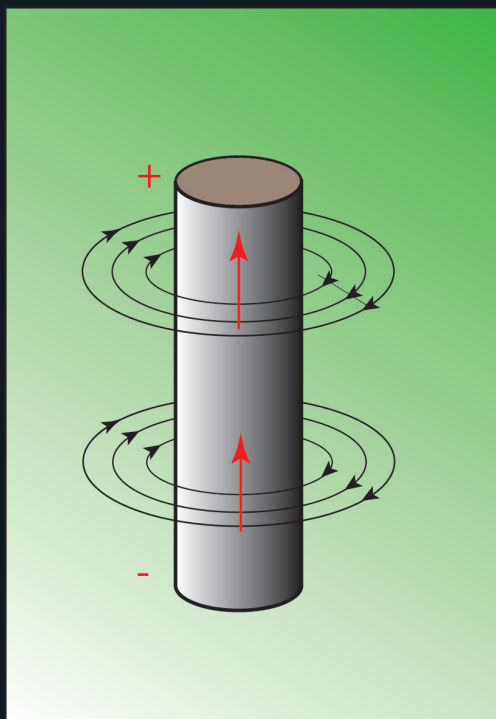




- Metodología y evaluación de capacitación en línea: Uso del sistema de incidencias
- Bioaccesibilidad y cambios en el perfil fenólico de extractos acuosos y lipofílicos de semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass
- Lipasas: una alternativa para el uso y la biorremediación de aceites residuales de cocina
- Vidrios y membranas poliméricas para el tratamiento de agua contaminada
- Estrés: el enemigo silencioso de tus dientes
- Uso de simuladores en enfermería en Universidades de Oaxaca

Temas de Ciencia y Tecnología

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
ISSN 2007-0977

Nacional \$140.00 M.N.
Internacional \$50.00 USD

Para suscribirse, enviar cheque o giro postal por la cantidad correspondiente a: **Universidad Tecnológica de la Mixteca**. Av. Dr. Modesto Seara Vázquez No. 1, Acatlima, Huajuapán de León, Oax. C.P. 69000 Tels. y Fax. 01 953 53 20399 y 20214. Correo electrónico: temas@mixteco.utm.mx, Departamento de publicaciones.

HSBC cta. no. 400054041-9 Suc. Huajuapán clabe: 021614040005404191.

Temas de Ciencia y Tecnología

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
ISSN 2007-0977

Orden de suscripción

Nacional \$140.00 M.N.
Internacional \$50.00 USD

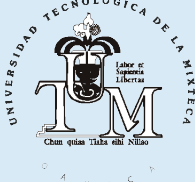
- ☐ Suscripción(es) anual(es) a la revista **Temas de Ciencia y Tecnología**
☐ Adjunto cheque certificado ☐ Giro postal
☐ HSBC cta. no. 400054041-9 Suc. Huajuapán clabe: 021614040005404191

Nombre/Name			(Escribir los datos con letra de molde)		
Dirección/Address			Delegación		
Colonia		C.P./Zip Code		Ciudad/City	
Estado/State		País/Country		Tel./Phone Fax	

Universidad Tecnológica de la Mixteca
Av. Dr. Modesto Seara Vázquez No. 1, Acatlima, 69000.
Huajuapán de León, Oax. Departamento de publicaciones.

Temas de Ciencia y Tecnología

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
ISSN 2007-0977



Universidad Tecnológica de la Mixteca

Rector
Raúl Salas Coronado

Vice-Rector Académico
Silvia Reyes Mora

Vice-Rector de Administración
José Luis Ramos Espinoza

Vice-Rectora de Relaciones y Recursos
Miriam Guadalupe Carrasco Domínguez

TEMAS DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA
ISSN 2007-0977

Consejo Editorial

Director

Alberto Antonio García.

Liliana Eneida Sánchez Platas.
Secretaria del Consejo - Universidad Tecnológica de la
Mixteca

Senén Barro Ameneiro.
Universidad de Santiago de Compostela

Virginia Berrón Lara.
Universidad Tecnológica de la Mixteca

Enrique Guzmán Ramírez.
Universidad Tecnológica de la Mixteca

Mario Márquez Miranda.
Universidad Tecnológica de la Mixteca

Alfredo Blanco Andray.
Universidad Politécnica de Madrid

Demetrio F. García Nocetti.
Universidad Nacional Autónoma de México

Federico J. Kuhlman Rodríguez.
Instituto Tecnológico Autónomo de México

Manrique Mata Montero.
Memorial University of Newfoundland

Luis Javier Toledo Flores.
Instituto Tecnológico de Oaxaca

Gustavo A. Chapela Castañares.
Universidad Autónoma Metropolitana

Lourdes Bejarano Almada.
Centro de Investigación y Docencia en Humanidades del
Estado de Morelos.

Thomas J. Montville.
University of New Jersey

Revisión de estilo

Reina Ortiz Escamilla

Coordinación editorial

Consuelo Jaqueline Estrada Bautista

Asistente Editorial

Alberto Antonio García

Traductores

Amélie Nicole Dutoit
Celia Elisabeth Martyniak
Sandrine Laurence Miralles
Christopher Shackley

Sumario

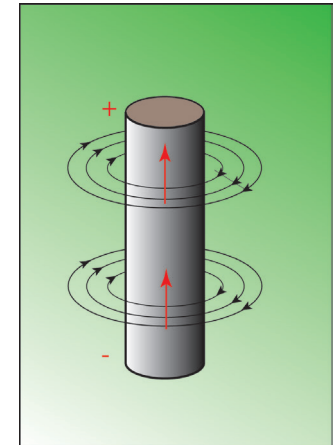
Ensayos

- 3 Metodología y evaluación de capacitación en línea: Uso del sistema de incidencias
Rolando Granados Muñoz
- 11 Bioaccesibilidad y cambios en el perfil fenólico de extractos acuosos y lipofílicos de semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass
Vanessa Sánchez-Quezada, Guadalupe Flavia Loarca-Piña
- 19 Lipasas: una alternativa para el uso y la biorremediación de aceites residuales de cocina
Miguel Ángel Canseco Pérez, Yolanda del Carmen Pérez Luna, Roberto Berrones Hernández, Yazmin Sánchez Roque
- 27 Vidrios y membranas poliméricas para el tratamiento de agua contaminada
Erick Camacho Díaz, Carlos A. Poblano Salas, John Henao, Jorge Corona Castuera, Luis Edmundo Lugo Uribe, Manuel Gutiérrez Nava
- 37 Estrés: el enemigo silencioso de tus dientes
Marine Ortiz Magdaleno, Amaury Pozos Guillen
- 49 Uso de simuladores en enfermería en Universidades de Oaxaca
José Eduardo Orellana Centeno, Roxana Nayeli Guerrero Sotelo, Mauricio Orellana Centeno, Verónica Morales Castillo



Fotografía 5. Conversatorio Modelación Matemática
Página 73

PORTADA:
Alberto Antonio García



TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, Año 29, No. 86 Mayo - Agosto 2025, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Av. Doctor Modesto Seara Vázquez No. 1 Acatlilma, Huajuapán de León, Oaxaca. C.P. 69000. Tel. 01(953) 53 203 99 ext. 782. www.utm.mx, temas@mixteco.utm.mx. Editor responsable: Alberto Antonio García. Certificado de Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-090312001800-102, ISSN: 2007-0977 ambos otorgados por el Instituto del Derecho de Autor. Impresa por la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Av. Doctor Modesto Seara Vázquez No. 1 Acatlilma, Huajuapán de León, Oaxaca. C.P. 69000., éste número se terminó de imprimir el 08 de enero de 2026 con un tiraje de 1,000 ejemplares.

Notas

- 53 Pesquerías de recursos bentónicos de Baja California Sur: corresponsabilidad en el manejo
Sandra Patricia Medina Gómez
Carlos Hiram Rábago Quiroz
Nurenskaya Vélez Arellano

Vida académica

- 63 Evaluación continua
Universidad Tecnológica de la Mixteca
Rafael Martínez Martínez

Fronteras de la ciencia

- 59 •Crean "cerebro cuántico atómico" que imita circuitos eléctricos sin usar electrones •Material 100 veces más delgado que un cabello que permitiría fabricar chips cuánticos •Suplemento bebible mejora el crecimiento del cabello en mujeres con caída •El acelerador que sigue al tumor en directo •Imprimen circuitos sobre la piel usando luz y polímeros sin tóxicos •Hallan abejas prehistóricas solitarias que vivieron dentro de huesos en una cueva del Caribe •El contacto con perros podría tener un efecto antienviejecimiento y antiestrés

Reseña de Libro

- 69 El exilio interminable: Migración académica y literatura
Aaron Rojas Ramírez

Ensayo de Investigación

Metodología y evaluación de capacitación en línea: Uso del sistema de incidencias

Methodology and evaluation of online training: Use of the incident system

Rolando Granados Muñoz

Universidad de Guanajuato

Autor de correspondencia:
r.granadosmunoz@ugto.mx

Recibido: 23-05-2023 Aceptado: 26-11-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La educación en todos los niveles escolares se ha transformado a nivel mundial por causa de la crisis de salud; se han impuesto retos e innumerables áreas de oportunidad para el sistema educativo, el personal docente y estudiantes. El objetivo de este estudio fue describir el proceso y la evaluación que realizan los docentes de Telebachillerato Comunitario de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato (UVEG) acerca de una capacitación sobre el uso de sistema de incidencias a cargo del Departamento de Formación y Desarrollo Docente y el área de Mesa de ayuda. La capacitación fue llevada a cabo el tres, cuatro y cinco de marzo de 2021 a través de la aplicación Zoom y también por transmisión en vivo en la plataforma YouTube y el Campus Virtual de la universidad; se registraron a docentes en tres grupos, cada grupo participaría durante una sesión de dos horas de duración. Se brindó capacitación a un total de 716 docentes en temas de uso y gestión del sistema de incidencias. Este caso de capacitación permite destacar una nueva ruta de formación que ha sido muy productiva para la UVEG y que demuestra la satisfacción de los docentes por el contenido expuesto en la capacitación.

Palabras clave: Educación a distancia, enseñanza y formación, formación profesional, métodos de aprendizaje.

Abstract

Education at all school levels has been transformed worldwide due to the health crisis, imposing challenges and numerous opportunities for the educational system, teaching staff, and students. The objective of this study was to describe the process and evaluation carried out by the Community Telebachillerato teachers of the Virtual University of the State of Guanajuato (UVEG) regarding a training session on the use of the incident management system, organized by the Department of Teacher Training and Development and the Help Desk unit. The training was conducted on March 3, 4, and 5, 2021, through the Zoom application, live streaming on YouTube, and the university's Virtual Campus. Teachers were registered in three groups, with each group participating in a two-hour session. A total of 716 teachers received training on the use and management of the incident system. This training case highlights a new training pathway that has proven highly productive for UVEG and demonstrates teachers' positive reception of the content delivered.

Keywords: Distance education, learning methods, teaching and training, vocational training.

Introducción

Desde el año 2007 la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato (UVEG) se ha consolidado como una institución con alcances internacionales al ofrecer programas académicos desde Educación Media Superior hasta posgrados a distancia. La oferta académica que ofrece es totalmente virtual a excepción del subsistema de Telebachillerato Comunitario que cuenta con miles de estudiantes y más de 1000 docentes que dan clases presenciales en los distintos municipios del Estado de Guanajuato. A causa de la pandemia, el Departamento de Formación y Desarrollo

Docente de la UVEG se encargó de brindar actualización y capacitación a distancia a los docentes del subsistema de Telebachillerato Comunitario, a partir de la pandemia por COVID-19 se tuvo la necesidad de cambiar los procesos de formación de manera presencial a un esquema virtual.

El mecanismo de operación de UVEG está basado en las tecnologías de la información, lamentablemente, a pesar de contar con un grupo de profesionales con pericia en el manejo de todo este sistema informático, la funcionalidad de la tecnología de la

información se encuentra limitada por otras circunstancias ajenas a la institución, muchas de las ocasiones por las condiciones de los dispositivos, del Internet, de la misma configuración de las plataformas y muchas otras eventualidades más. Son los usuarios, ya sean estudiantes, docentes, personal académico y/o administrativo, etc., quienes reportan estos hallazgos con la finalidad de encontrar una solución a ciertos incidentes. Para la UVEG es de suma importancia dar a conocer la adecuada gestión al levantar una incidencia, es por ello que Mesa de ayuda en colaboración con el Departamento de Formación y Desarrollo Docente planearon la capacitación sobre el uso del sistema de incidencias en lo que compete al subsistema de Telebachillerato Comunitario.

Desarrollo

Las tecnologías de la información y comunicación han sido un factor crítico para el desarrollo de las instituciones educativas, los ambientes virtuales son cada vez más frecuentes para los procesos de formación; su funcionalidad interactiva, además de una función de almacenamiento e intercambio de información y comunicación permiten establecer una prospectiva de realidad social (Gallego, 2009).

Desde hace tiempo y con efecto de la pandemia por COVID-19, se empezaron a popularizar más los ambientes de aprendizaje digitales a través de distintas plataformas y dispositivos, aquellas instituciones que ofertaban programas educativos en línea comenzaron a tener más auge. Este panorama de virtualidad generó oportunidades y expectativas, así como retos asociados. En ocasiones las tecnologías de la información generan condiciones y situaciones emergentes, producto de la propia forma de interacción y comunicación que implica también el surgimiento de nuevos retos (Pérez & Telleria, 2012). Ejemplo de estos nuevos retos son los incidentes o problemas que ocurren entre la comunidad institucional durante el lapso de su formación en determinados programas educativos. Habrá que recordar que el éxito de un ambiente de aprendizaje no necesariamente tiene que depender de tecnología moderna, sino que implica estrategias de comunicación efectivas y un seguimiento constante de la actividad que se realiza por parte de los usuarios (Hirald, 2013).

Las metodologías que se usan para establecer procesos de comunicación efectivos y seguimiento de actividades oportunos se lleva a cabo mediante un sistema de incidencias. Un sistema de incidencias basado en la incorporación de las nuevas tecnologías puede apoyar a optimizar los procesos de solución de incidencias en las organizaciones y los beneficios se reflejan en la resolución efectiva de esos incidentes (Ocrospoma & Romero, 2021). La gestión de incidentes permite hacer la detección y formular la solución de problemas asociados al funcionamiento del sistema informático, la solución se basa en acciones y procesos dando respuesta rápida y adecuada ante ocurrencias de potenciales riesgos a los servicios ofertados. La detección de alertas e identificación temprana de eventualidades ayuda a fortalecer procesos preventivos para que estas situaciones no puedan convertirse potencialmente en problemas (Loayza-Uyehara, 2016).

De acuerdo con la investigación de Fombona, Rodríguez y Barriada (2012), aunque haya un aumento de dispositivos informáticos, la cantidad de incidencias puede permanecer en una constante debido a que las personas llegan a maniobrar los dispositivos de mejor manera, esto focaliza la existencia de una mayor factibilidad de fallas en los softwares usados para el desarrollo de ambientes de aprendizaje que por la actividad de usuarios.

En ese sentido, Bustos y Coll (2010) mencionan que no basta con usar dispositivos tecnológicos y generar una planificación, sino que se debe de hacer un seguimiento sobre los usos que cada usuario le están dando a las estructuras del sistema, de tal manera que, se requiere tanto diseño como investigación de los ambientes virtuales. El estudio de Parra, Gómez y Pintor (2014) realizado a través de entrevistas a docentes, detalla que la capacitación, la disposición de recursos y el apoyo institucional son los principales factores que inciden en la aplicación de herramientas tecnológicas en las instituciones.

En aras de que la capacitación es un factor primordial en la operatividad tecnológica, para saber las impresiones de la capacitación y conocer los estímulos que ésta les genera se llevan a cabo evaluaciones. La evaluación es un conjunto de procesos que permite conocer los efectos para su contraste con el planteamiento de metas, objetivos y los recursos

utilizados que permite la valoración y toma de decisiones, permitiendo a su vez el reforzamiento en función de correcciones y ajustes de la capacitación (Abdala, 2009). Para Ramos, Meizoso y Guerra (2016) la evaluación del impacto de formación es de primer orden tanto para las instituciones que se encargan de la capacitación como para las instituciones que la reciben, el uso de instrumentos adecuados para evaluar la calidad formativa es crucial. De acuerdo con la investigación de Hidalgo-Parra, Hernández-Hechavarría y Leyva-Reyes (2020) algunos de los instrumentos utilizados para evaluar el impacto de la capacitación son las entrevistas con los responsables jerárquicos, cuestionarios a los participantes, grupos de discusión con los participantes y observación directa a participantes.

Metodología

Participantes

Participaron un total de 716 docentes de Telebachillerato Comunitario UVEG los cuales respondieron una encuesta de evaluación de la capacitación en línea sobre el uso del sistema de incidencias. Estos docentes forman parte de tres áreas disciplinares: el área de Ciencias Sociales y Humanidades, el área de Comunicación y el área de Ciencias Exactas y Experimentales. Estos docentes fueron mujeres y hombres con cargo de responsable o docente del Telebachillerato Comunitario.

Instrumento

Para la evaluación del evento se diseñó un formulario en Google con ítems sobre datos sociode-

mográficos, se les preguntaba el área disciplinar a la que pertenecían, su sexo y el cargo que ocupaban. El instrumento también contaba con un apartado de evaluación compuesto por cinco reactivos con opción de respuesta tipo Likert, las cuales se muestran a continuación:

1. La capacitación en la modalidad en línea a través de la aplicación ZOOM le pareció: (opciones de respuesta: excelente, buena, regular).
2. Del 1 al 5 donde 5 es la mejor calificación, ¿Qué tan importante considera los temas abordados en la capacitación para tu labor docente? (opciones de respuesta: 1, 2, 3, 4 y 5).
3. El material utilizado por el o la facilitador/ra procura la adquisición de nuevos conocimientos de manera: (opciones de respuesta: excelente, bueno, regular).
4. En una escala del 1 al 5 donde uno es NADA SATISFACTORIO y cinco es TOTALMENTE SATISFECHO, tú evaluación del curso para los siguientes rubros es de: (opciones de respuesta a calificar del 1 al 5: facilitador/ra, manejo de la información, fomento de la participación en la capacitación y alcance de los objetivos trazados).
5. Desempeño y autoevaluación (opciones de respuesta: 0-40, no obtuve nada de conocimiento; 41-70, requiero cursar otra capacitación; 71-100, ya pudo hacer uso del sistema de incidencias).

La Figura 1 muestra el instrumento empleado en la capacitación, su diseño y la cantidad de respuestas que fueron recabadas.

Figura 1. Imagen del instrumento en Google forms usado para el registro de asistencia.

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

Para llevar a cabo la capacitación de incidencias primero se desarrolló una ficha técnica especificando los objetivos y los temas, además, contenía la distribución de tiempos en horas, abarcando tres días de capacitación. Para agilizar el registro, se inscribieron a docentes de Ciencias Sociales y Humanidades en el día uno, docentes de Comunicación en el día dos y finalmente, docentes de Ciencias Exactas y Experimentales en el día tres. La capacitación estuvo a cargo del personal de mesa de ayuda de la UVEG, quien se encarga del sistema de gestión de incidencias. Los días uno y dos se usó la plataforma Zoom; para el día tres se utilizó la plataforma Meet y se hizo transmisión en vivo a través de YouTube y el Campus Virtual de la UVEG.

El protocolo para la puesta en marcha de la sesión estaba encaminado a la bienvenida y presentación de ponentes y objetivos, desarrollo de temas, además, se generó un espacio de preguntas, éstas últimas fueron plasmadas en un formulario realizado especialmente para ello. Finalmente, al concluir la capacitación también se les envió un enlace para responder el instrumento diseñado con el fin de recabar los datos sociodemográficos y la evaluación sobre aspectos de interés de la capacitación. El tratamiento de la información se hizo por medio de Excel utilizando estadística descriptiva.

Resultados

Se realizó una capacitación sobre el uso del sistema de incidencias con una duración de dos horas. El objetivo de esta capacitación fue proporcionar las herramientas, conocimientos y habilidades necesarias para que el responsable y docente de Telebachillerato Comunitario pudiera realizar solicitudes de apoyo a través del sistema de incidencias, con la finalidad de mejorar la comunicación con las diversas áreas de oficinas centrales UVEG.

El contenido de la capacitación estuvo centrado en tres temas, los cuales se muestran a continuación:

- Tema 1: ¿Qué es el sistema de incidencias?
- Tema 2: ¿Cómo realizar una solicitud de apoyo a través del sistema de incidencias?
- Tema 3: ¿Cómo consultar la respuesta de mi solicitud de apoyo a través del sistema de incidencias?

Se estableció como protocolo de capacitación que antes de la sesión de cada día se les enviaría una guía con instrucciones precisas del modo en que se iba a llevar a cabo la capacitación. Las ponentes y el staff se encontraban haciendo uso de Zoom, el equipo técnico hacía la transmisión en vivo por YouTube, esta transmisión estaba anclada a una ventana del Campus Virtual de la UVEG, como se aprecia en la Figura 2.

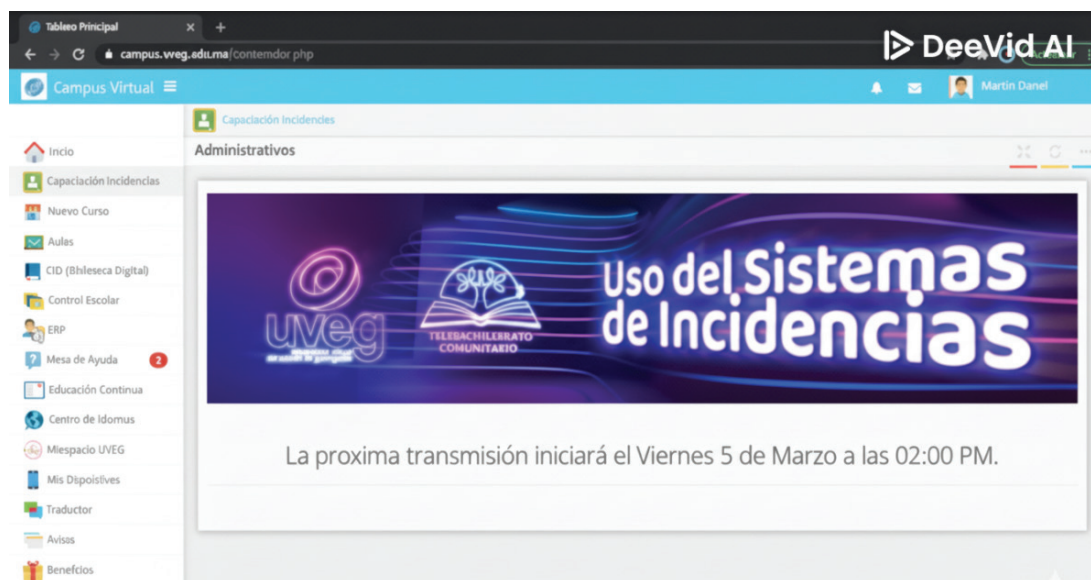


Figura 2. Imagen del instrumento en Google forms usado para el registro de asistencia.
Fuente: Elaboración propia.

La capacitación fue programada para los días tres, cuatro y cinco de marzo de 2021 en un horario de las 14:00 a las 16:00 horas, como se puede apreciar en la Figura 3, que muestra la cantidad de registros y asistencia, en el día uno participaron 233 docentes del área de Ciencias Sociales y Humanidades de 359 que se habían registrado, para el día dos participaron 239 docentes del área de Comunicación de 357 en registro, y finalmente, del área de Ciencias Exactas y Experimentales participaron 244 docentes de 354 que se encontraban con registro, mismos registros que dan un total de 716 docentes capacitados.

La distribución por sexo indica que participaron 430 mujeres y 286 hombres, que representan el 60 y 40% de la muestra total, respectivamente. Esta dis-

tribución de mujeres y hombres es apreciable en la Figura 4, esta gráfica indica la cantidad de hombres y mujeres que participaron cada día, es notable que la participación de mujeres fue superior respecto a la de hombres en los días uno y dos.

La distribución por cargo muestra que participaron 273 responsables que equivalen al 38% de la muestra total y 443 docentes que son el equivalente al 62% de la muestra total, esta distribución por cargo es apreciable en la Figura 5, esta gráfica indica la cantidad de responsables y docentes que participaron cada día. La cantidad de responsables respecto a la de docentes es congruente debido a que hay aproximadamente dos docentes por cada responsable.

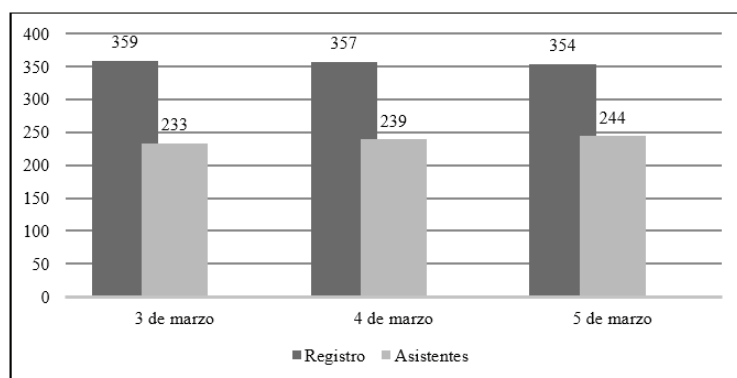


Figura 3. Relación de registro y asistencia por día de participación.
Fuente: Elaboración propia.

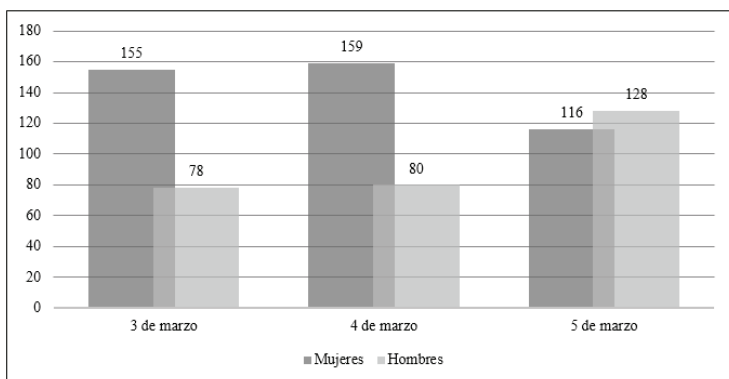


Figura 4. Relación por sexo de mujeres y hombres por día de capacitación.
Fuente: Elaboración propia.

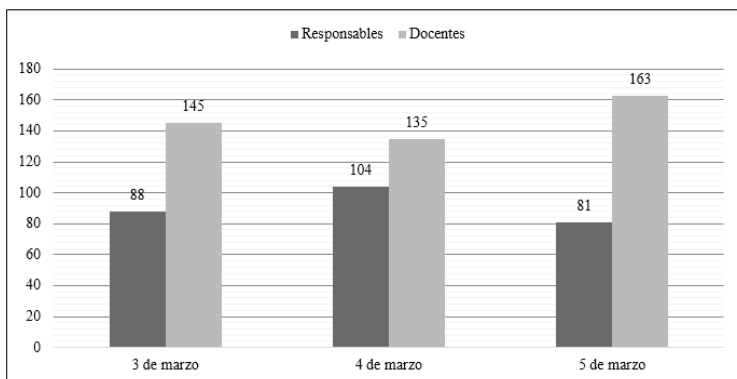


Figura 5. Relación de cargo de asistencia entre responsables y docentes por día de capacitación.
Fuente: Elaboración propia.

En lo que se refiere a la evaluación de la capacitación en línea a través de las distintas aplicaciones, como se puede observar en la Figura 6, se obtuvo que 526 docentes calificaron la capacitación como excelente, 173 la calificaron como buena y solamente 16 le asignó una calificación de regular a la capacitación.

Para evaluar la importancia de los temas que se abordaron para ser aplicados en su labor docente, se les pidió que calificaran del 1 al 5. Como se muestra en la Figura 7, el 84 % de docentes asignaron la máxima calificación a la capacitación que es de 5, el 14 %

asignaron un 4, el 2 % asignaron un 3 y el 0.3 % asignaron una calificación de 2. Ningún docente calificó la capacitación con un 1.

También se les solicitó que indicaran de qué manera el material proporcionado en la capacitación procuraba la adquisición de nuevos conocimientos. En la Figura 8 se puede apreciar que, 534 calificaron los materiales para la adquisición de conocimiento nuevo como excelente, 175 los calificaron como bueno y solamente 7 opinaron que fue regular.

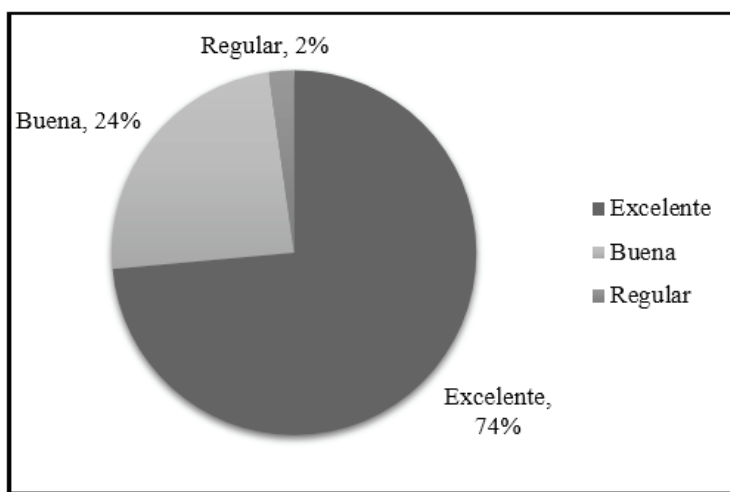


Figura 6. Evaluación asignada de forma general por parte de los docentes capacitados en una escala de excelente, buena y regular.
Fuente: Elaboración propia.

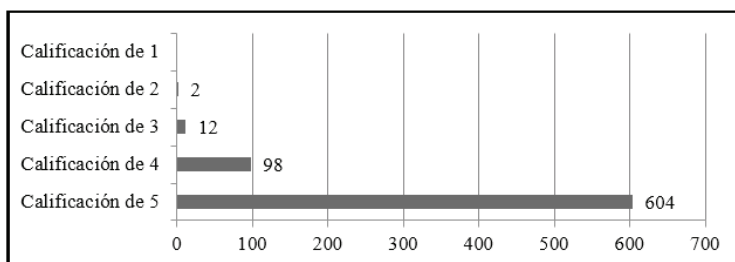


Figura 7. Evaluación asignada por parte de los docentes capacitados en un rango del 1 al 5 sobre la importancia de los temas para su labor docente.
Fuente: Elaboración propia.

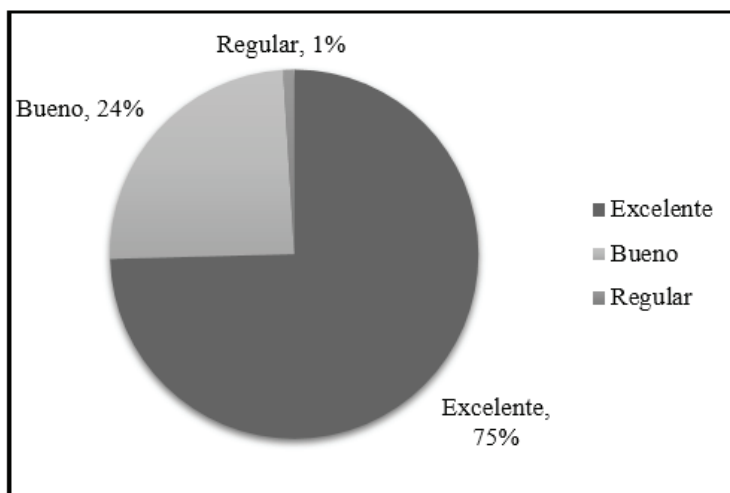


Figura 8. Evaluación asignada de los materiales proporcionados, los docentes capacitados seleccionaron una escala de excelente, bueno y regular.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Figura 9, el 79 % del personal docente manifestó estar totalmente satisfecho con el capacitador/a, el 78% totalmente satisfecho con el manejo de la información expuesta, el 70 % mencionaron estar totalmente satisfechos con el fomento de la participación, finalmente el 78 % indicó estar totalmente satisfecho con el alcance de los objetivos.

Con esta capacitación 690 docentes indican poder usar el sistema de incidencias; 25 docentes mencionan que requieren cursar otra capacitación para comprender el sistema de incidencias a detalle y solamente uno indica no haber adquirido nada de conocimientos, tal como se muestra en la Figura 10.

Análisis de resultados

Si se toma de referencia la teoría expuesta (Gallego, 2009; Hiraldo, 2013; Pérez & Telleria, 2012), las nuevas tecnologías han permitido una evolución en los sistemas educativos, los ambientes de aprendizaje son cada vez más accesibles y permiten una realidad interactiva más productiva, en el caso de la UVEG permitió seguir con la planeación de capacitación través de estos medios tecnológicos. No obstante, se tienen considerados los problemas e incidentes que pueden surgir precisamente por la cantidad de usuarios de los cuales se dispone, la gestión de incidencias según los estudios y los resultados de la capacitación, son elementos clave para el desarrollo institucional de los docentes (Ocropsoma & Romero, 2021, Loayza-Uyehara, 2016; Fombona, Rodríguez & Barriada, 2012; Bustos & Coll, 2010).

Los resultados obtenidos muestran una respuesta positiva por parte del personal docente hacia la capacitación en el uso del sistema de incidencias, lo cual concuerda con lo señalado por Parra, Gómez y Pintor (2014), quienes destacan que la formación continua y el acompañamiento institucional son factores determinantes para la apropiación de herramientas tecnológicas en los contextos educativos. La alta satisfacción y la valoración positiva de los contenidos reflejan no solo la pertinencia temática, sino también la eficacia de las estrategias metodológicas aplicadas, en línea con las recomendaciones de Ramos, Meizoso y Guerra (2016) sobre la necesidad de evaluar el impacto de la formación con instrumentos que retroalimenten la práctica institucional.

Asimismo, la experiencia formativa demuestra que el uso de entornos virtuales, cuando se implementa con un diseño pedagógico orientado a la interacción y la aplicabilidad práctica, potencia el aprendizaje docente y contribuye a la sostenibilidad de los procesos tecnológicos institucionales, como lo sostienen Bustos y Coll (2010) y Gallego (2009). De manera particular, la gestión de incidencias a través de una plataforma digital fortaleció la comunicación interna entre el profesorado y las áreas administrativas, optimizando la respuesta a problemas técnicos y reduciendo la dependencia de la asistencia y saturación de un área en específico (Mesa de ayuda). Esto coincide con los hallazgos de Ocropsoma y Romero (2021), quienes subrayan que los sistemas digitales de incidencias incrementan la eficiencia y la trazabilidad en la solución de problemas.

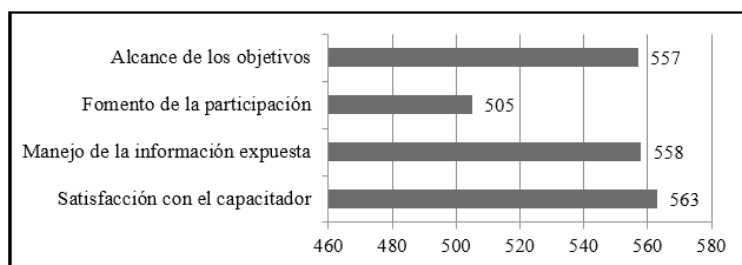


Figura 9. Evaluación asignada por parte de los docentes capacitados sobre el capacitador, manejo de la información, fomento de la participación y alcance de objetivos.
Fuente: Elaboración propia.

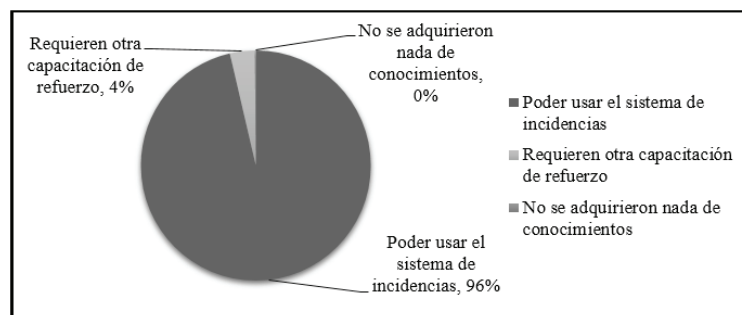


Figura 10. Evaluación asignada por parte de los docentes capacitados indicando su nivel de conocimientos obtenidos.
Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, la capacitación analizada no solo cumplió una función instrumental, sino también formativa: permitió a los docentes de Telebachillerato Comunitario UVEG desarrollar competencias digitales aplicadas al entorno institucional, aspecto que, de acuerdo con Pérez y Tellería (2012), resulta esencial para consolidar ecosistemas educativos resilientes frente a escenarios de virtualización acelerada como los generados por la pandemia. Finalmente, la alta participación femenina y el compromiso mostrado por el personal responsable sugieren la existencia de una comunidad docente activa y receptiva ante procesos de innovación educativa, lo que abre la posibilidad de incorporar futuras estrategias de formación más específicas basadas en análisis de desempeño y autoeficacia docente.

Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo fue describir la evaluación que realizan los docentes de Telebachillerato Comunitario UVEG acerca de una capacitación sobre el uso de sistema de incidencias de la misma institución. Se considera que fue cumplido en su totalidad considerando los estadísticos descriptivos recabados que permitieron identificar un panorama de agrado por parte del personal docente.

La evaluación de esta capacitación permitió conocer los intereses y la participación de los docentes de los diferentes Telebachilleratos Comunitarios que forman parte de la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato.

A través de estos datos se logró explorar entre las áreas de oportunidad que al parecer denotan ser reducidas, a su vez, fue pauta para conocer las distribuciones de participación de cada docente, por ejemplo, el área disciplinar, el sexo y el cargo que ocupan, lo que hace admisible actuar de manera estratégica en posteriores capacitaciones. Se considera una capacitación muy fructífera de aprovechamiento para el personal docente y que, según el reflejo de los datos, tendría un impacto positivo no solamente al hacer uso del sistema de incidencias, sino también en sus actividades educativas.

De igual forma, se aporta evidencia sobre la efectividad de los programas de capacitación virtual en instituciones públicas de educación en línea, en particular respecto a la gestión de sistemas de incidencias. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento aplicado sobre la formación docente en contextos digitales, demostrando que una planeación estructurada, acompañada de una evaluación sistemática, puede mejorar la apropiación tecnológica y la calidad de los procesos institucionales.

En términos prácticos, la innovación de este estudio

radica en documentar un modelo de capacitación que integra plataformas digitales institucionales (Zoom, YouTube y Campus Virtual), asegurando cobertura y accesibilidad a más de 700 docentes en un corto periodo. Esta experiencia puede servir de referencia para otras instituciones que buscan fortalecer la gestión tecnológica y el desarrollo profesional docente en entornos virtuales.

En consonancia con el objetivo planteado, los resultados confirman la pertinencia de seguir impulsando estrategias de formación basadas en la evaluación participativa y la retroalimentación continua. Se recomienda consolidar un sistema permanente de monitoreo del impacto formativo que permita identificar la transferencia de los aprendizajes a la práctica docente y evaluar su influencia en la eficiencia administrativa.

Referencias

- Abdala, E. (2009). La evaluación de los programas de capacitación laboral para jóvenes en Sudamérica. *Papeles de la Población*, 15(59), 11-82.
- Bustos, A., & Coll, C. (2010). Los entornos virtuales como espacios de enseñanza aprendizaje, una perspectiva psicoeducativa para su caracterización y análisis. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 15(44), 163-184.
- Fombona, J., Rodríguez, C., & Barriada, C. (2012). Gestión de incidencias informáticas: el caso de la Universidad de Oviedo y la Facultad de Formación del Profesorado. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 9(2), 100-114. doi.org/10.7238/rusc.v9i2.1399
- Gallego, J. E. (2009). Ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) e investigación como proceso formativo. *Itinerario Educativo*, 23(54), 109-122.
- Hidalgo-Parra, Y., Hernández-Hechavarría, Y., & Leyva-Reyes, N. (2020). Indicadores para evaluar el impacto de la capacitación en el trabajo. *Ciencias Holguín*, 26(1), 74-83.
- Hiraldo, R. (Noviembre, 2013). *Uso de los entornos virtuales de aprendizaje en la educación a distancia*. Trabajo presentado en la conferencia del XVI Congreso Internacional EDUTEC 2013, San José, Costa Rica.
- Loayza-Uyehara, A. A. (2016). Modelo de gestión de incidentes para una entidad estatal. *Interfases*, (9), 221-254. https://doi.org/10.26439/interfases2016.n009
- Ocrospoma, W., & Romero, H. (2021). Sistema web para el proceso de incidencias en la empresa RR&C Grupo Tecnológico S.A.C. 3C. TIC. *Cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 10(1), 43-67. https://doi.org/10.17993/3ctic.2021.101.43-67
- Parra, S. R., Gómez, M. G., & Pintor, M. M. (2014). Factores que inciden en la implementación de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje en 5º de primaria en Colombia. *Revista Complutense de Educación*, 26, 197-213.
- Pérez, M. C., & Tellería, M. B. (2012). Las TIC en la educación: nuevos ambientes de aprendizaje para la interacción educativa. *Revista de Teoría y Didáctica de las Ciencias Sociales*, (18), 83-112.
- Ramos, F., Meizoso, M. C., & Guerra, R. M. (2016). Instrumento para la evaluación del impacto de la formación académica. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(2), 114-124.

Ensayo de Investigación

Bioaccesibilidad y cambios en el perfil fenólico de extractos acuosos y lipofílicos de semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass

Bioaccessibility and polyphenolic profile changes of aqueous and lipophilic extract of avocado seed (*Persea americana* Mill.) variety Hass

Vanessa Sánchez-Quezada^{1*}, Guadalupe Flavia Loarca-Piña^{1*}

¹Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia:
vanessa.sanchez@uaq.mx
loarca@uaq.mx

Recibido:11-05-2023 Aceptado: 26-11-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Actualmente la generación de subproductos del fruto de aguacate (*Persea americana* Mill.) se ha incrementado por la demanda de pulpa, provocando contaminación en suelos debido al exceso de compuestos orgánicos. Por otra parte, la estrategia de economía circular busca reutilizar subproductos agroindustriales dando un nuevo uso, debido a que son una buena fuente de compuestos bioactivos, que debido a su origen la extracción de estos compuestos es más barata, abriendo campos de oportunidad para el uso de los subproductos de aguacate. El objetivo de este trabajo fue extraer, identificar y cuantificar los compuestos polifenólicos (CF) de extractos acuosos, lipofílicos y sus mezclas provenientes de semilla de aguacate, y conocer los cambios en el perfil y concentración durante una simulación de digestión oral-gástrica *in vitro*. Los resultados más significativos resaltan que la concentración más alta de CF se encontró durante la fase del estómago a los 25 minutos, así mismo las mezclas presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos que los extractos individuales. Estos resultados evidencian que los CF presentes en los extractos de semilla de aguacate resisten el tracto oral-gástrico y pueden ser utilizados en la industria alimenticia como antioxidantes naturales otorgando beneficios en el tracto gástrico del consumidor.

Palabras clave: Compuestos polifenólicos, flavonoides, semilla de aguacate, simulación oral-gástrica.

Abstract

Currently, the generation of by-products from avocado fruit (*Persea americana* Mill.) has increased due to the high demand for avocado pulp, leading to soil contamination from excess organic compounds. On the other hand, the circular economy strategy seeks to repurpose agroindustrial by-products or waste, giving them a new use. By-products are a good source of bioactive compounds, and due to their origin, their extraction is less expensive than industry extractions, opening up opportunities for the use of avocado by-products. The objective of this work was to extract, identify, and quantify the polyphenolic compounds (CF) of aqueous, lipophilic extracts and their mixtures from avocado seed, and to know the changes in the profile and concentration during an *in vitro* oral-gastric digestion simulation. The most significant results highlight that the highest concentration of CF was found during the stomach phase at 25 minutes, and the mixtures also presented a higher content of phenolic compounds than the individual extracts. The results show that the CF present in avocado seed extracts and mix resist the oral-gastric tract and can be used in the food industry as natural antioxidants, providing benefits to the consumer's gastric tract.

Keywords: Polyphenolic compounds, flavonoids, avocado seed, oral-gastric simulation.

Introducción

El nombre del fruto de Aguacate proviene de “ahuacatl” palabra de origen Azteca, que significa testículo, este fruto posee muchos usos principalmente en alimentos, cosméticos y medicina tradicional (GDN, 2023). Dentro de la industria, la pulpa de aguacate es la única utilizada como materia prima para la elaboración de productos como guacamole, aguacate deshidrata-

do, aceite, cosméticos, entre otros productos (Stephen & Radhakrishnan, 2022). Estas industrias generan grandes cantidades de subproductos como la cáscara y semilla los cuales representan de 29 al 38 % del peso total del fruto de aguacate. Sin embargo, la semilla destaca como el principal subproducto ya que representa del 16 al 22 % del peso total (Stephen & Radhakrishnan,

2022). Estos subproductos la industria decide su uso donde solo una mínima concentración se destina a uso de composta, y la mayoría se desecha, esto último genera una gran concentración de compuestos orgánicos en el suelo que llega a ser gran contaminante ya que altera la vida útil de las tierras.

En la actualidad, existe diferentes reportes e información etnofarmacológica sobre el uso de semillas principalmente en países de América central y del sur, donde se usan para el tratamiento de condiciones de salud destacando las enfermedades gastrointestinales. Investigaciones y patentes destacan su aprovechamiento para la preparación de bebidas antioxidantes, colorante natural, como insecticidas, fungicidas y antimicrobianos en medios de cultivo, así como para mejorar el estado de salud-enfermedad en patologías como: hipercolesterolemia, hipertensión, estados inflamatorios y diabetes (Ayala-Zavala et al., 2023; Charles et al., 2022; Araújo et al., 2018).

Todas las contribuciones benéficas asociadas a la semilla de aguacate se relacionan a su composición química y a la presencia de compuestos bioactivos, los cuales se definen como aquellos compuestos que más allá de nutrir ayudan a la conservación de un estado de salud, destacando su alta concentración de compuestos polifenólicos (CF), ácidos grasos poliinsaturados y otros compuestos lipófilos (derivados de compuestos orgánicos ésteres), los que pueden otorgar el efecto preventivo y mejorar la salud del consumidos al incorporar la semilla de aguacate (Dabas et al., 2013). Dentro de nuestro grupo de trabajo ya se comprobó que la semilla de aguacate no presenta citotoxicidad en el modelo de *Artemia salina*, un crustáceo que se alimenta absorbiendo partículas en su medio, por lo que puede representar un subproducto seguro para el aprovechamiento de la semilla (Sánchez-Quezada et al., 2023).

Por otra parte, el estilo de vida, malos hábitos alimentación, y el estrés oxidativo generado en el organismo son los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades inflamatorias principalmente en el tracto gastrointestinal (Vivarelli et al., 2023). Dentro de las enfermedades gastrointestinales no transmisibles se destacan por mayor incidencia las úlceras, inflamación en el estómago e intestino, cáncer de estómago y de colon, entre otros (Labanski et al., 2020). En específico el estómago se caracteriza

por tener un microambiente diferente al tracto digestivo, esto debido a la secreción del ácido clorhídrico (pH, es una medida que nos indica que tan ácida o básica está el medio), los movimientos peristálticos, enzimas digestivas, el moco gástrico, reflujo biliar y la baja microbiota presente en esta zona (Cheung et al., 2018). Por lo que es multi factorial un estadio de inflamación en esta parte del tracto digestivo, adicional a ello las respuestas inflamatorias promueven el desarrollo del cáncer (Echizen et al., 2019).

Investigaciones recientes han demostrado que compuestos lipofílicos como los ácidos grasos pueden tener un efecto contra factores de riesgo como lo es la bacteria de *Helicobacter pylori* que se asocia con inflamación y cáncer de estómago (Sánchez-Quezada et al., 2024). Otros estudios han comprobado que los compuestos polifenólicos como la quercetina y el ácido gálico logran tener efectos antiinflamatorios en el estómago, estas investigaciones se han centrado en los CF como compuestos bioactivos anticancerígenos. Estos grupos de moléculas ejercen propiedades preventivas al actuar sobre los múltiples puntos de control de las células pre-cancerosas y pueden inducir la apoptosis, la autofagia y la detención del ciclo celular con alta especificidad (Bouyahya et al., 2022). Debido a ello, la obtención de CF presentes en muestras de origen natural proveniente de subproductos hace que se reduzcan los costos y garanticen la calidad de los compuestos bioactivos (Gil-Martín et al., 2022). Por lo que el objetivo del trabajo fue evaluar la bioaccesibilidad de los compuestos polifenólicos mediante los cambios en el perfil y concentración durante la digestión oral-gástrica *in vitro*. Este trabajo busca impulsar el uso de subproductos de aguacate como lo es la semilla dando alternativas para comprobar de manera científica el uso etnofarmacológico en enfermedades gastrointestinales.

Desarrollo

Material biológico. Los frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass fueron adquiridos en centros comerciales locales, de origen del estado de Michoacán. Los cuales se seleccionaron por no presentar daño físico o microbiológico visibles. Los frutos fueron lavados con agua y desinfectados con cloro de acuerdo a las especificaciones del proveedor para la desinfección de frutas y verduras. Las semillas se separaron de la pulpa y de la cáscara y fueron al-

macenadas aisladas de la luz a 5 °C hasta el día de su procesamiento.

Extractos. Las semillas fueron cortadas y procesadas por deshidratación para posteriormente molerlas hasta obtener el mismo tamaño de partícula, posteriormente el pasó a obtener los diferentes extractos, para el extracto acuoso se obtuvo por maceración, mientras que el extracto lipofílico por ultrasonido usando hexano como solvente, que posteriormente fue removido con el rotavapor.

Mezclas de los extractos. Se obtuvieron cinco mezclas clasificadas como E10 que presentaba 10 % de extracto lipofílico y 90 % del extracto acuoso, E15 con 15 % del extracto lipofílico y 82 % del extracto acuoso, E25 con 25 % del extracto lipofílico y 85 % del extracto acuoso, E30 con 30 % del extracto lipofílico y 70 % del extracto acuoso, y E35 con 35 % del extracto lipofílico y 65 % del extracto acuoso, una vez realizadas las mezclas se colocaron en tubos ámbar y fueron agitadas en un ultraturrax. Todas las muestras se hicieron aislados de la luz y almacenados a 4 °C hasta el día del análisis.

Digestión gastrointestinal oral-gástrica *in vitro* de los extractos y mezclas. Todas las mezclas (E10, E15, E25, E30 y E35) y los extractos por separado (fenólico y lipofílico) se sometieron a la simulación del proceso de digestión simulando las etapas de boca y estómago, donde se varía el pH, temperatura, velocidad de mezclado y sales, de acuerdo a la metodología descrita por Brodkorb et al. (2019).

Simulación de las condiciones de la boca. Brevemente, en tubos cónicos ámbar se adicionaron 6 mL de los extractos o de las diferentes mezclas, posteriormente se adicionó 4.8 mL de la saliva artificial (SSF 1.25x), 0.03 mL CaCl₂(H₂O)₂ (3 Molar), 0.250 mL de agua destilada y 0.9 mL de α-amilasa (75 U/mg en solución de saliva artificial SSF) y se incubaron a 37 °C por dos minutos y con agitación constante vigorosa, para simular la etapa de masticado. Se tomaron 2 mL/U y el resto pasó a la fase del estómago.

Simulación de las condiciones del estómago. De los tubos con las muestras provenientes después de la etapa de la boca se agregó 8 mL de la secreción gástrica *in vitro* que contenía 0.005 mL CaCl₂(H₂O)₂, 1 mL de pepsina (16 mg en 984 mL en SGF [4000 U/

mg]; Sigma >250U/mg), 60 μL lipasa gástrica (120 U/mL [Sigma 1000U/mg]) y 0.535 mL de agua destilada. Posteriormente se fue ajustando el pH a 5-4 y transcurridos 10 minutos se tomaron muestras (2 mL) para obtener la fase gástrica a los 10 minutos. A la muestra restante se ajustó nuevamente el pH a 4-3 y transcurridos 25 minutos se tomaron 2 mL de cada muestra las cuales representan la fase gástrica a los 25 minutos. Por último, el restante se volvió a ajustar hasta alcanzar un pH de 2 y se dejó bajo las condiciones del estómago hasta completar 120 minutos, finalizando el tiempo se tomaron alícuotas 2 mL las cuales se clarificaron como la fase gástrica a los 120 minutos. Todas las alícuotas previamente etiquetadas se almacenaron a -70 °C.

Compuestos fenólicos (HPLC-DAD). El perfil de compuestos fenólicos de las muestras antes y después de la digestión oral-gástrica *in vitro* se realizó de acuerdo a lo descrito por Sánchez-Quezada et al., (2023) con modificaciones. Se analizó por Cromatografía de Líquidos acoplado a un detector de diodos (HPLC-DAD), la separación de los compuestos polifenólicos se realizó con ayuda de una columna ZORBAX Eclipse XDB-C18 (4.6 X 150mm, 5-micron) con un flujo constante de 0.75 mL/minutos, usando un volumen de inyección de 10 μL y una presión máxima de 400 bar. La fase móvil fue agua grado HPLC acidificada y acetonitrilo grado HPLC, usando un gradiente lineal de separación, se utilizó el detector de diodos (DAD). Se realizaron curvas de calibración usando estándares puros. Los resultados son expresados en μg del estándar por mL de muestra.

Análisis estadístico. Los resultados se expresan como la media ± la desviación estándar de tres experimentos independientes analizados por un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de Tukey (p < 0.5). Utilizando el programa JMP versión 8.0.

Discusión y análisis de resultados

Los compuestos polifenólicos son compuestos bioactivos considerados metabolitos secundarios de las plantas que se sintetizan como método de defensa contra insectos, escases o exceso de agua y aspectos ambientales. En los seres humanos, el consumo de estos compuestos es importante, ya que, se relaciona con la disminución de enfermedades inflamatorias. Por lo que conocer el perfil de los compuestos polifenólicos

presentes en la semilla de aguacate es evidencia que pueda fundamentar como pueden prevenir diferentes enfermedades principalmente relacionado a su uso etnofarmacológico.

Los resultados más significativos de esta investigación se resaltan que las cinco mezclas de los extractos lipofílicos y acuosos y los extractos puros (sin mezclarse) se sometieron a digestión oral-gástrica (oral, gástrica 10 min, gástrica 25 min y gástrica 120 min), donde se identificaron y cuantificaron los cambios en el perfil de los compuestos fenólicos. Los resultados del cambio en el perfil de los principales compuestos polifenólicos (CF) se describen en la Tabla 1 y el perfil principal de la semilla se muestra en la Figura 1. Dentro de los resultados estadísticamente significativos se observan cambios en el perfil de los compuestos polifenólicos mayoritarios, esto se atribuye a la variación del pH (7 a 2), la concentración de sales presentes en las soluciones oral-gástrica, el movimiento mecánico y otros factores incluidos durante la digestión *in vitro*.

En el perfil de los compuestos fenólicos sin proceso de digestión, se observa para el extracto acuoso una menor cuantificación en comparación con la mezcla de extractos; destacando el ácido hidroxifenilacético, catequina, rutina y ácido elágico con 81.49 $\mu\text{g/mL}$, 19.80 $\mu\text{g/mL}$, 11.26 $\mu\text{g/mL}$ y 4.32 $\mu\text{g/mL}$ respectivamente. Por su parte en la fracción lipofílica se lograron identificar compuestos fenólicos de menor afinidad al agua (polaridad), lo que se atribuye al proceso de extracción del extracto lipofílico. Se conoce que las semillas de los frutos se pueden utilizar para la extracción de aceites que contienen una serie de biocompuestos y antioxidantes naturales tales como compuestos fenólicos, tocoferoles, fitoesteroles y carotenoides (Karrar et al., 2018).

Para la mezcla de los extractos se presentan dos tendencias:

1) Los flavonoides disminuyen (presentado diferencias estadísticamente significativas) al incrementar la concentración de la fracción lipofílica (principalmente con cambio de E15 a E25), y la concentración de flavonoides disminuye de la mezcla E10 a E30 principalmente en los compuestos como: la epigallocatequina-3-galato (10.63 %), rutina (8.98 %) y catequina (9.00 %), este comportamiento se debe a que en la mezcla E30 la concentración del extracto acuoso es menor comparada con la mezcla E15.

2) Los ácidos fenólicos presentes en las mezclas se incrementan significativamente al incrementar el extracto lipofílico, destacando ácido cafeico, ácido elágico y ácido hidroxifenilacético.

Otra observación es que se identificó fue la presencia de epigallocatequina la cual se atribuye a la liberación de compuestos acomplejados, se conoce que la semilla de aguacate rica en procianidinas siendo dímeros y trímeros de epigallocatequina (Figuerola et al., 2018) por lo que se estarían hidrolizando las procianidinas por acción del pH de las mezclas (5.5 ± 0.5) y los controles (5.9 ± 0.9) y en consecuencia identificando las epigallocatequinas.

En la etapa de la boca el principal compuesto presente en la mezcla y en el extracto acuoso fue la catequina, seguido de la rutina. Para el extracto lipofílico el compuesto mayoritario fue el ácido hidroxifenilacético, y el cual va incremento en las mezclas de E10 < E35, por su parte el ácido elágico se describe como el cuarto más abundante en todos los extractos. Se observa que el extracto acuoso con las mezclas no presenta diferencias significativas en el total de los compuestos cuantificados ($p \leq 0.05$). Sin embargo, E35 presenta el menor contenido de compuestos fe-

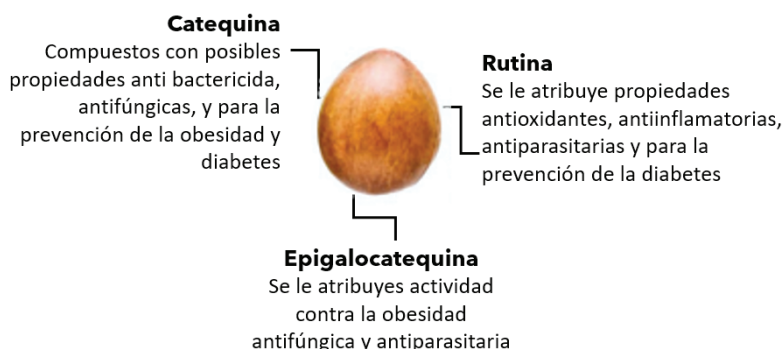


Figura 1. Principales compuestos polifenólicos y su atribución general a la salud presente en la semilla de aguacate.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Perfil de compuesto fenólicos presentes sin y durante la digestión *in vitro* en los extractos de semilla de aguacate (*Persea Americana* Mill).

Compuestos Fenólicos	Control (extracto)		Extractos de semilla de aguacate				
	Lipídico	Acuoso	E10	E15	E25	E30	E35
Sin digestión							
Epigallocatequina	3.71 ± 0.6 ^c	11.27 ± 1.6 ^c	12.23 ± 0.5 ^a	12.03 ± 0.4 ^a	11.07 ± 1.4 ^b	10.79 ± 1.0 ^b	8.16 ± 0.7 ^b
Rutina	11.87 ± 1.1 ^c	55.10 ± 1.1 ^c	54.86 ± 2.6 ^a	54.38 ± 4.3 ^a	51.45 ± 1.5 ^b	49.36 ± 2.4 ^b	49.09 ± 2.9 ^b
Catequina	0.816 ± 0.5 ^d	72.56 ± 1.6	71.15 ± 2.6 ^a	69.87 ± 1.9 ^b	65.91 ± 2.4 ^c	63.75 ± 1.7 ^c	59.97 ± 1.8 ^c
Ác. elágico	18.49 ± 0.9 ^d	5.84 ± 0.2 ^a	5.80 ± 0.8 ^{cd}	6.36 ± 0.7 ^c	8.55 ± 1.6 ^b	8.85 ± 1.0 ^b	9.55 ± 0.3 ^a
Ác. Hidroxifenilacético	34.32 ± 5.5 ^a	18.94 ± 1.1 ^d	46.32 ± 5.2 ^c	47.89 ± 2.2 ^c	50.45 ± 1.4 ^{cb}	52.82 ± 1.9 ^b	53.89 ± 2.6 ^b
Ác. Cafeico	ND	1.95 ± 1.01 ^c	2.79 ± 0.65 ^c	2.33 ± 0.26 ^c	2.03 ± 0.18 ^b	2.62 ± 0.16 ^a	2.16 ± 0.33 ^a
Ác. Clorogénico	4.78 ± 1.03	2.75 ± 1.38	3.84 ± 1.49	4.32 ± 0.41	5.45 ± 0.9	5.59 ± 0.34	5.64 ± 0.89
TOTAL	73.2 ± 14.7^d	178.4 ± 11.1^b	198.9 ± 15.1^a	197.2 ± 14.1^a	194.8 ± 6.0^a	193.7 ± 8.5^a	188.4 ± 19.0^a
Fase de boca, pH 7.0							
Rutina	8.87 ± 1.1 ^d	39.10 ± 4.2 ^a	38.03 ± 1.8 ^a	35.77 ± 5.4 ^a	27.62 ± 3.8 ^b	22.48 ± 3.6 ^c	20.37 ± 2.7 ^c
Catequina	8.16 ± 0.6 ^c	62.56 ± 3.9 ^a	60.15 ± 2.6 ^a	59.87 ± 4.9 ^a	55.91 ± 2.2 ^b	53.75 ± 1.4 ^b	48.97 ± 3.3 ^b
Ác. Hidroxifenilacético	5.52 ± 0.7 ^a	1.43 ± 0.2 ^d	4.33 ± 1.1 ^c	4.93 ± 0.4 ^c	5.39 ± 0.6 ^b	5.52 ± 0.5 ^b	6.77 ± 0.7 ^a
Ác. Cafeico	35.49 ± 3.3 ^c	20.79 ± 1.1 ^d	36.88 ± 3.3 ^c	37.50 ± 3.1 ^{cb}	42.02 ± 4.7 ^a	43.17 ± 2.4 ^a	44.04 ± 2.8 ^a
Ác. Clorogénico	4.78 ± 0.3 ^a	2.75 ± 0.2 ^b	3.84 ± 0.3 ^b	4.32 ± 0.4 ^a	5.45 ± 0.3 ^a	5.59 ± 0.4 ^a	5.64 ± 0.5 ^a
Minoritarios	11.05 ± 1.3 ^c	15.97 ± 1.4 ^b	16.67 ± 6.7 ^a	17.22 ± 1.4 ^a	17.86 ± 3.9 ^a	17.69 ± 1.7 ^a	14.47 ± 1.9 ^b
TOTAL	70.9 ± 5.8^b	151.6 ± 1.9^a	159.9 ± 5.2^a	159.6 ± 2.7^a	154.3 ± 3.7^a	148.2 ± 5.4^a	140.2 ± 8.9^a
Fase de gástrica 10 minutos, pH 5.0-4.0							
Rutina	2.67 ± 0.6 ^e	40.17 ± 2.1 ^a	35.54 ± 2.4 ^b	34.71 ± 3.7 ^b	17.06 ± 1.3 ^d	15.81 ± 1.2 ^d	15.03 ± 1.9 ^d
Catequina	0.879 ± 0.2 ^d	70.95 ± 6.6 ^a	69.76 ± 5.9 ^a	53.87 ± 5.9 ^b	27.53 ± 4.4 ^c	23.75 ± 2.3 ^c	19.54 ± 1.3 ^c
Ác. Hidroxifenilacético	1.97 ± 0.9 ^d	19.77 ± 1.7 ^a	15.17 ± 0.3 ^b	11.7 ± 0.7 ^c	9.17 ± 2.5 ^c	9.15 ± 1.3 ^c	8.70 ± 0.9 ^c
Ác. Cafeico	25.95 ± 5.5 ^b	9.78 ± 0.9 ^d	15.76 ± 1.8 ^c	17.87 ± 3.2 ^c	25.52 ± 3.9 ^b	30.75 ± 1.5 ^a	32.54 ± 1.9 ^a
Ác. Clorogénico	18.11 ± 2.7 ^a	3.89 ± 0.5 ^d	11.95 ± 0.4 ^c	11.57 ± 4.3 ^b	15.11 ± 3.0 ^b	17.75 ± 2.5 ^a	18.20 ± 2.7 ^a
Minoritarios	ND	16.95 ± 1.0 ^a	8.09 ± 0.6 ^b	7.13 ± 0.8 ^c	6.73 ± 2.2 ^{cd}	6.62 ± 3.2 ^{cd}	6.16 ± 2.0 ^d
TOTAL	48.57 ± 2.9^c	161.51 ± 10^a	156.27 ± 5.5^a	136.9 ± 8.7^b	100.4 ± 7.2^c	103.8 ± 8.9^c	100.2 ± 6.3^c
Fase de gástrica 25 minutos, pH 4.0-3.0							
Rutina	7.90 ± 1.1 ^c	48.56 ± 1.2 ^a	37.18 ± 2.5 ^b	35.98 ± 5.6 ^b	32.49 ± 3.9 ^c	29.79 ± 3.6 ^c	27.6 ± 2.9 ^d
Catequina	6.20 ± 0.5 ^f	65.98 ± 7.6 ^a	60.10 ± 4.3 ^b	58.20 ± 2.4 ^b	45.31 ± 3.7 ^d	38.93 ± 1.9 ^e	35.53 ± 1.8 ^e
Ác. Hidroxifenilacético	5.19 ± 0.9 ^a	1.91 ± 0.2 ^d	3.62 ± 0.5 ^c	4.90 ± 0.4 ^b	5.61 ± 1.5 ^a	6.03 ± 0.8 ^a	6.97 ± 0.3 ^a
Ác. Cafeico	25.85 ± 5.5 ^c	10.3 ± 3.1 ^d	22.98 ± 3.8 ^c	24.80 ± 1.6 ^c	28.06 ± 1.7 ^b	30.11 ± 4.3 ^b	34.49 ± 2.6 ^a
Ác. p-cumárico	31.45 ± 62.8 ^b	19.87 ± 2.8 ^d	26.92 ± 3.6 ^c	30.46 ± 2.2 ^b	32.50 ± 4.3 ^b	34.89 ± 1.5 ^a	36.04 ± 1.9 ^a
Minoritarios	ND	15.98 ± 4.01 ^a	7.77 ± 2.1 ^b	2.33 ± 0.3 ^c	2.03 ± 0.8 ^c	2.62 ± 0.4 ^c	2.16 ± 0.33 ^c
TOTAL	71.02 ± 3.7^d	162.6 ± 9.1^a	158.5 ± 7.1^b	156.7 ± 5.9^{bc}	146.0 ± 4.7^c	142.37 ± 5.5^c	142.8 ± 6.9^c
Fase de gástrica 120 minutos, pH 2.0							
Rutina	4.60 ± 0.5 ^e	45.10 ± 5.7 ^a	35.65 ± 1.6 ^b	31.76 ± 4.7 ^{bc}	27.77 ± 3.5 ^c	26.20 ± 2.8 ^c	25.55 ± 3.0 ^d
Catequina	5.57 ± 1.2 ^d	64.27 ± 3.6 ^a	50.11 ± 3.4 ^b	45.65 ± 5.9 ^b	34.03 ± 2.4 ^c	33.81 ± 3.7 ^c	30.47 ± 4.8 ^c
Ác. Hidroxifenilacético	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ác. Cafeico	28.88 ± 5.5 ^a	17.67 ± 3.3 ^c	23.81 ± 5.2 ^b	23.29 ± 2.2 ^b	24.71 ± 3.4 ^b	26.01 ± 4.1 ^a	28.35 ± 2.2 ^a
Ác. Clorogénico	19.25 ± 2.7 ^a	5.98 ± 0.6 ^c	16.40 ± 2.7 ^b	16.58 ± 2.3 ^b	18.41 ± 3.0 ^a	19.53 ± 1.9 ^a	20.10 ± 2.1 ^a
Minoritarios	ND	11.98 ± 1.1 ^a	4.85 ± 1.2 ^b	4.90 ± 1.6 ^b	4.21 ± 1.3 ^b	4.11 ± 1.8 ^b	4.08 ± 1.3 ^b
TOTAL	58.3 ± 2.5^c	133.02 ± 6.8^a	130.82 ± 5.7^a	122.18 ± 6.7^{ab}	109.13 ± 5.8^b	109.66 ± 5.4^b	108.55 ± 4.6^b

El contenido de compuestos fenólicos se expresa como μg del compuesto identificado por mL de muestra. Diferente letra representa diferencia estadística entre columna por fase de la digestión comparando las medias por la prueba de Tukey ($p < 0.05$). E10: 10:90 (v/p); E15: 15:85 (v/p); E25: 25:75 (v/p); E30: 30:70 (v/p); E35: 35:65 (v/p); ND: por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

nólicos totales durante esta etapa, coincidiendo con los resultados obtenidos de la muestra sin digestión. Como era de esperarse la fracción lipídica presentó la concentración más baja en comparación de la mezcla y el extracto acuoso. Esta etapa no muestra diferencias significativas con respecto al perfil de fenoles de los ingredientes antes de ser sometidos a la digestión *in vitro*, con excepción de la rutina que presentó mayor concentración en la etapa de oral, esto se atribuye a que su capacidad para disociarse en el medio ácido del estómago (Premathilaka et al., 2022).

A los 10 minutos de la etapa gástrica con pH de entre 5 a 4 se observa una disminución significativa en la concentración y perfil de compuestos fenólicos en las mezclas con mayor concentración del extracto lipofílico (E25, E30 y E35) no presentando diferencia estadística con el extracto lipofílico. Por otra parte, las mezclas E10 y E15 conservaron la concentración de compuestos fenólicos presentando similitud estadística con el extracto acuoso en cuanto al perfil se observa que la catequina es el compuesto mayoritario de esta etapa, mientras que la rutina disminuye durante el cambio de la fase oral a la gástrica 10 minutos esto se asocia a que en este tiempo la rutina puede disolverse por lo que concentración máxima de identificación será en la fase oral (pH 7.0). Además, se incrementó en la concentración del ácido hidroxifenilacético por lo que su máximo de identificación será durante la etapa gástrica 10. En esta etapa disminuyeron los compuestos polifenólicos en las mezclas E25, E30 y E35 lo que se sugiere que los flavonoides inhiben la oxidación de lípidos por donación de electrones presentes en los anillos estructurales a comparación de los ácidos fenólicos que donan menores electrones (Zheng et al., 2022), por lo que los compuestos presentes evitan la generación de compuestos de oxidación de lípidos que se generan durante los cambios de pH y con el contacto de oxígeno del medio (se requieren mayores análisis). Adicional a ello se conoce que la actividad máxima de la lipasa bajo las condiciones de la etapa gástrica 10, por lo que en el extracto lipídico se están liberando compuestos lipofílicos como los que están presentes en triglicéridos donde la lipasa tiene la función de romper la estructura de los lípidos (cataliza la hidrólisis en el carbono uno (SN1) y en el carbono con posición

tres (SN3)) (Negi, 2019), por lo que esta etapa es más susceptible a la oxidación de los lípidos (se requieren más experimentos).

Para el perfil de los compuestos fenólicos en la etapa gástrica a los 25 minutos de digestión pH 3.0, se destaca que en esta etapa todas las mezclas son estadísticamente diferentes con los controles (acuoso y lipofílico), presentando cambios en el perfil de los compuestos en E10 y E15 (catequina > rutina > ác. *p*-cumárico > ác. Hidroxifenilacético > minoritarios) con respecto a E25, E30 y E35 (ác. *p*-cumárico > catequina > ác. Hidroxifenilacético > rutina > minoritarios). Es relevante mencionar que el ácido clorogénico no fue identificado en esta etapa, a su vez se identificó el ácido *p*-cumárico, esto se debe a la hidrólisis ácida, por el cambio de pH causando estos cambios conformacionales (Rai & Tzima, 2021).

Además, las variaciones en el contenido de los compuestos fenólicos pueden estar modificados por la estabilidad e inestabilidad durante las etapas gastrointestinales teniendo una mayor afinidad las enzimas digestivas a los compuestos fenólicos (Kashyap et al., 2022). Otro factor importante son las condiciones de pH que afectan a los polifenoles (protonación/desprotonación), teniendo cambios en su estado oxidativo y estabilidad, modificando el perfil fenólico durante las diferentes etapas de la digestión (Sęczyk et al., 2021).

Los cambios en los compuestos fenólicos en la etapa gástrica de 120 minutos a pH 2, se destaca la disminución de la catequina con forme se incrementa el extracto lipofílico en las mezclas. El ác. hidroxifenilacético se incrementan mientras que la concentración de flavonoides como catequina y rutina disminuyen en comparación con la etapa oral y gástrica 10 minutos, lo que sugiere que durante la etapa gástrica los flavonoides presentes en las emulsiones ejercen actividad antioxidante, sin embargo, esto requiere mayor experimentación. Esta etapa no mostró diferencias significativas con la etapa gástrica 25 minutos lo que indica un equilibrio en el medio, siendo compuestos libres y posiblemente bioaccesibles. La concentración total disminuyó un máximo de 24.8% durante toda la etapa oral-gástrica, por la acción, enzimática, hidrólisis ácida, oxidación de lípidos y acción mecánica. En general la etapa gástrica a los 10 minutos presentó la mayor disminución signifi-

cativa en la concentración de los compuestos fenólicos, atribuyéndolo a la generación de compuestos de la oxidación, estabilizándose hasta la etapa gástrica a los 25 minutos. Por lo que la etapa de gástrica 25 minutos es la fase donde se estabiliza y conserva la concentración de compuestos fenólicos, pudiendo tener la capacidad antioxidante por la liberación de los compuestos fenólicos y con ello la prevención de enfermedades gástricas.

