de fibras de celulosa Use of rice husk (*Oryza sativa*) for the production of cellulose fibres Uso de casca de arroz (*Oryza sativa*) para obtenção de fibras de celulose *Ciencias de nat. Polo Del Conocimiento*, 6(4), 415–437. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2572>

Zeng, J., Tong, Z., Wang, L., Zhu, J. Y., & Ingram, L. (2014). Isolation and structural characterization of sugarcane bagasse lignin after dilute phosphoric acid plus steam explosion pretreatment and its effect on cellulose hydrolysis. *Bioresource Technology*, 154, 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.044>

[org/10.1016/j.biortech.2013.12.072](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.072)

Zhao, D., Zhu, Y., Cheng, W., Chen, W., Wu, Y., & Yu, H. (2021). Cellulose-Based Flexible Functional Materials for Emerging Intelligent Electronics. *Advanced Materials*, 33(28), 1–18. <https://doi.org/10.1002/adma.202000619>

<https://orcid.org/0000-0002-6041-9888>  
<https://orcid.org/0000-0003-3564-0369>  
<https://orcid.org/0009-0009-2405-6766>  
<https://orcid.org/0009-0007-3575-2287>  
<https://orcid.org/0009-0001-2571-5518>  
<https://orcid.org/0009-0004-7880-5260>  
<https://orcid.org/0009-0003-3412-6138>

# CRYPTOSPORIDIUM: UNA AMENAZA BIOLÓGICA PARA LA SALUD PÚBLICA

## CRYPTOSPORIDIUM: A BIOLOGICAL THREAT TO PUBLIC HEALTH

Ramiro José González Duarte<sup>1\*</sup>  
Verna Cázares Ordoñez<sup>1</sup>  
Eduardo Antonio Maruri Herrera<sup>2</sup>  
Jazel Flores Romero<sup>2</sup>  
Itzel Citlalli Hilario Santos<sup>2</sup>  
Vicente Garcia Guerra<sup>2</sup>  
Yaritza Verónica Mora Castillo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro Universitario de la Salud, Complejo Regional Nororiental, Arias y Blvd. s/n, El Carmen, C.P. 73800, Teziutlán, Puebla.  
<sup>2</sup>Estudiantes de la licenciatura en Medicina General y Comunitaria en el Centro Universitario de la Salud de Teziutlán, Complejo Regional Nororiental,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

\*Autor de correspondencia: ramiro.gonzalezd@correo.buap.mx

## Abstract

Cryptosporidium is a parasitic protozoan that causes a disease known as cryptosporidiosis. The parasite can infect humans and animals and is usually transmitted through contaminated food or water, or by direct contact with infected people or animals. It is highly resistant to chlorine in drinking water and is therefore difficult to eliminate. Symptoms of cryptosporidiosis include watery diarrhea, abdominal pain, nausea, vomiting, fever and weight loss. These symptoms can last from a week to a month and can be especially severe in people with weakened immune systems, such as those with HIV/AIDS. Because of its resistance to chlorination and because few parasites are required to cause infection, it is considered a bioterrorism agent. Therefore, we want to make known this parasite of worldwide distribution and of medical importance due to its implications in the public health of our country. We consider it necessary to disseminate this type of topics because they may be of interest to students in the areas of biological and health sciences. We conducted a wide and updated bibliographic review of the subject, with emphasis on the Latin American region and Mexico in particular, finding some epidemiological data relevant to our country, which highlight the need for surveillance of cryptosporidiosis.

**Keywords:** Cryptosporidium, cryptosporidiosis, zoonotic disease, diarrhea, bioterrorism.

## Resumen

Cryptosporidium es un protozooario parásito causante de una enfermedad conocida como criptosporidiosis. El parásito puede infectar a humanos y a animales y suele ser transmitido a través del agua o alimentos contaminados, o por contacto directo con personas o animales infectados. Es muy resistente al cloro en el agua potable y por ello resulta difícil de eliminar. Los síntomas de la criptosporidiosis incluyen diarrea acuosa, dolor abdominal, náuseas, vómitos, fiebre y pérdida de peso. Estos síntomas pueden durar entre una semana y un mes y pueden ser especialmente graves en personas con sistemas inmunológicos debilitados, como aquellos con VIH/SIDA. Dada su resistencia a la cloración y a que se requieren pocos parásitos para provocar una infección, está considerado como un agente de bioterrorismo. Por lo anterior, queremos dar a conocer este parásito de distribución mundial y de importancia médica por sus implicaciones en la salud pública de nuestro país. Consideramos necesario divulgar este tipo de temas porque pueden resultar de interés para los estudiantes de las áreas de las ciencias biológicas y de la salud. Realizamos una revisión bibliográfica amplia y actualizada del tema, con énfasis en la región de Latinoamérica y México en particular, encontrando algunos datos epidemiológicos relevantes para nuestro país, que resaltan la necesidad de vigilancia de la criptosporidiosis.

**Palabras clave:** Cryptosporidium, criptosporidiosis, zoonosis, diarrea, bioterrorismo.

## Introducción.

Un parásito es un organismo que vive a expensas de otro ser vivo, al cual se le denomina como huésped. Existen parásitos que viven dentro del huésped y otros que viven por fuera; en general, el parásito se alimenta del huésped y se beneficia, mientras que el huésped recibe un daño. Entre los parásitos que pueden provocar enfermedades en los seres humanos tenemos a los protozoarios y a los helmintos (gusanos), siendo ambos endoparásitos, que viven dentro el huésped, y por otro lado tenemos a los ectoparásitos, que viven fuera del huésped, como las pulgas o las garrapatas (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, CDC, 2023, Acerca de los parásitos).

Nos enfocaremos en los protozoarios, estos son organismos microscópicos unicelulares, lo que significa que están constituidos por una sola célula, que pueden ser de vida libre o de naturaleza infecciosa. Son capaces de multiplicarse en los seres humanos y eso les permite sobrevivir y, en algunos casos, provocar infecciones graves. Los protozoarios que invaden el intestino humano se transmiten por una vía denominada fecal-oral, que implica la ingesta de alimentos o agua contaminados con los parásitos que provienen generalmente de heces humanas, o por un contacto directo frecuente con una persona infectada (CDC, 2023, Acerca de los parásitos). En particular, *Cryptosporidium* es un protozoario parásito que infecta el intestino y que puede provocar diarreas acuosas severas e inclusive llevar a la muerte de algunos individuos más vulnerables. Las dos especies que infectan comúnmente al ser humano son *Cryptosporidium hominis* y *Cryptosporidium parvum*. La enfermedad causada por *Cryptosporidium* se denomina criptosporidiosis y es importante conocerla porque se ha descrito en todo el mundo y se necesitan medidas y estrategias para controlar su manifestación dentro de la población (Checkley et al., 2015; Hernández-Gallo et al., 2018). Por lo anterior, en el presente artículo queremos hablarles sobre este peculiar parásito, sus características biológicas y su relevancia en la salud pública de México.

## *Cryptosporidium*, un parásito adaptado para resistir.

*Cryptosporidium* es un microorganismo muy resistente, por un lado, tiene la capacidad de sobrevivir fuera del cuerpo de un huésped durante largos periodos de tiempo y, por otro lado, resiste ante diversos métodos de desinfección, tanto físicos (por ejemplo: las radiaciones gamma) como químicos (por ejemplo: el cloro). Para tener una idea más clara sobre su resistencia mencionaremos que para eliminar a este protozoario en el agua se requiere de una concentración mayor de 80 mg / L de cloro, la cual supera la concentración permitida por la Secretaría de Salud, que es de 0.2 a 1.5 mg / L de cloro en el agua para uso y consumo humano (Gómez Sandoval y Aguirre García, 2017). La razón de la resistencia de *Cryptosporidium* está relacionada con una gruesa pared biológica que poseen sus formas infectivas, llamadas ooquistes. La forma de ooquistes le permiten vivir fuera de un huésped, en el ambiente, hasta poder entrar en uno, mediante el agua, por ejemplo (Lendner y Dauschies, 2014). Los ooquistes son de forma esférica u ovoide, miden entre 5 y 6 micrómetros de diámetro y contienen en su interior 4 esporozoítos, que son otra forma biológica del parásito protegida dentro de los ooquistes (Pezzani et al., 2023, pp.69-70). En la figura 1 se muestra el ciclo biológico del parásito.

