

RD-ICUAP

ISSN 2448-5829



Año 10 No. 28 Enero - Abril 2024
Reserva No. 04-2021-092723014900-203
<http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap>
Difusión vía red de cómputo
RD-ICUAP Es una publicación del Instituto de Ciencias
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

latindex

DIRECTORIO

Dra. Ma. Lilia Cedillo Ramírez
Rectora

Dr. Ygnacio Martínez Laguna
Vicerrector de Investigación y Estudios de Posgrado

Dra. Carolina Morán Raya
Directora del Instituto de Ciencias

Dra. Blanca Susana Soto Cruz
Secretaria de Investigación y Estudios de Posgrado ICUAP

Dra. María del Rocío Bustillos Cristales
Secretaria Académica ICUAP

M.C. Yuriria Santoyo Páez
Coordinadora de Vinculación y Responsabilidad Social ICUAP

Dr. Enrique González Vergara
Editor Responsable

M.C. Beatriz Espinosa Aquino
Editora Responsable

COMITÉ EDITORIAL

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

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

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

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

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

COMITÉ EDITORIAL EXTENDIDO

Dra. María Lilia Cedillo Ramírez (BUAP)

Dra. Claudia Fabiola Martínez de la Peña (BUAP)

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

Dr. Miguel Ángel Méndez Rojas (UDLAP)

Dra. María del Carmen Durán Domínguez (UNAM)

Dra. Maricela Bernal González (UNAM)

M. C. Rolando Salvador García Gómez (UNAM)

Dra. Rebeca María López Rivas (UNAM)

Dr. Netzahualcoyotl Carlos Ramírez (INAOE)

Dr. Eduardo Torres Ramírez (BUAP)

Dr. Jorge Alejandro Fernández Pérez (BUAP)

CORRECTORAS DE ESTILO LENGUA INGLESA

Mtra. Leticia Estudillo León

Mtra. Rocío Barbosa Trujillo

Mtra. Sara Merino Munive

Dra. Marisol Guzmán Cova

EQUIPO DE SOPORTE

Mtro. Jesús Eladio Barrientos Mora

Mtro. Felipe Coca Córdova

Índice

Año 10 No. 28

PRESENTACIÓN

EDITORIAL

- 1-8 TECNOLOGÍA, ¿MEJOR AMIGA DE LA HUMANIDAD?
- 9-21 BACTERIAS MULTIDROGORESISTENTES ¿LA PANDEMIA QUE VIENE?
- 22-54 HOMENAJE AL PROFESOR E ING. QUÍM. FEDERICO GALDEANO-BIENZOBAS. UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE UN TESORO DE OAXACA, SU MOLE NEGRO HECHO CON EL CHILE SECADO CON HUMO. PARTE 2. EL CHILHUACLE O CHILE HUACLE O CHILLI HUACTLI EN EL MOLE NEGRO
- 55-69 LA TEORÍA DE LA OBJETIVACIÓN Y LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA
- 70-91 LOS HUMEDALES, POLÍTICAS A SEGUIR PARA SU RESCATE
- 92-105 PATOGENICIDAD EN LECHUGAS. DETERMINACIÓN DE RIESGO POR LA CALIDAD DEL CULTIVO DE LACTUCA SATIVA Y A LA SALUD HUMANA POR RIEGOS AGRÍCOLAS CON AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO
- 106-113 NEONICOTINOIDES, UN RIESGO POTENCIAL PARA LOS POLINIZADORES
- 114-123 MICROPLÁSTICOS EN LA MESA: EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN EN NUESTROS ALIMENTOS
- 124-135 INFLUENCIA DE DISRUPTORES ENDOCRINOS EN MEDIOS ACUOSOS
- 136-150 SARGAZO COMO BIOCOMBUSTIBLE: BIODIESEL, UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA UNA SOCIEDAD EN CRISIS
- 151-160 ¿QUÉ TAN LIMPIO ES TU CUIDADO CAPILAR?

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024

RD-ICUAP

- 161-170 EL GRAN ROMPECABEZAS QUÍMICO DE NUESTRO UNIVERSO: LA NUBE OSCURA TMC-1
- 171-181 FOTOSÍNTESIS: UN MARAVILLOSO, SORPRENDENTE Y DESAFIANTE PROCESO
- 182-191 A LA VANGUARDIA DE IURE, A LA RETAGUARDIA DE FACTO. INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN LA EDUCACIÓN. MÉXICO
- 192-203 USO DE UNA RED NEURONAL EN LA DETECCIÓN DE TRANSACCIONES FRAUDULENTAS REALIZADAS SOBRE UNA PLATAFORMA EN LÍNEA
- 204-224 LA EDUCACIÓN EN DIABETES: EL PILAR PARA EL CONTROL DE LA ENFERMEDAD.
- 224-235 UTILIZACIÓN DE MORINGA OLEÍFERA COMO UN COAGULANTE-FLOCULANTE NATURAL PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUA
- 236-242 ENEMIGOS INVISIBLES: LOS METALES PESADOS EN EL POLVO DE LAS CALLES Y SUS RIESGOS A LA SALUD HUMANA

RD-ICUAP

CINTILLO LEGAL

RD – ICUAP Año 10, No. 28, enero-abril de 2024, es una difusión periódica cuatrimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 sur No. 104, Col. Centro, C.P. 72000, difundida a través del Instituto de Ciencias BUAP, con domicilio en el edificio IC8, Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, Puebla, Pue., C.P. 72570, Tel. 01 22 222 95500 ext. 7290, <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/rdinicio>, editores responsables Dr. Enrique González Vergara y M.C. Beatriz Espinosa Aquino, enriquez.gonzalez@correo.buap.mx beatriz.espinosa@correo.buap.mx Reserva de derecho al uso exclusivo 04-2021-092723014900-203, ISSN 2448-5829 ambos otorgados por el Instituto Nacional del derecho de autor de la Secretaría de Cultura. Responsables de la última actualización de este número, Instituto de Ciencias Dr. Enrique González Vergara y M.C. Beatriz Espinosa Aquino, fecha de la última modificación, diciembre 2023.

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

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024

RD-ICUAP

EDITORIAL

Año 10 No. 28

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024

RD-ICUAP

Nos es muy grato compartir con nuestros seguidores y el público en general el nuevo número 28 de nuestra revista RD-ICUAP, que inicia nuestros festejos por 10 años ininterrumpidos de la edición cuatrimestral. Con el principal objetivo de la comunicación pública de avances recientes de las diferentes disciplinas que se cultivan en el Instituto de ciencias de la buap y en general de toda la comunidad universitaria, así como de Instituciones hermanas. También es importante mencionar que nos unimos a los festejos de los 50 años de la creación del Instituto de Ciencias y a los 40 años de la creación de la Maestría en Ciencias Químicas precursora del ahora exitoso programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Se destaca la pertenencia al índice latinoamericano de revista LATINDEX y nuestra pertenencia al Catálogo de Revistas Europeas de Divulgación Científica HIDDEN NATURE, lo que pone de relieve nuestra visibilidad a nivel internacional.