Estos resultados son los primeros en relacionar el perfil fenólico de mezclas de extractos de semilla de aguacate en las diferentes fases oral-gástrica bajo el máximo parecido de las condiciones digestivas *in vitro*. Adicionalmente, de los resultados obtenidos es importante resaltar que los cambios tanto de flavonoides como de ácidos fenólicos por enzimas, pH, temperatura, electrolitos, agitación y tiempo, hacen más bioaccesibles y una posible acción bioactiva; esto es de relevancia para ayudar a prevenir enfermedades estomacales que causan úlceras, inflamación, y cáncer de estómago (Ardalani et al., 2020; Toofani et al., 2020) debido a la actividad antioxidante que estas mezclas podrían estar efectuando, se presenta evidencia científica de cuales compuestos podrían estar teniendo un efecto cuando se usa la semilla de manera etnofarmacológica.

Conclusiones

Estos resultados evidencian que los compuestos fenólicos siendo mayoritarios los flavonoides presentes en los extractos de semilla de aguacate resisten la digestión oral-gástrica durante la simulación *in vitro*. Así mismo se resalta que las mezclas de los extractos acuoso y lipofílico poseen mayor concentración de compuestos fenólicos que los extractos individuales, siendo la etapa gástrica a los 25 minutos la que los compuestos se conservan a pesar de las condiciones ácidas, mecánicas y enzimáticas de la etapa digestiva. Mientras que la etapa gástrica a los 120 minutos se evidenció que los compuestos fenólicos pueden llegar al intestino delgado donde podrían absorberse y ejercer un efecto benéfico a la salud. Por lo que, los extractos individuales como las mezclas pueden ser utilizados en la industria alimenticia como antioxidantes naturales otorgando posibles efectos benéficos al consumidor como la prevención de la inflamación gástrica.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Universidad Autónoma de Querétaro y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado a esta investigación.

Referencias

- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 51-60 <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Ardalani, H., Hadipanah, A., & Sahebkar, A. (2020). Medicinal plants in the treatment of peptic ulcer disease: A review. *Mini reviews in medicinal chemistry*, 20(8), 662-702; <https://doi.org/10.2174/1389557520666191227151939>
- Ayala-Zavala, J., Castillo-Romero, T. D. J., Salgado-Cervantes, M., Marín-Castro, U., Vargas-Ortiz, M., Pallet, D., & Servent, A. (2023). Flash Vacuum Expansion: Effect on Physicochemical, Biochemical and Sensory Parameters in Fruit Processing. *Food Reviews International*, 1-34. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2197997>
- Bouyahya, A., Omari, N. E., Bakrim, S., Hachlafi, N. E., Balahbib, A., Wilairatana, P., & Mubarak, M. S. (2022). Advances in Dietary Phenolic Compounds to Improve Chemosensitivity of Anticancer Drugs. *Cancers*, 14(19), 4573 <https://doi.org/10.3390/cancers14194573>
- Brodtkorb, A., Egger, L., Alming, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., & Recio, I. (2019). INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, 14(4), 991-1014, <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
- Charles, A. C., Dadmohammadi, Y., & Abbaspourrad, A. (2022). Food and cosmetic applications of the avocado seed: a review. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/D1FO02438H>
- Cheung, Ka-Shing, & Wai K Leung. (2018). "Risk of gastric cancer development after eradication of *Helicobacter pylori*." *World journal of gastrointestinal oncology* 10(5): 115-23, <https://doi.org/10.4251/wjgo.v10.i5.115>
- Dabas, D., M Shegog, R., R Ziegler, G., & D Lambert, J. (2013). Avocado (*Persea americana*) seed as a source of bioactive phytochemicals. *Current pharmaceutical design*, 19(34), 6133-6140 <https://doi.org/10.2174/1381612811319340007>
- Echizen, K., Horiuchi, K., Aoki, Y., Yamada, Y., Minamoto, T., Oshima, H., & Oshima, M. (2019). NF-κB-induced NOX1 activation promotes gastric tumorigenesis through the expansion of SOX2-positive epithelial cells. *Oncogene*, 38(22), 4250-4263 <https://doi.org/10.1038/s41388-019-0702-0>
- Figuroa, J. G., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2018). Comprehensive characterization of phenolic and other polar compounds in the seed and seed coat of avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Research International*, 105, 752-763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.082>
- GDN, 2023. Gran Diccionario Náhuatl [en línea]. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México D.F.: 2023 (ref del 11-05-2023). Disponible en la Web <<https://gdn.iib.unam.mx>>.

- Gil-Martín, E., Forbes-Hernández, T., Romero, A., Cinciosi, D., Giamperi, F., & Battino, M. (2022). Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*, 378, 131918 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131918>
- Karrar E, Sheth S, Navicha WB, Wei W, Hassanin H, Abdalla M, Wang X (2018). A potential new source: Nutritional and antioxidant properties of edible oils from cucurbit seeds and their impact on human health. *J Food Biochem* 43:e12733; <https://doi.org/10.1111/jfbc.12733>
- Kashyap, P., Riar, C. S., & Jindal, N. (2022). Effect of extraction methods and simulated in vitro gastrointestinal digestion on phenolic compound profile, bio-accessibility, and antioxidant activity of Meghalayan cherry (*Prunus nepalensis*) pomace extracts. *LWT*, 153, 112570; <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112570>.
- Labanski, A., Langhorst, J., Engler, H., & Elsenbruch, S. (2020). Stress and the brain-gut axis in functional and chronic-inflammatory gastrointestinal diseases: A transdisciplinary challenge. *Psycho-neuroendocrinology*, 111, 104501 <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2019.104501>
- Negi, S. (2019). Lipases: A Promising Tool for Food Industry. In: Parameswaran, B., Varjani, S., Raveendran, S. (eds) Green Bioprocesses. Energy, Environment, and Sustainability. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3263-0_10
- Premathilaka, R., Rashidinejad, A., Golding, M., & Singh, J. (2022). Oral delivery of hydrophobic flavonoids and their incorporation into functional foods: Opportunities and challenges. *Food Hydrocolloids*, 107567. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107567>
- Rai, D. K., & Tzima, K. (2021). A Review on Chromatography–Mass Spectrometry Applications on Anthocyanin and Ellagitannin Metabolites of Blackberries and Raspberries. *Foods*, 10(9), 2150; <https://doi.org/10.3390/foods10092150>.
- Sánchez-Quezada, Gaytán-Martínez, Recio, & Loarca-Piña (2023). Avocado seed by-product uses in emulsion-type ingredients with nutraceutical value: stability, cytotoxicity, nutraceutical properties, and assessment of *in vitro* oral-gastric digestion, *Food Chemistry*, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136118>
- Sánchez-Quezada, V., Velázquez-Guadarrama, N., Mendoza-Elizalde, S., Hernández-Iturriaga, M., Landaverde, P. V., & Loarca-Piña, G. (2024). Bioaccessibility of bioactive compounds present in *Persea americana* Mill. seed ingredient during oral-gastric digestion with antibacterial capacity against *Helicobacter pylori*. *Journal of Ethnopharmacology*, 331, 118259, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118259>
- Sęczyk, Ł., Sugier, D., Świeca, M., & Gawlik-Dziki, U. (2021). The effect of *in vitro* digestion, food matrix, and hydrothermal treatment on the potential bioaccessibility of selected phenolic compounds. *Food Chemistry*, 344, 128581; <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128581>
- Stephen, J., & Radhakrishnan, M. (2022). Avocado (*Persea americana* Mill.) fruit: Nutritional value, handling and processing techniques, and health benefits. *Journal of Food Processing and Preservation*, e17207 <https://doi.org/10.1111/jfpp.17207>
- Toofani, Milani, A., Rashidi, S., Mahmoudi, R., & Karimi Douna, B. (2019). Cytotoxic Activity of Epigallocatechin and Trans-Cinnamaldehyde in Gastric Cancer Cell Line. *Asian Pacific Journal of Cancer Biology*, 4(4), 71–74; <https://doi.org/10.31557/APJCB.2019.4.4.71-74>.
- Vivarelli, S., Costa, C., Teodoro, M., Giambò, F., Tsatsakis, A. M., & Fenga, C. (2023). Polyphenols: A route from bioavailability to bioactivity addressing potential health benefits to tackle human chronic diseases. *Archives of Toxicology*, 97(1), 3-38 <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03391-2>
- Zheng, Y. Z., Deng, G., & Zhang, Y. C. (2022). Multiple free radical scavenging reactions of flavonoids. *Dyes and Pigments*, 198, 109877, <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109877>

Ensayo expositivo

Lipasas: una alternativa para el uso y la biorremediación de aceites residuales de cocina

Lipases: an alternative for the use and bioremediation of used cooking oils

Miguel Ángel Canseco Pérez^{1,2*}, Yolanda del Carmen Pérez Luna²,
Roberto Berrones Hernández², Yazmin Sánchez Roque²

¹Posdoctoral CONAHCYT

²Universidad Politécnica de Chiapas

Autor de correspondencia:

*mcanseco@ia.upchiapas.edu.mx

Recibido: 13-11-2023 Aceptado: 05-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Los aceites de cocina usados son un subproducto generado de los procesos de preparación de alimentos en todo el mundo, en su mayoría están constituidos por aceites vegetales que fueron sometidos a temperaturas elevadas, causando termo-degradación y un cambio en sus propiedades fisicoquímicas, favoreciendo la formación de algunos compuestos tóxicos. Su elevada producción y su disposición incorrecta representan un problema ambiental y de salud pública importante. Por lo que se deben buscar alternativas, ya sea para su eliminación o su reintroducción de manera segura en las cadenas de valor. El presente trabajo aborda parte de la problemática de los aceites de cocina usados y de cómo el uso de enzimas llamadas lipasas pueden coadyuvar a la valorización de este producto o a la mitigación del impacto ambiental cuando es vertido en los sistemas de drenaje.

Palabras clave: Biodiésel, Contaminación, Impacto ambiental, Transesterificación.

Abstract

Used cooking oils are a by-product generated from food preparation processes all over the world, mostly made up of vegetable oils that have been subjected to high temperatures, causing thermo-degradation and a change in their physicochemical properties, favoring the formation of some toxic compounds. Their high production and improper disposal represent a major environmental and public health problem. Therefore, alternatives must be sought, either for their elimination or their safe reintroduction into the value chains. This work addresses part of the problem of used cooking oils and how the use of enzymes called lipases can contribute to the valorization of this product or to the mitigation of the environmental impact when it is dumped in drainage systems.

Keywords: Biodiesel, Pollution, Environmental impact, Transesterification.

Introducción

El rápido crecimiento poblacional, los procesos migratorios y la globalización, han permitido la internacionalización de diferentes gastronomías y de nuevos estilos culinarios, como es el caso de la comida rápida y la fritura profunda. Esto ha favorecido cambios dietéticos a nivel global, generando un incremento en el consumo de aceites vegetales y grasas animales para la elaboración de los alimentos. Solo para el periodo 2022-2023 el consumo mundial de aceite de girasol fue de 18.5 millones de toneladas métricas, mientras que la producción de aceites vegetales en el mundo ascendió a 208.81 millones de toneladas métricas en el periodo 2021-2022 (Shahbandeh, 2023).

Se consideran aceites de cocina usados a las grasas animales y aceites vegetales empleados en procesos de preparación de alimentos a nivel industrial, doméstico, en restaurantes y hoteles (Awogbemi et al., 2021; Foo et al., 2021; Joshi et al., 2023; Lopes et al., 2020). Los aceites de cocina están mayormente constituidos por triglicéridos de cadena larga y ácidos grasos libres (Tabla 1), los cuales al ser sometidos a elevadas temperaturas (150 °C— 200 °C) en repetidos ciclos, incrementan su contenido de agua, se deterioran en sus propiedades químicas y sufren cambios físicos (color, viscosidad, densidad), favoreciendo la oxidación, la polimerización, la formación de compuestos volátiles (Awogbemi et al., 2021; Kumar y Negi, 2015) y com-

puestos tóxicos como la acrilamida, aldehídos y 4-hidroximetilfurfuran (Zahri et al., 2021).

Reutilizar estos aceites para la alimentación humana, puede ocasionar reacciones adversas a la salud, como dispepsia, dolor estomacal, diarrea e incluso enfermedades graves como cáncer intestinal o gástrico, incremento de especies reactivas de oxígeno (ROS), genotoxicidad e incremento de enfermedades cardiovasculares, por nombrar algunas (Foo et al., 2022; Liang et al., 2013; Perumalla Venkata & Subramanyam, 2016). Su uso para la alimentación animal tampoco está recomendado debido a la posible contaminación por la formación de dioxinas y su posterior bioacumulación dentro del tejido animal, que genera un efecto de bio magnificación a lo largo de la cadena de alimentos (Boatella-Riera & Codony, 2000).

Es difícil cuantificar de manera exacta la producción de los aceites de cocina usados debido a que en la mayoría de los países la producción es variable, incluso entre regiones de un mismo país, y no existe un control exacto sobre su descarga en aguas residuales o vertederos (Lopes et al., 2020). Sin embargo, se estima que en 2022 fueron generadas 16.54 millones de toneladas de aceite de cocina usado a nivel mundial, China produjo alrededor de 5.6 millones de toneladas (Tabla 2) o Brasil con una producción de cerca de 160 toneladas por mes, con apenas un 2.5 % reintroducido en el ciclo de producción (Foo et al., 2021, 2022; Lopes et al., 2020; Teixeira et al., 2018). Para México no se tienen datos exactos.

La disposición final de los aceites de cocina usados representa un reto importante debido a su alto volumen y su incorrecto desecho, ya que la mayor parte de lo que se produce en los hogares es vertido directamente a los sistemas de drenaje o en algunos casos envasados en botellas de plástico o vidrio y desechados posteriormente en los sistemas de recolección de la basura.

Este manejo incorrecto del aceite de cocina usado representa un problema ambiental severo, constituye el 25 % de los contaminantes en aguas residuales y produce efectos ambientales similares a los reportados por el petróleo (Popoola et al., 2022; Ulukardesler, 2023). Por ejemplo, cuando son desechados en el drenaje, pueden llegar a obstruir tuberías y plantas de tratamiento, incrementar la carga orgánica en las aguas subterráneas favoreciendo la eutrofización de los ecosistemas, formar capas de aceite sobre los cuerpos de agua impidiendo el paso de la luz solar y reduciendo el contenido de oxígeno disuelto. En el caso de derrames en el suelo, se favorece la proliferación de plagas como roedores, la presencia de olores de rancidez y puede recubrir el suelo aislándolo del aire y agua, lo que lleva a la muerte de la macro y microbiota de este (Foo et al., 2021; Hamdi et al., 2022; Lopes et al., 2020; Singh-Ackbarali et al., 2017).

Las lipasas en la biorremediación de aceites residuales

Una de las alternativas para la eliminación del aceite de cocina usado de las aguas residuales, es la

Tabla 1. Composición y propiedades del aceite de cocina usado.

Composición química	Porcentaje	Propiedad	Valor
Triglicérido	79.1	Índice de acidez	28.7 mg-KOH/g-aceite
Diglicérido	1.8	Índice de Yodo	88.6 g-I ₂ /100 g aceite
Monoglicéridos	2.2	Viscosidad	57.8 mPa/s
Ácidos grasos libres	16.9	Densidad	0.92 g/ml

Fuente: Tomada y adaptada de Liu, Y., Sotelo-Boyás, R., Murata, K., Minowa, T., & Sakanishi, K. (2012).

Tabla 2. Producción de aceites de cocina usados por país.

Países	Estimación de la producción (millones de toneladas por año)	Estimación de colecta (millones de toneladas por año)	Referencia
China	5.6	3.086-4.097	Kristiana et al., 2022; Lopes et al., 2020.
Estados Unidos de América	1.2	n/d*	Lopes et al., 2020.
India	1.1	0.224-0.326	Kristiana et al., 2022; Lopes et al., 2020.
Unión Europea y Reino Unido	1.6	0.7-1.2	Grinsven et al., 2020; Loizides et al., 2019.

*n/d: no determinado

Fuente: Elaboración propia (2023).

biorremediación por medio de lipasas que ayuden a su degradación, hidrolizando los triacilglicéridos, generando ácidos grasos libres y glicerol que son más fáciles de degradar (Figura 1). Las lipasas o triacilglicerol hidrolasas (EC 3.1.1.3) son un grupo de enzimas ampliamente distribuidas en la naturaleza (Casas-Godoy et al., 2018), que pueden realizar distintos tipos de reacciones catalíticas, ya sea de hidrólisis o de síntesis (esterificación, amidación, tioesterificación y transesterificación).

Algunos casos del uso exitoso de lipasas para biorremediación son el de Işık et al., (2021), quienes reportan el empleo de una lipasa de *Acinetobacter haemolyticus* inmovilizada en membrana de cáscara de huevo que retiene hasta el 50 % de su actividad después de 19 ciclos de uso, logrando hidrolizar diversos aceites comestibles mezclados con agua. Por su parte Kumar et al., (2012), indujeron la producción de lipasas en una cepa de *Penicillium chrysogenum* en medio sólido empleando como inductor: grasa y salvado de trigo (en una relación 1:1), la enzima fue purificada y posteriormente usada para determinar su actividad sobre el aceite de cocina usado, siendo capaz de hidrolizarlo.

Okino-Delgado (2017), evaluó diferentes protocolos para la concentración de lipasas obtenidas de desperdicios de naranja, con la finalidad de cuantificar la actividad lipolítica de estas sobre aceite de soja fresco y sometido a varios ciclos de calentamiento, observando la liberación de ácidos grasos en ambas muestras. Mientras que Selvam y Vishnupriya (2013) evaluaron la capacidad de biorremediación en efluentes de aguas residuales de mataderos empleando una cepa de *Streptomyces variabilis* NGP 3, observando hasta el 93.91 % de degradación de grasas en el cuarto día de tratamiento. Esta actividad lipolítica podría estar asociada a dos lipasas [Lipa 60 kilodalton (kDa) y Lipb 50 kDa] inducidas en este estudio.

Producción de biodiésel a partir aceites usados y lipasas

Otra de las alternativas para el aprovechamiento de los aceites de cocina usados, es emplearlos como materia prima para la producción de biodiésel, debido a su bajo costo y alta disponibilidad en comparación con los aceites vegetales refinados (Rodrigues et al., 2023). En la mayoría de los casos este biodiésel es

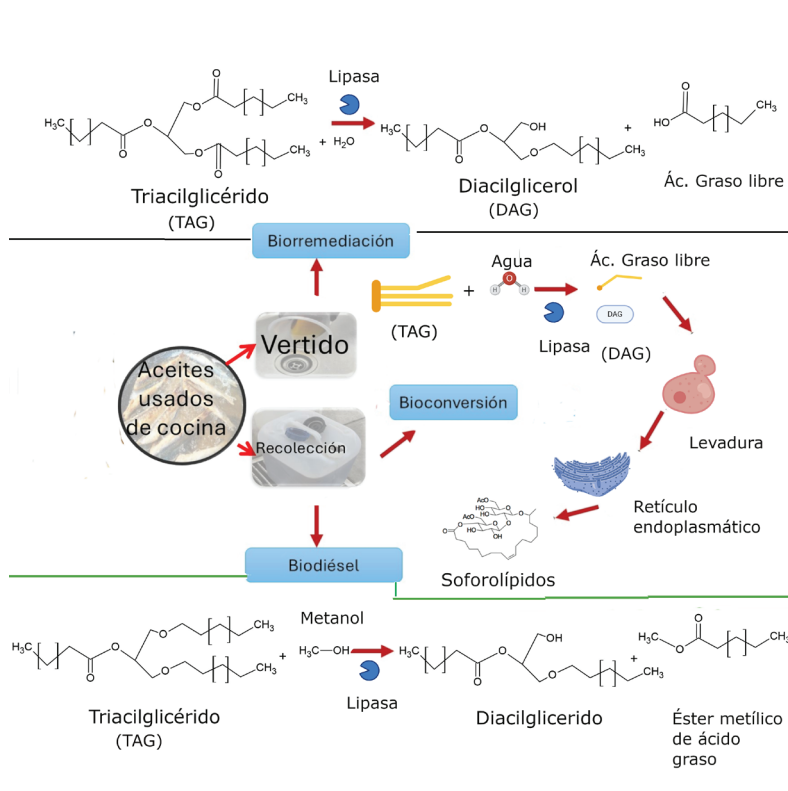


Figura 1. Representación gráfica de procesos que se pueden llevar a cabo con lipasas empleando como sustrato Aceites usados de cocina.
Fuente: Elaboración propia.

producido mediante una reacción química que emplea metanol (CH₃OH) e hidróxido de sodio (NaOH) como catalizador, pero esta presenta algunos inconvenientes cuando se trabaja con los aceites de cocina usados, ya que requieren un precalentamiento para la eliminación del agua contenida hasta llevarla a una concentración por debajo del 1 %. En cambio, si la producción de biodiésel se realiza mediante una catálisis enzimática empleando lipasas, este calentamiento del aceite de cocina usado no es requerido. Además, presenta algunas otras ventajas como son: la eliminación de efluentes alcalinos, facilitan la recuperación de glicerol, no forma jabones y transesterifican aceites de cocina usados con alta concentración de ácidos grasos libres y agua (Kalita et al., 2022).

Actualmente, muchos investigadores se enfocan en evaluar la capacidad de transesterificación de estas lipasas empleando distintos aceites residuales y metodologías de inmovilización, con el fin de hacer la tecnología viable económicamente (Tabla 3).

Biorremediación y Bioconversión de aceites usados empleando microorganismos

El empleo de microorganismos de manera directa para la biorremediación o la bioconversión de los aceites de cocinas usados en subproductos de valor agregado es una alternativa, que depende inicialmente de la degradación del triacilglicérido de manera extracelular, mediante el actuar de las lipasas y pos-

teriormente, la absorción de los ácidos grasos libres por la célula. En el caso de las células eucariotas, la degradación de estos ácidos grasos libres se realiza en dos etapas: la primera corresponde a la activación en el citoplasma y la entrada del ácido graso libre a la mitocondria mediante la adición de una molécula de coenzima A y la segunda etapa corresponde a la β-oxidación en el interior de la membrana mitocondrial (Bustamante-Torres et al., 2021).

Géneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Curvularia*, *Yarrowia*, entre otros., se han estudiado para el aprovechamiento de los aceites residuales y su biotransformación a productos de valor agregado como ácidos orgánicos, surfactantes, tensoactivos o biomasa rica en lípidos (Gao et al., 2022; Hamdi et al., 2022). Papanikolau et al., (2011) evaluaron la capacidad de crecimiento y bioconversión por parte de cepas de *Aspergillus* y *Penicillium*, empleando aceite de oliva residual como fuente de carbono, observando una alta producción de biomasa en ambos hongos y la producción de ácido oxálico por una cepa de *Aspergillus* en concentraciones arriba de los 5 g l⁻¹, a la par cuantificaron la acumulación de lípidos en las cepas donde alcanzaron un 64 % (g/g) con respecto a la masa seca en una cepa de *Aspergillus* sp. ATHUM 3482.

Trabajos similares se han realizado con levaduras oleaginosas como es el caso de *Rhodospiridium to-*

Tabla 3. Lipasas empleadas para la producción de biodiésel a partir de aceites usados de cocina.

Microorganismo	Inmovilizado o libre	Proporción aceite: alcohol	Rendimiento (%)	Referencia
<i>Leonotis nepetifolia</i>	Libre	1:3	71.5	Ávila Vázquez et al., 2023
<i>Endomelanconiopsis endophytica</i>	Libre	1:3	89 -91	Rodrigues et al., 2023
<i>Aspergillus oryzae</i> y <i>Rhizomucor miehei</i>	Microcápsulas magnéticas de Fe ₃ O ₄ con quitosano	1:4	98.5	Wei et al., 2023
<i>Bacillus stearothermophilus</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>	Inmovilizada CaCO ₃	1:6	97.66 ±0.57	Ben Bacha et al., 2022
<i>Bacillus stratosphericus</i> PSP8 lipasa	Inmovilizada en nano sílices funcionalizadas con amina	1:4.5	93.4	Ismail et al., 2022
Mezcla de lipasas de <i>Candida rugosa</i> y <i>Rhizomucor miehei</i>	Inmovilizada en polidioxibutirato	1:6	96.5	Binhayeeding et al., 2020
<i>Candida rugosa</i> LipA	Libre	1:7	94.6 ±1.4	Guo et al., 2020
<i>Thermomyces lanuginosus</i> (TL lipasa)	Inmovilizada en nanopartículas de Fe ₃ O ₄ /Au	1:6	90	Sarno & Iuliano, 2019
<i>Candida antártica</i> (CALB) y <i>Rhizomucor miehei</i> (RML)	Inmovilizada en sílice funcionalizada con resina epoxi	1:3	91.5	Babaki et al., 2017
<i>Candida antártica</i> (CALB)	Inmovilizada en nanopartículas magnéticas	1:9	62	Mehrasbi et al., 2017

Fuente: Modificada de Kalita, et al., (2022).

ruloides la cual fue sometida a una co-fermentación en donde se emplearon dos distintas fuentes de carbono (hidrolizados de residuos alimenticios y aceites de cocina usados), con la finalidad de evaluar la bioacumulación de lípidos en la biomasa microbiana, alcanzando rendimientos de 7.2 g/kg. Sin embargo, se observó una inhibición de la bioacumulación a concentraciones elevadas de aceites de cocina usados en el medio (Gao et al., 2022).

También se han hecho trabajos con bacterias y levaduras, en los cuales se emplean los aceites de cocina usados o residuales como fuente de carbono para el crecimiento y la producción de compuestos de valor agregado como son los bio surfactantes (Tabla 4), estos son moléculas que emulsifican hidrocarburos hidrofóbicos, reduciendo su tensión superficial y aumentando su solubilidad en agua (Shi et al., 2021). Actualmente, han surgido como una alternativa para la sustitución de los surfactantes químicos al ser de baja toxicidad y biodegradables (Dobler et al., 2016). Dentro de los principales bio surfactantes producidos por microorganismos empleando los aceites residuales de cocina se destacan: los Soforolípidos y Ramnolípidos.

- Soforolípidos: Pertenecen a un grupo de glicolípidos que se encuentran constituidos por un dímero de glucosa unido mediante un enlace 1,2 y una cadena larga de ácido graso unida mediante un enlace glucosídico (Liepins et al., 2021), pueden

presentarse en una configuración cerrada (lactónico) o abierta (ácida), de la cual dependerán sus aplicaciones. Se emplea en la elaboración de empaques para alimentos debido a su actividad antimicrobiana, como promotor del crecimiento en plantas y protección contra patógenos (Pal et al., 2023). Se emplean en cosméticos y productos de cuidado personal cumpliendo funciones como emulsificador agente formado de espumas, solubilizador y agente humectante, etc., teniendo buena compatibilidad con las células de la piel y excelentes propiedades hidratantes (Filipe et al., 2022; Lourith & Kanlayavattanakul, 2009).

- Ramnolípidos: Constituida por una o dos moléculas de azúcares de ramnosa y un ácido graso hidroxilado de cadena variable que puede ir desde los 8 carbonos hasta los 22. Se emplean en cosméticos y productos de cuidado personal, procesamiento de alimentos, biorremediación, agricultura y farmacéutica (Chong & Li, 2017).

Conclusiones

Los aceites de cocina usados representan una problemática severa hoy en día, debido a los problemas ambientales y de salud que conlleva su reúso y eliminación, por lo que se requiere la generación de protocolos de recuperación eficientes que no se enfoquen únicamente en la recolección de lo producido a gran escala, sino también en la captación del aceite producido en los hogares, ya que estos son los que se

Tabla 4. Producción de biosurfactantes empleando aceites residuales de cocina como fuente de carbono.

Biosurfactante	Microorganismo	Fuente de carbono	Condiciones de fermentación	Rendimientos	Referencia
Soforolípidos	<i>Starnerella bombicola</i> (CGMCC1576)	Aceite de Girasol Aceite usado frito Aceite usado y fresco de Tung (<i>Vernicia fordii</i>)	25 °C, 700 rpm por 7 días	44.52 g/L 39.09 g/L Sin resultado	Wang et al., 2024
	<i>Candida parapsilosis</i>	Aceite de fritura de desecho	Fermentación en fase sólida, pH 7.2 28°C por 5 días	39 g/ 100 g de sustrato	Al-kashef et al., 2023
	<i>Starnerella bombicola</i>	Aceite de cocina usado	Fed-Batch 25 C, pH 3.5, Tasa de aireación 1 vvm	84.8 g/L	Kim et al., 2021
Ramnolípidos	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> OG1	Aceites de fritura de desecho	30 °C, 150 rpm y 192 h	13.31 g/L	Ozdal et al., 2017
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> MTCC 2297	Aceite de coco usado	37 °C, sin agitación, pH 5.5-8, 192 h	2.26 g/L	George & Jayachandran, 2013
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> M4	Aceite de cocina usado	35 °C por 20 h	1.119 g/L	Shi et al., 2021
	<i>Pseudomonas putida</i>	Aceite de cocina usado para fritura		4.1 g/L	Raza et al., 2020

Fuente: Modificado de Fraga et al., (2021).

vierten la mayoría de las veces al sistema de drenaje. Asimismo, es necesario generar tecnologías que permitan darle un valor agregado al aceite residual recolectado, para que sea reintroducido con éxito en el ciclo de producción; en este sentido, el estudio y el desarrollo de tecnologías que emplean lipasas ya sea para la transesterificación, bioconversión o para la biorremediación de los aceites de cocina usados, es una alternativa viable que lleva algún tiempo siendo estudiada y a la que valdría la pena dedicar más investigación para la adecuada transferencia tecnológica, pues desafortunadamente hasta ahora no se ha podido pasar de las pruebas piloto a la aplicación a gran escala.

Referencias

- Al-kashef, A. S., Nooman, M. U., Rashad, M. M., Hashem, A. H., & Abdelraof, M. (2023). Production and optimization of novel Sphorolipids from *Candida parapsilosis* grown on potato peel and frying oil wastes and their adverse effect on Mucorales fungal strains. *Microbial Cell Factories*, 22(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02088-0>
- Awogbemi, O., Kallon, D. V. V., Aigbodion, V. S., & Panda, S. (2021). Advances in biotechnological applications of waste cooking oil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100158. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100158>
- Babaki, M., Yousefi, M., Habibi, Z., & Mohammadi, M. (2017). Process optimization for biodiesel production from waste cooking oil using multi-enzyme systems through response surface methodology. *Renewable Energy*, 105, 465-472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.086>
- Binhayeeding, N., Klomklao, S., Prasertsan, P., & Sangkharak, K. (2020). Improvement of biodiesel production using waste cooking oil and applying single and mixed immobilised lipases on polyhydroxyalkanoate. *Renewable Energy*, 162, 1819-1827. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.009>
- Boatella-Riera, J., & Codony, R. (2000). *Recycled Cooking Oils: Assessment of risks for public health*. [Working document for the STOA Panel].
- Bustamante-Torres, M., Romero-Fierro, D., Estrella-Núñez, J., & Bucio, E. (2021). Microbial Degradation of Lipids. En . Inamuddin, M. I. Ahamed, & R. Prasad (Eds.), *Recent Advances in Microbial Degradation* (pp. 251-272). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0518-5_9
- Casas-Godoy, L., Gasteazoro, F., Duquesne, S., Bordes, F., Marty, A., & Sandoval, G. (2018). Lipases: An Overview. En G. Sandoval (Ed.), *Lipases and Phospholipases* (Vol. 1835, pp. 3-38). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8672-9_1
- Chong, H., & Li, Q. (2017). Microbial production of rhamnolipids: Opportunities, challenges and strategies. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 137. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0753-2>
- Dobler, L., Vilela, L. F., Almeida, R. V., & Neves, B. C. (2016). Rhamnolipids in perspective: Gene regulatory pathways, metabolic engineering, production and technological forecasting. *New Biotechnology*, 33(1), 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2015.09.005>
- Filipe, G. A., Bigotto, B. G., Baldo, C., Gonçalves, M. C., Kobayashi, R. K. T., Lonni, A. A. S. G., & Celligoi, M. A. P. C. (2022). Development of a multifunctional and self-preserving cosmetic formulation using sphorolipids and palmarosa essential oil against acne-causing bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 133(3), 1534-1542. <https://doi.org/10.1111/jam.15659>
- Foo, W. H., Chia, W. Y., Tang, D. Y. Y., Koay, S. S. N., Lim, S. S., & Chew, K. W. (2021). The conundrum of waste cooking oil: Transforming hazard into energy. *Journal of Hazardous Materials*, 417, 126129. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126129>
- Foo, W. H., Koay, S. S. N., Chia, S. R., Chia, W. Y., Tang, D. Y. Y., Normanbhay, S., & Chew, K. W. (2022). Recent advances in the conversion of waste cooking oil into value-added products: A review. *Fuel*, 324, 124539. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124539>
- Fraga, J. L., Pereira, A. D. S., Diniz, M. M., Fickers, P., & Amaral, P. F. F. (2021). Valorization of urban waste oil by microbial conversions. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100145. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2021.100145>
- Gao, Z., Ma, Y., Liu, Y., & Wang, Q. (2022). Waste cooking oil used as carbon source for microbial lipid production: Promoter or inhibitor. *Environmental Research*, 203, 111881. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111881>
- George, S., & Jayachandran, K. (2013). Production and characterization of rhamnolipid biosurfactant from waste frying coconut oil using a novel *Pseudomonas aeruginosa* D. *Journal of Applied Microbiology*, 114(2), 373-383. <https://doi.org/10.1111/jam.12069>
- Grinsven, A. van, Kampman, B., van den Toorn, E., & van der Veen, R. (2020). *Used Cooking Oil (UCO) as biofuel feedstock in the EU*. CE Delft - EN. <https://cedelft.eu/publications/used-cooking-oil-ucos-biofuel-feedstock-in-the-eu/>
- Guo, J., Sun, S., & Liu, J. (2020). Conversion of waste frying palm oil into biodiesel using free lipase A from *Candida antarctica* as a novel catalyst. *Fuel*, 267, 117323. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117323>
- Hamdi, N. A., Sha'arani, S., Azman, N. F., Rafi, S. B. Mohd., Norsin, E., & Othman, N. (2022). Management of Waste Cooking Oil and its Potential for Value-added Materials: A Mini Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1091(1), 012054. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1091/1/012054>
- Işık, C., Saraç, N., Teke, M., & Uğur, A. (2021). A new bioremediation method for removal of wastewater containing oils with high oleic acid composition: *Acinetobacter haemolyticus* lipase immobilized on eggshell membrane with improved stabilities. *New Journal of Chemistry*, 45(4), 1984-1992. <https://doi.org/10.1039/D0NJ05175F>
- Ismail, A. R., Kashtoh, H., Betiha, M. A., Abu Amr, S. A., Baek, K.-H., & El-Gendy, N. Sh. (2022). Valorization of Waste Cooking Oil into Biodiesel via *Bacillus stratosphericus* Lipase Amine-Functionalized Mesoporous SBA-15 Nanobiocatalyst. *International Journal of Chemical Engineering*, 2022, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2022/7899996>
- Joshi, J. R., Bhandari, K. K., & Patel, J. V. (2023). Waste cooking oil as a promising source for bio lubricants- A review. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(1), 100820. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100820>
- Kalita, P., Basumatary, B., Saikia, P., Das, B., & Basumatary, S. (2022). Biodiesel as renewable biofuel produced via enzyme-based catalyzed transesterification. *Energy Nexus*, 6, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100087>