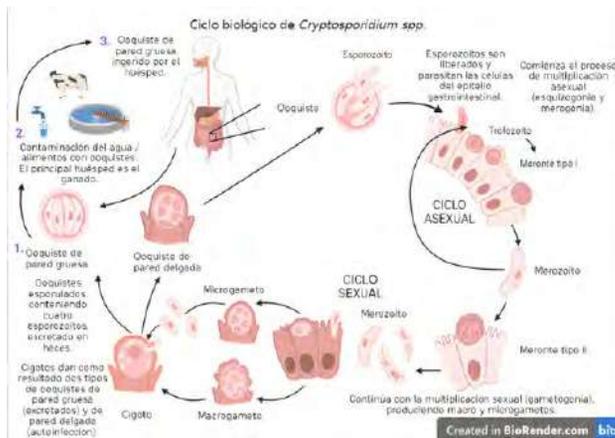


Figura 1. Ciclo de vida de *Cryptosporidium*. Comienza con la ingesta de un pequeño número de ooquistes, aproximadamente 30 de ellos, para causar una infección. Dentro del individuo, los ooquistes se abren en el sistema digestivo y se liberan cuatro esporozoitos que infectan a las células intestinales. En las células del intestino del huésped, el parásito se transforma y pasa por otras fases de su ciclo biológico, con formas asexuales y otras sexuales de reproducción, hasta que finalmente se generan nuevos ooquistes maduros que son expulsados en las heces del huésped para poder infectar a otros individuos (figura basada en la referencia de Pezzani et al., 2023). Elaborado en BioRender.com

La infección se puede transmitir por el consumo de agua o de alimentos contaminados con los ooquistes, generalmente verduras y algunas frutas, en la tabla 1 se muestran algunos ejemplos reportados (Nasser, 2022). También se puede transmitir por el agua de albercas públicas mal cloradas, por contacto con animales infectados o de persona a persona por un contacto físico estrecho (Figura 2).

Tabla 1. Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* en vegetales frescos (Nasser, 2022). Presencia de ooquistes de *Cryptosporidium* en vegetales frescos de diversos países

Tipo de alimento vegetal	Presencia de ooquistes (%)	País
Lechuga romana	77.7	España
Lechuga italiana	75	
Lechuga china	33.3	
Col, arándano azul, zanahoria	33	Corea del Sur
Lechuga, perejil, cilantro, moras	100	Costa Rica
Lechuga, poro, cebollín, espinaca, albaca, perejil	20	Perú
Lechuga	48	Nigeria
Espinaca	40	
Tomate	32	

Tabla 1. Se presentan ejemplos de la identificación de ooquistes de *Cryptosporidium* en muestras de diferentes vegetales, se muestra el porcentaje del total de las muestras analizadas. También se indican los países donde se realizó la observación.

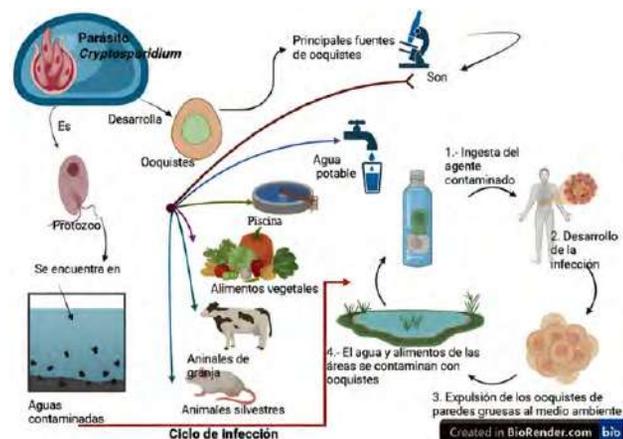


Figura 2. Formas de transmisión de *Cryptosporidium* en el entorno. Los ooquistes de *Cryptosporidium* son expulsados en las heces de los animales y los humanos infectados con el parásito y pueden contaminar el agua potable, el agua de albercas públicas y diversos alimentos. Elaborado en BioRender.com

### La criptosporidiosis, una enfermedad desatendida.

*Cryptosporidium* se identificó como un microorganismo causante de infección en humanos en 1976. Luego, a principios de la década de 1980, la criptosporidiosis se reconoció como la principal causa de diarrea crónica en pacientes con SIDA, de diarrea transmitida por el agua y como causa de diarrea en niños (Current et al., 1983). Sin embargo, la gran importancia de *Cryptosporidium* en la salud pública

se reconoció hasta el año de 1993, cuando se reportó un gran brote epidémico por la contaminación de aguas de consumo humano con ooquistes del parásito, lo cual afectó a más de 400,000 personas, causando 67 muertes, en Milwaukee, Wisconsin, E.E.U.U. Desde ese momento se impulsó la investigación científica de la biología básica del parásito, métodos de detección y estrategias para la prevención y tratamiento (Mac Kenzie et al., 1994).

Se considera que más de una quinta parte de la población mundial vive en la pobreza extrema, donde la falta de agua potable y de saneamiento adecuado ocasionan y mantienen unas altas tasas de infecciones gastrointestinales y de diarrea causadas por diversos patógenos (Guerrant et al., 2013). La criptosporidiosis es una enfermedad gastrointestinal que se suele presentar como una diarrea acuosa sin presencia de sangre, dolor abdominal, vómito, náuseas, pérdida de apetito, pérdida de peso, fatiga, deshidratación y fiebre, entre otros síntomas relacionados. En raras ocasiones la infección se puede expandir al tracto respiratorio (Pérez y Girón, 2022). Afecta principalmente a las niñas y los niños menores de 5 años de edad y a individuos cuyo sistema inmunológico está debilitado (inmunodeficientes) y no los protege adecuadamente, por ejemplo: pacientes con VIH / SIDA, con algún tipo de cáncer o que recibieron un trasplante de un órgano, también personas con desnutrición severa, entre otros. Por otro lado, afecta con menor frecuencia a individuos adultos cuyo sistema inmunológico funciona bien (inmunocompetentes). Los síntomas generalmente comienzan de dos a diez días después de haber ingerido los ooquistes del parásito. En algunos individuos la infección puede ser asintomática, en otros puede haber síntomas leves por una o dos semanas, mientras que en los individuos inmunodeficientes la infección puede ser crónica e incluso ocasionar la muerte (Gómez Sandoval y Aguirre García, 2017; Khan y Witola, 2023).

Se conocen varias especies de *Cryptosporidium* que pueden parasitar a diversos animales y algunas de ellas pueden infectar al ser humano, por lo tanto, se considera un microorganismo causante de zoonosis. Cabe mencionar que las zoonosis son enfermedades que se transmiten de forma natural de los animales vertebrados a los humanos y se han reportado más de 200 tipos de zoonosis (Organiza-

ción Mundial de la Salud, 2023, Zoonosis). Un estudio científico en España, en el año 2020, describió un detallado análisis de los parásitos intestinales del zorro rojo (*Vulpes vulpes*) en la región de Galicia. En dicho estudio, se identificaron cinco especies de *Cryptosporidium*, donde destacaron: *C. hominis* y *C. parvum*, que también son patógenos en humanos. La detección de dichos microorganismos sugirió que existe una transmisión activa entre los animales silvestres y los de granja, lo que plantea la posibilidad de transmisión al ser humano y la generación de casos de criptosporidiosis (Barrera et al., 2020).