Con el objeto de llegar cada vez más a un público juvenil, se han colonizado las redes sociales, YouTube, Facebook, X, Spotify e Instagram. Y actualmente se transmite cada fin de mes un webinar con destacados investigadores en el "Programa RD-Divulga" abarcando diversos temas de interés público. El programa RD-Divulga ha avanzado en la producción de videos de divulgación inspirados en los artículos de la revista y recientemente se divulga también a través de podcast "Compartiendo Ciencia" disponibles en SPOTIFY. Muchas gracias por tu apoyo.

En este número ponemos a disposición 18 artículos para su lectura y consulta que incluyen las aportaciones de estudiantes de licenciatura y posgrado, así como de profesores investigadores de nuestra universidad y otras instituciones hermanas.

Los artículos son:

Tecnología, ¿mejor amiga de la humanidad?

Bacterias multidrogoresistentes ¿la pandemia que viene?

Homenaje al profesor e ing. Quím. Federico Galdeano-Bienzobas. Una revisión de la literatura sobre un tesoro de Oaxaca, su mole negro hecho con el chile secado con humo. Parte 1. El chillhuacle o chile huacle o chilli huactli

La teoría de la objetivación y la educación matemática

Los humedales, políticas a seguir para su rescate

Patogenicidad en lechugas. Determinación de riesgo por la calidad del cultivo de lactuca sativa y a la salud humana por riegos agrícolas con aguas residuales en México.

Neonicotinoides, un riesgo potencial para los polinizadores

Microplásticos en la mesa: el impacto de la contaminación en nuestros alimentos

Influencia de disruptores endocrinos en medios acuosos

Sargazo como biocombustible: biodiesel, una alternativa sostenible para una sociedad en crisis

¿Qué tan limpio es tu cuidado capilar?

El gran rompecabezas químico de nuestro universo: la nube oscura tmc-1

Fotosíntesis: un maravilloso, sorprendente y desafiante proceso

A la vanguardia de IURE, a la retaguardia de facto. Integración de tecnologías en la educación, México.

Uso de una red neuronal en la detección de transacciones fraudulentas realizadas sobre una plataforma en línea

La educación en diabetes: el pilar para el control de la enfermedad

Utilización de moringa oleifera como un coagulante-floculante natural para la descontaminación de agua
Enemigos invisibles: los metales pesados en el polvo de las calles y sus riesgos a la salud humana

Para nuestra portada, el talento fotográfico de A QUIEN CORRESPONDA nos permite apreciar la belleza de Los humedales. Agradecemos la colaboración de MIRIAM GONZÁLEZ y YARELI ZARATE en el diseño de la portada.

Agradecemos también la colaboración de los practicantes del departamento de comunicación gráfica y social de la Facultad de Arquitectura.

Por último, les recordamos que el próximo 5 de marzo del año 2024 será la fecha de cierre para el Número 29 del Año 10 (2024), así que invitamos a toda la comunidad universitaria a enviar sus contribuciones. A su vez les pedimos estén pendientes de las actividades de los festejos antes mencionados. Como siempre, agradecemos el apoyo de nuestras autoridades y el entusiasmo de nuestros autores que hacen posible esta publicación.

Nos leemos en el siguiente número.

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024

Dr. Enrique González Vergara
Editor Responsable

PhDs. Beatriz Espinosa Aquino
Editora Responsable

RD-ICUAP



TECNOLOGÍA, ¿MEJOR AMIGA DE LA HUMANIDAD?

TECHNOLOGY, HUMANITY'S BEST FRIEND?

Jose Areli Carrera
Josefina Guerrero García
E. Erica. Vera Cervantes

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 1-8

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0000-0002-2534-4411>
<https://orcid.org/0000-0002-3393-610X>
<https://orcid.org/0000-0001-9297-4002>

Año 10 No. 28
Recibido: 27/julio/ 2023
Aprobado: 11/diciembre/ 2023
Publicado: 07/enero/ 2024

1Facultad de Cs. de la Electrónica, 2,3Facultad de Cs. De la Computación,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

joseareli.carreraroman@viep.com.mx,
josefina.guerrerogacia viep.com.mx,
eugenia.veracervantes@viep.com.mx

Resumen

El uso de la tecnología dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje tiene un papel muy importante, actualmente es un elemento esencial en todos los niveles educativos, por ese motivo las exigencias, en cuanto a la reflexión, de las formas de enseñar y aprender han incrementado exponencialmente. Hoy en día, se puede apreciar que el uso de la tecnología como herramienta en la educación van de la mano, creciendo exponencialmente las expectativas que pueden generarse, desde la experiencia de usuario al poder navegar, dependiendo del grado de conocimiento que este ofrece para generar información y así proporcionar el material indicado. Por ello, los Sistemas Hipermedia Adaptativos (SHA) son una opción para considerar en el ámbito educativo debido a que su objetivo es construir un espacio de aprendizaje capaz de ajustarse a las particularidades de cada alumno, con lo que constituyen una forma única de interacción y reciprocidad entre el sujeto y el hipermedia educativo, estableciéndose, como un potente recurso didáctico. Los SHA permiten analizar, tanto individual como grupalmente, el historial de uso de acuerdo con la navegación, dominio, intereses, tiempo de respuesta e incluso aciertos, generando de manera automática la adaptación de acuerdo a las características, sistema hipermedia adaptativo, educación, tecnología, evaluación. Detectadas de cada usuario, dejando en evidencia la flexibilidad de contenidos en respuesta a las necesidades de cada uno de los estudiantes.

Palabras clave: Sistemas Hipermedia adaptativos; recurso didáctico; Tecnología; evaluación.

Abstract

The use of technology within the teaching-learning process has a very important role; currently, it is an essential element at all educational levels. For this reason, the demands, in terms of reflection, of the ways of teaching and learning have exponentially increased. Today, it can be seen that the use of technology as a tool in education goes hand in hand. Increasing exponentially the expectations that can be generated, from the user experience to being able to navigate, depending on the degree of knowledge that it offers to generate information. And thus provide the indicated material. For this reason, Adaptive Hypermedia Systems (SHA) are an option to consider in the educational field. This because their objective is to build a learning space capable of adjusting to the particularities of each student, thus constituting a unique form of interaction and reciprocity. Between the subject and the educational hypermedia, establishing itself as a powerful didactic resource. The SHA allows us to analyze, both individually and in groups, the history of use according to browsing, domain, interests, response time, and even hits. This is done automatically, generating adaptations according to the detected characteristics of each user, leaving in evidence the flexibility of content in response to the needs of each of the students.

Keywords: adaptive hypermedia system, education, technology, assessment.