- Kim, J.-H., Oh, Y.-R., Hwang, J., Kang, J., Kim, H., Jang, Y.-A., Lee, S.-S., Hwang, S. Y., Park, J., & Eom, G. T. (2021). Valorization of waste-cooking oil into sophorolipids and application of their methyl hydroxyl branched fatty acid derivatives to produce engineering bioplastics. *Waste Management*, 124, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.003>
- Kristiana, T., Baldino, C., & Searle, S. (2022). An estimate of current collection and potential collection of used cooking oil from major Asian exporting countries. *ICCT Working Paper*, 13.
- Kumar, S., Mathur, A., Singh, V., Nandy, S., Khare, S. K., & Negi, S. (2012). Bioremediation of waste cooking oil using a novel lipase produced by *Penicillium chrysogenum* SNP5 grown in solid medium containing waste grease. *Bioresource Technology*, 120, 300-304. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.06.018>
- Kumar, S., & Negi, S. (2015). Transformation of waste cooking oil into C-18 fatty acids using a novel lipase produced by *Penicillium chrysogenum* through solid state fermentation. *3 Biotech*, 5(5), 847-851. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0268-z>
- Liang, S., Liu, Z., Xu, M., & Zhang, T. (2013). Waste oil derived bio-fuels in China bring brightness for global GHG mitigation. *Bioresource Technology*, 131, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.008>
- Liepins, J., Balina, K., Soloha, R., Berzina, I., Lukasa, L. K., & Dace, E. (2021). Glycolipid Biosurfactant Production from Waste Cooking Oils by Yeast: Review of Substrates, Producers and Products. *Fermentation*, 7(3), 136. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030136>
- Loizides, M., Loizidou, X., Orthodoxou, D., & Petsa, D. (2019). Circular Bioeconomy in Action: Collection and Recycling of Domestic Used Cooking Oil through a Social, Reverse Logistics System. *Recycling*, 4(2), 16. <https://doi.org/10.3390/recycling4020016>
- Lopes, M., Miranda, S. M., & Belo, I. (2020). Microbial valorization of waste cooking oils for valuable compounds production – a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(24), 2583-2616. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1704602>
- Lourith, N., & Kanlayavattanakul, M. (2009). Natural surfactants used in cosmetics: Glycolipids. *International Journal of Cosmetic Science*, 31(4), 255-261. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2494.2009.00493.x>
- Okino-Delgado, C. H., Prado, D. Z. D., Facanali, R., Marques, M. M. O., Nascimento, A. S., Fernandes, C. J. D. C., Zambuzzi, W. F., & Fleuri, L. F. (2017). Bioremediation of cooking oil waste using lipases from wastes. *PLOS ONE*, 12(10), e0186246. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186246>
- Ozdal, M., Gurkok, S., & Ozdal, O. G. (2017). Optimization of rhamnolipid production by *Pseudomonas aeruginosa* OG1 using waste frying oil and chicken feather peptone. *3 Biotech*, 7(2), 117. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0774-x>
- Pal, S., Chatterjee, N., Das, A. K., McClements, D. J., & Dhar, P. (2023). Sophorolipids: A comprehensive review on properties and applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 313, 102856. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.102856>
- Papanikolaou, S., Dimou, A., Fakas, S., Diamantopoulou, P., Philippousis, A., Galiotou-Panayotou, M., & Aggelis, G. (2011). Biotechnological conversion of waste cooking olive oil into lipid-rich biomass using *Aspergillus* and *Penicillium* strains: Waste oil valorization by higher fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 110(5), 1138-1150. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04961.x>
- Perumalla Venkata, R., & Subramanyam, R. (2016). Evaluation of the deleterious health effects of consumption of repeatedly heated vegetable oil. *Toxicology Reports*, 3, 636-643. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.08.003>
- Popoola, B. M., Olanbiwoninu, A. A., & Fashogbon, R. O. (2022). Bioremediation of Vegetable Oil Contaminated Soil with Two Microbial Isolates. *Advances in Microbiology*, 12(04), 218-241. <https://doi.org/10.4236/aim.2022.124017>
- Raza, Z. A., Khalid, Z. M., Ahmad, N., & Tehseen, B. (2020). Statistical Optimisation of Rhamnolipid Production using a *Pseudomonas putida* Strain Cultivated on Renewable Carbon Sources of Waste Vegetable Oils. *Tenside Surfactants Detergents*, 57(1), 13-21. <https://doi.org/10.3139/113.110664>
- Rodrigues, J. G. C., Cardoso, F. V., Santos, C. C. D., Matias, R. R., Machado, N. T., Duvoisin Junior, S., & Albuquerque, P. M. (2023). Biocatalyzed Transesterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Production Using Lipase from the Amazonian Fungus *Endomelanconopsis endophytica*. *Energies*, 16(19), 6937. <https://doi.org/10.3390/en16196937>
- Sarno, M., & Iuliano, M. (2019). Biodiesel production from waste cooking oil. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 828-836. <https://doi.org/10.1515/gps-2019-0053>
- Selvam, K., & Vishnupriya, B. (2013). Partial purification of lipase from *Streptomyces variabilis* NGP 3 and ITS application in bioremediation of waste water. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(11), 4281-4289.
- Shahbandeh, M. (2023). *Vegetable oils consumption worldwide 2022/23*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/>
- Shi, J., Chen, Y., Liu, X., & Li, D. (2021). Rhamnolipid production from waste cooking oil using newly isolated halotolerant *Pseudomonas aeruginosa* M4. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123879. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123879>
- Singh-Ackbarali, D., Maharaj, R., Mohamed, N., & Ramjattan-Harry, V. (2017). Potential of used frying oil in paving material: Solution to environmental pollution problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(13), 12220-12226. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8793-z>
- Teixeira, M. R., Nogueira, R., & Nunes, L. M. (2018). Quantitative assessment of the valorisation of used cooking oils in 23 countries. *Waste Management*, 78, 611-620. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.039>
- Ulukardesler, A. H. (2023). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Different Types of Catalysts. *Processes*, 11(7), 2035. <https://doi.org/10.3390/pr11072035>
- Wang, H., Gao, R., Song, X., Yuan, X., Chen, X., & Zhao, Y. (2024). Study on the production of Sophorolipid by *Starmerella bombicola* yeast using fried waste oil fermentation. *Bioscience Reports*, 44(2), BSR20230345. <https://doi.org/10.1042/BSR20230345>
- Zahri, K. N. M., Zulkharnain, A., Sabri, S., Gomez-Fuentes, C., & Ahmad, S. A. (2021). Research Trends of Biodegradation of Cooking Oil in Antarctica from 2001 to 2021: A Bibliometric Analysis Based on the Scopus Database. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2050. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042050>

Red de Universidades Estatales para la Transformación (UNIRT)

**7 Universidades
y 12 Campus**

**Universidad Tecnológica
de la Mixteca
(UTM)**
Huajuapán

**Universidad del Mar
(UMAR)**
Campus Puerto Escondido,
Puerto Ángel, Huatulco
y Oaxaca

**Universidad del Istmo
(UNISTMO)**
Campus Tehuantepec,
Ixtepec y Juchitán

**Universidad del
Papaloapan
(UNPA)**
Campus Loma Bonita
y Tuxtepec

**Universidad de la
Sierra Sur
(UNSI)**
Miahuatlán

**Universidad de la Sierra
Juárez (UNSIJ)**
Ixtlán de Juárez

**Universidad de la
Cañada
(UNCA)**
Teotitlán de Flores Magón

**257
edificios**

**31 Institutos
de
Investigación**



**202 Laboratorios
24 Talleres**

Universidades ecológicas:
Los campus universitarios
son bosques con
la flora y fauna endémicas

82 carreras,
de las cuales la mayoría
son **de áreas STEM**

46 posgrados:
**12 Doctorados
y 34 Maestrías**



**Más de
11,000 alumnos
Más de
1,000 profesores
de tiempo completo**

Ensayo expositivo

Vidrios y membranas poliméricas para el tratamiento de agua contaminada

Glasses and polymeric membranes for contaminated water treatment

Erick Camacho-Díaz¹, Carlos A. Poblano-Salas¹, John Henao³, Jorge Corona-Castuera^{1*},
Luis Edmundo Lugo-Uribe², Manuel Gutiérrez-Nava²

¹CIATEQ A. C. Unidad Querétaro

²CIATEQ A. C. Unidad Estado de México

³SECIHTI - CIATEQ A. C. Unidad Querétaro

CIATEQ A. C.: Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C

SECIHTI: Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Autor de correspondencia:

*jcorona@ciateq.mx

Recibido:16-12-2023 Aceptado: 11-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La contaminación del agua representa un problema ambiental complejo que recrudece la escasez de este recurso. Cada año en México se vierten a los cuerpos de agua millones de metros cúbicos de aguas residuales de forma inadecuada o sin tratamiento; únicamente se trata el 53 % y 32 % de las aguas de tipo urbano/rural y de uso industrial, respectivamente. Los contaminantes como colorantes textiles azoicos (CAZ) y metales pesados, se cuentan entre los de mayor peligrosidad. Los CAZ son utilizados en diferentes industrias y son altamente tóxicos y mutagénicos, mientras que los metales pesados se relacionan con daños al sistema nervioso o cáncer. Algunos vidrios tienen capacidad para descomponer los enlaces presentes en los CAZ y eliminar metales pesados en el agua, lo cual los vuelve candidatos para atender problemas de contaminación del agua. Por otro lado, la funcionalización de membranas poliméricas selectivas se vislumbra como un método factible para extraer iones pesados del agua, mientras que mediante la impresión molecular es posible generar membranas poliméricas para absorción específica de moléculas orgánicas contaminantes, que pueden ser una opción interesante para la eliminación de residuos generados de procesos redox empleados para la descomposición de los CAZ.

Palabras clave: Contaminación del agua, colorantes, métodos de limpieza, membranas poliméricas, vidrios metálicos.

Abstract

Water pollution represents a complex environmental problem that exacerbates the scarcity of this resource. Every year millions of cubic meters of untreated or poorly treated residual water are poured into natural water bodies; only 53% and 32% of urban/rural and industrial residual waters, respectively, are properly treated. Azo-based textile colorants (CAZ) and heavy metal ions are among the most dangerous water pollutants. CAZ are employed in different industries and are highly toxic and mutagenic, whereas heavy metal ions are known to cause cancer and damage to the nervous system. Some glasses can efficiently decompose CAZ and remove heavy metal ions from water, this ability makes them good candidates for tackling water contamination issues. On the other hand, functionalization of polymer-based membranes is envisaged as an alternative method for removing heavy metal ions from water, while the fabrication of polymeric membranes by molecular printing can be employed to remove organic residues in water by absorption. Polymeric membranes can therefore be employed for eliminating residues resultant from the decomposition of CAZ, which in turn is promoted by the use of redox processes.

Keywords: Water contamination, dyes, cleaning methods, polymer membranes, metallic glasses.

Introducción

La contaminación de agua por metales pesados y colorantes es una problemática importante que se da en los mantos acuíferos a nivel mundial. En México se ha reportado y documentado ampliamente en diferentes regiones (Mora, et al., 2021). Las descargas de aguas se clasifican en municipales (abastecimiento urbano y rural) y no municipales (industrial princi-

palmente). Según cifras oficiales, solo se trata el 53 % de las aguas municipales y el 32 % de las no municipales. Algunas de las sustancias más complicadas de eliminar en el agua contaminada no municipal son los colorantes y los metales pesados. Ambos contaminantes provienen de numerosas industrias incluidas la textil, minera, metalúrgica, del papel, de la

construcción, de los empaques, alimenticia, etc. La producción mundial de colorantes industriales excede los 10 millones de toneladas con un crecimiento anual entre 3 y 4 % (Liefei Pei, Xiangyun Zhang and Zizhou Yuan., 2022). Para la producción de un kilogramo de colorante se emplean 744 litros de agua, los cuales contienen residuos de colorante y se desechan al medio ambiente (Chen, Z. L., Dong, Y. C., Wang, P., Cui, G., Li, B., 2016). Como ejemplo, en la industria textil, para dar color a 1 kg de algodón se necesitan de 30 a 60 g de colorante y entre 70 y 150 litros de agua; del 10 al 20 % de la tinta se desecha indirectamente al medio ambiente ya que no pueden ser completamente utilizada (Wang, Y. Z., Chen, M. X., Hu, C., Wang, J., 2000). Las tintas están formadas por compuestos orgánicos sustituidos por anillos de polifenileno y sales de metales pesados como plomo, arsénico, cromo, mercurio, entre otros. Estas especies químicas al ser liberadas al medio ambiente producen efectos nocivos debido a su naturaleza tóxica, dificultad de tratamiento y alta cromaticidad.

En México, la mala calidad del agua limita su aprovechamiento, el 22.7 % del agua se encuentra contaminada o fuertemente contaminada, el 33.2 % del agua tiene calidad aceptable, mientras que el 44.1 % se considera de buena o excelente calidad. Existen regiones en el país que presentan el problema de contaminación por colorantes. En particular, las que cuentan con actividad industrial textil intensa como Hidalgo, Querétaro y Aguascalientes. Dado que México es uno de los principales productores de mezclilla en el mundo, la contaminación de cuerpos de agua resultante de esta actividad económica y sus consecuencias deben ser atendidas con el fin de minimizar el impacto al medio ambiente (Valadez, B., 2012). Actualmente, los centros públicos de investigación de la SECIHTI se encuentran trabajando de forma coordinada en el desarrollo de soluciones para atender problemáticas relacionadas con el aprovechamiento y tratamiento del agua en nuestro país.

Existen materiales avanzados (metálicos, cerámicos y poliméricos) que son prometedores para el tratamiento de agua contaminada con colorantes y metales pesados. Los vidrios metálicos, VM, han demostrado capacidad para degradar colorantes específicos en medio acuoso mediante reacciones redox avanzadas (Wang, J.-Q., et al., 2012), ya que presentan una alta capacidad de intercambio iónico y un

potencial elevado de complejación química. Se sabe que los VM sufren fenómenos de intercambio iónico que llevan a la liberación de iones metálicos hacia el agua (Liefei Pei, Xiangyun Zhang and Zizhou Yuan., 2022). Esto es considerado una problemática para el saneamiento de agua, por lo que se vuelve atractivo el uso combinado de materiales para la remoción de este tipo de iones, como, por ejemplo, las membranas poliméricas selectivas. Los compuestos de tipo éter corona, EC, han mostrado capacidad de complejar y extraer iones metálicos de soluciones orgánicas (Koshima, H. and H. Onishi., 1985). Estudios recientes describen la funcionalización de polímeros con EC para la absorción de iones de metales pesados (Pandele, A.M., et al., 2022). En tratamiento de agua se han estudiado EC soportados en sílice o almidón para eliminar Cd, Zn, Ni y Cu (Pandele, A.M., et al., 2022). Por otro lado, se ha reportado el uso de impresión molecular para generar membranas poliméricas que absorban contaminantes orgánicos específicos en aplicaciones de tratamiento de agua (Gornik, T., et al., 2021). En este trabajo se describen generalidades y reportes de la literatura de diversos materiales empleados para la remoción de diferentes colorantes y metales pesados en agua.

Definición: Vidrios

Un vidrio es un material sólido, no cristalino, que se produce a partir del enfriamiento rápido de un líquido (Mauro, J. C., Zanotto, E. D., & Lousteau, J., 2014). Los vidrios pueden ser producidos a partir de una variedad de materiales, incluyendo aleaciones metálicas conocidos como vidrios metálicos o a partir de óxidos metálicos y no metálicos conocidos como vidrios cerámicos (Wright, A. C., 1996). La falta de ordenamiento en la estructura atómica de los vidrios (Figura 1) da lugar a propiedades mecánicas, químicas, magnéticas, y ópticas únicas que los diferencian de los materiales cristalinos (Greaves, G. N., & Sen, S., 2015). Algunas de estas propiedades incluyen la capacidad de reflejar o transmitir la luz, la capacidad de ser pulidos y modelados en diversas formas, propiedades magnéticamente blandas, o la resistencia a la corrosión y a la abrasión (Mauro, J. C., Zanotto, E. D., & Lousteau, J., 2014). Estas propiedades únicas hacen que los vidrios sean ampliamente utilizados en aplicaciones como la fabricación de ventanas, lentes, espejos, envases, fibra óptica, superficies anti-des-

gaste, capsulas de apantallamiento electromagnético, entre otros (Wright, A. C., 1996).

Conceptos sobre la formación de vidrio

Se considera que un vidrio es un líquido que ha perdido su capacidad de fluir, donde los átomos quedan atrapados en una disposición desordenada y aleatoria debido a la extracción rápida de calor (Zanotto, E. D., 2000).

Los cambios que ocurren en un líquido a medida que se enfría se pueden entender al observar el cambio en su volumen específico en función de la temperatura (Figura 2). A medida que se reduce la temperatura, el volumen comienza a disminuir linealmente. En el punto de congelación (solidificación T_m), existen dos posibilidades: (i) cristalización y (ii) sobre enfriamiento, en cuyo caso el material permanece en estado líquido por debajo de T_m . El proceso de cristalización se manifiesta por un cambio abrupto en el volumen en T_m , mientras que la formación de vidrio se caracteriza por un cambio gradual en la pendiente (G. P. Kothiyal, A. Ananthanarayanan, G. K. Dey, 2011). La región en la que ocurre el cambio de

pendiente se denomina transición vítrea. La temperatura de transición vítrea T_g depende de la velocidad de enfriamiento del líquido sobre enfriado. Cuanto más lenta sea la velocidad de enfriamiento, mayor será la región en la que el líquido puede ser sobre enfriado y, por lo tanto, menor será la temperatura de transición vítrea.

La temperatura de transición vítrea representa el punto a partir del cual se pasa del estado sólido al estado líquido viscoso o viceversa en un vidrio. La formación de vidrio es un proceso cinético. Es por esto que, para su fabricación, el control del proceso de enfriamiento es importante para evitar la cristalización, como se ejemplifica en el diagrama de transformación tiempo-temperatura (TTT) mostrado en la Figura 3.

La viscosidad en un material fundido juega un papel importante en qué tan rápido puede formarse o no el vidrio, por lo que diferentes combinaciones de elementos en un material fundido tendrán un diagrama TTT diferente. En otras palabras, la tasa de enfriamiento requerida para cierta combinación de óxidos

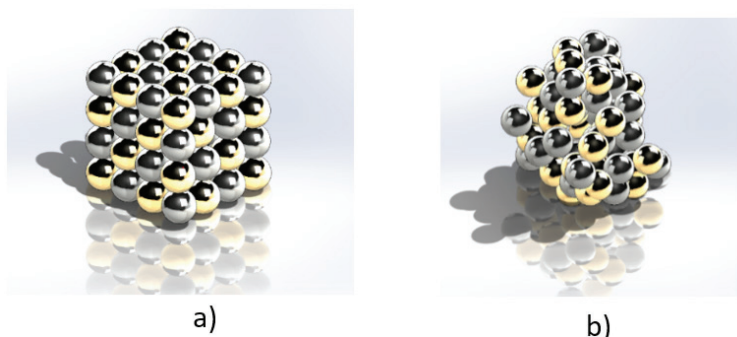


Figura 1. Esquema general del ordenamiento atómico, a) en un material cristalino, b) desorden atómico en un vidrio.

Fuente: Elaboración propia.

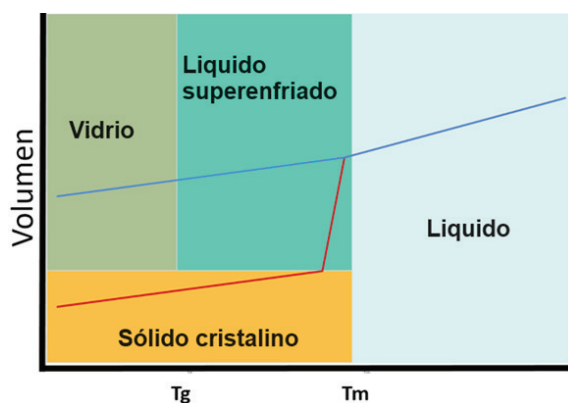


Figura 2. Esquema de la variación del volumen específico de un material fundido en función de la temperatura cuando se realiza a baja (línea roja) o a alta tasa de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia.

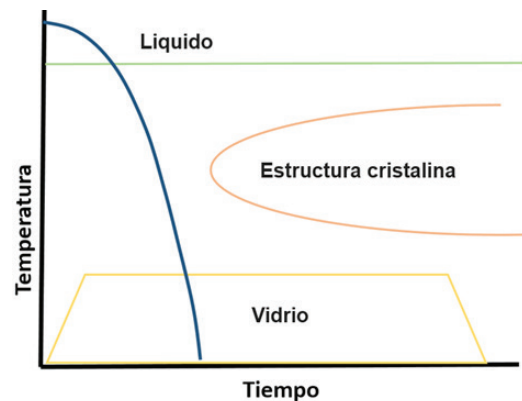


Figura 3. Diagrama TTT en donde se representa de forma esquemática la región de temperatura vs tiempo para producir vidrio. Fuera de esta región se obtendrá un sólido cristalino.

Fuente: Elaboración propia.

metálicos será diferente en comparación a la requerida para cierta combinación de elementos metálicos. Por ejemplo, para los vidrios cerámicos base silicato o base borato éstas se encuentran en el rango entre 1×10^{-3} hasta 1×10^0 Kelvin por segundo (K/s), mientras que otros tipos de vidrios como los metálicos las tasas de enfriamiento están en el rango entre 1×10^3 hasta 1×10^6 K/s.

Técnicas para la fabricación de vidrios

Se han desarrollado diferentes técnicas que pueden lograr distintas tasas de enfriamiento. Una de las técnicas más antiguas conocidas es la de “fundido y enfriado rápido” técnicamente conocido como temple en gas o en líquido, que consiste en fundir una combinación de óxidos metálicos o no metálicos o metales y posteriormente enfriar en un medio gaseoso o líquido para formar el sólido no cristalino. Por ejemplo, las botellas de consumo de bebidas son vidrios cerámicos que convencionalmente se producen a través del soplado de gotas de vidrio en un molde. Los vidrios cerámicos no requieren tasas de enfriamiento extremadamente altas, por tanto, el medio gaseoso del soplado en conjunto con el medio sólido del molde es suficiente para la extracción del calor y formación de vidrio. Sin embargo, para otras composiciones de vidrios cerámicos o metálicos se requieren otro tipo de medios de enfriamiento tales como agua, nitrógeno líquido o incluso una combinación con superficies sólidas de alta extracción de calor. Es por esto que, han surgido procesos alternativos tales como: i) melt spinning (temple giratorio), ii) evaporación (condensación de vapor) y iii) el atomizado, Figura 4.

Uso de vidrios en el tratamiento de aguas contaminadas

En años recientes se ha incrementado el interés por estudiar los vidrios como materiales para la limpieza de agua contaminada. Este interés se fundamenta en la disponibilidad de sitios reactivos para la formación de enlaces atómicos y moleculares que son propios de la estructura atómica desordenada en los vidrios. En la literatura se distinguen 2 tipos de vidrios que han sido estudiados para el tratamiento de aguas residuales, estos son los vidrios cerámicos (base óxidos) y los vidrios metálicos.

Los vidrios a base de óxidos, como el vidrio de sílice (SiO_2), se han estudiado en aplicaciones relacionadas con el agua, como filtración, adsorción, remoción de contaminantes y desinfección. Los vidrios a base de óxidos se utilizan comúnmente en la fabricación de medios filtrantes y materiales adsorbentes. Estos vidrios se caracterizan por su alta superficie específica, lo que les permite adsorber eficientemente contaminantes orgánicos e inorgánicos. Además, estos vidrios pueden ser modificados químicamente para mejorar su capacidad de adsorción selectiva de contaminantes específicos. Algunos estudios han demostrado que pueden ser efectivos en la remoción de sustancias orgánicas, metales pesados, nutrientes y compuestos químicos indeseables del agua (Liu, Y., Li, Q., Liu, C., Chen, J., & Qu, J., 2011). Los vidrios a base de óxidos también han demostrado ser prometedores en la desalinización del agua (Darmawan, A., et al., 2017). Abdelghany, et al., (2022) reportaron la modificación del biovidrio 46S5.2, normalmente empleado en aplicaciones biomédicas, mediante la

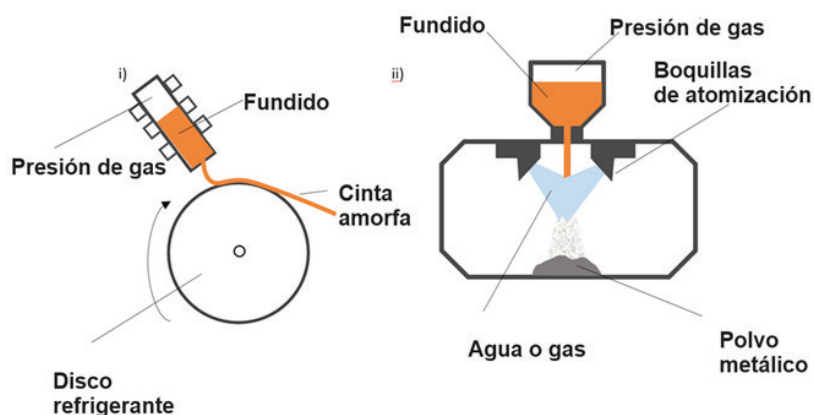


Figura 4. Esquema de algunos de los procesos de fabricación de vidrios
Fuente: Elaboración propia.

adición de nanopartículas de plata para la eliminación de azul de metileno en agua, así como para la eliminación de patógenos. Se reportó un desempeño razonable del vidrio para la eliminación del colorante para bajas concentraciones, no así cuando el contenido del material orgánico se incrementa (A.M., Abdelghany, A.H., Oraby, M., Abdelbaky., 2022).

Por otra parte, una aproximación para la remoción de iones de metales pesados en agua fue la producción de un vidrio cerámico a partir de residuos industriales y urbanos propuesta por García et al., (2019). En el vidrio se estudió la presencia de una bio-película y su efecto sobre la capacidad de este para la remoción de los iones metálicos de la solución. El uso de este material probó ser efectivo en la remoción de cadmio y plomo de agua contaminada con ambos iones. Sodeinde, et al., (2021) reportaron la fabricación de un vidrio base SiO_2 a partir de material de desecho también para la remoción de tinta cristal violeta, plomo y cadmio. Los autores describen el proceso de fabricación y caracterización del cerámico, así como la mejora en la eficiencia de remoción con incrementos en la temperatura, concentración de cerámico y tiempo de contacto. El mecanismo de limpieza (Figura 5) es atribuido a un modelo de adsorción en multicapas para los iones pesados y la tinta. Se reportó una reducción del 89.7 % en la demanda química de oxígeno en el agua de desecho.

Este mecanismo fue también reportado por Miran-da et al., (2018) quienes realizaron el desarrollo de un material basado en sílica no cristalina obtenida a partir

de desechos de una planta geotérmica de generación de electricidad. Los autores lograron tratar exitosamente un efluente de un proceso de galvanizado que contenía iones monovalentes y bivalentes de metales pesados como plata, cadmio, zinc, cobre, níquel y plomo. Las eficiencias de remoción más elevadas se registraron para la plata (61.19 %), cadmio (96.28 %) y zinc (98 %); aunque las eficiencias de remoción de iones pesados se reportaron entre un 40-80 %.

A principios de los 90's los vidrios metálicos comenzaron a usarse en aplicaciones para catálisis (Baiker, A., 1990). En estudios recientes, se ha reportado el uso de vidrios metálicos para tratar agua contaminada, observándose una mayor reactividad que la encontrada en materiales cristalinos (Si, J., Gu, J., Luan, H., Yao, K., 2020). Debido a que los vidrios metálicos no presentan límites de grano, poseen una superficie regular u homogénea que permite una dispersión uniforme de reactantes, lo que provoca tener un ambiente químico homogéneo con una alta reactividad promovida por una alta concentración de átomos de coordinación no saturados en la superficie (Koirala, I., 2018). Los vidrios metálicos para este tipo de aplicaciones se dividen en 3 grupos: 1) base hierro, que son los más usados en tratamiento de aguas debido a la naturaleza no tóxica del metal base, a su bajo costo y a que son agentes reductores eficaces para la oxidación de sustancias contaminantes; 2) base aluminio y magnesio, los cuales son mucho más reactivos que los base hierro (Zhao, Y., et al., 2019); 3) base cobre y base níquel, los cuales presentan velocidades de lixiviación reducidas comparadas con los primeros dos grupos; es decir, después de reaccionar con el contaminante la cantidad de iones metálicos liberados en el agua es menor, lo cual los hace atractivos para disminuir efectos colaterales en los procesos de limpieza (Yang, X., et al., 2021). Los vidrios metálicos del grupo 2 y 3 son usados en menor proporción para estas aplicaciones debido al elevado costo comparado con el del hierro.

El proceso de limpieza de colorantes con el uso de vidrios metálicos se divide en etapas de decoloración, mineralización y lixiviación. En la primera etapa se da la destrucción de grupos cromóforos presentes en los colorantes como $\text{C}=\text{O}$, $-\text{N}=\text{N}-$ y $-\text{N}=\text{O}$. La eficiencia de decoloración de los vidrios metálicos se reporta cercana al 100 %. Jia et al., (2019), reportaron el

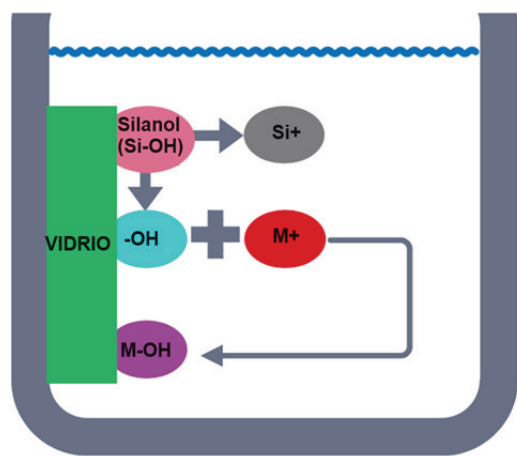


Figura 5. Esquema del mecanismo de limpieza de agua por adsorción de iones en vidrios cerámicos (Ejemplo de un vidrio base Si con afinidad a iones de plomo y cobre, M^+).

Fuente: Elaboración propia.

uso de un vidrio metálico base hierro ($\text{Fe}_{83}\text{Si}_2\text{B}_{11}\text{P}_3\text{C1}$) para la remoción de azul de metileno, rodamina B y naranja de metilo en agua. La decoloración del agua en todos los casos se dio en menos de 30 minutos en contacto con el vidrio metálico. La velocidad de remoción de color más elevada se dio con el azul de metileno (grupo amino), seguida del naranja de metilo (enlaces tipo azo) y la más lenta fue observada para el caso de la rodamina B (que contiene grupos fenilamino y carbonilo).

Otro vidrio metálico ha sido empleado para la decoloración de naranja de metilo con eficiencias muy elevadas y tiempos de reacción no mayores a una hora ($\text{Fe}_{76}\text{B}_{12}\text{Si}_9\text{Y}_3$) (Xie, S., Huang, P., Kruzic, J. J., Zeng, X., Qian, H., 2016). El naranja de metilo se descompone con la siguiente secuencia: N-dimetilanilina, N-dimetil-p-fenilendiamina + sulfonamida y ácido benzensulfónico, el cual finalmente se degrada en forma de agua y bióxido de carbono. La etapa de mineralización se caracteriza por la mineralización o descomposición de los colorantes (basados en moléculas poliméricas) en moléculas pequeñas como CO_2 , H_2O o sales inorgánicas. El grado de mineralización se conoce al determinar el contenido de carbono orgánico total (TOC) en la solución, ya que la remoción completa del color no implica que los contaminantes sean completamente removidos del agua. Durante la reacción del vidrio metálico con el agua contaminada de colorantes se da la liberación de iones metálicos hacia el agua, lo cual provoca una polución secundaria y reduce la posibilidad de reutilizar el vidrio metálico para el proceso de limpieza.

El proceso de lixiviación por su parte se refiere a la liberación de iones metálicos al agua debido al contacto del vidrio metálico con los elementos contaminantes. Esto puede ser tomado como contaminación secundaria del agua. Existen dos fuentes de iones metálicos, la primera proviene de la misma estructura del colorante, la cual al ser destruida libera dichos iones; la segunda fuente es el mismo vidrio metálico, el cual libera iones durante el proceso de limpieza debido a la oxidación que sufre en ciertas zonas. Es complicado evitar la liberación de iones metálicos a partir de los colorantes, por lo que el diseño del vidrio metálico es fundamental para minimizar la liberación de iones durante el proceso de limpieza. Por lo tanto, se prefieren vidrios basados en elemen-

tos que no representan un riesgo para el ambiente como el Fe, Si y B, también se usan adiciones de Ni y Nb para incrementar la resistencia a la corrosión del vidrio y evitar la liberación de iones (Liang, S., et al., 2017). Sin embargo, algunos autores consideran que la presencia de iones en la solución es necesaria para favorecer la eficiencia del proceso de limpieza (Jia, Z., et al., 2018), lo cual es un tema que abre la discusión y permitirá encaminar esfuerzos para entender con más detalle dichas interacciones.

En una investigación realizada por Yan et al., (2020) se empleó un vidrio $\text{Fe}_{78}\text{Si}_9\text{B}_{13}$ para tratar agua contaminada con iones cobre (Cu^{2+}). La concentración inicial de cobre fue de 500 mg/L, mientras que la de vidrio metálico de 2 g/L; en un tiempo de reacción de 60 minutos, la concentración de iones bajó a 1 mg/L y la solución cambió de color abruptamente de verde intenso a incolora. Los iones cobre, reaccionaron con el vidrio metálico precipitando sobre la superficie del vidrio metálico en forma de cobre metálico. El cobre metálico precipitado sobre la superficie del vidrio, en forma de listón, tenía una apariencia porosa con crecimiento perpendicular a la superficie, por lo que había un fácil acceso de los iones cobre hacia la intercara sólido-líquido, donde se llevan a cabo las reacciones químicas de interés. A partir de estos estudios se han propuesto 2 mecanismos de degradación: i) reducción directa; ii) oxidación avanzada o tipo fento.

En el primer mecanismo (Figura 6a), se emplea un vidrio metálico base hierro. Generalmente, estos tienen un potencial de reducción negativo que, al entrar en contacto con los contaminantes, lleva a la

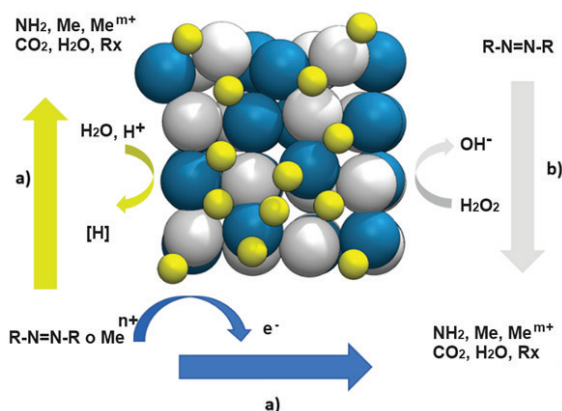


Figura 6. Esquema de los mecanismos de degradación de los vidrios metálicos: a) reducción directa; b) oxidación avanzada.

Fuente: Elaboración propia.

pedida de electrones y a la formación de Fe^{2+} o Fe^{3+} . Los electrones generados son capturados por los compuestos orgánicos o sales de metales pesados en el agua lo que permite reducirlos o degradarlos. Además, el Fe continuamente reacciona con H_2O y el H^+ formando átomos activos de hidrogeno que son encargados de romper los dobles enlaces ($\text{N}=\text{N}$) en las moléculas orgánicas presentes en el agua como contaminantes. Por otra parte, en el proceso de oxidación avanzada (Figura 6b) el Fe^{2+} reacciona con H_2O_2 para formar iones $-\text{OH}$ que rápidamente pueden oxidar y descomponer los contaminantes orgánicos en CO_2 , H_2O y moléculas orgánicas más pequeñas. Este proceso puede realizarse de manera natural o artificial con un incremento en la temperatura o por el uso de radiación. Se ha reportado que tanto la temperatura como la radiación incrementan la eficiencia del proceso de oxidación avanzada (Wang, X., Pan, Y., Zhu, Z., Wu, J., 2014).

Definición: membranas poliméricas

Una membrana es un material que actúa de barrera entre dos fluidos y que restringe o favorece el movimiento de uno o más componentes de los fluidos a través de ella. En una membrana polimérica se tiene la posibilidad de ejercer cierto control sobre las configuraciones moleculares de los polímeros, incidiendo en la permeabilidad y selectividad de la membrana; los polímeros pueden adoptar con facilidad diferentes formas físicas y su gran variedad permite escoger aquellos más interesantes para diseñar una membrana determinada. Por lo tanto, las propiedades de una membrana dependerán básicamente de la naturaleza física y química del polímero y del método de preparación de la membrana.

Uso de membranas poliméricas para la limpieza de agua

Existen diversos polímeros empleados para este fin y con diferentes enfoques. Por ejemplo, Shi et al., (2023) desarrollaron una membrana a partir de la modificación sinérgica de difluoruro de polivinilideno y dióxido de titanio para la limpieza de contaminantes orgánicos (ácido húmico, albúmina de suero bovino y aceite). La membrana se preparó con 0.8 g de polvo de difluoruro de polivinilideno en 34 g de solvente DMF en agitación magnética a 60°C y 30 min de desaireación al vacío. Los resultados indican que la adición de dióxido de titanio incrementa la capacidad hidrofílica de la membrana, facilitando el proceso de filtrado y a su vez causando repulsión hacia los contaminantes. Adicionalmente, el porcentaje de separación es cercano al 90 % aun después de 10 ciclos. Por otro lado, Ying et al., (2023) buscaban una membrana con la capacidad de separar aceite del agua. Lograron sintetizar una membrana de nano fibras de celulosa super hidrofóbica de alta durabilidad y reutilización, lo cual fue posible mediante la impregnación de las fibras de celulosa con $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, NaOH y ácido esteárico en diferentes concentraciones y tiempos, para después darle un tratamiento térmico a 60°C durante 1h. Los autores también separaron aceite utilizando la repulsión de la membrana hacia el agua obteniendo una eficiencia mayor al 80 % aun después de 7 ciclos.

Las membranas más reportadas para limpieza de agua son las basadas en polisulfonas y celulosa. Diversas modificaciones se han realizado a las mismas (adiciones de éteres corona, grafeno, etc.) con el fin de orientar sus capacidades de separación o establecer una selectividad definida para algún contaminante (Figura 7).