La frecuencia de casos nuevos reportados de criptosporidiosis es variable, depende de las características socioeconómicas de una población y es más frecuente en los lugares con problemas de infraestructura para el agua potable. El mayor número de casos de criptosporidiosis, sucede en países con altos índices de pobreza e insalubridad. A pesar del conocimiento actual de la criptosporidiosis, se considera que no se tiene suficiente investigación científica sobre dicha enfermedad y la presencia detallada del parásito en diversas regiones del planeta, por lo cual, existe cierta preocupación internacional sobre el panorama de la criptosporidiosis a nivel global. Se estima que está sustancialmente poco diagnosticada y reconocida, que los tratamientos son subóptimos y que las medidas preventivas son incompletas. Incluso en países desarrollados como E.E.U.U., donde los diagnósticos modernos están ampliamente disponibles, las estimaciones indican que solo alrededor del 1 % de los casos se diagnostican y notifican (Checkley, et al 2015). Además, la vigilancia microbiológica de la calidad de agua potable en algunos países sólo está enfocada a certificar la ausencia de la bacteria *Escherichia coli*, bacterias “coliformes fecales” u organismos termotolerantes. No se cuenta con un método de cultivo en laboratorio para *Cryptosporidium* y los ooquistes resisten temperaturas entre -20 °C hasta 60 °C (Gururajan et al., 2021; Omarova et al., 2018).

Es importante mencionar que hay datos de epidemiología que indican que México tiene una alta prevalencia de casos de criptosporidiosis (Dong et al., 2020), por lo tanto debería ser considerado un tema importante para nuestro país (figura 3). Resultaría relevante cuantificar la magnitud de la criptosporidiosis

en diversas regiones de México y actualizar los sistemas de purificación y certificación de calidad del agua que se brinda a la población (Ponce, 2022).

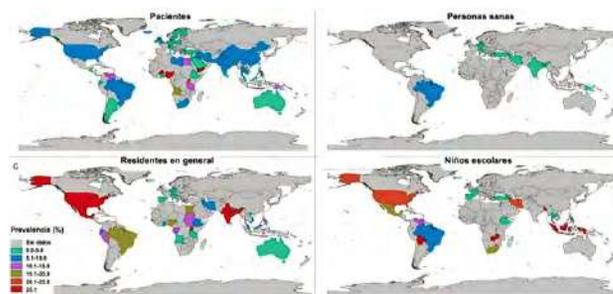


Figura 3. Mapa de la prevalencia conjunta de la infección por *Cryptosporidium* en países agrupados por poblaciones. Un grupo de investigadores reportó la prevalencia de la infección por *Cryptosporidium* en 69 países. La prevalencia más alta se encontró en México, Nigeria, Bangladesh y la República de Corea entre personas residentes en general, pacientes, niños escolares y población sana, respectivamente. En los países sin una prevalencia estimada no significa que no haya infección por *Cryptosporidium*, sino que esos países no hubo estudios disponibles. La Organización Mundial de la Salud define a la prevalencia como una medida de la frecuencia de ocurrencia de casos nuevos de una enfermedad dentro de una población definida durante un período específico de tiempo. La figura fue tomada y adaptada de la referencia de Dong et al., 2020. Prevalence of *Cryptosporidium* Infection in the Global Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acta parasitologica*, 65(4), 882–889. <https://doi.org/10.2478/s11686-020-00230-1>

La pandemia que vivimos por el virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19, nos demostró que cada país tiene una clara responsabilidad en identificar y monitorear aquellas enfermedades con un alto potencial de transmisión entre la población. La situación que vivimos, nos dio un ejemplo de lo rápido que puede propagarse una enfermedad infecciosa de origen zoonótico por todo el planeta, en nuestra época (González-Duarte, 2020)

### ¿Cómo podemos detectar a *Cryptosporidium*?

La respuesta está en la ciencia y en el trabajo en el laboratorio. Existen métodos para el diagnóstico microbiológico en laboratorio que resultan bastante eficientes para identificar al parásito en muestras de pacientes infectados (Neira et al., 2010). Algunas técnicas moder-

nas implican la detección molecular del ADN del parásito en las muestras de los pacientes infectados, pero lamentablemente no son accesibles en la mayoría de laboratorios. Entre las más utilizadas están las tinciones como la de Ziehl-Neelsen o la de Kinyoun para observar los ooquistes de *Cryptosporidium* con el microscopio óptico (Torres Murillo et al., 2019).

En ese caso, para el diagnóstico es necesario solicitar una muestra de heces al paciente por varios días, para poder detectar los ooquistes (figura 4). En cuanto al tratamiento médico, el único fármaco aprobado en la actualidad es la nitazoxanida (Khan y Witola, 2023).

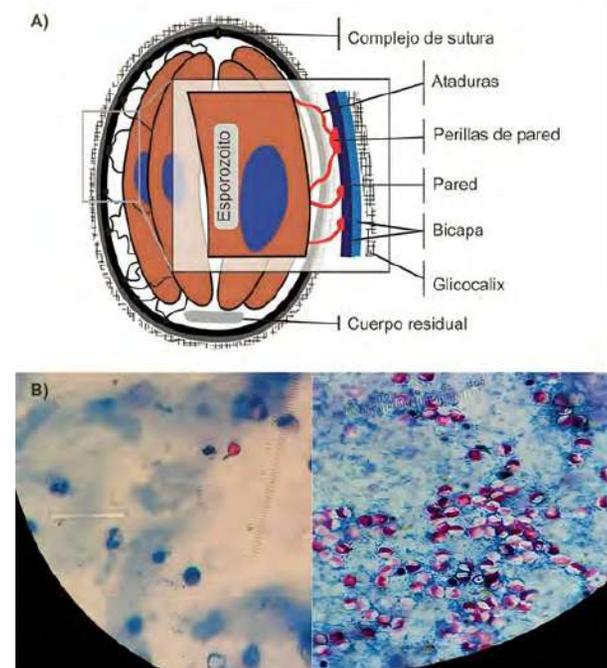


Figura 4. Ooquistes de *Cryptosporidium* y su detección en el laboratorio. A) Los ooquistes de *Cryptosporidium* son esféricos u ovoides, miden entre 5 y 6  $\mu\text{m}$  de diámetro y contienen en su interior 4 esporozoitos periféricos y un cuerpo residual central. Tienen una pared que puede ser delgada o gruesa y los hace resistentes a la desecación y a varios desinfectantes (físicos y químicos) permitiéndoles sobrevivir fuera del cuerpo durante largos periodos. B) Resultado positivo de la tinción de Kinyoun modificada en una muestra de esputo (izquierda) y en una muestra de heces (derecha) de un paciente infectado. Se considera positiva cuando existe presencia de estructuras de color escarlata, ya que son los ooquistes del parásito (el esquema en (A) está adaptado de la referencia de Lendner y Dauschies, 2014; las imágenes de (B) fueron obtenidas del artículo de Pérez y Girón, 2022).