Introducción

La educación ha sido siempre el pilar fundamental de la sociedad, forjando mentes y guiando el progreso humano. Sin embargo, las necesidades del mundo actual, caracterizado por la revolución digital, la clave para desbloquear el potencial máximo de cada estudiante radica en la personalización. En este contexto, emergen como protagonistas los sistemas hipermedia adaptativos (SHA) y la inteligencia artificial (IA), una dupla innovadora que está moldeando el futuro educativo. En las próximas líneas, exploraremos a fondo cómo la conjunción de los SHA y la IA está remodelando la educación y por qué esta adaptación personalizada se ha convertido en una pieza valiosa para el éxito de los estudiantes en la sociedad moderna.

El papel de la educación en la actualidad

La llegada de la pandemia de COVID-19 ha cambiado el panorama educativo de manera inesperada. Las modalidades de enseñanza se han visto trastocadas, y se ha puesto a prueba la resiliencia del sistema educativo. Mientras que la educación presencial era predominante en la mayoría de los países, incluyendo el nuestro, la demanda creciente de inclusión tecnológica en el aula era cada vez más evidente. No obstante, la tecnología era utilizada principalmente como un complemento, o bien, un recurso adicional en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Incluso, después del regreso a las aulas, la nueva normalidad nos ha obligado a interrogarnos sobre la práctica docente, el papel que estos tienen frente

al modelo educativo, si los materiales otorgados son suficientes para adquirir conocimientos e incluso la finalidad de tener una escuela en modalidad presencial. El paradigma del aprendizaje a distancia ha desplegado ante nosotros una revelación esclarecedora: la verdadera dimensión del papel de la tecnología en la educación. Ya no se trata simplemente de integrar elementos digitales en el aula o de utilizar herramientas de apoyo ocasionalmente. En su esencia, la tecnología se ha establecido como eje fundamental para la transferencia de conocimiento. Las circunstancias excepcionales que tanto estudiantes como docentes hemos afrontado han llevado a la tecnología hacia un estatus de vital importancia en el proceso educativo. Ha dejado de ser una opción secundaria para convertirse en una necesidad forzosa y enriquecedora.

A medida que reflexionamos sobre nuestros continuos esfuerzos, emerge con claridad la necesidad imperante de la innovación tecnológica. Esta necesidad trasciende los límites temporales y exige un constante ciclo de aprender, desaprender y reaprender, una suerte de evolución educativa que se manifiesta sin distinción alguna, abarcando a todos los niveles del ciclo escolar (Toffler, 2006).

La fórmula de educación + calidad ha sido una labor de mucho esfuerzo para todos los involucrados, donde los docentes son quienes en el día a día, a través de la planeación, administración de recursos, uso de herramientas, experiencia profesional, habilidades de comunicación e incluso la observación permiten incrementar valor a esa fórmula.

El modelo de aprendizaje a la distancia nos permitió valorar el papel del uso de la tecnología en la educación, que no solo incluir una presentación digital en la práctica docente o utilizar alguna herramienta de apoyo era suficiente para decir que la tecnología era trascendente para brindar conocimientos. Las condiciones a las que tanto estudiantes como docentes nos enfrentamos dieron lugar a adoptar el uso de la tecnología como una necesidad vital para el proceso de aprendizaje.

El rol del docente

Seguramente has escuchado múltiples respuestas cuando es momento de cuestionar lo comprendido en una sesión, ya sea en modalidad presencial, en línea o híbrida. Resulta ser que cada cabeza es un mundo, cada uno de los estudiantes tiene diferentes características, habilidades e incluso necesidades, es entonces, tal como lo menciona Ken Robinson (2015) en su obra intitulada *Escuelas Creativas*, que nos cuestionamos el papel de los docentes a lo largo del proceso de aprendizaje de los estudiantes, no es para menos, pues el acompañamiento y guía que los docentes brindan ocupa un lugar importante en la formación de los estudiantes.

Entonces, podemos hacer la siguiente pregunta ¿para qué sirven los profesores? Robinson parte del modelo de educación reglada que requiere tres elementos: estudios, enseñanza y evaluación. El inconveniente es que el movimiento de normalización le ha dado mayor peso a los estudios y evaluación, cuando lo realmente trascendente es la enseñanza, pues menciona que esta es la clave de transformación de la educación. Siendo el papel del docente facilitar el aprendizaje, no consumirse con la parte administrativa. Además, la la-

bor del docente va más allá del dominio de la disciplina, este requiere facilidad para poder comunicarse con sus estudiantes, para conocer sobre las dificultades que pudiera presentar para poder adquirir o comprender ciertos temas. El profesor, de acuerdo a Robinson, tiene una labor vital, no solo es un instructor, también es una guía que apoya al estudiante, permitiendo dar solución a cuestionamientos generados en su día a día.

Sin embargo, el docente actualmente tiene algunas exigencias adicionales como lo es el utilizar recursos tecnológicos para poder llevar a cabo el proceso de enseñanza y, por lo tanto, el de aprendizaje, limitando algunas habilidades como la observación al momento de verificar el comportamiento ante algunos temas específicos. Si bien es cierto que la inclusión de videoconferencias tiene ventajas, pues permite la interacción en tiempo real con personas del otro lado de la pantalla. Sin embargo, no todo es miel sobre hojuelas, pues esa interacción se ve fracturada por elementos como la conectividad, el ancho de banda, el perro, el vecino escandaloso e incluso el señor de los tamales que anuncia justo cuando esa interacción se está llevando a cabo.

Los docentes han hecho uso de otro tipo de herramientas digitales, tal como: plataformas educativas, aulas virtuales, presentaciones digitales, video-tutoriales, simuladores, videojuegos educativos, formularios, etc., teniendo como objetivo lograr que el estudiante adquiera conocimiento. Es importante recalcar, como se estableció al inicio del texto, que cada estudiante tiene características particulares que permiten facilitar u obstaculizar la adquisición de información y conocimiento.

por lo tanto, crear o adaptar contenido que cubra todas las necesidades se convierte en una labor compleja. Sin embargo, la tecnología se convierte en un apoyo en retos de este tipo, el interés por ofrecer soluciones a los diferentes sectores, incluso el educativo, ha logrado que se generen herramientas en apoyo a la educación, tal es el caso de los Sistemas Hipermedia Adaptativos.

Sistema Hipermedia Adaptativo

Un Sistema Hipermedia Adaptativo (SHA) es básicamente la construcción de un modelo de instrucción que incluye características personales, intereses particulares, conocimientos de cada usuario, en este caso de cada estudiante, utilizando y modificando, de acuerdo a la interacción individual con el sistema, permitiendo adecuar el contenido. Por lo tanto, se entiende que este tipo de sistemas tiene la capacidad de ajustarse a los diferentes usuarios, reduciendo problemas como la desorientación y falta de comprensión, estos se adaptan de forma automática y personalizada a las necesidades de cada usuario (Drissi, 2016).