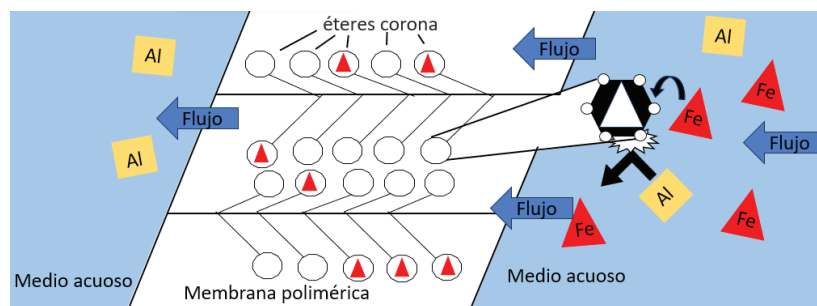


Figura 7. Ejemplo de la selectividad de las membranas poliméricas funcionalizadas con éteres corona.
Fuente: Elaboración propia.

Pandele et al., (2022), en un trabajo enfocado en el desarrollo de membranas capaces de retener metales pesados, lograron crear una membrana base polisulfona modificada con óxido de grafeno y funcionalizada con éter 4-aminobenzo-15-corona (4AB15C5). El óxido de grafeno presentaba grupos amino en su superficie, mismos que requirieron ser modificados con cloruro cianúrico para su posterior funcionalización. La adición de 4AB15C5 incrementó la estabilidad térmica del óxido de grafeno. Los autores lograron demostrar que la membrana modificada mejora hasta 3 veces la capacidad de retención de iones Cu^{2+} .

En otro trabajo, Yang et al., (2019) desarrollaron una membrana de intercambio catiónico (CEM) con una mayor selectividad a los iones Li^+ y K^+ durante un proceso de electrodialisis, dicha membrana estaba basada en polisulfona sulfonada (SPS) modificada superficialmente con polietilenimina (PEI) y codeposición de 4-aminobenzo-12-corona-4 (4AB12C4) y dopamina. Por otra parte, Li et al., (2021) utilizaron un método diferente para la inserción de éteres corona. El proceso parte de una polisulfona funcionalizada con grupos clorometilos, ocasionando que la inserción del 4AB12C4 sea in-situ. Además, optimizaron las condiciones de la electrodialisis para obtener mejores resultados de selectividad hacia los iones Li^+ . También se deben de tener en consideración trabajos similares con 4AB12C4 en polisulfonas modificadas para la selectividad de iones Li^+ , en los que se incluyen estudios de dinámica de absorción y ciclos de regeneración de adsorción con resultados de hasta un 90% de remoción de Li^+ para 10 ciclos de regeneración (Yi, H., et al., 2020). Por último, existen trabajos que reportan que las membranas obtenidas por la ruta de la polisulfona clorada muestran eficiencia elevada relacionada con su porosidad y un buen factor de separación para algunos isótopos del litio (Pei, H., et al., 2018).

Abdulazeez et al., (2023) estudiaron la relación entre el tamaño de los éteres corona y los enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares sobre la capacidad de difusión de iones Li^+ y Mg^{2+} . Los autores mencionan que usando los éteres 12-corona-4, 15-corona-5 y 18-corona-6 en una membrana de acetato celulosa, estos muestran una mayor difusión para iones de Li^+ y una mayor atracción para iones Mg^{2+} , respectivamente.

Finalmente, en otro estudio para la descontaminación de soluciones con iones de plomo, Ibrahim et al., (2022) propusieron un método de funcionalización por medio de la irradiación con microondas. Los autores demostraron que la membrana de celulosa funcionalizada con dicitclohexil-18-corona-6 (DCH18C6) es capaz de eliminar iones de Pb^{2+} de soluciones acuosas, pero depende del pH y la concentración de los iones. La membrana puede ser reutilizada tras un tratamiento con ácido nítrico al 0.1 M.

Conclusiones

El tratamiento del agua contaminada en México supone sin duda un reto importante para permitir la reutilización del vital líquido o su regreso al ciclo natural. El uso de materiales avanzados en los procesos de descontaminación del agua es prometedor, dado que se ha demostrado que su empleo permite la remoción de colorantes y metales pesados, especies químicas que pueden ser muy nocivas al medio ambiente y que resultan de la producción de bienes en el mundo moderno. El uso de estos materiales puede ser la base para el desarrollo de tecnología que permita tratar de forma eficiente las aguas residuales de industrias altamente contaminantes como la textil o la minera. El impacto positivo que representa la liberación de agua al medio ambiente sin metales pesados o colorantes es muy relevante. Es importante trabajar con urgencia en el desarrollo de tecnología nacional que permita atender esta problemática. Es evidente que existe capacidad en México para el desarrollo de esta tecnología; sin embargo, queda el reto de orquestar esfuerzos a diferentes niveles para que en el corto plazo se logre llevar a niveles de madurez que permitan su transferencia y explotación para beneficio de la sociedad mexicana. CIATEQ A.C. trabaja en el desarrollo de materiales que contribuyan a la mitigación/solución de esta problemática que aqueja a diferentes regiones en nuestro país.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CIATEQ A.C. y a la SECI-HTI por su apoyo a la realización del presente proyecto, así como al programa de investigadores por México, proyecto 848.

Referencias

- A.M., Abdelghany, A.H., Oraby, M., Abdelbaky (2022) The effect of borate bioactive glass ceramics containing silver nanoparticles on removal physiognomies of methylene blue. *Optik* 267, 169694.
- A. M. García, J. M. Villora, D. A. Moreno, C. Ranninger, P. Callejas, M. F. Barba (2004) *Journal of the American Ceramic Society* 86(12), 2200-2202.
- Abdulazeez, I.; Salhi, B.; Baig, N.; Al-Saadi, A. (2023). Molecular dynamics simulation of the fractionation of lithium and magnesium ions on crown ether-grafted cellulose acetate polyelectrolyte membranes. *Journal of Molecular Liquids*, 376, 121475.
- Baiker, A. (1990). Metallic glasses in heterogeneous catalysis. *ChemInform*, 21(30), 239-251.
- Chen, Z. L., Dong, Y. C., Wang, P., Cui, G., Li, B. (2016). Preparation of nano-TiO₂/SiO₂-loaded cotton fabrics and its photocatalytic performance for dyes degradation. *Materials Reports*, 30(14), 34-38.
- Darmawan, A., Karlina, L., Astuti, Y., Wang, D. K., Motuzas, J., & Da Costa, J. C. D. (2017, February). Interlayer free-nickel doped silica membranes for desalination. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 172, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.
- G. P. Kothiyal, A. Ananthanarayanan, G. K. Dey (2011). Glass and Glass-Ceramics en S. Banerjee and A. K. Tyagi Functional Materials: Preparation, Processing and Applications. Elsevier, 323-333.
- Gornik, T., et al. (2021) Molecularly Imprinted Polymers for the Removal of Antide-Pressants from Contaminated Wastewater. *Polymers*, 13(1), 120.
- Greaves, G. N., & Sen, S. (2015). Advancing the science of materials through simulations of glass formation. *Nature Materials*, 14(3), 223-230.
- Ibrahim, B. M.; Fakhre, N. A.; Jalhoom, M. G.; Qader, I. N.; Shareef, H. Y.; Jalal, A. F. (2022). Removal of lead ions from aqueous solutions by modified cellulose. *Environmental Technology*, 1-13.
- Jia, Z., Duan, X., Zhang, W. C., Wang, W., Sun, H. et al. (2018). Ultra-sustainable Fe78Si9B13 metallic glass as a catalyst for activation of persulfate on methylene blue degradation under UV-vis light. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(23), 10686-10699.
- Jia, Z., Wang, Q., Sun, L., Wang, Q., Zhang, L. C. et al. (2019). Attractive in situ self-reconstructed hierarchical gradient structure of metallic glass for high efficiency and remarkable stability in catalytic performance. *Advanced Functional Materials*, 29(19), 1-9.
- K. O., Sodeinde, S. O., Olusanya, D. U. Momodu, V. F. Enogheghase, O. S. Lawal (2021) Waste glass: An excellent adsorbent for crystal violet dye, Pb²⁺ and Cd²⁺ heavy metals ions decontamination from wastewater. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences* 3(4), 414-422.
- Koirala, I. (2018). Effects of surface coordination of atoms on the surface properties of Cd-x (X = Ga, Zn) liquid alloys. *Himalayan Journal of Science and Technology*, 2, 90-95.
- Koshima, H. and H. Onishi, (1985) Extraction of Iron (III) with Crown Ethers from Hydrochloric Acid Solution. *Analytical Sciences*, 1(4): p. 389-390.
- Li, L.; Feng, M.; Wang, M.; Jiao, Z.; Li, J.; Dong, L.; Yan, F. (2021). Crown ether functionalized polysulfone membrane coupling with electric field for Li⁺ selective separation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 123, 87-95.
- Liang, S., Jia, Z., Zhang, W., Wang, W. M., Zhang, L. C. (2017). Rapid malachite green degradation using Fe73.5Si13.5B9Cu1 Nb3 metallic glass for activation of persulfate under UV-vislight. *Materials & Design*, 119, 244-253.
- Liefefe Pei, Xiangyun Zhang and Zizhou Yuan (2022) Application of Fe-Based Amorphous Alloy in Industrial Wastewater Treatment: A Review. *Journal of Renewable Materials* 10 (4), 969-991.
- Liu, Y., Li, Q., Liu, C., Chen, J., & Qu, J. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418.
- Mauro, J. C., Zanutto, E. D., & Lousteau, J. (2014). Fifty years of glass transition: past, present, and future. *Materials Today*, 17(10), 494-501.
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M. S., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P., & Mahlknecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River, Puebla. *Science of the Total Environment*, 782, 146788.
- O. G. Miranda Sandoval, G. C. Díaz Trujillo, A. E. Leal Orozco (2018) Amorphous silica waste from a geothermal central as an adsorption agent of heavy metal ions for the regeneration of industrial pre-treated wastewater. *Water Resources and Industry* 20, 15-22.
- Pandele, A.M., et al. (2022) A Novel Generation of Polysulfone/Crown Ether-Functionalized Reduced Graphene Oxide Membranes with Potential Applications in Hemodialysis. *Polymers*, 14(1), 148.
- Pei, H.; Yan, F.; Ma, X.; Li, X.; Liu, C.; Li, J.; Cui, Z.; He, B. (2018). In situ one-pot formation of crown ether functionalized polysulfone membranes for highly efficient lithium isotope adsorptive separation. *European Polymer Journal*, 109, 288-296.
- Shi, Y., Chen, X., Wu, Q., Zhen, H., Wang, S., Dong, H., ... & Li, Y. (2023). Enhance organic pollutants removal of wastewater by a PVDF/PDA-TiO₂ composite membrane with photocatalytic property. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 110389.
- Si, J., Gu, J., Luan, H., Yao, K. (2020). Porous composite architecture bestows Fe-based glassy alloy with high and ultra-durable degradation activity in decomposing azo dye. *Journal of Hazardous Materials*, 388, 122043.
- Valadez, B. (5 de diciembre 2012) Textiles, mezclillas de marca, contaminan en México. <https://agua.org.mx/textiles-mezclillas-de-marca-contaminan-en-mexico/>
- Wang, J.-Q., et al., (2012) Rapid Degradation of Azo Dye by Fe-Based Metallic Glass Powder. *Advanced Functional Materials*, 22(12): p. 2567-2570.
- Wang, X., Pan, Y., Zhu, Z., Wu, J. (2014). Efficient degradation of rhodamine B using Fe-based metallic glass catalyst by fenton-like process. *Chemosphere*, 117, 638-643. DOI 10.1016/j.chemosphere.2014.09.055.
- Wang, Y. Z., Chen, M. X., Hu, C., Wang, J. (2000). A study of dye degradation in the combination process of photocatalytic oxidation with biochemical oxidation. *Acta Entiae Circumstantiae*, 2000(6), 772-775.
- Wright, A. C. (1996). The nature of glass. *Physics Today*, 49(9), 24-31.
- Xie, S., Huang, P., Kruzic, J. J., Zeng, X., Qian, H. (2016). A highly efficient degradation mechanism of methyl orange using Fe-based metallic glass powders. *DNA Repair*, 6, 21947.
- Yan, Y., Liang, X., Ma, J., Shen, J. (2020). Rapid removal of copper from wastewater by Fe-based amorphous alloy. *Intermetallics*, 124, 106849.

- Yang, S.; Liu, Y.; Liao, J.; Liu, H.; Jiang, Y.; Van der Bruggen, B.; Shen, J.; Gao, C. (2019). Codeposition Modification of Cation Exchange Membranes with Dopamine and Crown Ether to Achieve High K^+ Electrodialysis Selectivity. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11 (19), 17730-17741.
- Yang, X., Xu, X., Xiang, Q., Qu, Y., Ren, Y. et al. (2021). The catalytic performance of $Cu_{46}Zr_{47}-xAl_7Y_x$ amorphous ribbons in the degradation of AO II dye wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 70, 1–15;
- Yi, H.; Wang, M.; Yan, F.; Zhu, Q.; Wang, S.; Li, J.; He, B.; Cui, Z. (2020). Preparation of Crown-Ether-Functionalized Polysulfone Membrane by In Situ Surface Grafting for Selective Adsorption and Separation of Li^+ . *Chemistry Select*, 5 (11), 3321-3329.
- Yin, Z., Li, Z., Deng, Y., Xue, M., Chen, Y., Ou, J., & Hong, Z. (2023). Multifunctional CeO_2 -coated pulp/cellulose nanofibers (CNFs) membrane for wastewater treatment: Effective oil/water separation, organic contaminants photodegradation, and anti-bioadhesion activity. *Industrial Crops and Products*, 197, 116672.
- Yoo, J.-M., et al. (2021) Crown-Ether-Modified SBA-15 for the Adsorption of Cr (VI) and Zn (II) from Water. *Materials*, 14(17), 5060.
- Zanotto, E. D. (2000). The crystallization of glasses: an overview. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 274(1-3), 1-14.
- Zhao, Y., Zhang, Q., Tang, B., Wang, H., Yao, Q. et al. (2019). Investigation on photocatalytic degradation properties of $Mg_{69}Ni_{15}Gd_{10}Ag_6$ amorphous alloy towards methyl violet. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 50(5), 556–561.

Ensayo expositivo

Estrés: el enemigo silencioso de tus dientes Stress: the silent enemy of your teeth

Marine Ortiz Magdaleno^{1*}, Amaury Pozos Guillen¹

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Autor de correspondencia:

*marine.ortiz@uaslp.mx

Recibido: 03-05-2024 Aceptado: 27-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Nuestra forma de vida y salud emocional están estrechamente relacionadas, y su impacto puede afectar nuestra salud en general. Uno de los efectos menos conocidos del estrés crónico es su influencia en la salud bucal. El estrés no solo se manifiesta en síntomas físicos como dolores de cabeza y tensión muscular, sino que también puede afectar la boca y, en particular, los dientes. Su efecto es silencioso, por lo que sus consecuencias no se perciben de inmediato y al principio no causan molestias. Este fenómeno se traduce en apretar o rechinar involuntariamente los dientes superiores e inferiores, lo que provoca desgaste del esmalte dental. Generalmente ocurre mientras dormimos, lo que puede interferir con un descanso adecuado. La fuerza ejercida al apretar y mover la mandíbula en esas circunstancias supera la ejercida para masticar. En este artículo, exploraremos cómo el estrés afecta la salud bucal y el bienestar general, y la importancia de reconocer sus señales tempranas para prevenir daños mayores.

Palabras clave: Estrés, bruxismo, desgaste dental, salud bucal.

Abstract

Our lifestyle and emotional health are closely connected, and their impact can affect our overall health. One of the lesser-known effects of chronic stress is its influence on oral health. Stress does not only manifest itself through physical symptoms such as headaches and muscle tension, but it can also affect the mouth and, in particular, the teeth. Its effect is silent, as its consequences are not immediately noticeable and at first do not cause discomfort. This phenomenon results in the involuntary clenching or grinding of the upper and lower teeth, which leads to wear of the dental enamel. It generally occurs during sleep, which can interfere with proper rest. The force exerted when clenching and moving the jaw under these circumstances exceeds what is necessary for chewing. In this article, we will explore how stress affects oral health and the importance of recognizing its early signs in order to prevent more serious damage.

Keywords: Stress, bruxism, tooth wear, oral health.

Introducción

Los expertos describen que el movimiento constante de la vida moderna, con horarios agitados, la digitalización de muchas de nuestras actividades diarias, el estrés escolar, laboral y familiar, los trastornos del sueño, y la evidente omnipresencia de la tecnología, junto con los desafíos cotidianos, nos hacen vulnerables a problemas de salud. Las exigencias del día a día ocasionan una sobrecarga mental que se manifiesta de diferentes maneras, reflejando la tensión emocional acumulada. Estas situaciones provocan tensión tanto física como emocional que, con el transcurso del tiempo, pueden afectar negati-

vamente nuestro cuerpo de diferentes maneras. Por otro lado, en algunos casos, nuestro organismo no puede manejar adecuadamente esta respuesta fisiológica y psicológica al estrés, lo que repercute en la salud general (Carra et al., 2015).

El estrés actúa de manera silenciosa, de forma sutil pero constante en la vida cotidiana, acumulándose sin que la persona sea plenamente consciente de su impacto en su salud. Este tipo de estrés, está caracterizado por preocupaciones continuas, presión emocional y falta de descanso mental. Durante el sueño o en momentos de concentración, la tensión

emocional no expresada se refleja en el apretamiento o rechinar de los dientes, generando sobrecarga en la musculatura mandibular, desgaste dental y dolores de cuello y cabeza. Así, el bruxismo no solo es un problema odontológico, sino también una señal de alerta del cuerpo frente a un estrés que no ha sido identificado, ni manejado adecuadamente (Voß et al., 2024).

Cuando estamos relajados y emocionalmente equilibrados, los dientes superiores suelen mantenerse ligeramente separados respecto a los inferiores. Sin embargo, cuando experimentamos episodios de estrés o ansiedad, es posible que comencemos a apretar los dientes de manera involuntaria. Esto se debe al aumento en la tensión muscular causado por las circunstancias y el contexto de la situación que estamos viviendo (Bartolucci et al., 2023).

El acto de apretar los dientes se llama bruxismo y se relaciona con una activación excesiva de los músculos de la mandíbula. El bruxismo se manifiesta como el rechinar involuntario e inconsciente de los dientes, lo que puede causar dolores de cabeza, dolor muscular en el cuello y espalda, desgaste dental, problemas en las encías y en la articulación de la mandíbula. Cuando una persona se encuentra bajo tensión constante, el sistema nervioso central permanece en un estado de alerta prolongado. Este aumento de actividad neuromuscular puede traducirse en contracciones involuntarias de los músculos masticatorios, especialmente durante el sueño, momento en el que disminuye el control consciente (Ella et al., 2017).

Los episodios de bruxismo pueden ocurrir tanto en el día como en la noche mientras dormimos. Cuando esto sucede y estamos despiertos, se llama bruxismo diurno, y suele manifestarse durante actividades diarias como trabajar o estudiar, situaciones que requieren concentración o esfuerzo prolongado, incluso durante momentos que requieren enfrentar situaciones de presión y a menudo pasa desapercibido por uno mismo. Sin embargo, los episodios más frecuentes se presentan durante el sueño, y se conocen como bruxismo nocturno, se asocia con rasgos de personalidad, ansiedad y estrés acumulado durante el día (Bartolucci et al., 2023).

El bruxismo no se considera una enfermedad del sueño, sino una respuesta del cuerpo que suele es-

tar relacionada con el estrés, la tensión emocional o un descanso poco reparador. En ambos casos, el bruxismo se produce por la contracción repetida de los músculos que usamos para masticar (Lavigne et al., 2008). Por lo tanto, el problema no está solo en los dientes, sino también en el sistema muscular. Aunque el bruxismo puede acompañarse de otros cambios en el cuerpo, como variaciones en la respiración, el ritmo cardíaco o la actividad cerebral, lo más importante es la actividad de los músculos insertados en la mandíbula (Vlăduțu et al., 2022).

Durante muchos años, el bruxismo se relacionaba directamente con los problemas de la articulación de la mandíbula, conocidos como trastornos temporomandibulares. Debido a esto, los tratamientos solían ser similares, como el utilizar férulas dentales, ejercicios físicos y cambios de conducta. Sin embargo, hoy se sabe que no todas las personas con bruxismo desarrollan estos trastornos, ya que la relación entre ambos es compleja y depende de factores individuales (Voß et al., 2024; Ella et al., 2017).

Aunque no se ha identificado una causa única para el bruxismo, este hábito suele estar asociado a diferentes factores físicos y emocionales que pueden contribuir a su desarrollo. Aunque actualmente no existe una cura definitiva para el bruxismo, su detección temprana y la prevención pueden ayudar a evitar un deterioro crónico de la salud bucal y general (Bartolucci et al., 2023).

Desde la perspectiva odontológica, el bruxismo representa un desafío clínico importante, ya que sus efectos no se limitan únicamente a los dientes, sino que incluyen músculos, articulaciones, tejidos periodontales y se refleja en la calidad de vida de las personas que lo padecen. En muchos casos, esta condición se ve influida por el estrés, un factor silencioso que se manifiesta a través de hábitos que no son normales sin que el paciente lo perciba claramente. Este artículo tiene como objetivo explicar porque el estrés es un factor silencioso en el bruxismo, ya que actúa de manera inconsciente y sostenida, sin generar señales evidentes inmediatas que alerten al paciente ante este trastorno (Lavigne et al., 2008).

¿Cómo afecta el estrés al cuerpo humano?

Para llevar una vida saludable, es fundamental contar con un entorno tranquilo y seguro, mantener un sueño de calidad y realizar actividades relajantes y

placenteras durante el día. Nuestra forma de vida, la dieta, el ejercicio, la actividad mental y los niveles de estrés, tienen un gran impacto en la salud tanto física como mental (Van Laethem et al., 2017).

El fisiólogo estadounidense Walter Cannon definió el estrés en términos biológicos como la respuesta del cuerpo a estímulos que pueden desencadenar una reacción de “lucha o huida”. Destacó cómo nuestras emociones pueden generar efectos específicos en el cuerpo para mantener un equilibrio interno en distintas situaciones (Dragoş y Tănăsescu, 2019). La Organización Mundial de la Salud lo describe como las reacciones fisiológicas que preparan al organismo para responder frente a amenazas emocionales o físicas (Lu et al., 2021).

El estrés es un fenómeno complejo que abarca factores físicos, emocionales y sociales. Desde un punto de vista físico, aumenta los niveles de cortisol, afectando la frecuencia cardíaca, la presión arterial y el sistema inmunológico, y puede provocar debilidad, fatiga y mayor predisposición a enfermedades (Rom y Reznick, 2016). Estudios han asociado el estrés con hipertensión, enfermedades cardíacas, diabetes, obesidad, entre otros (Slavich, 2016). Los investigadores buscan comprender los mecanismos biológicos mediante los cuales las experiencias estresantes influyen en el desarrollo de enfermedades (Lu et al., 2021).

Uno de los efectos más comunes y silenciosos del estrés es la tensión muscular y el dolor, especialmente en la espalda, hombros, cuello y los músculos de la mandíbula. Los trastornos de ansiedad y la predisposición genética pueden aumentar esta tensión, que a menudo se manifiesta de manera inconsciente como bruxismo: el hábito de apretar o rechinar los dientes sin darse cuenta (Srivastava et al., 2002).

¿Qué produce el bruxismo?

En condiciones normales, la mandíbula suele permanecer en una posición relajada, evitando el contacto de los dientes superiores e inferiores. Aunque en algún momento del día es posible que apretemos o rechinemos los dientes, no es saludable convertirlo en un hábito. Durante un episodio de bruxismo, los músculos de la mandíbula se activan excesivamente, haciendo que los dientes se aprieten entre sí. Se estima que las personas que sufren de episodios de bruxismo aplican una fuerza seis veces mayor que la necesaria para masticar alimentos (Gibbs et al., 1986).

El término 'bruxismo' se utiliza para describir comportamientos que implican la actividad involuntaria y repetitiva de los músculos de la mandíbula, específicamente los músculos temporales y maseteros, ocasionan que los dientes se aprieten rítmica o espasmódicamente al presionar la mandíbula con el maxilar (Rugh y Harlan, 1988). El bruxismo afecta a millones de personas en todo el mundo y se considera uno de los trastornos más dañinos para los dientes y el sistema masticatorio, que se refiere al conjunto de estructuras relacionadas con la boca y su función, incluyendo los dientes, encías, mandíbula, músculos que activan el proceso de la masticación, articulación temporomandibular y otras estructuras relacionadas. (Manfredini y Lobbezoo, 2009).

Se estima que hasta el 90 % de las personas experimenta episodios de bruxismo en algún momento de la vida; aproximadamente el 20% de los adultos presenta bruxismo crónico, con mayor frecuencia en mujeres (Figura 1) (Manfredini et al., 2024). En niños, puede manifestarse desde los 4 años, con un pico entre los 10 y 14 años (Castroflorio et al., 2015; Petit et al., 2007).

En México no se cuenta con un reporte oficial que describa la prevalencia del bruxismo en la población adulta e infantil. La información disponible proviene principalmente de estudios clínicos y de investigaciones realizadas en grupos de población específicos, lo que explica que estas cifras puedan variar.

De acuerdo con información difundida por la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Autónoma de México, una gran parte de la población mexicana presenta el hábito de apretar o rechinar los dientes. Estas estimaciones indican que el bruxismo puede afectar a entre 5 % y 40 % de niñas, niños y



Figura 1. Prevalencia del bruxismo en hombre y mujeres. **Fuente:** Elaborada con inteligencia artificial (OpenAI, 2026), basada en datos de Manfredini et al. (2024).

adolescentes, y a entre 15 % y 25 % de los adultos. A pesar de su frecuencia, el problema suele pasar desapercibido, se calcula que solo entre 6 % y 20 % de las personas que lo presentan son conscientes de que aprietan los dientes buscan atención profesional.

Castillo Ruiz en el 2023 reportó de acuerdo a sus resultados obtenidos que 1 de cada 4 pacientes presentan bruxismo, con una mayor proporción de mujeres y predominancia de bruxismo nocturno. El rango de edad más frecuente entre los pacientes con bruxismo fue de 51 a 60 años.

Hay varios factores que aumentan el riesgo de padecer bruxismo, que pueden ser de naturaleza fisiológica, anatómica o psicosocial. Entre ellos se incluyen el reflujo gastroesofágico, problemas de respiración durante el sueño (hipopnea), problemas de la articulación temporomandibular, mala alineación de los dientes (maloclusión) y trastornos psiquiátricos que pueden actuar como factores contribuyentes o agravantes (Slavich, 2016).

El consumo elevado de cafeína, bebidas energéticas, alcohol, tabaco y algunos medicamentos (como antidepresivos o estimulantes) puede aumentar la actividad muscular y favorecer el bruxismo (Postuma et al., 2012). Estos factores pueden actuar como estímulos para el sistema nervioso central, alterando la liberación de sustancias como la dopamina, lo que puede desencadenar la actividad repetitiva de los músculos de la mandíbula, caracterizada por apretar o rechinar los dientes y ejercer presión sobre la mandíbula durante el sueño (Durham et al., 1993).

El bruxismo diurno puede manifestarse cuando estamos concentrados en una actividad que requiere un esfuerzo adicional en los músculos de la mandíbula, como levantar objetos pesados o conducir, situaciones que aumentan la tensión muscular. Por otro lado, se ha demostrado que el bruxismo nocturno o del sueño está relacionado con rasgos de personalidad y factores psicosociales, como el estrés y la ansiedad. Los rasgos de personalidad reflejan cómo las personas reaccionan ante diversas situaciones, y aquellos que son propensos a la ansiedad, la tensión o el estrés pueden liberar esta energía durante el sueño, lo que desencadena el bruxismo nocturno (Serra-Negra et al., 2012).

Es importante destacar que muchas personas con bruxismo nocturno también presentan alteraciones

respiratorias durante el sueño, como ronquidos o pausas en la respiración. Esta relación sugiere un vínculo entre el bruxismo y los trastornos respiratorios del sueño, lo que puede agravar tanto la calidad del descanso como los síntomas diurnos, como somnolencia y fatiga (González et al., 2023). Actualmente, se considera principalmente un trastorno de origen multifactorial, que involucra procesos fisiológicos complejos y la interacción de diversos sistemas del organismo (Klasser et al., 2015).

Las consecuencias del bruxismo en la salud bucal son múltiples y pueden progresar de forma silenciosa (Figura 2). Entre las más frecuentes se encuentran el desgaste excesivo de los dientes, la aparición de fisuras y pequeñas fracturas dentales, hipertrofia de los músculos de la mandíbula lo que puede modificar la forma del rostro con el tiempo, crecimiento anormal del hueso, y el daño a restauraciones como coronas o empastes (Koyano et al., 2008).

La tensión muscular acumulada en la cara, cabeza, cuello y región cervical desempeña un papel clave en el desarrollo del bruxismo. Esta tensión puede



Figura 2. Signos y síntomas del bruxismo. **Fuente:** Elaborada con inteligencia artificial (OpenAI, 2026), basada en datos de Ella et al. (2017).

llevar al apretamiento inconsciente de los músculos de la mandíbula, como un hábito parafuncional que se mantiene incluso en ausencia de estímulos conscientes. Como consecuencia, el bruxismo suele asociarse con dolor facial, cefaleas, molestias en el oído afectando de manera significativa la calidad de vida del paciente (Klasser et al., 2015).

Además del impacto local, el bruxismo suele acompañarse de síntomas generales como cansancio extremo, sensación persistente de fatiga, nerviosismo e irritabilidad, especialmente en quienes lo padecen durante el sueño. Debido a su carácter crónico y a su relación con el estrés y otros factores sistémicos, el bruxismo ha despertado un creciente interés en la comunidad médica (Somay y Tekkarismaz, 2020).

Reconocer el bruxismo no solo como un problema dental, sino como una condición relacionada con el estrés, el sueño y la salud general, permite una detección más temprana y estrategias de manejo más eficaces, orientadas a prevenir complicaciones a largo plazo.

Rechinar, apretar y golpetear los dientes

Algunas personas suelen realizar movimientos con la mandíbula de manera automática o incluso a manera de juego, sin darse cuenta de cómo los llevan a cabo, y con el tiempo crean hábitos que aparecen sin que sean conscientes. Algunos de estos movimientos, como rechinar, apretar o golpetear los dientes (Figura 3), están relacionados con el bruxismo (Bronkhorst et al., 2024).

El rechinar de los dientes consiste en frotar los dientes superiores con los inferiores durante los movimientos laterales o hacia adelante y atrás de la

mandíbula. Este mecanismo de movimiento no tiene una función útil, debido a que no está relacionado con la función masticatoria ni con la deglución. Suele producirse especialmente durante el sueño, y con el tiempo puede provocar desgaste dental, sensibilidad en los dientes y molestias en la mandíbula o dolores de cabeza (Klasser et al., 2015; Srivastava et al., 2002).

El apretamiento de la mandíbula se caracteriza por una contracción intensa y mantenida de los músculos masticatorios. En este caso, los dientes pueden estar en contacto o no, pero no existe el movimiento de fricción típico del rechinar dental. Este hábito es frecuente en situaciones crónicas de estrés, tensión emocional o concentración mental prolongada, y puede ocasionar fatiga de los músculos faciales y de la masticación, dolor en la mandíbula, rigidez en el cuello y molestias en los hombros (Somay y Tekkarismaz, 2020).

Por último, el golpeteo dental es un contacto repetido y generalmente suave entre los dientes, como pequeños toques rítmicos que pueden repetirse muchas veces a lo largo del día. Aunque suele percibirse como un hábito leve, cuando es constante puede sobrecargar los músculos de la mandíbula, aumentar la sensibilidad dental y contribuir a molestias en la articulación temporomandibular (Bronkhorst et al., 2024).

Identificar el rechinar, apretamiento y golpeteo dental es un paso fundamental para prevenir problemas dentales y musculares. Es ideal, prestar atención a la postura de la mandíbula mientras descansamos, además de reducir los niveles de estrés y consultar con profesionales de la salud cuando aparecen molestias persistentes (Klasser et al., 2015).



Figura 3. El estrés o la ansiedad pueden llevar a rechinar y apretar los dientes. **Fuente:** Elaborada con inteligencia artificial (OpenAI, 2026), basada en datos de Lavigne et al. (2008).

Impacto del bruxismo en la salud y la calidad de vida

El apretamiento dental se convierte así en una expresión silenciosa de un estado emocional sostenido. Aunque el bruxismo puede presentarse a cualquier edad, muchas personas desconocen que lo padecen debido a que ocurre de forma inconsciente. Esta falta de percepción hace que, en numerosos casos, el diagnóstico se retrase hasta que aparecen síntomas más evidentes (Koyano et al., 2008).

Existen varios signos que pueden ayudarte a reconocer si aprietas o rechinas los dientes mientras duermes. Entre los más comunes se encuentran despertar con dolor en los músculos de la cara o del cuello, así como dolor de cabeza o de oído. Las personas que rechinan los dientes suelen presentar dolores de cabeza con mayor frecuencia (Serra-Negra et al., 2012).

El desgaste dental por bruxismo afecta primero al esmalte, que es la cubierta más externa del diente, que se va adelgazando y perdiendo su forma natural. Cuando el desgaste es continuo, queda expuesta la dentina, una capa más blanda y sensible. Como consecuencia, los dientes pueden verse más planos en su cara oclusal, amarillentos y volverse sensibles a los cambios de temperatura o incluso al hablar. Este tipo de desgaste se diferencia de otros porque sigue patrones regulares y está directamente relacionado con la fuerza de la mordida. La presencia de desgaste dental no siempre indica que este proceso esté activo. Esto hace más difícil establecer una relación directa del desgaste dental con el bruxismo. Con frecuencia, el desgaste dental se ha utilizado como único criterio para diagnosticar bruxismo, lo que puede generar errores y confusiones en la evaluación clínica (González et al., 2023).

Otra señal habitual es sentir la mandíbula tensa al despertar o tener dificultad para abrir la boca. En algunos casos, el rechinar de los dientes puede ser lo suficientemente fuerte como para que otras personas lo escuchen durante la noche. Además, el desgaste de los dientes es un signo importante: si notas que se ven más pequeños o con una superficie plana, esto puede indicar pérdida del esmalte dental, lo que a su vez puede provocar sensibilidad al consumir alimentos o bebidas frías y calientes. Asimismo, las personas que roncan o que padecen apnea obstructiva del sueño tienen una mayor probabilidad

de presentar bruxismo. La observación clínica y las revisiones odontológicas suelen ser claves para su detección (Klasser et al., 2015).

La difusión del conocimiento sobre el bruxismo permite comprender que la salud no solo depende de factores visibles, sino también de procesos internos y hábitos involuntarios. Promover la educación en salud ayuda a que la población identifique señales de alerta y adopte medidas para mejorar su bienestar general, reforzando la importancia del cuidado integral del cuerpo (Bartolucci et al., 2023).

El papel del odontólogo y otros profesionales de la salud

Actualmente, se entiende que el bruxismo no tiene una sola causa. Factores como el estrés, los hábitos diarios, la calidad del sueño y el estado emocional juegan un papel importante. Reconocer estas señales a tiempo y adoptar medidas para reducir la tensión puede ayudar a prevenir daños mayores y mejorar la calidad de vida (Bartolucci et al., 2023).

Durante años se creyó que el bruxismo era el principal factor responsable del desgaste dental. Sin embargo, investigaciones recientes indican que su papel podría ser menor de lo que tradicionalmente se creía. En la actualidad, se sabe que el desgaste dental es un proceso complejo en el cual intervienen diversos factores. La saliva, el reflujo gástrico, la alimentación, el estrés y el uso de ciertos medicamentos influyen de manera significativa, mientras que el bruxismo es solo uno más de los elementos que pueden contribuir a este trastorno (Rom y Reznick, 2016).

El tratamiento del bruxismo se considera interdisciplinario, ya que debe ser abordado por un equipo de profesionales debido a la amplia gama de síntomas que pueden experimentar los pacientes con bruxismo. Estos síntomas incluyen dolor muscular, alteraciones en la actividad muscular, limitación en la apertura bucal, trastornos de ansiedad y estrés, mala calidad del sueño, presencia de trastornos temporomandibulares y alteraciones posturales. A pesar de varios estudios, aún no se ha determinado con claridad cuál es el tratamiento más efectivo y no existen pruebas concluyentes de su eficacia (Rom y Reznick, 2016).

Por lo general, el primer profesional en detectarlo es el dentista, quien identifica el desgaste dental y protege los dientes con férulas o guardas. Sin embargo,

cuando hay dolor en la cara, molestias en la mandíbula o cefaleas, pueden intervenir especialistas en articulación temporomandibular y dolor orofacial. Dado que el estrés, la ansiedad y los trastornos del sueño suelen estar relacionados, también pueden participar psicólogos, psiquiatras y médicos especialistas en sueño. En algunos casos, el apoyo de fisioterapeutas y médicos generales es clave para aliviar la tensión muscular y abordar factores de salud asociados, lo que demuestra que el manejo del bruxismo requiere una visión integral y coordinada (Voß et al., 2024).