## El temible *Cryptosporidium*: un potencial agente de bioterrorismo

La gran capacidad de diseminación de ooquistes de *Cryptosporidium* en el agua permite que puedan llegar fácilmente a gran número de personas en una población y por eso se ha considerado como un agente de bioterrorismo. Además, se requiere ingerir un pequeño número de ooquistes, tan sólo 30, para que pueda ocurrir una infección. Si consideramos que es altamente contagioso y resistente a los desinfectantes comunes, como el cloro, comprenderemos lo que lo hace especialmente peligroso en caso de un ataque deliberado con este parásito. Además, el *Cryptosporidium* puede causar brotes de enfermedades graves y potencialmente mortales, especialmente en personas con sistemas inmunológicos debilitados. En un escenario de bioterrorismo, el *Cryptosporidium* podría ser utilizado para contaminar fuentes de agua potable o alimentos, lo que podría provocar la propagación masiva de la enfermedad y causar un gran número de víctimas. Por estas razones, las agencias de seguridad y salud pública en varios países están monitoreando constantemente la presencia de *Cryptosporidium* en el medio ambiente y trabajando para desarrollar medidas preventivas y tratamientos efectivos en caso de un ataque de bioterrorismo (Hagen et al., 2014).

## Conclusión

La criptosporidiosis se considera un problema de salud pública mundial debido a que se presentan brotes en humanos, animales de granja, mascotas y animales silvestres, principalmente en países y regiones de escasos recursos y con una alta carga de contaminación ambiental. Por lo tanto, se requieren estrategias para el control y la prevención de dicha enfermedad. Para prevenir la criptosporidiosis, es importante lavarse las manos con frecuencia, especialmente después de usar el baño o manipular alimentos crudos, y evitar beber agua de fuentes no tratadas o contaminadas. También se recomienda cocinar bien los alimentos y evitar el contacto directo con personas o animales enfermos.

En nuestro caso, nos interesa estudiar la presencia de este protozoario en la región de Teziutlán, Puebla, donde se ubica nuestro complejo regional de la BUAP, enfocado en el área de las ciencias de la salud.

## Declaración de privacidad.

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Declaración de no Conflicto de intereses.

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

## Agradecimientos.

Agradecemos a la BUAP por promover la divulgación de la ciencia y a la VIEP por el programa Haciendo Ciencia en la BUAP primavera XVI 2023, que nos ha permitido iniciar la promoción de la investigación científica con estudiantes de Medicina General y Comunitaria del Complejo Regional Nororiental de la BUAP, en Teziutlán.

## Referencias

Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (2023, 31 de marzo). Acerca de los parásitos. <https://www.cdc.gov/parasites/es/about.html>

Checkley, W., White, A. C., Jr, Jaganath, D., Arrowood, M. J., Chalmers, R. M., Chen, X. M., Fayer, R., Griffiths, J. K., Guerrant, R. L., Hedstrom, L., Huston, C. D., Kotloff, K. L., Kang, G., Mead, J. R., Miller, M., Petri, W. A., Jr, Priest, J. W., Roos, D. S., Striepen, B., Thompson, R. C., ... Houpt, E. R. (2015). A review of the global burden, novel diagnostics, therapeutics, and vaccine targets for *Cryptosporidium*. *The Lancet. Infectious diseases*, 15(1), 85–94. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70772-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70772-8)

Hernández-Gallo, N., Hernández-Flórez, L. J., & Cortés-Vecino, J. A. (2018). Criptosporidiosis y «Una Salud». *Revista de Salud Pública*, 20, 138-143.

Gómez Sandoval, J. N., & Aguirre García, M. M. (2017). Criptosporidiosis. *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias*, 68(1), 22-25.

Lendner, M., & Dauschies, A. (2014). *Cryptosporidium* infections: molecular advances. *Parasitology*, 141(11), 1511–1532. <https://doi.org/10.1017/S0031182014000237>

Pezzani, B. C., Radman, N. E., Gamboa, M. I., & Mastrantonio Pedrina, F. L. (2023). *Cryptosporidium* spp. En *Parasitología comparada. Modelos parasitarios. Parte I. Protozoos*. (pp: 69-77). Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149190>

Nasser A. M. (2022). Transmission of *Cryptosporidium* by Fresh Vegetables. *Journal of food protection*, 85(12), 1737–1744. <https://doi.org/10.4315/JFP-22-152>

Current, W. L., Reese, N. C., Ernst, J. V., Bailey, W. S., Heyman, M. B., & Weinstein, W. M. (1983). Human cryptosporidiosis in immunocompetent and immunodeficient persons. Studies of an outbreak and experimental transmission. *The New England Journal of Medicine*, 308(21), 1252–1257. <https://doi.org/10.1056/NEJM198305263082102>

Mac Kenzie, W. R., Hoxie, N. J., Proctor, M. E., Gradus, M. S., Blair, K. A., Peterson, D. E., Kazmierczak, J. J., Addiss, D. G., Fox, K. R., & Rose, J. B. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *The New England journal of medicine*, 331(3), 161–167. <https://doi.org/10.1056/NEJM199407213310304>

Guerrant, R. L., DeBoer, M. D., Moore, S. R., Scharf, R. J., & Lima, A. A. (2013). The impoverished gut--a triple burden of diarrhoea, stunting and chronic disease. *Nature reviews. Gastroenterology & hepatology*, 10(4), 220–229. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2012.239>

Pérez, J. R. Á., & Girón, F. S. (2022). Criptosporidiosis pulmonar. Reporte de un caso y revisión de la literatura. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 41(4), 168-172.

Khan, S. M., & Witola, W. H. (2023). Past, current, and potential treatments for cryptosporidiosis in humans and farm animals: A comprehensive review. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 13, 1115522. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2023.1115522>

Organización Mundial de la Salud (2023, 31 marzo). Zoonosis. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/zoonoses#:~:text=Una%20zoonosis%20es%20una%20enfermedad,y%20existentes%20en%20los%20humanos.>

Barrera, J. P., Carmena, D., Rodríguez, E., Checa, R., López, A. M., Fidalgo, L. E., ... & Montoya, A. (2020). The red fox (*Vulpes vulpes*) as a potential natural reservoir of human cryptosporidiosis

by *Cryptosporidium hominis* in Northwest Spain. *Transboundary and emerging diseases*, 67(5), 2172-2182.

Gururajan, A., Rajkumari, N., Devi, U., & Borah, P. (2021). *Cryptosporidium* and waterborne outbreaks - A mini review. *Tropical parasitology*, 11(1), 11-15. [https://doi.org/10.4103/tp.TP\\_68\\_20](https://doi.org/10.4103/tp.TP_68_20)

Omarova, A., Tussupova, K., Berndtsson, R., Kalishev, M., & Sharapatova, K. (2018). Protozoan Parasites in Drinking Water: A System Approach for Improved Water, Sanitation and Hygiene in Developing Countries. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 495. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030495>

Dong, S., Yang, Y., Wang, Y., Yang, D., Yang, Y., Shi, Y., Li, C., Li, L., Chen, Y., Jiang, Q., & Zhou, Y. (2020). Prevalence of *Cryptosporidium* Infection in the Global Population: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acta parasitologica*, 65(4), 882-889. <https://doi.org/10.2478/s11686-020-00230-1>

Ponce, H. D. (2022). Criptosporidiosis. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 41(4), 135-136.

González-Duarte, R.J. (2020, agosto). Las zoonosis representan amenazas latentes a la salud pública que deben ser estudiadas y vigiladas a nivel global. Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología, DiCYT. <https://www.dicyt.com/noticias/las-zoonosis-representan-amenazas-latentes-a-la-salud-publica-que-deben-ser-estudiadas-y-vigiladas-a-nivel-global>

Neira, P., Muñoz, N., & Rosales, M. J. (2010). Infección por *Cryptosporidium parvum* en una mujer embarazada, inmunocompetente, con riesgo ocupacional. *Revista Chilena de Infectología*, 27(4), 345-349.

Torres Murillo, B. J., Collazo López, E. M., Mosqueda Gómez, J. L., Álvarez Canales, J. A., & Aguirre Trigueros, J. (2019). Tinción de Kinyoun para el diagnóstico de *Cryptosporidium* spp. *Acta médica Grupo Ángeles*, 17(2), 179-180.