Figura 2. Componentes de los Sistemas Hipermedias Adaptativos (SHA).

Tomado de "Adaptación al Usuario en Sistemas Hipermedia" Medina, Molina, García y Rodríguez (2002, 2).

Entre los objetivos más importantes para el desarrollo de un SHA es lograr que el sistema se adapte al usuario y no que el usuario sea quien se adapte al sistema. Las soluciones que ofrecen

son mejorar la comprensión de la información a través de diferentes opciones de rutas de navegación, considerando el nivel de conocimiento y características como el tiempo de respuesta, la cantidad de respuestas acertadas y fallidas, la preferencia por materiales de cierto tipo, para así ofrecer contenidos a la medida. El conocimiento es el elemento más utilizado para ofrecer técnicas flexibles de adaptación, es necesario que el SHA reconozca los avances o cambios en el logro de la obtención de conocimiento, para así actualizar la información almacenada.

La configuración del SHA se basa en un modelo creado de acuerdo a la meta que se desea alcanzar y a los conocimientos esperados por parte del usuario, creando una estructura del tema, unidad u objetivo esperado, el cual genera una red de conceptos y contenido. Es importante mencionar que se consideran distintos niveles de conocimiento, lo cual permite que se lleve a cabo la adaptación, esta responderá a las características e información relevante que se genere como parte de la experiencia de usuario (Figura 2).

Los SHA se caracterizan por su flexibilidad y adaptación de acuerdo al reconocimiento individual, por ello se convierten en una herramienta que permite reconocer a cada uno de sus usuarios, en este caso estudiantes, para ofrecer contenido a la medida, respondiendo a las exigencias de cada uno.

SHA: La Clave de la Adaptabilidad Educativa

Los sistemas hipermedia adaptativos funcionan como guías virtuales, evaluando constantemente el progreso y las preferencias de los estudiantes.

La IA analiza los datos en tiempo real y adapta el contenido, el nivel de dificultad y la presentación para optimizar el aprendizaje. Este enfoque adaptable garantiza que cada estudiante esté comprometido y desafiado, manteniendo la curiosidad y la motivación en niveles óptimos (Uribe, 2020).

IA: el cerebro detrás de la personalización

La inteligencia artificial actúa como el "cerebro" detrás de la personalización educativa. A través de complejos algoritmos de aprendizaje automático, la IA identifica patrones de comportamiento de los estudiantes, anticipa necesidades y ofrece una retroalimentación valiosa. Esta retroalimentación ayuda a los estudiantes a corregir errores de manera inmediata, consolidar el conocimiento y construir una comprensión más profunda de los conceptos.



Figura 3. Educación con tecnología (Imagen por <https://www.istockphoto.com/es>)

Los sistemas de inteligencia artificial (IA) tienen la capacidad de analizar meticulosamente los datos relacionados con el rendimiento y las interacciones de los estudiantes. Esto les permite ajustar de manera precisa el contenido de estudio y las actividades educativas de acuerdo a las necesidades únicas de cada estudiante. Mediante esta adaptación personalizada, los estudiantes tienen la oportunidad de avanzar en su

aprendizaje a una velocidad que se alinee con su comprensión individual, lo que les permite concentrarse con mayor profundidad en áreas específicas que requieren un mayor nivel de apoyo y desarrollo (Luckin, R., y Holmes, W., 2016).

Empoderar a los estudiantes: fomentando la autonomía

La personalización a través de SHA e IA empodera a los estudiantes al darles el control de su propio aprendizaje. Los estudiantes pueden avanzar a su propio ritmo, explorar áreas de interés y recibir apoyo específico cuando lo necesiten. Esta autonomía fomenta el amor por el aprendizaje y prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos con confianza en el mundo real.

Uno de los logros más destacados de la personalización educativa es su capacidad para superar barreras. Los sistemas hipermedia adaptativos y la inteligencia artificial brindan acceso a una educación de calidad a personas de todas las edades y orígenes, sin importar su ubicación geográfica o recursos. Esto abre un mundo de oportunidades y democratiza el conocimiento.

Conclusiones

Podemos aprender y enseñar sobre cualquier tema utilizando la tecnología, ya sea empleando materiales digitales como videos, presentaciones, sitios web, llevando las sesiones en un entorno virtual, etc. La clave del éxito está en pensar, en todo momento, en las necesidades de los estudiantes, conocer el contexto para poder reflexionar y empatizar, logrando así la creación de vínculos afectivos para mantener una comunicación constante.

Es importante tener claro que el uso de la tecnología en el proceso de aprendizaje no es el fin, más bien, es el medio que se puede utilizar para favorecer la enseñanza. Esto permite que los estudiantes en áreas como las matemáticas no solo lleguen a un resultado, sino que comprendan los procesos que se deben llevar a cabo en la resolución de problemas. El modelo de aprendizaje a la distancia o virtual promueve oportunidades que permiten hacer más eficientes los procesos cognitivos de los estudiantes. Por ello es importante que los docentes se mantengan en una actualización constante no solo de herramientas tecnológicas sino de adaptación en respuesta de las características generacionales, para permitir a sus estudiantes a cumplir con metas y objetivos de aprendizaje.

En conclusión, la tecnología se ha convertido en una aliada fundamental en el ámbito educativo gracias a las tendencias en el desarrollo de software y la inteligencia artificial. Estos avances han revolucionado la forma en que enseñamos y aprendemos, ofreciendo herramientas innovadoras que personalizan la educación, adaptándose a las necesidades individuales de los estudiantes. La inteligencia artificial en el software educativo permite un aprendizaje más interactivo, dinámico y accesible, fomentando la participación activa y el desarrollo de habilidades clave para el futuro. Sin embargo, es esencial mantener un equilibrio entre la integración tecnológica y la pedagogía efectiva, asegurando que estas herramientas potencien el proceso educativo sin reemplazar la importancia del contacto humano, la creatividad y el pensamiento crítico en el aprendizaje.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Agradecimientos

Se agradece al CONACYT por el apoyo otorgado para la realización de los estudios de doctorado a través de la beca CVU: 1070021. Programa de Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos. Facultad de Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Declaración de no conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Referencias

Agudo, J.E., Rico, M., y Sánchez, H. (2016). Design and Assessment of Adaptive Hypermedia Games for English Acquisition in Preschool. *J. Univers. Comput. Sci.*, 22, 161-179.

Arteaga, C., y Fabregat, R. (2002). Integración del aprendizaje individual y del colaborativo en un sistema hipermedia adaptativo. *JENUI*, 2(2), 107-114.