Los tratamientos empleados en fisioterapia pueden incluir electroterapia, ejercicios fisioterapéuticos, técnicas de relajación muscular y corrección postural, todos diseñados para reducir el dolor muscular. Por otro lado, el tratamiento con férulas oclusales tiene como objetivo preservar la dentadura y proteger las estructuras orales de los daños causados por el apretamiento (Lu et al., 2021).

La fisioterapia especializada puede ayudar a mejorar la tensión muscular, el dolor y la restricción de movimientos (Ella et al., 2017). Es fundamental identificar los factores de riesgo para diseñar un plan de tratamiento adecuado para los pacientes con bruxismo. Un enfoque puede incluir la autoobservación, la relajación muscular y el uso de una férula de estabilización, también conocida como férula tipo Michigan. La autoobservación implica tomar conciencia de las actividades de apretar o rechinar los dientes durante las horas de vigilia, identificando los momentos del día en los que se produce esta acción (Carra et al., 2015).

La relajación muscular implica aprender y practicar diariamente una técnica de relajación que promueva la “estabilización muscular y vegetativa”, lo que conduce a una mejora en la percepción corporal y en la gestión del estrés (Lavigne et al., 2008).

Conclusiones

Existen informes científicos que respaldan la asociación entre factores psicosociales como el estrés, el estado de ánimo, la angustia, el nerviosismo y la sensación de tristeza con el bruxismo del sueño. Además, el consumo de cafeína, alcohol y tabaco también se ha relacionado con esta condición. Es fundamental que las personas que padecen bruxismo estén conscientes de las posibles consecuencias y tomen medidas para mejorar el manejo del estrés y

la ansiedad, con el objetivo de reducir estos factores en la medida de lo posible. Las estrategias de tratamiento para el control del bruxismo deben centrarse en abordar la etiología multifactorial que subyace en esta afección. Además, es importante promover campañas de concienciación y fomentar revisiones dentales tempranas para detectar y abordar el bruxismo de manera oportuna.

Referencias

- Bartolucci, M. L., Incerti Parenti, S., Bortolotti, F., Della Godenza, V., Vandi, S., Pizzi, F., Plazzi, G., and Alessandri-Bonetti, G. (2023). Sleep bruxism and orofacial pain in patients with sleep disorders: A controlled cohort study. *J Clin Med*, 12(8): 2997. <https://doi.org/10.3390/jcm12082997>
- Bronkhorst, H., Kalaykova, S., Huysmans, M. C., Loomans, B., and Pereira-Cenci T (2024). Tooth wear and bruxism: a scoping review. *J Dent*, 145: 104983. doi:10.1016/j.jdent.2024.104983.
- Carra, M. C., Huynh, N., Fleury, B., and Lavigne, G. (2015). Overview on sleep bruxism for sleep medicine clinicians. *Sleep Med Clin*, 10(3): 375-84. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2015.05.005>
- Castillo Ruíz, E. Y. (2023). Prevalencia y manejo estomatológico de pacientes bruxistas en el Laboratorio de Diseño y Comprobación Nezahualcóyotl durante los trimestres 22-P y 22-O (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/39353>
- Castroflorio, T., Bargellini, A., Rossini, G., Cugliari, G., Rainoldi, A., and Deregibus, A. (2015). Risk factors related to sleep bruxism in children: A systematic literature review. *Arch Oral Biol*, 60(11): 1618-24. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.08.014>
- Dragoş, D., and Tănăsescu, M. D. (2019). The effect of stress on the defense systems. *J Med Life*, 3(1): 10-8.
- Durham, T. M., Hodges, E. D., Henry, M. J., Geasland, J., and Straub, P. (1993). Management of orofacial manifestations of Parkinson's disease with splint therapy: a case report. *Spec Care Dentist*, 13(4): 155-8. doi: 10.1111/j.1754-4505.1993.tb01467.x
- Ella, B., Ghorayeb, I., Burbaud, P., and Guehl, D. (2017). Bruxism in movement disorders: A comprehensive review. *J Prosthodont*, 26(7):599-605. <https://doi.org/10.1111/jopr.12479>
- Gibbs, C. H., Mahan, P. E., Mauderli, A., Lundeen, H. C., and Walsh, E. K. (1986). Limits of human bite strength. *J Prosthet Dent*, 56(2): 226-9. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(86\)90480-4](https://doi.org/10.1016/0022-3913(86)90480-4)
- González, G. A., Montero, J., and Gómez P. C. (2023). Sleep apnea-hypopnea syndrome and sleep bruxism: A systematic review. *J Clin Med*, 23;12(3):910. doi: 10.3390/jcm12030910.
- Klasser, G. D., Rei, N., and Lavigne, G. J. (2015). Sleep bruxism etiology: the evolution of a changing paradigm. *J Can Dent Assoc*, 81: 2.
- Koyano, K., Tsukiyama, Y., Ichiki, R., and Kuwata, T. (2008). Assessment of bruxism in the clinic. *J Oral Rehabil*, 35(7): 495-508.
- Lavigne, G.J., Khoury, S., Abe, S., Yamaguchi, T., and Raphael, K. (2008). Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians. *J Oral Rehabil*, 35(7): 476-94. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2008.01881.x>

- Lu, S., Wei, F., and Li, G. (2021). The evolution of the concept of stress and the framework of the stress system. *Cell Stress*, 5(6): 76-85. doi: 10.15698/cst2021.06.250
- Manfredini, D., and Lobbezoo, F. (2009). Role of psychosocial factors in the etiology of bruxism. *J Orofac Pain*, 23(2): 153-166.
- Manfredini, D., Winocur, E., Guarda-Nardini, L., Paesani, D., y Lobbezoo, F. (2024). Global prevalence of sleep bruxism and awake bruxism in pediatric and adult populations: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*, 13(14), 4259. <https://doi.org/10.3390/jcm13144259>
- Petit, D., Touchette, E., Tremblay, R. E., Boivin, M., and Montplaisir, J. (2007). Dyssomnias and parasomnias in early childhood. *Pediatrics*, 119, 1016–1025. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-2132>
- Postuma, R. B., Lang, A.E., Gagnon, J. F., Pelletier, A., and Montplaisir, J. Y. (2012). How does parkinsonism start? Prodromal parkinsonism motor changes in idiopathic REM sleep behaviour disorder. *Brain*, 135(Pt 6): 1860-70. <https://doi.org/10.1093/brain/aws093>
- Rodríguez Castañeda, I. (2021, 13 de agosto). Rechinan los dientes 80 % de los mexicanos (Boletín UNAM-DGCS-653). Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_653.html
- Rom, O., and Reznick, A. Z. (2016). The stress reaction: A historical perspective. *Adv Exp Med Biol*, 905: 1-4. doi: 10.1007/5584_2015_195
- Rugh, J. D., and Harlan, J. (1988). Nocturnal bruxism and temporomandibular disorders. *Adv Neurol*, 49: 329-41.
- Serra-Negra, J. M., Paiva, S. M., Flores-Mendoza, C. E., Ramos-Jorge, M. L., and Pordeus, I. A. (2012). Association among stress, personality traits, and sleep bruxism in children. *Pediatr Dent*, 34(2): 30-4.
- Slavich, G. M. (2016). Life stress and health: A review of conceptual issues and recent findings. *Teach Psychol*, 43(4): 346-355. <https://doi.org/10.1177/0098628316662768>
- Somay, E., and Tekkarismaz, N. (2020). Evaluation of sleep bruxism and temporomandibular disorders in patients undergoing hemodialysis. *Niger J Clin Pract*, 10, 1375–1380. doi: 10.4103/njcp.njcp_630_19
- Srivastava, T., Ahuja, M., Srivastava, M., and Trivedi, A. (2002). Bruxism as presenting feature of Parkinson's disease. *J Assoc Physicians India*, 50: 457.
- Van Laethem, M., Beckers, D. G. J., Dijksterhuis, A., and Geurts, S. A. E. (2017). Stress, fatigue, and sleep quality leading up to and following a stressful life event. *Stress Health*, 33(4): 459-469. <https://doi.org/10.1002/smi.2730>
- Vlăduțu, D., Popescu, S. M., Mercuț, R., Ionescu, M., Scrieciu, M., Glodeanu, A. D., Stănuși, A., Rică, A. M., and Mercuț, V. (2022). Associations between bruxism, stress, and manifestations of temporomandibular disorder in young students. *Int J Environ Res Public Health*, 19(9): 5415. doi: 10.3390/ijerph19095415.
- Voß, L. C., Basedau, H., Svensson, P., and May, A. (2024). Bruxism, temporomandibular disorders, and headache: a narrative review of correlations and causalities. *Pain*, 165(11): 2409-2418. doi: 10.1097/j.pain.0000000000003277

Ensayo de Investigación

Uso de simuladores en enfermería en Universidades de Oaxaca Use of simulators in nursing in Oaxaca Universities

José Eduardo Orellana Centeno^{1*}, Roxana Nayeli Guerrero Sotelo¹,
Mauricio Orellana Centeno², Verónica Morales Castillo³

¹ Universidad de la Sierra Sur

² Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca

³ Instituto Mexicano del Seguro Social

Autor de correspondencia:

*jeorellano@unsis.edu.mx

Recibido: 24-04-2024 Aceptado: 26-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Objetivo: Identificar el uso de simuladores en la licenciatura de Enfermería en Universidades de Oaxaca. **Metodología:** Revisión bibliográfica en la literatura científica, en las siguientes bases de datos: PUBMED (0), BVS, BDENF, LILACS (01) y Google Académico (10). Los descriptores seleccionados en español fueron: "simuladores", "enfermería", "Oaxaca". Combinados en la siguiente estrategia de búsqueda: español: (simuladores) AND (enfermería) AND (Oaxaca). Se utilizó la metodología PICO y SPIDER. **Resultados:** Fueron encontrados 11 artículos seleccionando por título y resumen. Después de una lectura minuciosa solamente 06 artículos cumplieron con los criterios de inclusión que fuera un ensayo clínico, estudio longitudinal (cuasi experimental o cohorte), se excluyeron artículos duplicados y que no cumplieran con los criterios de selección. La muestra final totalizó 06 artículos para la revisión. **Conclusiones:** La simulación clínica, es un método didáctico que cada vez es más utilizado en las áreas de la salud, ya que el manejo de los ambientes controlados le permite a los estudiantes poder extrapolar sus actividades de manera preclínica o de laboratorio a un ambiente clínico.

Palabras clave: Simulación clínica, pedagogía, enfermería.

Abstract

Objective: To identify the use of simulators in the Bachelor's Degree in Nursing at universities in Oaxaca. **Methodology:** Bibliographic review in the scientific literature, in the following databases: PUBMED (0), BVS, BDENF, LILACS (01) and Google Scholar (10). The descriptors selected in Spanish were: "simuladores", "enfermería", "Oaxaca". Combined in the following search strategy: Spanish: (simuladores) AND (enfermería) AND (Oaxaca). PICO and SPIDER methodology was used. **Results:** 11 articles were found selecting by title and abstract. After a thorough reading only 06 articles met the inclusion criteria of being a clinical trial, longitudinal study (quasi-experimental or cohort), duplicate articles and articles that did not meet the selection criteria were excluded. The final sample totalled 06 articles for the review. **Conclusions:** Clinical simulation is a didactic method that is increasingly used in health areas, as the use of controlled environments allows students to extrapolate their preclinical or laboratory activities to a clinical environment.

Keywords: Clinical simulation, pedagogy, nursing.

Introducción

A principios del siglo pasado los estudiantes de enfermería tenían un sitio conocido como "sala de arte", este lugar lo utilizaban para realizar prácticas y desarrollar procedimientos con la finalidad de mejorar la atención de los pacientes. A partir de ese momento, se reconoce la necesidad de una mejora constante con la utilización de equipos diferentes a la práctica directa con el ser humano, por tal moti-

vo la simulación en el área de la salud, requiere que sean dichos simuladores cada vez más sofisticados y apegados a los escenarios que se enfrentará (Felipe López, 2022).

La simulación clínica surgió a partir de simuladores como los maniqués de resucitación cardiopulmonar, pero no es hasta la reflexión "errar es de humanos" y las contribuciones científicas en los años 90,

donde se comenzó a utilizar la metodología para el entrenamiento en la seguridad del paciente y la gestión de crisis. Desde entonces, se ha aplicado este paradigma en la educación médica para el desarrollo de competencias y habilidades, y las referencias publicadas están experimentando un crecimiento exponencial (Rognoni Amrein, 2024).

El éxito del proceso involucra la transformación del proceso enseñanza-aprendizaje, los procesos educativos en los que se utilizan la herramienta de la simulación permite reforzar algunos elementos teórico-prácticos de la educación médica, ya que se realiza una práctica libre de riesgos con escenarios controlados y que permite al evaluador o educador poder apreciar las habilidades técnicas y poder realizar un análisis en tiempo real de la labor del estudiante (León Castela, 2019).

La necesidad de un currículo adaptable es fundamental; debe evolucionar junto con los cambios en la profesión y en la sociedad. En el área de la salud es crucial dirigir los esfuerzos hacia las necesidades de la salud de la población, las actualizaciones tecnológicas y los nuevos conocimientos sobre las enfermedades (Lodoño Beltrán, 2025).

En el contexto del estado de Oaxaca en donde se encuentran las universidades que se desarrolla esta revisión, se caracteriza por contar con entornos de alta marginación, bajo desarrollo humano, insuficiente acceso tecnológico, infraestructura y escasos recursos humanos en salud con adecuada y suficiente capacitación (Secretaría de Salud, 2009).

El Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca (SUNEO) que son universidades ubicadas en municipios alejados de la capital, tienen un modelo de tiempo completo para todos sus estudiantes, los grupos en las licenciaturas de salud son numerosos con un aproximado de 30 a 35 alumnos. A pesar del contexto donde se encuentran las universidades de este sistema, cuentan con un hospital robotizado, dichas instalaciones están equipados con diferentes tipos de simuladores para lograr desarrollar habilidades de los estudiantes en formación y prepararlos para la práctica clínica, fortaleciendo el proceso de enseñanza aprendizaje (Seara Vázquez, 2010).

El propósito de este estudio es identificar el uso de simuladores en la licenciatura de Enfermería en Universidades de Oaxaca.

Metodología

Fue realizada una revisión bibliográfica en la literatura científica, en las siguientes bases de datos. Utilizando como criterios de inclusión los siguientes: a) Estudios realizados de 1995 hasta octubre de 2023, se encontraron una baja cantidad de artículos en el intervalo de 2018 a 2023 por tal motivo se amplió el intervalo, pero no aumento más que un artículo; Fueron seleccionados los tipos de estudio anteriormente mencionados, idioma: español e inglés, se seleccionaron aquellos que cumplieron los criterios de inclusión y que fueran artículos. b) Fenómeno a revisar fue el uso de simuladores para el aprendizaje de la enfermería. c) Diseño de los estudios fueron: ensayo clínico controlado aleatorizado (ECCA), cohorte, cuasi-experimentales, estudios de seguimiento.

La búsqueda de los datos la realizaron dos autores investigadores JEOC y MOC del 10 al 26 de octubre del 2023, con las siguientes palabras y operadores Booleanos seleccionados fueron: en español: “simulador”, “enfermería”, “Oaxaca”, en inglés: “simulator”, “nursing”, “Oaxaca”; Combinados en la siguiente estrategia de búsqueda: español: (simulador) AND (enfermería) AND (Oaxaca), inglés: (simulator) AND (nursing) AND (Oaxaca). Dicha estrategia de búsqueda se utilizó de igual manera en todas las bases reportadas.

Metodología PICO: a) Tipos de participantes (P): Estudiantes de la Licenciatura de Odontología, b) Tipo de intervención (I): Uso de simuladores, c) Comparación (C): Aprendizaje utilizando o no simuladores, d) Resultados (O): Conocimientos en enfermería.

Metodología SPIDER: a) Muestra (S): Estudiantes de la Licenciatura de Enfermería, b) Fenómeno de interés (PI): Uso de simuladores para el aprendizaje en enfermería, c) Diseño de estudio (D): Ensayo Clínico Controlado Aleatorizado, cohorte, cuasi-experimentales, estudios de seguimiento, d) Evaluación (E): Instrumentos de recolección de información en uso de simuladores, e) Tipo de investigación (R): Cuantitativo.

Los estudios seleccionados fueron analizados y se elaboró una tabla para la extracción de los datos. La escala empleada para la evaluación de la calidad de los artículos fue por el sistema propuesto por Jadad et al. que es un método de evaluación sistemático.

ca basado en respuesta de cinco preguntas. Artículos que respondieron más de tres cuestiones de forma afirmativa fueron considerados de buena calidad (Jadad et. al. 1996).

Desarrollo

Los cinco estudios revisados presentan tamaños de muestra distintas que van desde veinte y cuatro en el caso de Rojas Ortega et al. (2020), hasta el de mayor numero de muestra que es el de Martínez Sánchez et al. (2016), que fue de ochocientos participantes y que en este caso fueron estudiantes de la licenciatura de enfermería, por lo tanto, los tamaños de muestra son muy variables. La edad de los participantes está en un rango estrecho de acuerdo a las medias que reportan los distintos estudios, que van desde los veinte hasta los veinte y tres años de edad, pero en algunos de los estudios no mencionan todos los descriptivos o son incompletos, como se puede ver en la Tabla 1.

Amaro López L. et al., (2019), participaron 119 estudiantes, posteriormente solo participaron 96 estudiantes, esto debido a que no cumplían con los criterios de selección (eliminados 11 por recusar la materia y 12 porque no contestaron el instrumento o cuestionario), 80 % del sexo femenino y 20 % del sexo masculino, la edad promedio de los participantes fue de 20.6 +/- 1.39. La mayoría de los estudiantes provienen de Valles Centrales o de la Sierra Sur, solamente el 1 % de los estudiantes provienen de otro estado de la república mexicana. Obtuvieron resultados pretest cercanos a 6 y de posttest cercano a 10.

Felipe López R. et al., (2022), participaron 159 estudiantes, el 64.8 % fueron mujeres y 35.2 % fueron hombres, con una edad mínima de 19 años y un máximo de 25 años, una media de 21.16 +/- 1.4. Con respecto al puntaje del cuestionario de calidad y satisfacción de simulación, la mediana fue de 61 (muy de acuerdo). En promedio de todos los ítems del cuestionario, no se observaron valores menores a 3,

demonstrando que no hay desacuerdo con los ítems. En el subcomponente de la escala del cuestionario de calidad y satisfacción en la simulación, se encontró un mayor porcentaje en la dimensión de la relación interpersonal con 83.7 %.

Sánchez Maldonado H.A. et al., (2023), trabajo con una muestra de 94 participantes, el género predominante fue el femenino con 92.5 %, 70 % provienen de localidades rurales, 67 % de los participantes presentaban una edad de 22 a 24 años, 92.5 % con estado civil soltero, 80.85 % pertenencia a la cultura mixteca. Utilizo la encuesta de calidad y satisfacción de simulación clínica, teniendo un nivel de satisfacción general como “bueno” con el 54.5 %.

Rojas Ortega J. et al., (2020), realizo la valoración de un instrumento con 24 estudiantes, el género predominante fue del sexo femenino con 79 % y del sexo masculino 21 % del séptimo semestre de la licenciatura de enfermería que estaban agrupados en seis equipos de cuatro estudiantes cada uno.

Martínez Sánchez A. et al., (2016), participaron 800 estudiantes, no se describe las características de sexo y edad de los participantes de dicho estudio.

Discusión

La Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con el mismo, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos para el funcionamiento de los sistemas. Desde el contexto educativo en la enseñanza de la medicina y enfermería, la Simulación podría definirse como: La técnica por medio de la cual se puede manipular y controlar virtualmente una realidad, cumpliendo con los pasos y secuencias necesarios para estabilizar, modificar y revertir un fenómeno que de forma directa e indirecta afecta la normalidad del ser biológico-psíquico y social como lo es el hombre (Galindo López, 2007).

Tabla 1. Descriptivo de los estudios .

Estudio	Muestra	Femenino (%)	Masculino (%)	Edad (x)
Sánchez Maldonado H.A. et al. 2023	94	92.0	8.0	23
Felipe López R. et al. 2022	159	64.8	35.2	21.1 +/- 1.4
Rojas Ortega J. et al. 2020	24	79	21	-
Amaro López L. et al. 2019	119	80.0	20.0	20.6 +/- 1.39
Martínez Sánchez et al. 2016	800	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

La simulación es una técnica que aporta destreza, habilidad mental y capacidad de respuesta asertiva cuando indudablemente se necesita y es absolutamente necesaria e impostergable; la mejor referencia a lo anterior son los simuladores de vuelo. El adiestramiento a base de la simulación entonces se ha utilizado inicialmente en todas aquellas profesiones u oficios que requieren alta responsabilidad, pericia y, sobre todo, control y prevención, para sospechar, corregir de forma oportuna situaciones que pueden constituirse en detonantes de catástrofes (Galindo López, 2007).

Dentro de las actividades de la simulación clínica se desarrollan tres distintos tipos de dimensiones: el tipo de alcance, la modalidad de la simulación y el entorno del desarrollo, por lo que, posterior a ello, se debe de analizar entonces las necesidades y las metas de los alumnos, así como, definir los objetivos de aprendizaje, de manera que el docente debe diseñar actividades por simulación que sean específicas, medibles, alcanzables y centradas en los resultados que se deben obtener (Alba Brenda, 2023).

Cabe señalar, que las herramientas que se utilizan para el desarrollo de la simulación clínica se pueden clasificar en diversas formas, una de ellas es referida por Ziv, que establece cinco categorías:

1. Simuladores de uso específico y de baja tecnología.
2. Pacientes simulados o estandarizados.
3. Simuladores virtuales en pantalla.
4. Simuladores de tareas complejas.
5. Simuladores de pacientes complejos. (Alba Brenda, 2023).

También se pueden clasificar por el tipo de fidelidad física que proporcionan los simuladores en: baja fidelidad, fidelidad intermedia y alta fidelidad (Alba Brenda, 2023).

La educación en salud se requiere que sea con calidad, innovación y responsabilidad, en la que debe existir no solo un proceso de memorización, sino debe haber comprensión y análisis de los procesos y de los conceptos adquiridos, tomando en cuenta el intercambio de múltiples saberes y prácticas en el proceso de formación del estudiante, por lo cual el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje que se realiza en las áreas de simulación clínica coloca a los estudiantes en una situación similar a la que se encontraran en su campo profesional (Ortiz Rivas, et. al., 2021).

La formación del estudiante de la salud requiere de profesores que estén actualizados a estos nuevos escenarios de trabajo con la finalidad de desarrollar competencias que serán de utilidad en la formación profesional a través de la incorporación de las tecnologías que permitan la integración de conocimientos, destrezas y habilidades para mejorar la enseñanza con excelencia y vanguardia (Reyes Martínez, et. al., 2020).

La enseñanza mediante la simulación clínica permite realizar la práctica de manera repetitiva hasta lograr un procedimiento correcto y con la aplicación de los conocimientos y aprendizajes con una capacitación centrada a través de prácticas pedagógicas, con participación de los estudiantes y teniendo retroalimentación (Cerón Apipilhuasco, et. al., 2019).

El valor más importante de la Simulación como herramienta educativa consiste en que con los elementos adecuados, como espacios (consultorios, habitaciones, quirófanos, salas de trauma, unidades de cuidados intensivos, salas de parto y quirófanos), construidos en escala real y dotados de elementos virtuales, se pueden generar los escenarios, situaciones cotidianas y triviales tan sofisticadas y complejas como sea necesario bajo el contexto y nivel que se requiera; así el docente y el estudiante podrán repetir, corregir y perfeccionar su acto médico, ya sea clínico o quirúrgico (Galindo López, 2007).

El uso de la tecnología de simulación tiene un concepto importante a considerar que es el componente fidelidad y que se refiere al grado de realidad proyectada por los equipos brindando ambientes físicos muy similares a la realidad y que se clasifican en baja fidelidad (equipos estáticos que se emplea para aprendizaje de anatomía por ejemplo, conocimiento de estructuras, ubicación, identificación, etc.), mediana fidelidad (equipo con software, que permite manejar parámetros fisiológicos y anatómicos por ejemplo, pudiendo apreciar el funcionamiento y no solo el conocimiento y ubicación de estructuras) y simuladores de alta fidelidad (muy similares a los anteriores pero que ya tienen una programación y no solo desarrollan el funcionamiento sino que permiten al estudiante analizar, utilizar su pensamiento crítico y trabajar en equipo) (Elizalde Ordoñez, et. al., 2021).

Una de las razones por la que es cada vez mayor el uso de estas tecnologías en la formación de los

profesionales de la salud es por la seguridad del paciente que permite priorizar los cuidados y prevenir situaciones adversas que afecten la integridad de los pacientes, se evitan posibles errores (Illesca Pretty, et. al., 2019).

El nivel de satisfacción que se desarrollan en los estudios revisados en su mayoría los estudiantes describen que es de manera general adecuada y supera sus expectativas, aunque algunos de los aspectos no fueron resueltos y les parece complicado el uso de los simuladores, consideran que se requiere una mayor exigencia en el desarrollo para tener aspectos clínicos más reales, recordando y ejecutando la metodología con la intención de mejorar las habilidades cognitivas, motrices, actitudinales y de valores. Tanto los estudiantes como los profesores deben desarrollar un aprendizaje basado en buenas prácticas, capacitados y familiarizados (Piña Jiménez, et. al., 2015).

En la simulación que se realiza con cualquier grado de fidelidad, se olvidan realizar intervenciones de manera continua, en donde la mayor preocupación de su uso es que solamente se ven interesados en realizar actividades asignadas. Utilizada para conseguir competencias de forma individual, específicamente en lo procedimental (Guínez Molinos, et. al., 2018).

El desarrollo del pensamiento crítico es una de las competencias mediada por los docentes (compromiso de enseñanza, generación de escenarios, etc.) y estudiantes (compromiso de lectura, preparación previa, disciplina, etc.) que requiere contar con la infraestructura, trabajar en la parte socioafectiva (motivación), apropiación de conocimientos (Ambrosio, 2018).

La enseñanza de la medicina y de la enfermería tiene que ser, en lo posible, basada en el reconocimiento y manejo de pacientes reales vivos; sin embargo, el ejercicio de la medicina obliga de forma ética y legal a proporcionar el tratamiento óptimo y dar seguridad a los pacientes, respetando totalmente su autonomía y la de su familia (Galindo López, 2007).

El punto de equilibrio entre estas necesidades: enseñar, “curar” y no hacer daño, se soporta y a veces se encuentra con dilemas éticos, administrativos legales, religiosos, que generalmente limitan el contacto directo con el paciente y, por ende, dejan a la imaginación individual del estudiante la conclusión, resolución y, por qué no decirlo, el final del evento, sea éste feliz o no (Galindo López, 2007).

Desde el punto de vista ético, el uso de la Simulación como herramienta educativa se debe sustentar en:

1. Buscar mejores normas de cuidado para los pacientes
2. Dar un mejor entrenamiento al estudiante
3. Permite una evaluación más objetiva a los docentes
4. Dirigir y encontrar los errores en el acto médico
5. Respeto y preservación de la autonomía de los pacientes
6. Respeto y preservación de la autonomía de profesionales en las ciencias de la salud. (Galindo López, 2007)

La formación bioética en profesionales de la salud es esencial para asegurar una práctica médica competente y socialmente responsable. En este contexto, aborda dilemas complejos surgidos por los avances en las ciencias de la salud y la tecnología como la investigación con seres vivos, el consentimiento informado y la autonomía del paciente, a los que se le han sumado nuevos retos de como la telemedicina, la aplicación de algoritmos como práctica de discriminación para la asignación de recursos escasos, la alfabetización digital de pacientes y el internet de las cosas entre otras (Penagos Gómez, 2025).

En el ámbito educativo, la bioética es esencial para formar profesionales de la salud capaces de tomar decisiones en situaciones complejas, sin embargo, a pesar de la importancia de esta disciplina, existen desafíos en la implementación efectiva de estrategias pedagógicas que permitan desarrollar las competencias necesarias. En este contexto, la simulación clínica se presenta como una alternativa prometedora, ya que permite recrear escenarios médicos realistas en un entorno controlado, en el cual los estudiantes pueden enfrentarse a dilemas y practicar la toma de decisiones éticas sin consecuencias para los pacientes reales facilitando la autogestión del propio conocimiento, lo cual permite al estudiante, alcanzar el estado de experto competente, a partir del análisis de los principios bioéticos, los actores involucrados y los posibles cursos de acción, desde dimensiones más propositivas y resolutorias (Penagos Gómez, 2025).

Conclusiones

La simulación clínica, es un método didáctico que cada vez es más utilizado en las áreas de la salud, ya que el manejo de los ambientes controlados permite a los estudiantes poder extrapolar sus actividades de manera preclínica o de laboratorio a un ambiente clínico. En los diversos estudios revisados se presentan algunas consideraciones de esta metodología de enseñanza y aprendizaje, que si bien pudiera ser la más conveniente y adecuada para el estudiante del área de la salud, hay algunas variables que permiten observar que no se alcanza una satisfacción de este modelo o método de aprendizaje y que por lo tanto no puede aplicarse al cien por ciento, aunque el realismo que se tiene con esta herramienta de aprendizaje sin duda aumenta la confianza, manejo y aplicación del conocimiento.

El uso de estas herramientas en universidades públicas y sobre todo en el estado de Oaxaca, México, que permite implementar una estrategia adecuada para desarrollar profesionistas de calidad con un enfoque constructivista en la adquisición de sus conocimientos y que impacte significativamente no solamente en la formación educativa sino en el desarrollo de la comunidad.

Referencias

- Alba Brenda D.G., Barona Núñez A.V., Hernández Gutiérrez L.S., Bustamante Delgadillo B.B., Duran Cárdenas C., Mendoza Schuster E., Sosa Reyes H.A., Torres Rincón J.M., Núñez Galván L.A. (2023) Implementación de la simulación virtual en la educación médica de pregrado. *Revista de simulación en Ciencias de la Salud*, 1. Doi: <https://doi.org/10.22201/fm.30617243e.2023.1.8>
- Amaro López L, Hernández González PL, Hernández Blas A, Hernández Arzola LI. (2019) La simulación clínica en la adquisición de conocimientos en estudiantes de la Licenciatura de Enfermería. *Enfermería Universitaria*; 16(4), 402-13. Doi: <https://doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2019.4.543>
- Ambrosio P. (2018) La socioformación: un enfoque de cambio educativo. *Revista Iberoamericana de Educación*; 76(1), 57-82. Doi: <https://doi.org/10.35362/rie7612955>
- Cerón Apipilhuasco A, Rodríguez Cruz L, Mendoza Carrasco MT, Loria Castellanos J. (2019) Introducción a la simulación clínica. *Rev Educ Investig Emer*; 1(4), 140-144. Doi: <https://doi.org/10.24875/REIE.20000057>
- Elizalde Ordoñez H, Ortiz Dávalos G, Aya Roa KJ, Rodríguez Quezada F, Moreno González MM. (2021) Experiencia del profesional de enfermería en su relación con el estudiante durante su práctica clínica. *SANUS*; 6(1), e192. Disponible en : https://sanus.unison.mx/index.php/Sa_nus/article/view/192
- Felipe López R. (2022) Satisfacción en la simulación clínica en estudiantes de enfermería, Oaxaca, México. *Unidad Sanitaria* 2022; 2(7), 10-20.
- Felipe López R, Sebastián Rodríguez SI. (2022) La simulación clínica como estrategia de enseñanza-aprendizaje en estudiantes de enfermería. *Rev. Espacio Universitario* 2022; 17(46), 54-65.
- Galindo López J, Visbal Spirko L. (2007) Simulación, herramienta para la educación médica. *Salud Uninorte*; 23(1), 79-95
- Guínez Molinos S., Maragaño Lizama P, Gomar Sancho C. (2018) Simulación clínica colaborativa para el desarrollo de competencias de trabajo en equipo en estudiantes de medicina. *Revista Médica de Chile*; 146(5), 643-652. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/s0034-98872018000500643>
- Illesca Pretty M, Novoa Moreno R, Cabezas González M, Hernández Díaz A, González Osorio L. (2019) Simulación clínica: opinión de estudiantes de enfermería, Universidad Autónoma de Chile, Temuco. *Enfermería: Cuidados Humanizados*; 8(2), 89-116. Doi: <https://doi.org/10.22235/ech.v8i2.1845>
- Jadad AR, Moore RA, Carroll D, Jenkinson C, Reynolds DJ, Gaghagh DJ, McQuay HJ. (1996) Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: is blinding necessary? *Control Clin Trials*; 17(1), 1-12. Doi: 10.1016/0197-2456(95)00134-4
- León Castela E, Maestre JM. (2019) Prebriefing en simulación clínica: análisis del concepto y terminología en castellano. *Educación Médica*; 20(4), 238-248. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.12.011>
- Lodoño Beltrán D, Dias Nogueira F, Orozco Muñoz F, Loria Castellanos J, Cerón Apipilhuasco A. (2025) La simulación como metodología de enseñanza en la formación del médico del futuro. *Anales Medicos*; 70(1), 68-74. Doi: 10.24875/AMH.M25000101
- Martínez Sánchez A, Hernández Arzola LI, Jiménez C. (2016) Uso de simuladores clínicos con estudiantes de enfermería en la Universidad de la Sierra Sur de Oaxaca. *Rev Enferm Inst Mex Seguro Soc*; 24(3), 223-8.
- Ortiz Rivas MK, Rosado Colonia JD, Antuna Canales AB, Bañuelos Barrera Y, Bañuelos Barrera P. (2021) Simulación clínica: metodología didáctica en la formación de competencia inherentes a la seguridad del paciente. *Rev. Eugenio Espejo*; 15(2), 6-17. Doi: <https://doi.org/10.37135/ee.04.11.03>
- Penagos Gómez, P, Meneses Castaño, C., Figueroa Valero, J. (2025). Uso de simulación clínica para la formación bioética en salud. Una revisión sistemática. *Investigación En Educación Médica*; 14(55), 40-52. Doi: <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2025.55.24648>
- Piña Jiménez I, Amador Aguilar R. (2015) La enseñanza de la enfermería con simuladores, consideraciones teórico-pedagógicas para perfilar un modelo didáctico. *Enfermería Universitaria*; 12(3), 152-159. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.reu.2015.04.007>
- Reyes Martínez, Mansilla Sepulveda, Muñoz Gámbaro, Robles Jélvez. (2020) Significados construidos de las prácticas en simulación clínica por estudiantes de enfermería. *Enfermería: Cuidados Humanizados*; 9(2), 243-254.
- Rognoni Amrein G, Benet Bertran P, Castro Salomó A, Gomar Sancho C, Villalonga Vadell R, Zorrilla Riveiro J. (2025) La simulación

- clínica en la educación médica. Ventajas e inconvenientes del aprendizaje al lado del paciente y en entorno simulado. *Medicina Clínica Práctica*; 7(4), 100459. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcpsp.2024.100459>.
- Rojas Ortega, J, Rodríguez Peralta ML. (2020) Design and validation of an Instrument for Critical Thinking in Nursing Students [Diseño y validación de un Instrumento del Pensamiento Crítico en Estudiantes de Enfermería]. *Ecociencia. International Journal*; 2(2), 35-44. Doi: [dx.doi.org/10.35766/je20224](https://doi.org/10.35766/je20224)
- Sánchez Maldonado HA, Gallardo Casas CA, Pérez Elizondo E. (2022) Satisfacción de la simulación clínica como herramienta pedagógica para el aprendizaje en estudiantes de pregrado en Enfermería. *Revista de Medicina e Investigación UAEMex*; 10(2), 32-7.
- Sánchez Maldonado HA, Correa Solís E, Gallardo Casas CA, Canseco Ramírez CV, Sánchez Maldonado LO. (2023) Limitaciones de la implementación de la simulación clínica como estrategia pedagógica en la enseñanza de la enfermería. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 2023; 7(4), 6785-97. Doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7438
- Seara-Vazquez M. (2010) Un nuevo Modelo de Universidad. Universidades para el desarrollo. 2a ed. Oaxaca: *Universidad Tecnológica de la Mixteca*. p.178.
- Secretaría de Salud (2009). Programa de Acción Especifico 2007-2012. Sistema Nacional e Información en Salud. Programas Específicos 2013-201 *Rev. Fac. Med.*; 57(1), 67-79.

Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM)



Infraestructura

104 Ha. de dimensión

118 Edificios

55 Laboratorios

9 Talleres

Parque Tecnológico

Parque Solar Fotovoltaico

Planta de Tratamiento de Agua

Planta Potabilizadora de Agua

Agavetum



9 Institutos de Investigación

Centro de Modelación Matemática,
Vinculación y Consultoría

Instituto de Agroindustrias

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Instituto de Computación

Instituto de Diseño

Instituto de Física y Matemáticas

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz

Instituto de Hidrología

Instituto de Minería

División de Estudios de Posgrado

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería Civil

Ingeniería Industrial

Ingeniería en Diseño

Ingeniería en Alimentos

Ingeniería en Electrónica

Ingeniería en Mecatrónica

Ingeniería en Computación

Ingeniería en Física Aplicada

Ingeniería en Mecánica Automotriz

Ingeniería Química en Procesos Sostenibles

Licenciatura en Ciencias Empresariales

Licenciatura en Matemáticas Aplicadas

Licenciatura en Estudios Mexicanos

(modalidad virtual)



INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

Posgrado

Maestría en Robótica

Maestría en Ciencia de Datos

Maestría en Diseño de Muebles

Maestría en Medios Interactivos

Maestría en Inteligencia Artificial

Maestría en Ciencia de Materiales

Maestría en Ingeniería de Software

Maestría en Modelación Matemática

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura

Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Maestría en Electrónica, opción: Sistemas Inteligentes Aplicados

Doctorado en Robótica

Doctorado en Inteligencia Artificial

Doctorado en Modelación matemática

Doctorado en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Doctorado en Electrónica, opción sistemas Inteligentes Aplicados



Nota Científica

Pesquerías de recursos bentónicos de Baja California Sur: corresponsabilidad en el manejo Benthic Resource Fisheries of Baja California Sur: Shared responsibility in management

Sandra Patricia Medina-Gómez¹, Carlos Hiram Rábago-Quiroz¹,
Nurenskaya Vélez-Arellano^{2*}

¹Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura
Sustentables, Centro Regional de Investigación Acuícola y
Pesquera - La Paz, Baja California Sur

²Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de
Sinaloa

*Autor de correspondencia:
nurens@hotmail.com

Recibido: 25-05-2022 Aceptado: 26-12-2025 (Artículo Arbitrado)

Resumen

El presente trabajo describe la importancia de los recursos bentónicos en Baja California Sur y el papel de la corresponsabilidad como estrategia para su aprovechamiento sostenible, en el marco internacional impulsado por la ONU para fortalecer la pesca artesanal. Se destacan algunas de las principales pesquerías de bentónicos por su aporte económico, generación de empleo y bienestar social. Se resalta que en México el Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS) contribuye mediante investigaciones científicas, evaluación para estimaciones de biomasa, emisión de dictámenes técnicos (para recomendar cuotas de captura), socialización de los resultados de investigaciones (con el sector pesquero artesanal y/o en subcomités de manejo), como componentes clave del proceso de gobernanza participativa. Finalmente, se resalta la importancia de fortalecer la cooperación de las entidades gubernamentales con los pescadores artesanales como vía para el desarrollo sostenible.

Palabras clave: Manejo pesquero, pesca artesanal, sociedad.

Abstract

This paper describes the importance of benthic resources in Baja California Sur and the role of shared responsibility as a strategy for their sustainable use, within the international framework promoted by the United Nations to strengthen small-scale fisheries. Some of the main benthic fisheries are highlighted for their economic contribution, employment generation, and social well-being. It is emphasized that in Mexico, the Mexican Institute for Sustainable Fisheries and Aquaculture Research (IMIPAS) contributes through scientific research, biomass assessments, and the issuance of technical opinions (to recommend catch quotas), as well as through the dissemination of research results with the small-scale fishing sector and/or within management subcommittees, as a key component of the participatory governance process. Finally, the importance of strengthening cooperation with artisanal fishers as a pathway toward sustainable development is underscored.

Keywords: Fisheries management, artisanal fisheries, society.

Introducción

La Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) proclamó el 2022 como el Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura Artesanales. Dentro de los objetivos del plan de acción mundial promovido por la ONU para la Alimentación y la Agricultura están: 1) aumentar la sensibilización y la comprensión mundial sobre la contribución de la pesca y la acuicultura artesanal en pequeña escala al desarrollo sostenible;

2) promover el diálogo entre los actores involucrados en la pesca y piscicultura artesanal, los gobiernos y otros asociados clave a lo largo de la cadena de valor, así como seguir fortaleciendo su capacidad productiva para mejorar la sostenibilidad, en función del desarrollo social (FAO, 2021).

El Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (IMIPAS), es responsable

de dirigir, coordinar y orientar investigación en materia de pesca y acuicultura en México, así como generar las opiniones técnico-científicas para el aprovechamiento sostenible de los recursos pesqueros y acuícolas (DOF, 2015a), contribuye también al cumplimiento de tratados y acuerdos internacionales en donde se establecen compromisos en materia pesquera tales como la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el Cambio Climático, el Panel de Alto Nivel para una Economía Oceánica Sostenible, el Decenio Internacional de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030), entre otros.

En este sentido, el IMIPAS desde hace varios años, ha promovido y actualmente promueve con el sector pesquero, un enfoque de co-manejo y corresponsabilidad en muchas de las pesquerías artesanales. Este enfoque implica la participación activa y coordinada de instancias gubernamentales, instituciones privadas y organizaciones comunitarias, en la formación e implementación de las decisiones que gobiernan el uso de los recursos pesqueros (Nuñez-Saravia, 2000). Actualmente el IMIPAS cuenta con presencia en la mayoría de los estados con litoral del país, a través de los Centros Regionales de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP).

Desarrollo

Pesca de recursos bentónicos en Baja California Sur (BCS)

Baja California Sur (BCS) es el estado con mayor extensión de litoral a nivel nacional (2,131 km) y se ha posicionado, durante más de una década, entre el tercer y cuarto lugar como productor pesquero del país. En 2014 registró capturas por 172.5 mil toneladas de productos pesqueros, con un valor superior a 1,772 millones de pesos; mientras que, de acuerdo con el último registro disponible en 2024, las capturas superaron las 204 mil toneladas, con un valor mayor a 2,878 millones de pesos (CONAPESCA, 2024). Entre los recursos bentónicos con mayor importancia pesquera en este estado, se encuentran las almejas, caracoles, abulones, etc. (Figura 1). La importancia de estos recursos radica no solo en la magnitud de la captura y el valor económico de la producción, si no en la generación de empleos, alimentos, bienestar, cultura y tradición local y regional de muchas comunidades pesqueras de Baja California Sur.

Entre los principales recursos bentónicos en Baja California Sur, las almejas destacan por su importancia con una producción promedio en la última década de 8,000 toneladas, siendo este estado el principal



Figura 1. Se muestran recursos bentónicos de importancia en Baja California Sur, A) almeja chocolate *Megapitaria squalida*, almeja blanca *Dosinia ponderosa*, almeja pata de mula *Anadara* sp. B) abulón *Haliotis* spp, C) caracol panocha *Megastrea undosa*, D) pepino de mar *Holothuria paraprinceps*.

Fuente: Elaboración propia.

productor a nivel nacional (CONAPESCA, 2024). En particular, la pesquería de almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) en la costa occidental de BCS (Sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas), sólo en el 2018 la producción fue de 1,500 toneladas en presentación callo, lo cual generó un valor superior a los 180 millones de pesos. La captura de este recurso impulsa la economía regional empleando de manera directa a más de mil pescadores ribereños y aproximadamente 1,500 personas de manera indirecta (desconchado y comercialización). Esta actividad no sólo se limita a las familias de las propias comunidades, sino que familias enteras de otras comunidades lejanas, migran temporalmente para trabajar en la extracción y desconchado de la almeja (Figura 2) (INAPESCA, 2019).

Otro ejemplo es el de la almeja generosa (*Panopea spp.*), que se captura a lo largo de la costa occidental de BCS, específicamente en Bahía Magdalena (Comondú) y Punta Prieta (Mulegé). En total para la captura de este recurso en el estado se emplean 165 embarcaciones menores, operadas cada una de ellas por tres pescadores, el motorista, el cabo de vida (jabero) y un buzo (Figura 3). Solo en el 2025 se capturaron más de 540 toneladas de este recurso (IMIPAS, 2025), lo cual generó un valor aproximado de 46 millones de pesos (IMIPAS, 2025). Empleando de manera directa alrededor de 600 pescadores ribereños y aproximadamente 1,400 personas de manera indirecta (comercialización) (Figura 3) (Fuente: Comunicación personal).



Figura 2. Personas dedicadas al proceso de desconcho de la almeja catarina en Baja California Sur, en el recuadro se muestra un ejemplar de la almeja.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Pescadores en preparación para la jornada de pesca de almeja generosa en Baja California Sur, a la derecha se muestran las almejas empaquetadas para su transporte.
Fuente: Elaboración propia.

Tácticas de manejo en las principales pesquerías de bentónicos

Las principales tácticas de manejo implementadas actualmente para las pesquerías de recursos bentónicos son: 1) un periodo de veda temporal y espacial (lapso de tiempo o lugar donde se deja de capturar de manera comercial el recurso) para proteger la época reproductiva y el ingreso de nuevos individuos a la pesquería (reclutamiento), 2) una talla mínima legal para su captura, 3) asignación de zonas de concesión o permisos de pesca, 4) tasa de explotación por recurso y 5) cuotas de captura por zona (DOF, 2015b; DOF, 2015c). La investigación para definir tanto la temporalidad y las zonas de veda, así como las tallas mínimas de captura de un recurso que es aprovechado comercialmente, la realiza el IMIPAS (DOF, 2015a), en ocasiones en conjunto con centros de investigación y universidades. Los resultados de dichas investigaciones son plasmados en dictámenes técnicos, los que a su vez habrán de re-actualizar a las respectivas normas oficiales (DOF, 2015b; DOF, 2015c).

Investigaciones para determinar biomasa para el aprovechamiento comercial

Para que tome lugar el aprovechamiento de los recursos bentónicos (almejas, caracoles, abulones, etc.), además de los permisos para los pescadores y la asignación de la(s) zona(s) de pesca, se requiere del conocimiento de la magnitud de la población total y pescable disponibles, que se obtiene mediante campañas de evaluación que consideran la realización de muestreo aleatorio estratificado, con asignación proporcional al área de pesca o concesión.

Para realizar el trabajo de evaluación en campo, se cuenta con el apoyo logístico de embarcaciones menores del sector productivo, que incluyen su respectivo motorista, buzo y jabero, acompañados por personal técnico del IMIPAS que coordina la actividad de investigación (selección del lugar de muestreo, número y profundidad de sumersiones del buzo, etc.).

Con la información obtenida en campo y mediante el uso de la modelación matemática y métodos directos, se estima la densidad y biomasa (individuos y peso por unidad de área, cuadrante, banco y zona) del recurso, distribuida por intervalos de longitud

(incluida la talla mínima de captura). Se establece la magnitud de la biomasa disponible para el aprovechamiento comercial, tomando en cuenta, además, la información histórica disponible sobre las tendencias de la abundancia, biomasa y reclutamiento, así como el rendimiento en peso de los individuos (relación anual entre la longitud y el peso) y el diagnóstico del estado de salud del recurso. La explotación está limitada a la zona evaluada.

Antes de emitir los dictámenes con las recomendaciones de biomasa disponibles con aprovechamiento comercial, el IMIPAS realiza la presentación de los resultados obtenidos durante las investigaciones para determinar las biomasa total y disponible para su aprovechamiento, ante el sector pesquero interesado (en ocasiones ante subcomités de manejo). Esto con el objetivo de analizar las opciones de manejo para la temporada de captura, de acuerdo con el enfoque de co-manejo y corresponsabilidad que el IMIPAS ha promovido con el sector pesquero, finalmente se discuten los resultados de las investigaciones.

Con los resultados de la evaluación poblacional ya consensuados, en función de sus intereses y las limitaciones biológicas de la población a explotar, se elabora el dictamen técnico con las recomendaciones relativas a las biomasa disponibles para su aprovechamiento comercial ante la autoridad correspondiente (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca - CONAPESCA), quien habrá de evaluar, además de la pertinencia biológica, las consideraciones sociales y económicas necesarios aplicable para la temporada de pesca.

Conclusiones

Las tácticas de manejo instrumentadas para estos recursos bentónicos, entre ellas un periodo de veda para proteger la época reproductiva, la talla mínima legal, una tasa de explotación por recurso, así como la asignación de una cuota de captura, han mostrado a la fecha una clara utilidad como una estrategia de manejo pasivo. No obstante, no se debe perder de vista la alta vulnerabilidad de los recursos bentónicos, ante los efectos de la explotación por su condición sedentaria (organismos con movilidad limitada) que los vuelve fácilmente vulnerables a la explotación, por presentar una distribución agregada (parches y

bancos), así como por las características propias de estas especies como una alta longevidad (almeja generosa, abulón, etc.), alta mortalidad natural en estadios tempranos y bajas tasas de crecimiento y reclutamiento. Estudios recientes señalan la necesidad de transitar hacia un manejo activo y participativo que pueda evitar la sobreexplotación y el agotamiento en serie, como se ha documentado en varias especies de abulones y almejas en diversas partes del mundo. Se requiere ahondar más en el conocimiento de la dinámica poblacional, la ampliación de las áreas de pesca, la dinámica espacial de las poblaciones y flota pesquera, que permita identificar los cambios que ocurren en las poblaciones bentónicas a lo largo del tiempo y las respuestas ante la variabilidad ambiental.

El enfoque mostrado en el presente trabajo destaca los beneficios que pueden obtenerse si se llevan a cabo las asociaciones y la cooperación entre los pescadores y trabajadores de la pesca, en pro de los recursos pesqueros, de los beneficios económicos, en el camino al desarrollo sostenible.

Referencias

- DOF (2015a). Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentable. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103535/Ley_General_de_Pesca_y_Acuacultura_Sustentables_DO-04-06-2015.pdf
- DOF Diario Oficial de la Federación (2015b). Norma Oficial Mexicana NOM-014-SAG/PESC-2015, Especificaciones Para Regular El aprovechamiento De Almeja Generosa (*Panopea generosa* y *Panopea globosa*) En Aguas De Jurisdicción Federal Del Litoral Del Océano Pacífico Y Golfo De California.
- DOF Diario Oficial de la Federación (2015c). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/PESC-2015, Especificaciones para el aprovechamiento de la almeja catarina (*Argopecten circularis*) en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura Artesanales 2022 Plan de acción Mundial. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma Italia. <https://www.fao.org/artisanal-fisheries-aquaculture-2022/home/es/>
- IMIPAS Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentables (2025). Dictamen técnico para el aprovechamiento del recurso almeja generosa en Bahía Magdalena. Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera - La Paz.
- INAPESCA Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (2019). Informe técnico "Aspectos Biológicos, Económicos y Sociales de la Pesquería de Almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) en Bahía Magdalena, Municipio de Comondú, B.C.S." Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera - La Paz.
- CONAPESCA Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (2024). Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, en Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mex. 300 p. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgpe/2024/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2024.pdf
- Núñez-Saravia, O.M. (2000). El comanejo y la participación de la sociedad civil en las áreas protegidas de Centroamérica. Fundación Defensores de la Naturaleza, The Nature Conservancy, POARCA/CAPAS. 41p.



Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (RI-UTM)

<http://repositorio.utm.mx/>



El **RI-UTM** es una plataforma que emplea estándares internacionales y mecanismos de acceso abierto para albergar y difundir publicaciones e información académica, científica y tecnológica generada en nuestra institución siempre y cuando haya pasado por un proceso de revisión. La visibilidad de esta producción se logra a través de la conexión con el Repositorio Nacional (RN) de CONACYT.

¿Qué se puede publicar en el RI-UTM?

Publicaciones científicas que hayan pasado por un proceso de revisión por pares y que a su vez hayan sido aceptados para su publicación.

¿Se puede difundir en el repositorio información publicada en revistas y congresos?

Sí, la mayoría de los acuerdos de derechos de autor permiten que el investigador difunda sus publicaciones (ya sea la versión publicada o el preprint/borrador) en el repositorio institucional que le corresponde.

¿Porque publicar en el RI-UTM?

- Esta incorporado al Repositorio Nacional. Actualmente se tienen 296 recursos cosechados, principalmente tesis de posgrado.
- Difundir y preservar la producción científica de manera libre, inmediata, gratuita y protegida.
- Acelerar el desarrollo del conocimiento.

¿Cómo depositar?

<http://repositorio.utm.mx/Files/informacionDepositarios.pdf>



Licencia de publicación



Colecciones del repositorio



Artículos



Revista TEMAS



Libros



Tesis de posgrado

Contacto

repositorio@mixteco.utm.mx

Extensión: 312



Fronteras de la ciencia

Ciencia

Ciencia	59
Salud	60
Tecnología	61
Naturaleza	61-62

Crean “cerebro cuántico atómico” que imita circuitos eléctricos sin usar electrones

Un equipo de científicos ha logrado un avance sorprendente al crear un sistema que imita el comportamiento de los circuitos eléctricos cuánticos, pero sin usar electrones. En lugar de materiales convencionales, emplearon átomos ultrafríos y luz láser para replicar fenómenos clave de la electrónica superconductora. Este experimento no es un ‘cerebro cuántico’ real, pero funciona como una plataforma atómica capaz de simular procesos complejos en sistemas más controlables.

El resultado es tan sorprendente como prometedor. Por primera vez, se

han observado los llamados pasos de Shapiro en una “unión Josephson atómica” construida con un gas cuántico de átomos fríos. Es decir, se ha logrado replicar en el mundo de los átomos un comportamiento que, hasta ahora, solo se conocía en materiales superconductores. El estudio, publicado en la revista *Science*, demuestra que es posible trasladar un fenómeno cuántico clave de la electrónica a un entorno completamente diferente: el de los condensados de Bose-Einstein.

El funcionamiento del sistema se basa en condensados de Bose-Einstein, un estado cuántico donde millones de átomos actúan como una sola entidad. Los investigadores utilizaron un láser focalizado para generar una

barrera óptica móvil que separa este gas cuántico, creando algo similar a una unión Josephson, pero con átomos en lugar de electrones. Al mover esta barrera periódicamente, observaron pasos de Shapiro, un fenómeno característico de las uniones Josephson que ahora se ha logrado visualizar en un entorno completamente nuevo.

Este descubrimiento es importante porque valida que ciertos efectos cuánticos son universales y pueden estudiarse fuera de los superconductores tradicionales.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/tecnologia/cerebro-cuantico-atómico-josephson.html>

Material 100 veces más delgado que un cabello que permitiría fabricar chips cuánticos

Hay materiales que no se ven a simple vista, pero que pueden transformar por completo los dispositivos que usamos cada día. Uno de ellos es el disulfuro de molibdeno (MoS_2), un cristal bidimensional con el grosor de un solo átomo. Aunque ya se sabía que este material tenía propiedades electrónicas prometedoras, su integración en circuitos reales a gran escala seguía siendo un reto técnico difícil de superar.

Un grupo de investigadores surcoreanos ha logrado un avance que po-

dría marcar un antes y un después en la fabricación de chips: han desarrollado una estrategia que permite cultivar capas de MoS_2 sin errores ni imperfecciones en superficies del tamaño de una oblea de silicio. Lo publicaron en la revista *Nature Electronics*, y los resultados no solo destacan por su calidad técnica, sino por abrir la puerta a una electrónica cuántica más estable, más pequeña y más eficiente.

Uno de los pasos más importantes del estudio fue demostrar que estas capas de MoS_2 podían usarse para fabricar transistores de efecto de campo (FETs), el componente básico de cualquier circuito electrónico. Los investigadores crearon una matriz de

64 transistores utilizando su material, y los resultados fueron muy alentadores. Más allá de las cifras concretas, lo que hace especial este avance es su escalabilidad y aplicabilidad. Lograr cristales sin defectos a escala de oblea implica que esta tecnología podría integrarse en procesos industriales actuales, sin necesidad de rediseñar desde cero las fábricas de semiconductores.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/tecnologia/material-ultrafino-chips-cuanticos-perfectos.html>

Suplemento bebible mejora el crecimiento del cabello en mujeres con caída

Caída del cabello, falta de densidad, brillo apagado, pérdida de volumen. Aunque se asocian con el envejecimiento, estos problemas afectan a millones de mujeres jóvenes, muchas de ellas en plena etapa fértil. La ciencia lleva años buscando soluciones eficaces, pero hasta ahora, pocas tenían una validación clínica sólida detrás. Eso está empezando a cambiar.

Un nuevo estudio clínico realizado con un complemento alimenticio bebible ha logrado demostrar, con los más altos estándares científicos, mejoras objetivas en la salud capilar de mujeres premenopáusicas que sufrían efлюvio telógeno. El protagonista de esta historia es *Olistic Women*, una fórmula líquida con más de 30 ingredientes naturales que actúan sobre múltiples factores

biológicos implicados en la caída del cabello. Pero, más allá del marketing, lo que distingue a este producto es que ha superado con éxito un ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, con control por placebo y seguimiento durante seis meses. Un diseño comparable al de los ensayos farmacológicos, poco habitual en este tipo de productos.

La caída del cabello en mujeres jóvenes no responde a una única causa. Estrés, déficits nutricionales, inflamación silenciosa, alteraciones hormonales, envejecimiento prematuro del folículo o incluso la salud intestinal, pueden estar implicados. Este enfoque holístico es precisamente lo que ha guiado el desarrollo del suplemento: combinar antioxidantes, aminoácidos, adaptógenos, micronutrientes y probióticos que actúan en sinergia para frenar la caída y estimular el crecimiento desde la raíz.

Pero el reto no era solo formular el producto. Durante más de tres años, un equipo internacional de investigadores realizó un estudio multicéntrico en dos clínicas de España con 106 mujeres. A lo largo de seis meses, las participantes tomaron diariamente un vial de 25 ml del suplemento o un placebo.

A los tres meses, ya se observaba un aumento significativo en la densidad del cabello entre quienes tomaron el suplemento activo frente al placebo. Pero fue a los seis meses cuando la diferencia se hizo más clara: +27 pelos por centímetro cuadrado.

Es decir, una mejora visual perceptible, medible y clínicamente relevante.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/salud/suplemento-bebible-caida-cabello-estudio-clinico.html>

El acelerador que sigue al tumor en directo

En el Centro de Protonterapia Quirónsalud, referencia nacional desde 2019, acaba de incorporarse una máquina que hasta hace muy poco solo podía verse en publicaciones científicas: un acelerador lineal guiado por resonancia magnética, conocido como MR-Linac.

Su llegada convierte al centro en uno de los pocos del mundo que combinan protonterapia y radioterapia adaptativa de alta precisión bajo el mismo techo. Pero ¿por qué esto es relevante? Porque, por primera vez, es posible ver el tumor en tiempo real durante la sesión. No una imagen previa. No un cálculo estimado. Literalmente, un “live streaming” de lo que ocurre dentro del cuerpo mientras se irradia.

La radioterapia convencional siempre ha tenido que trabajar con

una desventaja: el cuerpo cambia constantemente. El tumor no está exactamente en el mismo sitio que ayer. O que hace una hora. O incluso que hace unos segundos.

Normalmente, una resonancia magnética y un acelerador lineal no pueden convivir en la misma sala: uno genera un campo magnético muy potente, el otro produce radiación ionizante. Integrarlos en un solo equipo ha sido un desafío de ingeniería durante décadas. El resultado es una máquina capaz de hacer tres cosas de forma simultánea: 1) Ver el tumor minuto a minuto, 2) Rediseñar el plan en ese mismo instante y 3) Seguir el tumor como si fuera un “GPS oncológico”.

La tecnología MR-Linac no solo permite tratamientos más inteligentes; también reduce efectos secundarios al evitar que la radiación se disperse hacia zonas sanas. El especialista Wal-

ter Vázquez indica que “es una forma de tratar con menos daño colateral y más precisión”. Para la Dra. Stephanie Bolle, jefa del Servicio de Oncología Radioterápica del Centro de Protonterapia Quirónsalud, este avance supone “ampliar el abanico de opciones y perfilar un futuro con más pacientes beneficiados”.

Poder adaptar el tratamiento en vivo convierte la radioterapia en un proceso dinámico, con capacidad de decisión instantánea a instantánea. Esto no solo permite personalizar más, sino que abre la puerta a que, en un futuro cercano, algoritmos de inteligencia artificial aprendan de cada sesión para anticipar movimientos o variaciones anatómicas.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/salud/quironsalud-acelerador-lineal-resonancia-magnetica.html>

Imprimen circuitos sobre la piel usando luz y polímeros sin tóxicos

En algunos hospitales ya se utilizan parches electrónicos para monitorizar funciones corporales sin necesidad de cables. Pero estos dispositivos, aunque ligeros y flexibles, siguen siendo externos. ¿Y si se pudieran imprimir directamente sobre la piel, como un tatuaje temporal, sin calor, sin dolor y usando solo una luz LED? No se trata de un concepto futurista, sino de una tecnología real que acaba de ser desarrollada por un equipo internacional de científicos, y que promete revolucionar la interfaz entre la electrónica y el cuerpo humano.

El estudio, publicado en *Angewandte Chemie*, describe un método que permite fabricar electrodos conductores sobre superficies vivas usando únicamente luz visible y agua.

La técnica no requiere productos químicos tóxicos, ni equipos costosos. De hecho, los investigadores lograron imprimir sensores directamente sobre la piel de ratones anestesiados, demostrando que la tecnología no solo funciona, sino que además mejora la calidad de las señales cerebrales registradas. El avance es técnico, pero sus implicaciones son profundamente humanas: electrónica que se adapta al cuerpo, no al revés.

Los investigadores han desarrollado un tipo de monómero llamado EEE-COONa, que se transforma en un polímero conductor cuando se expone a la luz azul. A diferencia de otros materiales similares, este proceso no necesita iniciadores químicos, catalizadores metálicos ni disolventes orgánicos. Todo ocurre en agua y bajo iluminación suave, como la de una lámpara de escritorio LED.

Este proceso, conocido como polimerización fotoinducida en medio acuoso, da lugar a un material llamado PEDOT-COONa, que posee una excelente capacidad para transportar tanto electrones como iones. Esto lo convierte en un candidato ideal para aplicaciones bioelectrónicas, ya que puede comunicarse de forma eficiente con tejidos vivos. Como destaca el estudio, “los materiales resultantes presentan propiedades eléctricas, electroquímicas y de dispositivo de primer nivel, junto con una compatibilidad excepcional con superficies flexibles y biológicas”.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/tecnologia/electrodos-imprimibles-piel-luz-polimero-bio-compatible.html>

Hallan abejas prehistóricas solitarias que vivieron dentro de huesos en una cueva del Caribe

Un hueso antiguo, olvidado en lo profundo de una cueva del Caribe, acaba de revelar uno de los comportamientos más inusuales registrados en abejas prehistóricas: usar las cavidades dentales de mamíferos extintos como lugar de anidación. No es una escena sacada de una novela fantástica, sino un hallazgo científico documentado en un estudio reciente publicado en *Royal Society Open Science*.

Los investigadores han descrito por primera vez un tipo de nido fósil producido por una abeja extinta, *Osnidum almontei*, que habitó una cueva de La Española hace miles de años. Lo sorprendente no es solo que estas abejas eligieran una cueva como hogar, algo ya de por sí inusual para este

tipo de insectos, sino que decidieran construir sus nidos en el interior de mandíbulas y huesos vertebrales de otros animales, aprovechando los huecos que quedaban tras la pérdida de los dientes.

La evidencia descubierta en la Cueva de Mono, al sur de la República Dominicana, muestra que estas abejas solitarias aprovecharon las cavidades óseas de roedores y perezosos extintos como espacio de anidación. Según los autores del estudio, “las células de *Osnidum almontei* aparecen altamente oportunistas, llenando todas las cámaras óseas disponibles en el depósito sedimentario”.

El análisis por microtomografía computarizada permitió observar múltiples generaciones de nidos superpuestos en una misma cavidad, lo que sugiere una notable fidelidad al sitio. Es decir, estas abejas regresaban

al mismo lugar generación tras generación para anidar, una estrategia poco común en insectos solitarios. Tal como indica el artículo científico, se trata de “un uso repetido y cierto grado de fidelidad al nido”.

El descubrimiento de *Osnidum almontei* no solo aporta un nuevo dato sobre una especie extinta. También desafía algunas suposiciones sobre cómo y dónde pueden anidar las abejas. Hasta ahora, se creía que las cuevas no ofrecían condiciones adecuadas para este tipo de insectos. Sin embargo, en la Cueva de Mono, el suelo arcilloso, protegido de lluvias y cambios bruscos de temperatura, pudo ofrecer una alternativa viable cuando el exterior era demasiado hostil.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/naturaleza/abejas-prehistoricas-nido-huesos-caribe.html>

El contacto con perros podría tener un efecto antienvejecimiento y antiestrés

Un grupo de investigadoras descubrió algo sorprendente: trabajar con perros podría ayudar a frenar el envejecimiento celular en mujeres que sufren estrés postraumático tras haber servido en el ejército. El hallazgo, publicado en la revista *Behavioral Sciences*, aporta una nueva mirada sobre cómo las relaciones con los animales pueden influir en la salud física y mental.

Las participantes del estudio no recibieron un perro de servicio para sí mismas, sino que voluntariamente entrenaron perros para ayudar a otros veteranos. Esta simple diferencia cambió el enfoque habitual de las terapias con animales. En lugar de ser beneficiarias directas, se convirtieron en parte activa del proceso, aportando su tiempo y experiencia para el bienestar de otros.

El estudio se centró exclusivamente en mujeres veteranas, un grupo históricamente poco representado en la investigación militar. A pesar de que su participación en el ejército estadounidense ha aumentado con los años, la mayoría de los estudios sobre estrés

postraumático siguen enfocados en hombres, a pesar de que las mujeres reportan tasas más altas del trastorno.

Durante el proceso, se tomaron muestras de saliva para medir la longitud de los telómeros, un marcador biológico del envejecimiento celular. Los telómeros son una especie de “protección” en los extremos de los cromosomas que se acorta con el estrés y el paso del tiempo. Cuanto más cortos son, más envejecidas están nuestras células. Además, se registró la variabilidad de la frecuencia cardíaca, un indicador del equilibrio del sistema nervioso, y se evaluaron los niveles de ansiedad, estrés y síntomas de TEPT mediante cuestionarios validados.

Los resultados mostraron un patrón claro: las veteranas que entrenaron perros mostraron un aumento en la longitud de sus telómeros, lo que sugiere una desaceleración del envejecimiento celular. Este hallazgo es relevante porque sugiere que las experiencias traumáticas previas pueden influir en cómo el cuerpo responde a una intervención positiva. En pocas palabras, la interacción con los animales podría ayudar a reparar parte del daño que el estrés crónico causa en las células.

Las autoras del estudio subrayan que estos resultados deben interpretarse con cautela, ya que la muestra fue pequeña y la duración limitada. Aun así, los datos muestran una tendencia prometedora: las relaciones con los animales no solo reconfortan emocionalmente, también pueden reflejarse en cambios biológicos medibles.

Este tipo de intervenciones no pretende reemplazar los tratamientos psicológicos, sino complementarlos. El entrenamiento de perros de servicio combina empatía, aprendizaje y sentido de comunidad, tres factores que pueden ser claves para la recuperación y la salud integral de las veteranas.

Fuente: <https://muyinteresante.okdiario.com/ciencia/entrenar-perros-servicio-frena-envejecimiento-mujeres-veteranas.html>

Recopilación

Revista *TEMAS* de Ciencia y Tecnología

Vida académica

Educación continua

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Introducción

En el marco de las estrategias de fortalecimiento académico y de actualización tecnológica, promovidas por la Rectoría del *Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca* (SUNEO) en su momento representado por la Maestra María de los Ángeles Peralta Arias. Y bajo la visión de la Mtra. Peralta nació *Centro de Capacitación de Alta Especialidad*, Campus Oaxaca.

En seguimiento a los objetivos estratégicos planteados para el desarrollo del Sistema de Universidades Estatales de Oaxaca (SUNEO), el Dr. Rafael Martínez Martínez fue designado y comisionado para la coordinación y operación de los proyectos, fundamentales para el fortalecimiento institucional: a) Conversatorios, b) Universidad a distancia y c) Educación continua. Para los conversatorios se tendrá como misión la organización y ejecución de estos espacios de diálogo académico, cuya finalidad es fomentar el

intercambio de ideas entre académicos, estudiantes y profesionales en temas clave para la universidad y la sociedad. En el tema de Universidad a distancia; se supervisa el diseño e implementación de un modelo educativo que permita el acceso a programas de calidad en modalidad virtual, dirigido a estudiantes de todo el estado de Oaxaca y del país. En relación con la Educación continua; se contempla la gestión y la creación de programas de educación, destinados a la actualización y especialización de profesionales, fortaleciendo el vínculo entre el SUNEO y el entorno socioeconómico del estado oaxaqueño.

Este plan dio origen a que el día 25 de septiembre de 2024 en las oficinas de SUNEO Campus Oaxaca, se inaugurara del Centro de Capacitación de Alta Especialidad del SUNEO. Al evento asistieron, la Mtra. María de los Ángeles Peralta Arias, Rectora del SUNEO; los Vice-Rectores académicos y administrativos de las Universidades Estatales de Oaxaca; la Arq. Sildia Mecott Gómez, Secretaria Técnica de la Comisión Intersecretarial del Estado de Oaxaca ante el proyecto del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec; la Mtra. Xhunaxhi Fernanda Mau Gómez, Directora General del Consejo Oaxaqueño de Ciencia, Tecnología e Innovación; el Mtro. Raúl Ruiz Robles, Titular de la Secretaría de Desarrollo Económico Oaxaca; la Mtra. Luz Alejandra Hernández Rojas, Titular de la Secretaría de Bienestar, Tequio e Inclusión del Estado de Oaxaca; la C.P. Leticia Elsa Reyes López, Titular de la Secretaría de Honestidad, Transparencia y Función Pública y la Lic. Araceli Santibáñez Bohórquez, Titular de la Secretaría del Trabajo. Se contó con distinguidas personalidades,



Fotografía 1. Conversatorio “La brecha digital en Oaxaca: Soluciones y acciones para atender la desigualdad”.

entre ellas estuvieron; colaboradores de la Secretaría de Educación Pública del Estado de Oaxaca: la Mtra. Alejandra Vásquez Cruz, Directora de Educación Superior; el Mtro. Marco Antonio Reyes Terán, Subsecretario de Políticas Transversales y Cooperación Educativa; el Ing. Alcide García Guzmán, Subsecretario para la Planeación de la Educación Media Superior y Superior, y el Mtro. Mario Samuel Ceballos, Secretario Técnico de la Comisión Estatal para la Planeación de la Educación Superior. También estuvieron vice rectores, jefes de carrera, directores de institutos de diversas universidades y del SUNEО.

De esta manera se inició con las actividades del Centro de Capacitación de Alta Especialidad, con trabajos en donde se tienen cualidades de alta calidad académica. En donde el enfoque y perfil filosófico de trabajo se encaminó a abordar las principales tendencias tecnológicas, educativas y sociales que están configurando el futuro inmediato. Su análisis profundo sobre transformación digital, innovación y sostenibilidad, que resulta fundamental para enriquecer la visión estratégica de nuestros programas educativos e iniciativas de investigación. Pero sobre todo a brindar capacitación de actualización a nuestros egresados, con miras a incorporarse al corredor interoceánico del Istmo de Tehuantepec.

La adopción de estas perspectivas permitirá no solo mejorar el diseño y la gestión de nuestros planes de estudio, sino también posicionar a la universidad como líder en la formación de profesionales adaptados a las necesidades del siglo XXI, con una orientación en el concepto de microcredenciales.

Se plantean desarrollar capacitación con habilidades de alta demanda, la educación en línea facilita el desarrollo de programas en áreas que están trans-

formando la economía digital, como desarrollo de software, análisis de datos, marketing digital y ciberseguridad. Estas habilidades son demandadas tanto por empresas locales como por el mercado global. Formar profesionales con estas capacidades abre oportunidades para que Oaxaca desarrolle un sector de servicios digitales y tecnológicos, incentivando empleos bien remunerados y el emprendimiento local.

Proporcionar flexibilidad para profesionales actuales y ofrecer programas en línea permite a los oaxaqueños que ya se encuentran en la fuerza laboral, mejorar sus habilidades y conocimientos sin necesidad de dejar sus empleos actuales. Con el acceso a programas en línea, se puede apoyar a trabajadores de sectores como turismo, comercio, y servicios, promoviendo su desarrollo profesional y, en consecuencia, el crecimiento de la productividad en el estado.

Hoy la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), con el liderazgo del Rector Dr. Raúl Salas Coronado retoma estos programas de Educación continua; con actividades de conversatorios y con miras de mantener una educación integral orientada al desarrollo re-



Fotografía 2. Conversatorio sobre Inteligencia Artificial (IA) presentado por profesores investigadores.



Fotografía 3. Público invitado al conversatorio IA.