Hagen, R. M., Loderstaedt, U., & Frickmann, H. (2014). An evaluation of the potential use of *Cryptosporidium* species as agents for deliberate release. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 160(4), 289-294. <https://doi.org/10.1136/jramc-2013-000186>

# APROVECHAMIENTO DEL BAGAZO DE CAFÉ, UNA ALTERNATIVA PARA ENRIQUECER ALIMENTOS A PARTIR DE RESIDUOS

## COFFEE BAGASSE, A NEW ALTERNATIVE TO ENRICH FOODSTUFFS FROM WASTE

Brenda Montserrat González-Vázquez\*  
Minerva Rosas-Morales\*  
Dalia Castillo Hernández\*\*  
Ada María Ríos-Cortés\*\*

1 Centro de investigación en Biotecnología Aplicada  
Instituto Politécnico Nacional Ex-Hacienda San Juan Molino  
Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5 Tlaxcala, México  
C.P. 90700

[bgonzalezv2102@alumno.ipn.mx](mailto:bgonzalezv2102@alumno.ipn.mx)

## Abstract

Coffee is one of the most popular beverages consumed worldwide. In addition to its rich flavor and its high caffeine content, it presents properties that confer it the name of “functional food”, thanks to the benefits that it provides directly to the health of consumers. Among the benefits are a series of bioactive compounds such as phenolic compounds, chlorogenic acid, caffeic acid and some important alkaloids such as trigonelline and caffeine, whose main objective is to avoid oxidative damage to the cells in the organism. For this and many other reasons, coffee is of great importance in the world. In Mexico it is estimated that approximately 84% of the population consumes soluble coffee, while 20.8% of the population consumes roasted and ground coffee also known as “gourmet coffee” or “café de cafetera”. In Mexico it is estimated that the per capita consumption is 1.7 kg. The coffee elaboration process generates an important amount of bagasse or coffee grounds which is considered waste material; this contains important compounds that can be used by the food or cosmetic industry, for which reason alternatives are being sought to take advantage of them. The main purpose of this article is to present the strategies that can be implemented for the recovery of phenolic compounds from coffee bagasse, using this residue for its maximum utilization in the food, pharmaceutical, cosmetic, etc. industries, on the other hand, this will have a high impact on the environment, minimizing environmental contamination.

**Keywords:** Coffee bagasse, functional food, antioxidants, phenolic compounds.

## Resumen

El café es una de las bebidas más populares consumidas a nivel mundial. Además de su rico sabor y su alto contenido de cafeína, presenta propiedades que le confieren el nombre de “alimento funcional”, gracias a los beneficios que le proporciona directamente a la salud de los consumidores. Dentro de los beneficios destacan una serie de compuestos bioactivos como por ejemplo; compuestos fenólicos, ácido clorogénico, ácido cafeico y algunos alcaloides importantes tales como trigonelina y cafeína, los cuales tienen como objetivo principal evitar el daño oxidativo de las células en el organismo. Por esta y muchas razones más, el café tiene gran importancia en el mundo. En la república mexicana se estima que un aproximado del 84% de la población consume café soluble, mientras que el 20.8% de la población consume café tostado y molido también denominado “café gourmet” o “café de cafetera”. En México se estima que el consumo per cápita es de 1.7 kg, el proceso de elaboración de café genera una cantidad importante de bagazo o borra del café el cual es considerado materia de desecho, este contiene compuestos importantes que pueden ser aprovechados por la industria alimentaria o cosmética, por lo cual se buscan alternativas para aprovecharlos. El propósito principal de este artículo es dar a conocer las estrategias que se pueden implementar para la recuperación de compuestos fenólicos del bagazo de café, utilizando este residuo para su máximo aprovechamiento, en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética etc., por otra parte, esto tendrá alto impacto en el medio ambiente minimizando la contaminación ambiental.

**Palabras clave:** Bagazo de café, alimento funcional, antioxidantes, compuestos fenólicos.

## INTRODUCCIÓN

El café es una de las infusiones más populares consumidas a nivel mundial. Este producto es obtenido a partir de los frutos de café también denominados “cereza de café”, los cuales previamente pasarán por un proceso de tostado y molido. Existen diversos factores ambientales, como el clima, la zona geográfica, la ubicación, entre otros, que determinan la calidad en taza, contribuyendo atributos sensoriales en cuanto a sabor, textura, firmeza, aroma y color, México produce al año aproximadamente 944.413 toneladas, estimando una cantidad exorbitante a nivel mundial. Existen dos especies principales para la producción de café, *Coffea arabica* (69-74%) y *Coffea robusta* (23-30%) estas últimas utilizadas para los cafés solubles (Alves, R. C., et al. 2017). Si bien el café es consumido como bebida y a generado un alto impacto a nivel industrial y económico por las grandes cantidades que se producen al año, se presentan problemáticas ambientales dentro de las que destacan el deficiente tratamiento de aguas por la generación excesiva de residuos de este producto tales como lo son la cáscara, pulpa, piel y bagazo (Nitthikan, N., et al. 2018).

El bagazo es uno de los subproductos de café que a tenido alto impacto a nivel ambiental derivado de la generación por la preparación de bebidas de café, la cual se estima que representa aproximadamente el 45%, siendo este, un resultado significativo que afecta principalmente a la comunidad (Chacón-Figueroa, et al. 2022). A pesar de que representa el 10% en peso seco del grano de café, el bagazo representa una amenaza si existe esta generación excesiva por las industrias de café, cafeterías, y consumo de la bebida preparada en cafetera desde casa (Torres-Valenzuela, L. S., et al. 2020). Aunque existen alternativas para su uso como biofertilizante, biocombustible, o inclusive como mascarillas en la industria cosmética y alimento para ganado, existe una nueva estrategia que se puede implementar para poder utilizar los componentes del café que se quedan resguardados en este residuo, ya que es rico en proteínas, lignina, polisacáridos, minerales como el potasio, que es el más abundante, grasas como el ácido palmítico y linoleico, vitamina E, fibra dietética, y compuestos formados por las reacciones de Maillard como las melanoidinas (Rochín-Medina, J. J., et al. 2018). Existen compuestos a nivel bioquí-

mico que se encargan de evitar el daño celular oxidativo, mejorando la calidad de vida del consumidor, estos compuestos son denominados “antioxidantes” y por ende, tiene efectos benéficos en el organismo de aquellos que lo consumen en su dieta diaria. El ácido cafeico y clorogénico son los compuestos fenólicos más importantes del bagazo del grano de café, ya que desempeñan la función anteriormente mencionada, aunque también destaca por la mejora de los atributos sensoriales de la bebida (Solomakou, N., et al. 2022).

## CULTIVO DE CAFÉ

La cultura de la siembra y cosecha de café, también denominada “cafecultura” es una actividad de gran importancia para la población indígena y campesina que reside en las áreas montañosas del centro y sureste de México (principales zonas de cultivo de café), debido a que la producción y venta de este grano ha permitido obtener una gran cantidad de ingresos económicos los cuales sirven de apoyo para la comunidad cafetalera (Fonseca-S. A. 2006). En México, el cultivo de café representa una alternativa viable para mejorar las condiciones de vida de los pequeños productores cafetaleros (ver Figura 1). La producción óptima y calidad en taza del café está directamente relacionada con la calidad de su desarrollo en todas las etapas de su crecimiento. El café por ser un cultivo perenne su ciclo de vida en condiciones comerciales puede superar los 20-25 años; dependiendo del sistema de cultivo (Barva-H. et al. 2011). Bajo las diferentes condiciones climáticas en que se desarrolla el cultivo de café, se presentan problemáticas en la producción y comercialización las cuales son afectadas por factores como: baja rentabilidad, falta de estímulos para la producción del café, precios bajos que ponen en riesgo la venta de café, y las diversas plagas y enfermedades que afectan directamente a los cafetos y al producto final (Morales-Antonio, M. et al. 2019). Además, los predios están en zonas de difícil acceso, lo que dificulta la atención adecuada de la zona de cultivo (Figueroa-Hernández, E. et al. 2015).