Drissi, S., y Amirat, A. (2016). An Adaptive E-Learning System based on Student's Learning Styles: An Empirical Study. *International Journal of Distance Education Technologies (IJDET)*, 14(3), 34-51. doi:10.4018/IJDET.2016070103

Luckin, R., y Holmes, W. (2016). Intelligence unleashed: An argument for AI in education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(3), 193-194.

Medina N., y García-Cabrera, L. (2016). A taxonomy for user models in adaptive systems: Special considerations for learning environments. *The Knowledge Engineering Review*, 31(2), 124-141. doi:10.1017/S0269888916000035

Robinson, K. (2015). El arte de enseñar. En K. Robinson, *Escuelas Creativas* (págs. 143-177). Barcelona: Travessera de Gràcia.

Toffler, A y Toffler, H. (2006) *La revolución de la riqueza*. Editorial Knopf. Madrid.

Wilson, C., y Scott, B. (2017). Adaptive systems in education: a review and conceptual unification. *The International Journal of Information and Learning Technology*.

9

86.

87.

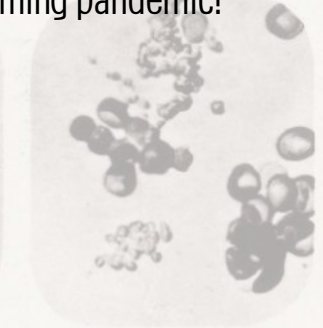
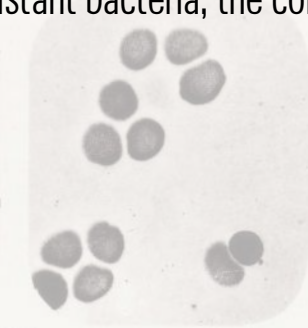
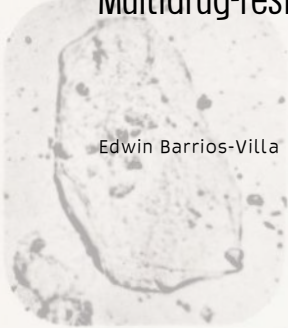
BACTERIAS MULTIDROGORE-SISTENTES ¿LA PANDEMIA QUE VIENE?



88.

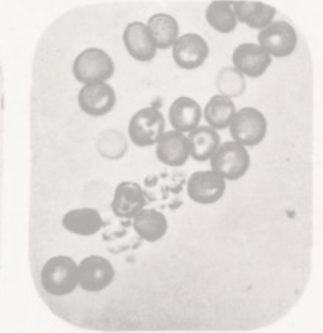
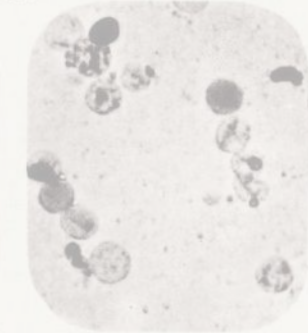
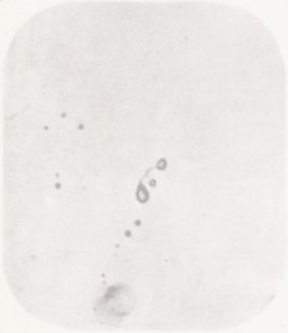
Multidrug-resistant bacteria, the coming pandemic?

Edwin Barrios-Villa



92.

93.



100.

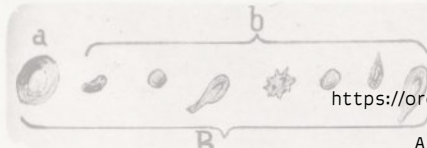
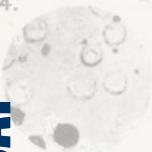


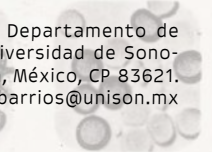
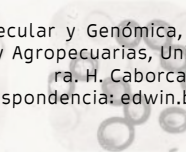
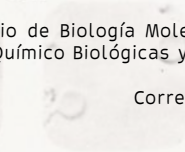
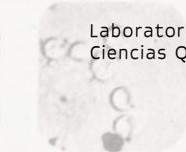
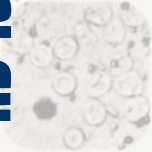
Fig. 6.

<https://orcid.org/0000-0002-7864-1292>
Recibido: 26 /mayo/ 2023
Aprobado: 30/noviembre/ 2023
Publicado: 07/enero / 2024

96.

97.

98.



Laboratorio de Biología Molecular y Genómica, Departamento de Ciencias Químico Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Sonora. H. Caborca, México, CP 83621.

Correspondencia: edwin.barrios@unison.mx

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 9-21

RD-ICUAP

Resumen

La recién cursada pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV2, nos ha dejado varias lecciones; dentro de ellas destaca la vulnerabilidad del ser humano como especie al daño que pueden causar agentes infecciosos, pero también que con la participación responsable de la sociedad en conjunto con las políticas públicas se pueden contener los embates de esas fuerzas de la evolución. Un enemigo silencioso que ha estado al acecho y que crece constantemente lo constituyen las bacterias, que por su plasticidad tienen una alta capacidad de adquirir y desarrollar mecanismos para evadir la acción de los fármacos que utilizamos para el control de las infecciones. En este documento, se presenta el estado actual de los principales agentes microbianos causantes de infecciones y que han sido catalogados como prioritarios para agencias de salud internacionales y el panorama que representa que alberguen mecanismos de resistencia para su contención. De igual forma, se mencionan aspectos regulatorios y el papel de la sociedad para evitar la diseminación de bacterias Multidrogorresistentes.

Palabras clave: Bacterias multidrogoresistentes, resistencia a los antimicrobianos, ESKAPE

Abstract

The recent pandemic caused by the SARS-CoV2 virus has taught us several lessons; among them is the vulnerability of human beings as a species to the damage that can be caused by infectious agents, but also that with the responsible participation of society in conjunction with the public policies, the onslaught of these forces of evolution can be contained. A silent enemy that has been lurking and is constantly growing is bacteria, which due to their plasticity have a high capacity to acquire and develop mechanisms to evade the action of the drugs we use to control infections. This document presents the state-of-the-art of the main microbial agents that cause infections and that have been cataloged as a priority for international health agencies and the panorama that represents the fact that they harbor resistance mechanisms for their containment. It also mentions regulatory aspects and the role of society to avoid the dissemination of multidrug-resistant bacteria.

Introducción

Las bacterias son microorganismos que se encuentran en todas partes, incluso en nuestro propio cuerpo. Algunas bacterias son inofensivas o incluso beneficiosas para nuestra salud, pero otras pueden causar enfermedades. Y, lamentablemente, algunas bacterias se han vuelto resistentes a múltiples medicamentos, lo que las hace extremadamente difíciles de tratar. Estas bacterias multidrogoresistentes (MDR) representan una creciente preocupación para la comunidad médica y podrían constituir la próxima pandemia. Las bacterias MDR son aquellas que han desarrollado resistencia a múltiples clases de antibióticos, lo que dificulta su tratamiento y control. Entre las bacterias MDR más preocupantes se encuentran las pertenecientes al llamado Grupo ESKAPE.