Fotografía 4. Captura de pantalla el Diplomado de Ciencias de Datos.

gional, integrando tecnología y un enfoque centrado en la comunidad. Este modelo busca que la UTM no solo forme profesionales, sino que también actúe como agente de cambio en las comunidades de Oaxaca, mejorando sus condiciones socioeconómicas y culturales. La implementación de estos planes pretende consolidar a la UTM para que sea no solo un centro de conocimiento, sino un motor de desarrollo regional y un vínculo activo con las comunidades locales. El objetivo; es examinar las estrategias y procesos clave para el desarrollo de talentos en el estado de Oaxaca, en alineación con el Plan de Desarrollo Estatal impulsado por el Gobernador Salomón Jara. Este análisis, se centra en identificar las competencias y habilidades específicas que contribuirán a impulsar la economía local, fomentar la innovación y fortalecer las capacidades del capital humano en sectores estratégicos. El Plan Estatal destaca la necesidad de reducir la desigualdad educativa en Oaxaca, llevando la educación a las zonas más marginadas y diversas del estado. La Educación continua y los conversatorios de la UTM son una solución efectiva para superar las barreras geográficas, ampliando el acceso a una educación cultural que llegue a las comunidades rurales e indígenas. Esta modalidad permite que estudiantes de todas las regiones, independientemente de su ubicación, tengan acceso a oportunidades educativas informativas y a la construcción de un futuro profesional.

Los conversatorios son espacios de intercambio donde se abordan temas relevantes y actuales que afectan a Oaxaca y al país. Estos encuentros permiten a los participantes compartir ideas, debatir enfoques y buscar soluciones innovadoras a problemas complejos. Al reunir a expertos y actores de diferentes ámbi-

tos, se promueve un ambiente de colaboración que facilita el desarrollo de proyectos y políticas públicas con impacto real y directo en la sociedad oaxaqueña. Con esta iniciativa, la UTM reafirma su compromiso con la educación superior y su papel como catalizador de cambio y desarrollo en la región.

Para establecer el papel crucial de la UTM en Oaxaca en la preparación de los Conversatorios, es fundamental resaltar su capacidad para integrar y facilitar colaboraciones entre diferentes actores clave, incluyendo académicos, investigadores, sectores sociales y del gobierno. La UTM se ha posicionado como una plataforma de diálogo que permite un intercambio de conocimientos y experiencias orientado a enfrentar problemáticas locales y globales.

En estos conversatorios se busca promover la inclusión, equidad, formación integral, y desarrollo sostenible. Mediante las siguientes acciones: invitando a especialistas de distintos géneros, etnias y procedencias para representar una pluralidad de voces y perspectivas. Abordando temas como la educación inclusiva para personas con discapacidades, la equidad en el acceso a la tecnología educativa y las barreras que enfrentan grupos marginados para acceder a la educación de calidad. Participación de estudiantes y la comunidad en general, promoviendo un ambiente de diálogo abierto en el que se fomente el respeto y el entendimiento mutuo.

Se propone organizar conversatorios que exploren cómo fortalecer las habilidades socioemocionales, como la empatía, el respeto y la cooperación, tanto en los estudiantes como en los educadores. Invitar a expertos en ética y derechos humanos para discutir sobre cómo las instituciones educativas pueden contribuir a formar ciudadanos responsables y comprometidos con el bien común. Integrar temas que aborden la importancia de la salud mental y el bienestar físico en el proceso educativo, considerando la perspectiva de profesionales de la salud y educadores.

Realizar conversatorios sobre el cambio climático, la conservación de recursos, y cómo la educación puede fomentar prácticas sostenibles. Invitar a investigadoras e investigadores, y activistas medioambientales para que compartan estrategias y enfoques innovadores para integrar la sostenibilidad en el currículo educativo y las prácticas institucionales.



Fotografía 5. Conversatorio Modelación Matemática.

Conversatorios UTM en donde se discuta cómo reducir la brecha digital, especialmente en comunidades rurales, y cómo la tecnología puede ser un catalizador para una educación más accesible y de calidad. Conversatorios UTM para explorar temas sobre la incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la realidad virtual y el aprendizaje a distancia, analizando sus ventajas y desafíos. Conversatorios UTM para ofrecer cómo la educación puede preparar a los estudiantes para los trabajos del futuro, promoviendo habilidades tecnológicas y de innovación que sean útiles en un mercado laboral en constante evolución.

Por otra parte; los conversatorios UTM, se pueden enfocar en los temas que responden a las prioridades del estado, impulsando el desarrollo social, económico y cultural. Algunos temas relevantes incluyen:

Desarrollo Económico y Empleo

- Estrategias para fortalecer la economía local y fomentar el emprendimiento.
- Innovación y desarrollo tecnológico como motor de crecimiento económico.
- Apoyo a las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y el desarrollo de cooperativas.

Educación e Inclusión

- Educación superior accesible e inclusiva, con énfasis en zonas rurales y comunidades indígenas.
- La educación a distancia y continua como herramienta de inclusión y actualización profesional.
- Fomento de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas en el sistema educativo.

Desarrollo Social y Equidad de Género

- Estrategias para reducir la desigualdad y fomentar la inclusión social.
- Igualdad de género y el empoderamiento de mujeres y jóvenes en Oaxaca.
- Prevención de la violencia y promoción de la seguridad en las comunidades.

Cultura e Identidad Oaxaqueña

- Preservación y promoción de la cultura y lenguas indígenas.
- Arte, historia y patrimonio cultural como pilares de la identidad oaxaqueña.
- Turismo cultural y su impacto en el desarrollo local.



Fotografía 6. Plática principios básicos de las políticas públicas para resolver problemas en el sector público y municipal.



Fotografía 7. Taller Diseño de Sistemas Embebidos con la tarjeta Raspberry Pi Pico W programada en microPython.

Salud y Bienestar

- Acceso a servicios de salud de calidad, especialmente en áreas marginadas.
- Salud mental y bienestar social como parte del desarrollo integral.
- Nutrición, seguridad alimentaria y su relación con la salud pública.

Tecnología y Digitalización

- Fomento de la transformación digital y la conectividad en Oaxaca.
- Educación digital y capacitación en nuevas tecnologías.
- La inteligencia artificial y su impacto en sectores productivos y de servicios.

Estos temas permiten abordar desde diferentes perspectivas los desafíos que enfrenta la región de la Mixteca y Oaxaca; para aprovechar los conversatorios como espacios de diálogo y reflexión, proponer soluciones y fomentar la participación de la comunidad universitaria.

La UTM se consolida, como un centro de diálogo y colaboración con un impacto significativo, no solo en el ámbito académico, sino también en la sociedad oaxaqueña, fortaleciendo lazos que impulsan el desarrollo sostenible y el bienestar colectivo del estado.

Autor de la Vida Académica

Dr. Rafael Martínez Martínez

Profesor-Investigador

Universidad Tecnológica de la Mixteca

rafaelmtz@mixteco.utm.mx

Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM)



Infraestructura

104 Ha. de dimensión

118 Edificios

55 Laboratorios

9 Talleres

Parque Tecnológico

Parque Solar Fotovoltaico

Planta de Tratamiento de Agua

Planta Potabilizadora de Agua

Agavetum



9 Institutos de Investigación

Centro de Modelación Matemática,
Vinculación y Consultoría

Instituto de Agroindustrias

Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades

Instituto de Computación

Instituto de Diseño

Instituto de Física y Matemáticas

Instituto de Electrónica y Mecatrónica

Instituto de Ingeniería Industrial y Automotriz

Instituto de Hidrología

Instituto de Minería

División de Estudios de Posgrado

Oferta Educativa



Licenciaturas

Ingeniería Civil

Ingeniería Industrial

Ingeniería en Diseño

Ingeniería en Alimentos

Ingeniería en Electrónica

Ingeniería en Mecatrónica

Ingeniería en Computación

Ingeniería en Física Aplicada

Ingeniería en Mecánica Automotriz

Ingeniería Química en Procesos Sostenibles

Licenciatura en Ciencias Empresariales

Licenciatura en Matemáticas Aplicadas

Licenciatura en Estudios Mexicanos

(modalidad virtual)



INFORMES

Consulta las bases y requisitos en
www.utm.mx

Posgrado

Maestría en Robótica

Maestría en Ciencia de Datos

Maestría en Diseño de Muebles

Maestría en Medios Interactivos

Maestría en Inteligencia Artificial

Maestría en Ciencia de Materiales

Maestría en Ingeniería de Software

Maestría en Modelación Matemática

Maestría en Administración de Negocios

Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura

Maestría en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Maestría en Electrónica, opción: Sistemas Inteligentes Aplicados

Doctorado en Robótica

Doctorado en Inteligencia Artificial

Doctorado en Modelación matemática

Doctorado en Ciencias: Productos Naturales y Alimentos

Doctorado en Electrónica, opción sistemas Inteligentes Aplicados



Reseña de Libro

Marco Ángel, *El exilio interminable: Migración académica y literatura*
Primera Edición: diciembre de 2023.

D.R. © UNAM, 304 pp. (Colección Textos en Rotación)

ISBN volumen: 978-607-30-8400-0

ISBN obra completa: 978-607-30-3281-0

*"Mas estoy en el exilio.
Relléname con tus ojos.
Llévame donde tú estás,
quienquiera que seas."
Mahmoud Darwish*

En su novela, *El exilio interminable*¹, Marco Ángel (Profesor del Sistema Universitario del Estado de Oaxaca del año 1998 al 2004) explora diversas formas en las que emerge el exilio en los procesos de migración académica. Todo ello a partir de su experiencia al estudiar el doctorado en Inglaterra durante la década de los 2000. Su libro transita sin alejarse demasiado del eje aforístico que ha permeado su trabajo durante los últimos años. Hago énfasis en "sin alejarse demasiado" pues, aunque la estructura epistolar de la novela coacciona cierto laconismo, Marco introduce algunos capítulos sin destinatario, que nos recuerdan aquellos esfuerzos por poetizar alrededor de la insinuada soledad del formato proverbial y sus cartas se convierten en espejos rotos que reflejan, tanto su alienación, como sus intentos por reconstruirse en medio del caos. Su propósito se adivina inicialmente como una denuncia de los defectos que el gremio académico de los estudios humanistas ejerce, incluso a través de las barreras transatlánticas. No obstante, una sensación de cercanía se apodera poco a poco de una narrativa que, a primera vista, no buscaba consolidar un estricto orden discursivo; en cada carta germina una voz errática y desesperada que suplica ser leída. Marco no puede escapar de este llamado y su pluma cede ante lo que se convertiría en un testimonio mucho más íntimo.

Marco, personaje en su propia novela, vive el exilio como una experiencia de desenmascaramiento del ideal europeo. Sus palabras son testimonio de un proceso de adaptación, pero también de maduración. En su travesía por la isla británica, Marco escribe cartas en las cuales expresa las impresiones que le causa una tierra en que incluso las más mínimas interacciones y convenciones sociales están subvertidas. El humor es esencial para este ejercicio, pues delata la genuina impresión que experimenta al enfrentarse con todo tipo de personajes y situaciones.

En *El exilio interminable*, el fenómeno migratorio se manifiesta como un prisma multifacético que descompone las implicaciones del desplazamiento en dimensiones tanto individuales como estructurales. La experiencia de Marco nos muestra cómo el individuo que migra por razones académicas, lejos de habitar un espacio de privilegio distinto al que enfrenta el que migra por supervivencia, enfrenta formas de exclusión similares. Este contraste entre la promesa de la movilidad global como herramienta de superación y las barreras sistemáticas que enfrentan quienes la emprenden se convierte en uno de los ejes narrativos principales. Marco, que llega a Inglaterra impulsado por un ideal de progreso, se encuentra atrapado en un sistema que precariza su labor intelectual y socava su identidad. Se vuelve un engranaje desechable dentro

de un aparato que lo reduce a cifras: una beca, un porcentaje, una estadística migratoria.

El texto dialoga de manera implícita con las problemáticas éticas y sociales que emergen en los procesos migratorios contemporáneos, cuestiones centrales para cualquier reflexión crítica sobre la movilidad humana. Marco lidia con distintas formas de violencia simbólica: la del rechazo sutil que se manifiesta en microagresiones cotidianas, el despojo cultural y el silenciamiento de su voz en espacios académicos dominados por la hegemonía lingüística y cultural. Emmanuel Levinas, coloca al migrante -o extranjero- como un "otro" cuya humanidad se diluye frente a sistemas que lo instrumentalizan. Su condición se redefine constantemente: son víctimas, amenazas y mercancías invisibles. En términos foucaultianos, existen como objetos de discusión, pero nunca como sujetos capaces de emitir un discurso. Marco, con su pluma, desafía esta imposición.

Todo viaje comienza con un destino, pero las expectativas que éste genera suelen enfrentarse con la experiencia real del trayecto. Las páginas de Marco no sólo retratan sus dificultades para adaptarse y su conflicto de identidad, sino también la realidad de sus sueños académicos y familiares. En su propia seclusión, Marco transita por un proceso de desencanto que se hace manifiesto en su escritura: sus cartas -que en las ocasiones más desoladas no cuentan siquiera con un destinatario- terminan siendo testimonio de un aislamiento aún más profundo que la distancia física. Así, acaso lo *interminable* del exilio radique en la infinita multiplicidad de sus manifestaciones; a continuación, revisaremos algunos de estos avatares.

El exilio suele ser impuesto como castigo, una sentencia que resulta de un crimen. ¿Quién exilió a Marco? ¿Qué falta ha cometido? Sus cartas nos recuerdan a las *Tristia* de Ovidio, epístolas que el latino escribió desde su destierro en Tomis, tras ser expulsado de Roma. Ambos disuelven la relación entre el pasado y el presente: Ovidio asegura que su exilio ha sido fruto de un error. Sus versos muestran un progresivo aislamiento que, si bien inicialmente inducido, termina por infligirse a sí mismo a través de su negativa por abandonar las viejas usanzas en favor de una vida distinta a la que llevaba en Roma, acaso por la cual haya sido expulsado de ella. Marco, aunque más sereno, denuncia también un error, el de un sistema que

no le ofrece posibilidad de supervivencia en México. Las palabras que dedica a su país y con las que se traslada a él no siempre son nostálgicas; a diferencia de Ovidio, no explicita el anhelo de la civilización a la que ya no pertenece, sino el contraste que emerge de observar reflejada en una cultura ajena, las carencias de la propia. Su único crimen fue animar, en sus palabras, "la posibilidad de vivir menos pobremente gracias a la literatura."

En un principio, Marco intenta ver a Inglaterra como un espacio de oportunidades; sin embargo, pronto descubre que la tierra que "invade" también lo juzga: su acento, sus costumbres y su extranjería se convierten en barreras invisibles, pero constantes. Marco describe esta alienación de forma aguda. Lo cotidiano -ir al mercado, usar el transporte público o asistir a una conferencia- se transforma en una serie de retos cargados de ansiedad. La sensación de ser constantemente observado por no encajar en el entorno actúa como un recordatorio constante de su condición de paria.

"La frecuentación y aun el acoso de una lengua extranjera agudiza la propia", señaló alguna vez Juan Villoro². La lengua es una de las formas en las que se padece el exilio. Salman Rushdie dedicó gran parte de su obra a esta experiencia. Si bien para Rushdie el exilio puede llegar a ser una oportunidad para la apropiación y reinención, Marco no le ve término a este destierro, porque su condición excede lo meramente geográfico, político e incluso lingüístico.

Como todos aquellos que nos hacemos llamar profesionales de las letras, Marco experimenta también el exilio intelectual como una torre de marfil auto erigida. En varios momentos confiesa con honestidad la fatiga que le producen diversas conversaciones. Muchas veces prefiere incluso evadirlas con prolongadas narraciones de recuerdos varios, disertaciones personales o hasta cómicos paréntesis que terminan solamente cuando la *politeness* le obliga a producir alguna respuesta genérica ante un interlocutor visiblemente insatisfecho. Para Marco, la lengua es tanto un puente como un muro. Domina el idioma lo suficiente para sobrevivir en su entorno, pero no logra capturar la fluidez emocional que el español le proporciona. En sus cartas, describe cómo cada conversación en inglés lo reduce a un "fragmento de un yo que fue", incapaz de expresar plenamente su humor, su

creatividad o incluso su enojo. El exilio lingüístico le impide conectarse con los demás y desestabiliza su sentido de identidad. La lengua se vuelve un territorio en disputa.

En esta lucha con el lenguaje, Marco encuentra refugio en la escritura. Las cartas, escritas en español, le permiten volver a habitar un espacio donde la palabra es íntima y recupera su sentido. Este doble rol del lenguaje –como opresor y salvación– convierte el exilio lingüístico en una de las experiencias más conmovedoras y universales de la novela. La elección del formato epistolar tampoco es fortuita, sino esencial para articular esta experiencia. Las cartas no sólo funcionan como un medio de introspección, son también un espacio simbólico de resistencia. En un contexto donde Marco es constantemente reducido por las estructuras que lo rodean, la escritura en español se convierte en un acto de reafirmación de su identidad.

El lenguaje, lejos de ser un simple vehículo comunicativo, se transforma en un territorio de pertenencia frente a un mundo que lo margina. Este aspecto de la novela revela una crítica incisiva hacia las dinámicas de exclusión que caracterizan a las instituciones occidentales, donde los migrantes son al mismo tiempo necesarios y marginalizados. La figura de Marco, atrapada entre la idealización del conocimiento y la realidad de su explotación, resuena con la experiencia habitual del académico migrante en el panorama contemporáneo.

El doctorado que inicialmente representa para Marco una oportunidad de desarrollo personal e intelectual se convierte en una experiencia deshumanizadora. La academia británica, reforzada por estándares idealizados y su falta de apoyo humano, solidifica su sensación de alienación. Las cartas describen la frustración de Marco al intentar adaptarse a un sistema que parece diseñado para excluirlo. De esta manera se desarrolla una crítica a las dinámicas de poder dentro de la academia, donde los estudiantes internacionales son vistos como fuentes de ingresos, pero no como iguales. Marco se siente atrapado entre la expectativa de sobresalir y la falta de recursos –materiales, simbólicos y hasta emocionales– para hacerlo. Esta representación de la academia recuerda a las críticas que Antonio Gramsci hizo al elitismo intelectual en sus *Cartas desde la cárcel*, donde explora la desconexión entre la teoría y la vida cotidiana desde el aislamiento.

El hogar que Marco comparte con Juliet y sus hijos está lleno de tensiones culturales y personales que reflejan la lucha por mantener una familia unida en un entorno hostil. Aunque Marco intenta transmitir a sus hijos su herencia cultural mexicana, las dinámicas familiares y las influencias externas complican este esfuerzo. La presencia de Juliet y su pragmatismo británico se convierten en un recordatorio constante de las diferencias que los separan. Por su parte, la precariedad económica atraviesa toda la novela como un desafío práctico para Marco, pero también como una fuente de humillación y tensión existencial. En una era donde la movilidad global es presentada como un ideal aspiracional, *El exilio interminable* expone cómo este sueño se convierte en una trampa que perpetúa desigualdades y relega a los migrantes a condiciones de vulnerabilidad.

Estas tensiones hacen que Marco se sienta como un extraño incluso en su propio hogar. Su aislamiento emocional dentro de su familia refleja el desarraigo que siente en su vida pública. La novela sugiere que el exilio no es sólo una experiencia externa, sino una fractura interna que separa a Marco de las personas que más le importan.

Finalmente, el ideal que supone este viaje colapsa de manera inevitable. El escape geográfico aparenta ser el fin del exilio, el retorno triunfante. Pero el regreso de Marco a México no ofrece la redención que esperaba, sino una reafirmación de que el exilio es una condición permanente. Su tierra natal, idealizada también durante su tiempo en Inglaterra, ahora le resulta extraña. Las dinámicas familiares y sociales que dejó atrás han cambiado, y Marco descubre que ya no pertenece completamente a ningún lugar. ¿El exilio transforma irrevocablemente a quien lo vive? La novela reflexiona sobre el carácter ambivalente y falsario del retorno. El exilio, por su condición ontológica, nunca tiene un final claro. La experiencia de Marco se acerca al pensamiento de Edward Said: “El exilio es la vida sacada de su orden habitual. Es nómada, descentrada, contrapuntística; pero en cuanto uno se acostumbra a ella, su fuerza desestabilizadora emerge de nuevo”.³ Una condición que moldea tanto la pérdida como la resistencia.

El exilio interminable trasciende la narración de un drama personal para situarse como una obra que explora con agudeza las múltiples dimensiones del desarraigo. Marco, en su condición de migrante

académico, encarna una figura arquetípica del siglo XXI: el individuo atrapado entre geografías, lenguas y culturas, cuya experiencia está marcada por la tensión entre los ideales de movilidad global y las realidades opresivas de la exclusión sistémica.

La novela opera como una cartografía del exilio, donde cada una de sus manifestaciones –geográfica, lingüística, emocional e intelectual– es parte de un todo más amplio: una condición existencial que somete la vida del protagonista y lo define en todos los niveles. Este desdoblamiento del exilio en esferas interconectadas complejiza la narrativa, a la par que invita al lector a reconocer que el exilio es más que un desplazamiento físico; es una ruptura ontológica que redefine al sujeto.

El fenómeno migratorio puede implicar un traslado voluntario en busca de mejores oportunidades; cuando se experimenta a través del exilio, queda marcado por el desarraigo forzado y la pérdida de pertenencia. En el contexto contemporáneo, ambas experiencias convergen cuando los sistemas de exclusión y precariedad convierten al migrante en una figura exiliada, incluso dentro de los espacios que debía habitar como propios. Esta intersección, presente en la novela de Marco Ángel, nos obliga a cuestionar las condiciones estructurales que marginan al individuo desplazado, así como las dinámicas internas que reconfiguran su identidad y su relación con el mundo. Desde esta óptica, la frontera entre migración y exilio se desdibuja, lo cual permite replantear la experiencia humana a través de la pérdida, la resistencia y la reconstrucción.

El exilio interminable es una novela profundamente humana que aborda las fracturas del ser con una sensibilidad que trasciende su contexto. La obra de Marco Ángel no sólo refleja las complejidades del exilio, sino que también ofrece una meditación sobre la fragilidad de la identidad. Marco se presenta como un migrante que no encuentra un hogar ni en su país de origen ni en el extranjero, una figura atrapada en la ambigüedad. Esta representación refleja la condición de muchos individuos en un mundo globalizado, donde la movilidad geográfica no siempre garantiza estabilidad o aceptación. Sin embargo, la novela a su vez subraya el poder de la escritura como una forma de resistencia y de construcción de sentido en medio del caos. En última instancia, la obra es tanto un testimonio íntimo como una invitación a reflexionar sobre la fragilidad

de los sueños, las promesas rotas y la resiliencia que implica vivir en constante nomadismo.

En el eco de cada carta, *El exilio interminable* revela que el verdadero desarraigo no habita en la distancia, sino en la grieta que el tiempo y los lugares abren en el individuo. Marco, atrapado entre dos mundos que lo rechazan, nos muestra que el exilio no es un viaje hacia afuera, sino un lento desmoronamiento hacia adentro, donde los recuerdos se aferran como raíces a un suelo que ya no existe. En su escritura, en su lucha contra el olvido, encontramos no sólo su resistencia, sino también la nuestra: el intento desesperado, pero igualmente esperanzador de construir un hogar en el frágil refugio de la literatura.

Referencias

- [1] Ángel M. (2023). *El exilio interminable*. México: UNAM. Acceso gratuito al libro digital en: <https://gaceta.cch.unam.mx/sites/default/files/libros/2023-12/elexiliointerminable.pdf>
- [2] Villoro, J. (2010). "El traductor". *Efectos personales*. México: Ediciones ERA. pp. 94 – 102.
- [3] Said, E. W. (2005). Reflexiones sobre el exilio. (R. G. Pérez, Trans.) Madrid: Debate.

Autor de la reseña:

Aaron Rojas Ramírez

aaron.rjs412@gmail.com

Profesor de literatura en Celaya, donde dirige proyectos culturales para promover el arte y la escritura. Actualmente cursa la maestría en Filosofía Contemporánea Aplicada de la Universidad Autónoma de Querétaro, misma de donde se tituló como Licenciado en Estudios Literarios. Fue ponente en la Cátedra extraordinaria Italo Calvino, así como el Coloquio de Literatura y Derechos Humanos. Ha publicado artículos, ensayos y cuentos en revistas queretanas como *Enchiridion* y la *Gaceta Universitaria* de la UAQ.

Revista de divulgación "Temas de Ciencia y Tecnología"

Instrucciones para las Colaboraciones a la revista TEMAS de Ciencia y Tecnología de la UTM

Información General

La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" es un órgano de divulgación y difusión científico-tecnológico de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. Es un espacio que apoya y brinda la oportunidad de publicar a todos aquellos interesados, sus trabajos y producciones científicas como avances de investigación personales e institucionales de las diferentes universidades y centros de investigación del país y más allá de nuestras fronteras, con el sólo propósito de promover la tarea de la investigación científica.

La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" busca la oportunidad de servir a la población estudiantil y a la comunidad intelectual con las últimas novedades de vanguardia tecno-científica de manera ágil, oportuna y veraz. Temas tiene una publicación cuatrimestral, contando con las siguientes secciones:

- Ensayos
- Notas
- Fronteras de la Ciencia
- Vida Académica de la UTM
- Reseña de Libros

La Revista de Divulgación "TEMAS de Ciencia y Tecnología" es multidisciplinaria, cuenta con ISSN 2007-0977 y pertenece al Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica del CONACYT.

Colaboraciones

Ensayo. Artículo con una aportación analítica, crítica y documentada sobre un tema, con una interpretación personal claramente identificada, y que contiene: Resumen en español y en inglés (abstract), Palabras clave, Introducción, Desarrollo del tema (con los subtítulos que se estimen convenientes), Discusión y análisis de resultados, Conclusiones y Bibliografía.

La elaboración de un ensayo es una tarea a la cual nos enfrentamos, cuando informamos a la comunidad sobre los resultados parciales de la investigación que estamos realizando. El carácter didáctico pedagógico que posee el ensayo científico radica en poner lo complicado en términos sencillos y no limitar el conocimiento solamente para un grupo de especialistas.

Nota Científica. Artículo con hallazgos y aportaciones breves, basados en resultados de investigación reciente que aún podrían requerir verificación. Puede ser el resultado de modificación o perfeccionamiento de algún método, técnica o análisis, o resultados de inves-

tigación preliminares pero importantes y novedosos. Debe contener Introducción, Desarrollo, Conclusiones y Bibliografía.

Reseñas. Comentario sobre libros de reciente edición, que contenga un juicio crítico y descripción del mismo. Normalmente y dependiendo del estilo del reseñador, consta de tres partes, ya sea separadas o entrelazadas en el texto: la identificación del autor y de la obra en tiempo y espacio; el resumen, que muestra las hipótesis o ideas principales y aportaciones de la obra; y la crítica, que resume la importancia de la obra desde contextos como social, científico, técnico, artístico, pudiendo incluir una recomendación final de la obra.

Debido a que "Temas de Ciencia y Tecnología" es una revista de divulgación, es importante la claridad y sencillez en el lenguaje y la exposición, explicando los términos o conceptos menos usuales. Es necesario que los autores procuren que los títulos, la introducción y el resumen sean comprensibles para la mayoría de los lectores no especializados en el tema desarrollado.

Presentación del artículo

1. Los autores deben integrar sus tabajos utilizando el procesador de textos Microsoft® Word.
2. Se envía al correo electrónico temas@mixteco.utm.mx dos archivos con extensión .doc. Uno es la colaboración y otro es una hoja de datos.
3. Un archivo es la colaboración (Ensayo o Nota) en forma adecuada para la revisión ciega en su versión original; se omite el nombre del autor para guardar su anonimato en el proceso de dictaminación.
4. El otro archivo es una hoja de datos la cual debe contener la siguiente información.

- Título del trabajo
- Tipo de colaboración (Ensayo, Nota o reseña)
- Nombres de los autores con un conciso currículum académico o profesional
- Afiliación institucional
- Domicilio del lugar de trabajo
- Teléfonos
- Correo electrónico de los autores
- Correo electrónico de correspondencia

Proceso editorial

1. Los trabajos enviados a la revista deben ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones.
2. La revista "TEMAS de Ciencia y Tecnología" acusará recibo a los autores de los trabajos que reciba.
3. El manuscrito será revisado por el Consejo Editorial antes de proceder con la revisión externa.
4. Después de aprobado por el consejo editorial el Ensayo o Nota será enviado a revisión (doble ciego) por al menos dos expertos en la disciplina correspondiente.
5. El artículo será aceptado sin cambios, con cambios menores, con cambios mayores o rechazado de acuerdo a los informes del arbitraje externo.
6. El resultado de la evaluación será comunicado al autor de correspondencia. El fallo será inapelable.
7. Los artículos aceptados recibirán las pruebas de galera para su corrección, así como, los autores deberán de firmar la carta de sesión de derechos.
8. Los artículos aceptados serán publicados en la página de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.
9. Cada uno de los autores tiene derecho a recibir sin costo alguno la revista en la cual se haya publicado su colaboración.

Formato del manuscrito

Manuscrito

1. Los trabajos deben ser, preferentemente, resultados o avances de investigaciones de alto nivel sobre cuestiones relacionadas con el desarrollo tecnológico y científico.
2. Los ensayos tienen como máximo 20 cuartillas a doble espacio, con letra Times New Roman de tamaño 12.
3. Las Notas y Reseñas tienen como máximo 10 cuartillas a espacio doble, con letra Times New Roman de tamaño 12.
4. Las secciones no deben numerarse.
5. Evitar las notas al pie de página, por razones de diagramación de la revista. Cualquier información que el autor considere necesario incorporar, deberá hacerlo dentro del texto.
6. En la medida de lo posible, se debe evitar un lenguaje excesivamente especializado y el uso recargado de funciones matemáticas, para el beneficio de una exposición clara correspondiente a revistas de divulgación.
7. No hacer citas excesivas de un mismo autor. Evitar también un número excesivo de citas para que la lectura resulte más amena.
8. Las oraciones utilizadas en su trabajo no deben ser tan largas que dificulten la lectura.
9. Evitar el uso de abreviaturas no convencionales, si son necesarias entonces describirlas al usarlas por primera vez. Mantener el uso de abreviaturas al mínimo.
10. Hacer un uso adecuado de las mayúsculas y minúsculas, acentuando las mayúsculas. Verificar que el trabajo no tenga errores de redacción.

Tablas

1. Las tablas se deben colocar en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo.
2. El texto que describe a una tabla se coloca arriba de la misma y será de tamaño 10 con el siguiente formato: Tabla 1. Tabla 2.
3. El texto de la tabla será de tamaño 9.
4. Las tablas deben estar en Word. No se aceptan como imágenes.

Tablas reproducidas de otra fuente

1. Las tablas reproducidas de otra fuente deben presentar, debajo de la tabla, la referencia del autor original, aunque se trate de una adaptación.

Por ejemplo:

Fuente: Sabadini, A. A. Z., Sampaio, M. I. C., & Koller, S. H. (2009). *Publicar em psicologia: um enfoque para revista científica* (p. 175) Sao paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia/Instituto de Psicologia de la Universidad de Sao Paulo.

Figuras

1. Las figuras se deben colocar en el lugar que les corresponde a lo largo del artículo.
2. Se consideran figuras a todo tipo de fotografías, gráficas o dibujos.
3. El texto que describe a una figura se coloca debajo de la misma y será de tamaño 10 con el siguiente formato: Figura 1. Figura 2.
4. Las figuras deben enviarse de forma adicional en un archivo único comprimido, identificando con claridad el número de la figura.
5. Las figuras utilizadas en la versión impresa estarán en escala de grises con una resolución adecuada para impresión.
6. Las figuras deben ocupar el ancho completo del documento. No se admitirá alinear más de una figura por renglón. Si requiere hacer un comparativo entre varias figuras, deberá realizar la composición de las imágenes en una sola imagen agrupada.
7. El ajuste de las imágenes en el documento deberá ser "En línea con el texto". No se admitirán figuras dentro de cuadros de texto.
8. No se admitirán fotografías de personas. Las fotografías en ningún caso deben permitir la identificación de los autores del manuscrito.
9. Las figuras deben ser propiedad de los autores. No utilizar figuras, tablas o gráficas obtenidas de otras publicaciones o a través de internet sin el permiso correspondiente. Es necesario citar la fuente.

Figuras reproducidas de otra fuente

Las figuras reproducidas de otra fuente deben presentar, debajo de la figura, la referencia del autor original, aunque se trate de una adaptación.

Por ejemplo:

Fuente: Sabadini, A. A. Z., Sampaio, M. I. C., & Koller, S. H. (2009). *Publicar em psicologia: um enfoque para revista científica* (p. 175) Sao paulo: Associação Brasileira de Editores Científicos de Psicologia/Instituto de Psicologia de la Universidad de Sao Paulo.

Ecuaciones

1. Las expresiones matemáticas deben estar escritas de preferencia en el editor de ecuaciones de Word y adoptando el sistema de notación internacional.
2. No escribir ecuaciones dentro del texto.
3. Para agregar símbolos dentro del texto, utilizar Insertar Símbolo del procesador de textos y no el editor de ecuaciones.

Estructura de los manuscritos

1. **El título** de los trabajos debe ser atractivo tanto para lectores expertos como para amplias audiencias que desconozcan del tema, en cumplimiento del espíritu de divulgación de la revista. Debe ser breve y descriptivo del contenido del manuscrito que se presenta, con una longitud máxima de 150 caracteres considerando los espacios. Evitar el uso de símbolos, fórmulas, abreviaturas o acrónimos, tecnicismos desconocidos, ni demasiadas preposiciones.

2. **El resumen** debe describir breve y claramente el objetivo de estudio, la justificación, importancia, metodología, los resultados más destacados y las principales conclusiones, con una extensión entre 150 a 200 palabras como máximo. Se deben enfatizar los aspectos relevantes del trabajo. El resumen debe ser informativo, pero sin ser demasiado detallado.

3. Usar un máximo de cinco **palabras clave** en orden alfabético, que no se encuentren en el título y que identifiquen los principales temas tratados.

4. **Introducción.** Describir los objetivos y fundamentos del trabajo, utilizando las citas bibliográficas estrictamente necesarias. No incluir datos experimentales, pruebas ni las conclusiones del trabajo que presenta.

5. **Desarrollo.** Los métodos y pruebas realizadas, cálculos y modelos matemáticos deben presentarse de forma conveniente para que el lector comprenda el desarrollo de la investigación. Todas las siglas deben aclararse desde su primera aparición en el texto. Evitar el uso de nombres comerciales o del lugar, institución o dependencia donde se realizó la investigación, salvo cuando sea estrictamente necesario.

6. **Discusión y análisis de resultados.** Deben tener una secuencia lógica y describir los resultados de las pruebas o de los modelos aplicados, utilizando tablas o figuras.

7. **Conclusiones.** Deben definir la contribución o innovación de la investigación realizada. Enlazar las conclusiones con el objetivo del estudio, evitando conclusiones no apoyadas por los datos del trabajo. No repetir con detalle los resultados obtenidos en el trabajo.

8. **Bibliografía.** El estilo será acorde a las normas APA. El listado de referencias al final del documento se ordena por apellido del primer autor.

Ejemplos de citas y referencias bibliográficas

Citas Bibliográficas

Las citas biblio-hemerográficas en el texto deben escribirse con el nombre del autor y año de publicación entre paréntesis y separados por una coma, por ejemplo: ...la oferta y la demanda de la mano de obra en expansión (Muñoz, 1979). Si se menciona el nombre del autor, solo se indicará el año entre paréntesis, por ejemplo: ...capital de producción, como sostiene Muñoz (1979).

Si existen dos autores se citan ambos, por ejemplo: ...(Muñoz y Oliveira, 1979) o ...Muñoz y Oliveira (1979). Para más de tres autores se citan todos la primera vez: ...(Muñoz, Oliveira, Tapia, Reyes, 1979) y después solo el apellido del primer autor seguido de la abreviatura et al: ...(Muñoz et al., 1979). Si en un texto existen diversos trabajos de un autor con igual fecha, después del apellido del autor, se agrega el año de la publicación seguido de una letra minúscula para distinguir cada una de sus obras, por ejemplo ...en lo que se ha insistido (Huxley, 1947a) ...es la importancia del desarrollo (Huxley, 1947b).

Referencias Bibliográficas

El formato será acorde al estilo APA (American Psychological Association). El listado de referencias al final del documento se ordena por orden alfabético. Las referencias de libros incluyen apellido del autor y sus iniciales, año de publicación entre paréntesis, título del libro en letra cursiva, lugar de publicación (ciudad, estado, provincia, país), seguido de dos puntos y casa editorial. Ejemplo: Vedeyen, J.T. (1995). *Laser Electronics*. New jersey: Prentice Hall.

Las referencias de artículos publicados en revistas se escriben con el apellido del autor y sus iniciales, año de publicación entre paréntesis, título del artículo, nombre de la revista en letra cursiva, volumen en cursiva, pudiendo incluirse el número de revista en paréntesis y páginas. Ejemplo: Ruiz, C. (1992). Las empresas micro, pequeñas y medianas; crecimiento con innovación tecnológica. *Comercio Exterior*. Vol. 42(2). 163-168.

Para trabajos publicados el mismo año por un solo autor, se usa una letra minúscula (a,b,c) después del año.

Los trabajos deben enviarse a:

temas@mixteco.utm.mx

Alberto Antonio García

Director de la Revista

Revista TEMAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

temas@mixteco.utm.mx

Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Huajuapán de León, Oaxaca. C.P. 69000.

Tels. y Fax: (+52) 953 53 203 99 y 953 53 202 14 Ext. 782



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

latindex