*Figura 1. Cafetos (Coffea arabica). Cultivos de la zona nororiental del estado de Puebla (Municipio de Huitzilán de Serdán Pue). Imagen capturada por el autor Brenda Montserrat González Vázquez en 2022.*

## MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CAFÉ PARA LA GENERACIÓN DE BAGAZO

Cuando hablamos del procesamiento de café, nos referimos a la serie de pasos que se deben seguir para poder producir esta materia prima consumida a nivel mundial. La mayoría de ellos se encuentran desarrollados en el proceso de “beneficiado”, el cual lleva a cabo procesos de fermentación, lavado, selección, torrefacción y molienda de los granos de café con el fin de obtener calidad con alto contenido nutrimental en taza (ver Figura 2). Una vez generado el café en forma de grano tostado o grano molido, se procede a su distribución y comercialización en centros comerciales, tiendas locales e inclusive cafeterías, las cuales ya están destinadas para comercializar este producto y ser consumido directamente por el cliente. El último de los pasos que se lleva a cabo en el proceso de producción es la extracción o lixiviado, o bien, generación de la bebida de café. Es por ello que existen diferentes métodos de extracción de café, los cuales han tenido un alto impacto en la sociedad derivado del arte que conlleva el poder elaborar la infusión de esta bebida. A este tipo de extracción comúnmente se le denomina en química “extracción sólido-líquido”, en donde los parámetros involucrados en el proceso tendrán un efecto significativo cuando se realiza el análisis en la cinética de extracción de los diferentes compuestos que están presentes en el café tostado. La torrefacción es un punto clave en el desarrollo de los diferentes compuestos que

se encuentran presentes en el café, ya que existen reacciones bioquímicas las cuales producen infinidad de compuestos fenólicos, volátiles y aquellos que mejoran las cualidades sensoriales y organolépticas del café. Los métodos de preparación del café son diferentes de acuerdo al entorno social, cultural y geográfico, pero sobre todo se toman en cuenta las preferencias personales del consumidor (Mestdagh. et al. 2017). En la mayoría de los casos se requiere del contacto directo con agua caliente con los sólidos del café previamente tostado y molido, para poder realizar la infusión por el arrastre y la conservación de compuestos con esta temperatura (Moroney. et al. 2015). En general, el proceso de extracción de café se divide principalmente en dos temperaturas (altas y bajas) y esto depende del entorno en el que se encuentre y los requerimientos que se establecen (Muzykiewicz-Szymańska. et al. 2021). Los métodos de preparación de café caliente más populares incluyen la técnica turca, el expreso, los filtros (V6o, aeropress, prensa francesa entre otros).

Los métodos simples de maceración (Caprioli. et al. 2014). El expreso es una de las bebidas favoritas consumidas a nivel internacional. Durante el proceso de preparación, el café molido se presuriza brevemente con agua caliente usando una percoladora para producir una pequeña dosis de expreso (Stanek, N. et al. 2021). Existen diversas formas de utilizar los filtros de café, la más conocida es la V6o. En el método V6o, el café molido se prepara con agua entre 96 y 98°C en una unidad de preparación cónica. Esta cafetera consta de tres partes: el gotero de tapa cónica, el papel de filtro y el recipiente de vidrio. En este proceso, se vierte el agua en el V6o para crear un pequeño agujero en medio del café molido, esto con el fin de humedecerlo un poco y que comience la infusión (De-Figueiredo-Tavares. et al. 2020). Las técnicas de preparación del café que no utilizan altas temperaturas durante la extracción incluyen el goteo en frío, el macerado o el prensado francés en frío, también denominado “Cold Brew” (ver Figura 3) .



Figura 2. Proceso de beneficiado húmedo de café. La figura ilustra el proceso de producción de café denominado “beneficiado húmedo” en el cual se lleva a cabo fermentación, lavado, selección, torrefacción y molienda de los granos de café. Imagen capturada por el alumno Erick Xavier Escobar Hernández.



Figura 3. Métodos de extracción de café. A continuación se observan los métodos más populares para obtener la bebida de café dentro de los cuales se encuentran goteo, chemex, oroley, aeropress, V60 y espresso, etc. <https://disfrutacafe.wixsite.com/disfrutacafe/post/m%C3%A9todos-de-preparaci%C3%B3n-de-caf%C3%A9-tienes-que-conocerlos>

## BAGAZO DE CAFÉ

El bagazo de café es un desecho orgánico constituido por el grano molido, tostado y procesado para la extracción de café, el cual, si no se trata durante un tiempo prolongado, expulsa olores desagradables los cuales son producidos a partir de la gran cantidad de compuestos en descomposición que sufren cambios generando compuestos aromáticos indeseables, transformándose en un medio óptimo para la proliferación de microorganismos y plagas (Hidalgo Segovia, C. S., & Rivera Garcés, S. G. 2018).

Este residuo se obtiene a partir del procesamiento del café, siendo ésta, una fuente importante de metabolitos como polisacáridos y

compuestos fenólicos, con propiedades funcionales derivadas de su actividad antioxidante y antimicrobiana (Larez, F.L.G., et al. 2021). El “bagazo o borra de café” es el subproducto que abarca alrededor del 30% de la producción mundial procesada para café soluble (ver Figura 4) (Campos-Vega, R. et al. 2015). Este residuo tiene un tamaño de partícula fina, contenido de humedad (entre el 80 y el 85%) y contiene grandes cantidades de compuestos orgánicos con un alto valor nutrimental pudiendo utilizarse como un producto con valor agregado. Gracias a las propiedades mencionadas anteriormente, estos residuos sólidos de café abren una amplia variedad de aplicaciones para su reutilización en diferentes procesos biotecnológicos como, por ejemplo; su uso como aditivo para evitar el deterioro de los alimentos (Equivel-P. et al. 2012). Todas estas características hacen de este material de desecho del café, una materia prima idónea para su revalorización en diferentes ambientes industriales. Cuando se realiza la extracción del café el bagazo presenta una apariencia de color café oscuro, humedad del 80% y muestra un cambio de coloración a café claro cuando disminuye la humedad hasta un 5% o 10%. De acuerdo con lo citado por Marcelo. et al., en 2017, los residuos del café se consideran ricos en compuestos tales como la cafeína, taninos y polifenoles. Actualmente, se generan grandes cantidades de residuos que deben tratarse adecuadamente para minimizar su impacto negativo, ya que contaminan suelos y aguas de riego, convirtiéndose en un peligro para la sociedad. Una gestión adecuada de los residuos ayudará a reducir no solo el impacto ambiental, sino también el económico. Hasta ahora, los mayores avances se han logrado en su utilización para fines industriales distintos de la industria alimentaria, como la producción de energía, la adsorción de compuestos tóxicos y la manufactura de productos industriales, obtención de etanol (Sagredo-Acitores, M. et al. 2020).



Figura 4. Bagazo de café. La figura nos muestra el residuo generado a partir de la obtención de la bebida de café, es decir el bagazo. [https://www.bioguia.com/ambiente/10-usos-creativos-para-los-restos-del-cafe\\_29281871.html](https://www.bioguia.com/ambiente/10-usos-creativos-para-los-restos-del-cafe_29281871.html).