Entre las bacterias MDR más preocupantes se encuentran las pertenecientes al llamado Grupo ESKAPE.

El término “ESKAPE” es un acrónimo que se utiliza para referirse a un grupo de bacterias patógenas que son conocidas por su capacidad de resistencia a múltiples antibióticos y su capacidad de escapar de la acción de los tratamientos antimicrobianos.



Figura 1. Bacterias pertenecientes al grupo ESKAPE.

Las bacterias que pertenecen a este grupo son:

Enterococcus faecium: Es una bacteria que puede causar infecciones del tracto urinario, infecciones del torrente sanguíneo y endocarditis, y ha desarrollado resistencia a varios antibióticos, incluyendo la vancomicina, que es un antibiótico de último recurso (Lebreton et al., 2013; Mende et al., 2022; Ruekit et al., 2022).

Staphylococcus aureus resistente a meticilina (SARM): Bacteria comúnmente conocida como “estafilococo dorado” que puede causar una amplia variedad de infecciones, desde infecciones de piel y tejidos blandos hasta infecciones graves del torrente sanguíneo y neumonía (Flores Morales et al., 2023; Mlynarczyk-Bonikowska et al., 2022). El SARM es resistente a la meticilina, un tipo de antibiótico betalactámico, lo que limita las opciones de tratamiento (Simonetti et al., 2022).

Klebsiella pneumoniae resistente a carbapenémicos: Esta bacteria puede causar infecciones del tracto urinario, infecciones del torrente sanguíneo y neumonía, y ha desarrollado resistencia a carbapenémicos, que habitualmente son antibióticos de último recurso utilizados para tratar infecciones graves (Han et al., 2022; Tian et al., 2022).

Acinetobacter baumannii resistente a carbapenémicos: *A. baumannii* puede causar infecciones del tracto urinario, infecciones del torrente sanguíneo y neumonía, y dificulta su tratamiento debido a que ha desarrollado resistencia a los carbapenémicos entre otros múltiples mecanismos de resistencia a antibióticos de diversas familias (Gupta et al., 2022; Iovleva et al., 2022; Jiang et al., 2022).

Pseudomonas aeruginosa resistente a múltiples fármacos: Esta bacteria puede causar infecciones del tracto urinario, infecciones del torrente sanguíneo, infecciones respiratorias y otras infecciones, y ha desarrollado resistencia a múltiples clases de antibióticos, lo que limita las opciones de tratamiento (Laborda et al., 2022; Madden et al., 2022; Qin et al., 2022; Tenover et al., 2022).

Enterobacter spp. resistente a múltiples fármacos: Este grupo de bacterias incluye varias especies, como *Enterobacter cloacae*, y pueden causar infecciones del tracto urinario, infecciones del torrente sanguíneo y neumonía. En los últimos años, ha ido en aumento el número de reportes de aislamientos con características de resistencia a múltiples clases de antibióticos, convirtiendo a su control y/o erradicación en un importante reto terapéutico (Chang et al., 2022; Vakulenko et al., 2002; Wang et al., 2022).

Las bacterias del grupo ESKAPE son consideradas como importantes patógenos causantes de Infecciones Asociadas a la Atención de la Salud (IAAS), lo que significa que se asocian con infecciones adquiridas en hospitales y otras instalaciones de asistencia y atención médica como los asilos, guarderías, estancias de día, etc. Son conocidas por su capacidad de desarrollar o adquirir mecanismos de resistencia a múltiples antibióticos, lo que hace que el tratamiento de las infecciones causadas por estas bacterias sea más complicado y, en algunos casos, limitado a opciones de tratamiento de último recurso (Marturano & Lowery, 2019; Mills & Marchaim, 2021; Pendleton et al., 2013). La prevención adecuada de infecciones, el uso responsable de los

antibióticos y las medidas de control de infecciones son cruciales para hacer frente a la amenaza de las bacterias del grupo ESKAPE y la resistencia antimicrobiana en general. Estas bacterias son comunes en el medio ambiente y también pueden encontrarse en el tracto gastrointestinal de los seres humanos y otros animales. Normalmente, estas bacterias son inofensivas, pero cuando adquieren mecanismos de resistencia a múltiples medicamentos, pueden causar infecciones graves y potencialmente mortales en hospitales, hogares de cuidado de salud y la comunidad en general (Pendleton et al., 2013).

Una de las principales estrategias para la generación de resistencia a los antibióticos, se debe a la transferencia de genes de resistencia entre bacterias, lo que permite a microorganismos hacerse de herramientas que les permitan resistir a múltiples medicamentos en un corto período de tiempo (Carattoli, 2013; Deng et al., 2015; Harmer & Hall, 2016; Mazel, 2006; Mota-Bravo et al., 2023; Rowe-Magnus & Mazel, 2001; Shintani et al., 2015; Smillie et al., 2010). Esto hace que el tratamiento de las infecciones causadas por estas bacterias sea especialmente difícil y limita las opciones de tratamiento disponibles.

Adicionalmente, las bacterias MDR pueden sobrevivir en ambientes hospitalarios y comunitarios durante mucho tiempo, lo que facilita su propagación de persona a persona y su diseminación en la comunidad (Fig. 2) (Mende et al., 2022). Esto aumenta la posibilidad de que las bacterias MDR se conviertan en una pandemia, similar a lo que hemos experimentado con los virus como el SARS-CoV-2, causante de la pandemia de COVID-19.

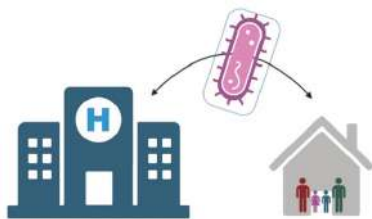


Figura 2. Las bacterias multidrogoresistentes pueden sobrevivir en entornos hospitalarios y de la comunidad, facilitando las infecciones del ser humano.

Otro aspecto de preocupación es que las bacterias MDR pueden afectar a personas de todas las edades, pero son especialmente peligrosas para aquellos individuos con sistemas inmunológicos debilitados, como los pacientes hospitalizados, los ancianos, los recién nacidos y las personas con enfermedades crónicas. Las infecciones causadas por bacterias MDR pueden ser difíciles de tratar y pueden provocar complicaciones graves e incluso la muerte en algunos casos.

Para abordar el problema de las bacterias MDR, es crucial tomar medidas preventivas y promover el uso responsable de los antibióticos. Esto incluye evitar el uso innecesario o inapropiado de antibióticos, seguir las indicaciones de los profesionales de la salud al tomar antibióticos y completar siempre los ciclos de tratamiento recetados (Nucleo et al., 2018).