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BAGAZO DE CAFÉ

Al igual que el café, el bagazo es rico en compuestos antioxidantes tales como lo son el ácido clorogénico, ácido cafeico, elálgico, trigonelina, etc (Puertas-I. et al. 2013). Los compuestos bioactivos de estos subproductos pueden utilizarse en la producción de bebidas envasadas, productos de alto consumo como lácteos y jugos, productos de panadería actuando como antioxidantes y colorantes, así como en la industria farmacéutica, cosmética, agrónoma entre otras. Además, tienen aplicaciones en productos antienviejecimiento y antiarrugas como agentes protectores en diferentes cosméticos (Bondam-A. F. et al. 2022). El procesamiento y obtención de los subproductos del café ha captado la atención de investigadores y productores industriales de todo el mundo. Especialmente, el aumento de la producción anual de café ha dado lugar a un incremento asociado a la cantidad de residuos sólidos generados; es por ello que en la actualidad, se ha aumentado la búsqueda de la funcionalidad biológica y las aplicaciones tecnológicas de este material de desecho. Además, el potencial de reutilización de subproductos en las industrias alimentaria y farmacéutica ha llamado la atención debido al desarrollo de nuevas tecnologías para la extracción y recuperación eficiente de este tipo de compuestos (De-Melo. M. et al. 2017). El potencial antioxidante y antimicrobiano de los extractos de este tipo subproductos del café sugiere su adición a matrices alimentarias, lo que podría aumentar su valor y vida de anaquel al tiempo

que se valorizan estos productos. Pues si bien, se amplían los mercados con ingredientes innovadores y ecológicos, se contribuye al desarrollo sostenible utilizando fuentes alternativas para obtener compuestos bioactivos con potencial valor de mercado para las diferentes industrias en las que se utilice (Sagredo-Acitores, M. et al. 2020). Por ejemplo, la adición de extractos ricos en compuestos antioxidantes podría permitir el desarrollo de formulaciones cosméticas, alimentarias y farmacéuticas producidas a partir de extractos de subproductos del café, las cuales reducen la carga microbiana de los alimentos, o inclusive de los productos que se coloquen en la dermis para prolongar la vida útil y aumentar el contenido de antioxidantes naturales, ofreciendo así opciones a los consumidores que buscan cada vez más alimentos y productos seguros con ingredientes bioactivos y alto potencial nutricional (Bondam-A. F. et al. 2022).

## COMPUESTOS BIOACTIVOS DE BAGAZO DE CAFÉ

Algunos de los compuestos que destacan en el bagazo de café son el ácido cafeico y clorogénico, los cuales suscitan gran interés por sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria, aunque también tiene gran impacto en la industria cosmética (Costa, A. S., et al. 2014). La producción de alimentos y bebidas funcionales ha aumentado debido a sus beneficios para la salud de los consumidores, es por ello que los compuestos fenólicos generados durante el proceso de torrefacción del grano de café y la elaboración de la bebida juegan un rol importante en el organismo, ya que mejoran la salud de aquellos que la consumen (Herawati, D., et al 2019). Un ejemplo de ello se demuestra en la aplicación, uso y manejo de antioxidantes en alimentos funcionales que se han relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y tumorales. Esta aplicación, ha tenido un impacto positivo en la salud humana y está asociado al contenido o la adición de compuestos bioactivos en los alimentos como alternativa emergente (Torres-Valenzuela, L. S., et al. 2020). Los compuestos fenólicos, como el ácido cafeico y clorogénico se encuentran entre los principales compuestos bioactivos utilizados en alimentos y bebidas funcionales, clasificándose como compuestos con actividad antioxidante.

Los compuestos fenólicos se biosintetizan a partir de las plantas para actuar como bioestimulantes durante el crecimiento vegetal, es por ello que se encuentran de forma nativa en las plantas de café (Arai, K., et al. 2015). Estos compuestos fenólicos tienen propiedades biológicas como antiinflamatorias, anticancerígenas, antialérgicas, antivirales y antioxidantes (Solomakou, N., et al. 2022). Como definición principal se puede mencionar que los compuestos con actividad antioxidante que inhiben, detienen o controlan la oxidación de un sustrato, permiten la interacción entre los radicales libres, neutralizando el daño celular oxidativo que pueden llegar a generar (Pearson, J. L., et al. 2014). Este compuesto antioxidante puede prevenir o retrasar significativamente la oxidación del sustrato, una característica a considerar como aditivo funcional en bebidas y mejorar las propiedades biológicas de los alimentos funcionales (Costa, A. S., et al. 2014).

## APROVECHAMIENTO DE BAGAZO DE CAFÉ

Existen diversas estrategias que se han implementado en las diferentes áreas de la ciencia, las cuales tienen como objetivo principal, transformar los residuos del café (bagazo) aprovechando las propiedades benéficas que tienen los compuestos activos que se encuentran en él.

Aplicaciones del bagazo de café:

1. Aprovechamiento del Bagazo Industrial de café como biomasa para la sustitución parcial de combustible (Gracia Carvajal, T. D., Mateo Coello, G. F. (2016).
2. Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus* (Romero-Arenas, O., et al. 2013).
3. Obtención de jabón a partir de la extracción del aceite de bagazo de café (Pita Cañola, M. J., & Pincay Durán, A. I. 2012).
4. Propuesta de un manual de aprovechamiento y minimización de residuos orgánicos generados por el bagazo en Di CaféHervacio Alvarado, S. L., & Regalado Moreno, A. C. (2020).
5. Co-combustión de carbón con bagazo de café (Gutiérrez Quintero, S. 2018).

6. Eficiencia en el uso del bagazo de café para la elaboración de briquetas y su uso como biocombustible (Calle Macas, J. L., Rodríguez Feijoo, Y. 2022).

7. Efecto del disolvente de extracción sobre el contenido de metabolitos, actividad antioxidante y antibacteriana del bagazo de café (Larez, F.L.G., et al. 2021).

## CONCLUSION

El conocimiento sobre las características fisicoquímicas que tienen los residuos de café (bagazo), abre una oportunidad importante para su aprovechamiento y diversificación como fuente principal de compuestos fenólicos recuperables y aplicables en la industria alimentaria y cosmética, por una parte en el enriquecimiento de alimentos a base de antioxidantes que evitan el daño celular oxidativo y mejoren la salud humana generando un amplio abanico de aplicaciones, aportando beneficios a la salud; por otra parte la generación de grandes cantidades de bagazo que pueda ser aprovechable, minimizará el impacto ecológico al ser depositados al medio, ya que representa una fuente de contaminación severa al lixiviar los compuestos en el suelo, acidificándolos y modificando por completo las condiciones de los hábitat.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional y Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada Unidad Tlaxcala, por proporcionar el acceso a la base de datos utilizada para la consulta bibliográfica y poder llevar a cabo la investigación enfocada en esta revisión. De igual manera, agradecemos a CONACYT por haber otorgado la beca estudiantil para alumnos del programa de Maestría en Biotecnología Productiva.

## DECLARACIÓN DE NO CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

## Referencias

Alves, R. C., Rodrigues, F., Nunes, M. A., Vinha, A. F., & Oliveira, M. B. P. (2017). State of the art in coffee processing by-products. *Handbook of coffee processing by-products*, 1-26.

Arai, K., Terashima, H., Aizawa, S. I., Taga, A., Yamamoto, A., Tsutsumiuchi, K., & Kodama, S. (2015). Simultaneous determination of trigonelline, caffeine, chlorogenic acid and their related compounds in instant coffee samples by HPLC using an acidic mobile phase containing octane-sulfonate. *Analytical Sciences*, 31(8), 831-835.

Barva, H. (2011). *Guía Técnica para el Cultivo del Café*. San José: AGRIS, Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Consultado el 25 de agosto del 2020.

Bondam, A. F., da Silveira, D. D., dos Santos, J. P., & Hoffmann, J. F. (2022). Phenolic compounds from coffee by-products: Extraction and application in the food and pharmaceutical industries. *Trends in Food Science & Technology*.

Calle Macas, J. L., & Rodríguez Feijoo, E. Y. (2022). Eficiencia en el uso del bagazo de café para la elaboración de briquetas y su uso como biocombustible (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).

Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 45(1), 24-36.

Caprioli, G., Cortese, M., Maggi, F., Minnetti, C., Odello, L., Sagratini, G., & Vittori, S. (2014). Quantification of caffeine, trigonelline and nicotinic acid in espresso coffee: The influence of espresso machines and coffee cultivars. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(4), 465-469.

Chacón-Figueroa, I. H., Medrano-Ruiz, L. G., Moreno-Vásquez, M. D. J., Ovando-Martínez, M., Gámez-Meza, N., Del-Toro-Sánchez, C. L., & Dórame-Miranda, R. F. (2022). Use of Coffee Bean Bagasse Extracts in the Brewing of Craft Beers: Optimization and Antioxidant Capacity. *Molecules*, 27(22), 7755.

Costa, A. S., Alves, R. C., Vinha, A. F., Barreira, S. V., Nunes, M. A., Cunha, L. M., & Oliveira, M. B. P. (2014). Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. *Industrial Crops and Products*, 53, 350-357.

De Figueiredo Tavares, M. P., & Mourad, A. L. (2020). Coffee beverage preparation by different methods from an environmental perspective. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(7), 1356-1367.

De Melo, M. M., Silvestre, A. J., Portugal, I., & Silva, C. M. (2017). Emerging technologies for the recovery of valuable compounds from coffee processing by-products. *Handbook of coffee processing by-products*, 141-169.

Equivel, P., & Jimenez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *J. Food Research International*, 46(2), 488-495.

Figueroa Hernández, E., Pérez Soto, F., & Godínez Montoya, L. (2015). La producción y el consumo del café.

- Fonseca, S. A. (2006). El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (80), 19-31.
- Gracia Carvajal, T. D., & Mateo Coello, G. F. (2016). Aprovechamiento del Bagazo Industrial de café como biomasa para la sustitución parcial de combustible (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química).
- Gutiérrez Quintero, S. (2018). Cocombustión de carbón con bagazo de café.
- Herawati, D., Giriwono, P. E., Dewi, F. N. A., Kashiwagi, T., & Andarwulan, N. (2019). Critical roasting level determines bioactive content and antioxidant activity of Robusta coffee beans. *Food science and biotechnology*, 28, 7-14.
- Hervacio Alvarado, S. L., & Regalado Moreno, A. C. (2020). Propuesta de un manual de aprovechamiento y minimización de residuos orgánicos generados por el bagazo en Di Café.
- Hidalgo Segovia, C. S., & Rivera Garcés, S. G. (2018). Obtención de Carbón Activado a partir del Bagazo del Café como una propuesta de utilización del residuo de una Industria Cafetera (Bachelor's thesis).
- Larez, F. L. G., Hernández, J. L. M., Sánchez, R. D. V., Urrutia, G. R. T., Martínez, B. D. M. T., & Escalante, A. S. (2021). Efecto del disolvente de extracción sobre el contenido de metabolitos, actividad antioxidante y antibacteriana del bagazo de café. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(1), 1-10.
- Marcelo-Díaz, R., Luján-Gonzales, V., Ramírez, L., Olano, M., Vargas, A., Rojas, M. L., & Linares, G. (2017). Fenólicos a partir de residuos de café: Optimización del proceso.
- Mestdagh, F., Glabasnia, A., & Giuliano, P. (2017). The Brew-Extracting for Excellence. *The Craft and Science of Coffee*, 355-380.
- Morales Antonio, M. A., Santiago Martínez, G. M., Lozano Trejo, S., Castañeda Hidalgo, E., & Pérez León, M. I. (2019). Manejo agronómico e impacto social y económico en la producción de café en la Sierra Sur de Oaxaca-México. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (marzo).
- Moroney, K. M., Lee, W. T., O'Brien, S. B. G., Suijver, F., & Marra, J. (2015). Modelling of coffee extraction during brewing using multiscale methods: An experimentally validated model. *Chemical Engineering Science*, 137, 216-234.
- Muzykiewicz-Szymańska, A., Nowak, A., Wira, D., & Klimowicz, A. (2021). The Effect of Brewing Process Parameters on Antioxidant Activity and Caffeine Content in Infusions of Roasted and Unroasted Arabica Coffee Beans Originated from Different Countries. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(12).
- Nitthikan, N.; Leelapornpisid, P.; Natakankitkul, S.; Chaiyana, W.; Mueller, M.; Viernstein, H.; Kiattisin, K. Improvement of Stability and Transdermal Delivery of Bioactive Compounds in Green Robusta Coffee Beans Extract Loaded Nanostructured Lipid Carriers. *J. Nanotechnol.* 2018, 2018, 7865024.
- Pearson, J. L., Lee, S., Suresh, H., Low, M., Nang, M., Singh, S., ... & Khoo, C. S. (2014). The liquid chromatographic determination of chlorogenic and caffeic acids in Xu Duan (*Dipsacus asperoides*) raw herb. *International Scholarly Research Notices*, 2014.
- Pita Cañola, M. J., & Pincay Durán, A. I. (2012). Obtención de jabón a partir de la extracción del aceite de bagazo de café (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química).
- Puerta, G. I. (2013). Composición química de una taza de café. *Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé)*.
- Rochín-Medina, J. J., Ramírez, K., Rangel-Peraza, J. G., & Bustos-Terrones, Y. A. (2018). Increase of

content and bioactivity of total phenolic compounds from spent coffee grounds through solid state fermentation by *Bacillus clausii*. *Journal of food science and technology*, 55, 915-923.

Romero-Arenas, O., Treviño, I. H., Lezama, J. C. P., Specia, M. N. M., & Leal, J. L. A. (2013). Evaluación de bagazo de café (*Coffea arabica*) como sustrato en la producción de *Pleurotus ostreatus*. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 33, 472-481.

Sagredo Acitores, M. (2020). Recuperación de compuestos con propiedades antioxidantes a partir de residuos de la industria del café de extracción. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19(4), 405-410.

Sagredo Acitores, M. (2020). Recuperación de compuestos con propiedades antioxidantes a partir de residuos de la industria del café.

Solomakou, N., Loukri, A., Tsafrakidou, P., Michaelidou, A. M., Mourtzinou, I., & Goula, A. M. (2022). Recovery of phenolic compounds from spent coffee grounds through optimized extraction processes. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 25, 100592.

Stanek, N., Zarębska, M., Biłos, Ł., Barabosz, K., Nowakowska-Bogdan, E., Semeniuk, I., Błaszkiwicz, J., Kulesza, R., Matejuk, R., & Szkutnik, K. (2021). Influence of coffee brewing methods on the chromatographic and spectroscopic profiles, antioxidant and sensory properties. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13.

Torres-Valenzuela, L. S., Ballesteros-Gómez, A., & Rubio, S. (2020). Supramolecular solvent extraction of bioactives from coffee cherry pulp. *Journal of Food Engineering*, 278, 109933.

[https://www.bioguia.com/ambiente/10-usos-creativos-para-los-restos-del-cafe\\_29281871.html](https://www.bioguia.com/ambiente/10-usos-creativos-para-los-restos-del-cafe_29281871.html).  
<https://disfrutacafe.wixsite.com/disfrutacafe/post/m%C3%A9todos-de-preparaci%C3%B3n-de-caf%C3%A9-tienes-que-conocerlos>