Además, es importante mejorar la higiene y la limpieza en los entornos de atención médica y en la comunidad en general.

Estado actual de las bacterias MDR

En los últimos 5 años, algunas de las principales bacterias MDR que han sido identificadas y representan un desafío

en la salud pública a nivel mundial incluyen *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* resistente a carbapenémicos (CRE y CRKP respectivamente), *Pseudomonas aeruginosa* MDR, *Acinetobacter baumannii* MDR, y *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina (MRSA) (Díaz-Jiménez et al., 2020; Fleece et al., 2018; Lakhundi & Zhang, 2018; Lee et al., 2018; Méndez-Moreno et al., 2022; Pérez-Etayo et al., 2018; Turner et al., 2019).

Cabe destacar que la resistencia bacteriana es un problema dinámico y en constante evolución, y que la identificación de las principales bacterias MDR puede variar según la región geográfica y el momento en el tiempo. Es importante propiciar la vigilancia epidemiológica de bacterias MDR para seguir monitoreando y estudiando la resistencia antimicrobiana para tomar medidas adecuadas de prevención y control, y promover un uso responsable de los antibióticos para preservar su eficacia en el tratamiento de las infecciones.

El papel de las políticas Públicas en el Control de la Diseminación de la Multidrogo-resistencia

El estado de la regulación en la venta de antibióticos varía en distintos países y regiones del mundo, incluyendo México y Latinoamérica. A nivel mundial, la regulación en la venta de antibióticos varía ampliamente. En algunos países, se requiere receta médica para la venta de antibióticos, mientras que en otros no (Arizpe et al., 2016; Companyó et al., 2009; Loeb, 2021a, 2021b; Mende et al., 2022; Nucleo et al., 2018; Ríos Ruy-Pérez, 2004). En general, se reconoce la importancia de una regulación estricta en la venta de antibióticos para promover un uso responsable y reducir la aparición de resistencia antimicro-

biana. Sin embargo, la implementación y cumplimiento de estas regulaciones pueden ser desafiantes en algunos lugares. En países como Argentina, la regulación en la distribución y venta de antibióticos ha permeado hasta el uso veterinario, debido al habitual uso de antibióticos como promotores del crecimiento animal (Castanon, 2007).

En México, la venta de antibióticos está regulada por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), que es la agencia encargada de regular y controlar los productos y servicios relacionados con la salud. Desde 2010, se implementó una regulación que requiere receta médica para la venta de antibióticos (Dreser et al., 2012). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, se han reportado prácticas de venta sin receta médica en algunas farmacias y establecimientos, lo que constituye un desafío en el control del uso responsable de los antibióticos. Es importante tener en cuenta que la regulación en la venta de antibióticos es solo una parte de la estrategia global para abordar la resistencia antimicrobiana. También se requiere educación y concientización sobre el uso adecuado de los antibióticos por parte de los profesionales de la salud y el público en general, así como acciones para mejorar la higiene y prevenir infecciones, y fomentar la investigación y desarrollo de nuevos antibióticos y alternativas a los antibióticos tradicionales.

Preponderante, el papel de la sociedad en el control de la diseminación de la multidrogoresistencia. La población puede desempeñar un papel importante en la reducción del impacto de los microorganismos MDR mediante la adopción de medidas

adecuadas en su vida diaria tales como (Figura 3):

- **Uso responsable de los antibióticos:** Es importante seguir las indicaciones y prescripciones de los profesionales de la salud al utilizar antibióticos (apego al tratamiento). Evitar la automedicación, completar el curso de tratamiento prescrito, incluso si los síntomas desaparecen antes de finalizar el tratamiento y no compartir los antibióticos con otras personas.
- **Buena higiene personal:** Lavarse las manos con frecuencia y de manera adecuada, especialmente después de utilizar el baño, antes de preparar alimentos y antes de comer. Esto ayuda a prevenir la propagación de las bacterias MDR en las manos y reduce el riesgo de infecciones.
- **Practicar medidas de prevención de infecciones:** Seguir las medidas de prevención de infecciones en entornos hospitalarios, como utilizar adecuadamente el equipo de protección personal, seguir las pautas de aislamiento y cumplir con las políticas y regulaciones de los establecimientos de atención médica.
- **Evitar la automedicación con antibióticos en animales:** No utilizar antibióticos sin receta en animales, ya que esto puede contribuir al desarrollo de resistencia antimicrobiana en los animales y su posterior transmisión a los seres humanos a través de los alimentos.
- **Promover y fomentar una alimentación segura:** Manipular y preparar los alimentos de manera adecuada, asegurándose de cocinar los alimentos a temperaturas seguras para eliminar a las bacterias y evitar la contaminación cruzada.

- Participar en programas de vacunación: Las vacunas son una herramienta importante para prevenir infecciones y reducir la necesidad de utilizar antibióticos. Mantener las vacunas actualizadas según las pautas y recomendaciones de los profesionales de la salud.

- Educar y concientizar: Informar sobre la resistencia antimicrobiana y compartir esta información con la familia, amigos y comunidad. Promover la concientización sobre la importancia de un uso responsable de los antibióticos y las medidas de prevención de infecciones.

- Seguir las regulaciones y políticas: Cumplir con las regulaciones y políticas establecidas por las autoridades de salud y los profesionales de la salud en lo que respecta al uso de antibióticos, la prevención de infecciones y el manejo adecuado de los desechos médicos.

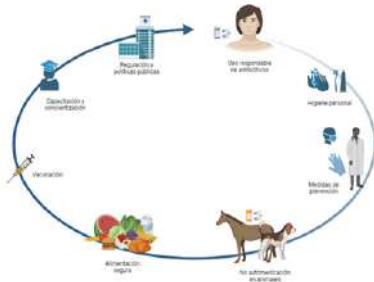
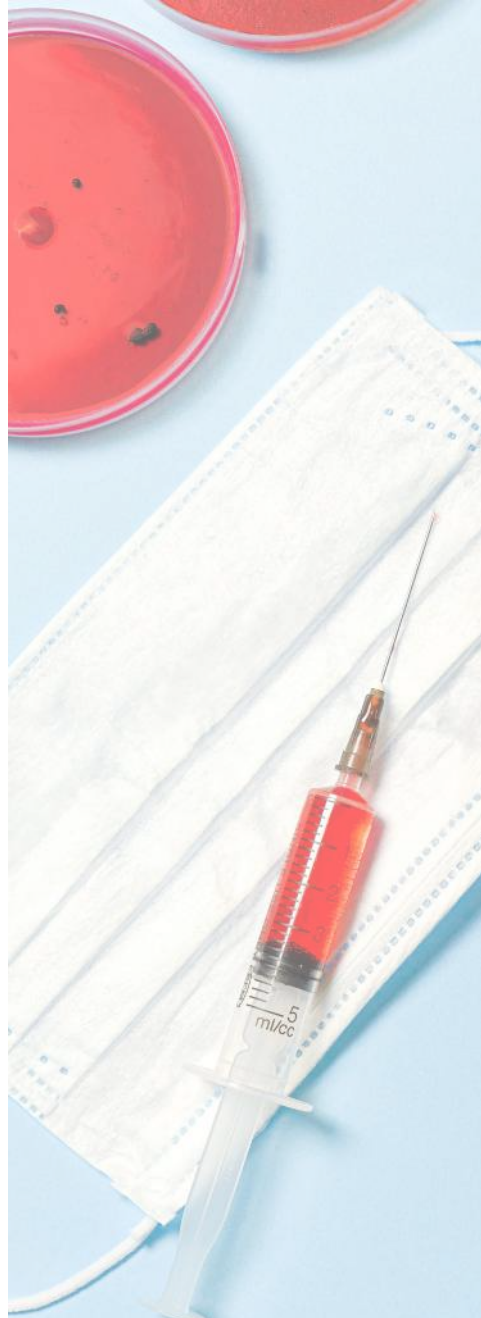


Figura 3. Papel de la sociedad para el control de la diseminación de la multidrogorresistencia.



Conclusiones

La implementación y cumplimiento de la regulación representan un desafío importante en la lucha contra la resistencia antimicrobiana y es necesario seguir trabajando en promover un uso responsable de los antibióticos para preservar su eficacia en el tratamiento de las infecciones, sin embargo, esta lucha es responsabilidad de todos, y la adopción de medidas adecuadas en la vida diaria puede contribuir a reducir el impacto de los microorganismos MDR en la salud pública y preservar la eficacia de los antibióticos para las generaciones futuras. Al igual que las acciones tomadas por las autoridades y la sociedad en general, reviste importancia la investigación y la vigilancia de la aparición de bacterias tradicionalmente patógenas, así como de bacterias emergentes y nuevas especies; esto permitirá establecer mecanismos que nos permitan a todos estar preparados y que los efectos sean mitigados en menos tiempo. Finalmente quedan muchas preguntas en el aire, aunque la que principalmente debemos hacernos es ¿qué estoy dispuesto a hacer para contribuir en el control de la diseminación de la multidrogoresistencia?

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Referencias

Arizpe, A., Reveles, K. R., & Aitken, S. L. (2016). Regional variation in antibiotic prescribing among medicare part D enrollees, 2013. *BMC Infectious Diseases*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-016-2091-0>

Carattoli, A. (2013). Plasmids and the spread of resistance. *International Journal of Medical Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2013.02.001>

Castanon, J. I. R. (2007). History of the use of antibiotic as growth promoters in European poultry feeds. *Poultry Science*, 86(11), 2466–2471. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00249>

Chang, C. Y., Huang, P. H., & Lu, P. L. (2022). The Resistance Mechanisms and Clinical Impact of Resistance to the Third Generation Cephalosporins in Species of *Enterobacter cloacae* Complex in Taiwan. *Antibiotics*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11091153>

Companyó, R., Granados, M., Guiteras, J., & Prat, M. D. (2009). Antibiotics in food: Legislation and validation of analytical methodologies. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 395(4), 877–891. <https://doi.org/10.1007/s00216-009-2969-4>

Deng, Y., Bao, X., Ji, L., Chen, L., Liu, J., Miao, J., Chen, D., Bian, H., Li, Y., & Yu, G. (2015). Resistance integrons: class 1, 2 and 3 integrons. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 14, 45. <https://doi.org/10.1186/s12941-015-0100-6>

Denissen, J., Reyneke, B., Waso-Reyneke, M., Havenga, B., Barnard, T., Khan, S., & Khan, W. (2022). Prevalence of ESKAPE pathogens in the environment: Antibiotic resistance status, community-acquired infection and risk to human health. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114006>

Díaz-Jiménez, D., García-Meniño, I., Fernández, J., García, V., & Mora, A. (2020). Chicken and turkey meat: Consumer exposure to multidrug-resistant Enterobacteriaceae including mcr-carriers, uropathogenic *E. coli* and high-risk lineages such as ST131. *International Journal of Food Microbiology*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108750>

Dresler, A., Vázquez-Vélez, E., Treviño, S., & Wirtz, V. J. (2012). Regulation of antibiotic sales in Mexico: an analysis of printed media coverage and stakeholder participation. *BMC Public Health*, 12, 1051. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-1051>

Fleece, M. E., Pholwat, S., Mathers, A. J., & Houpt, E. R. (2018). Molecular diagnosis of antimicrobial resistance in *Escherichia coli*. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, 18(3), 207–217. <https://doi.org/10.1080/14737159.2018.1439381>

Flores Morales, C., Rocha Gracia, R. del C., Barrios Villa, E., Lozano Zarain, P., & Cortés Cortés, G. (2023). *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*: dos Bacterias Multidrogorresistentes que Podemos Compartir con Nuestras Mascotas. *INVURNUS*, 17(1). <https://doi.org/10.46588/invurnus.v17i1.98>

Gupta, N., Angadi, K., & Jadhav, S. (2022). Molecular Characterization of Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii* with Special Reference to Carbapenemases: A Systematic Review. In *Infection and Drug Resistance* (Vol. 15, pp. 7631–7650). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/IDR.S386641>

Han, Y. L., Wen, X. H., Zhao, W., Cao, X. S., Wen, J. X., Wang, J. R., Hu, Z. De, & Zheng, W. Q. (2022). Epidemiological characteristics and molecular evolution mechanisms of carbapenem-resistant hypervirulent *Klebsiella pneumoniae*. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1003783>

Harmer, C. J., & Hall, R. M. (2016). IS26-Mediated Formation of Transposons Carrying Antibiotic Resistance Genes. *MSphere*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00038-16>. Editor

Iovleva, A., Mustapha, M. M., Griffith, M. P., Komarow, L., Luterbach, C., Evans, D. R., Cober, E., Richter, S. S., Rydell, K., Arias, C. A., Jacob, J. T., Salata, R. A., Satlin, M. J., Wong, D., Bonomo, R. A., Van Duin, D., Cooper, V. S., Van Tyne, D., & Doi, Y. (2022). Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii* in U.S. Hospitals: Diversification of Circulating Lineages and Antimicrobial Resistance. *MBio*, 13(2). <https://doi.org/10.1128/mbio.02759-21>

Jiang, Y., Ding, Y., Wei, Y., Jian, C., Liu, J., & Zeng, Z. (2022). Carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*: A challenge in the intensive care unit. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1045206>

Laborda, P., Martínez, J. L., & Hernando-Amado, S. (2022). Evolution of Habitat-Dependent Antibiotic Resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology Spectrum*, 10(4). <https://doi.org/10.1128/spectrum.00247-22>

Lakhundi, S., & Zhang, K. (2018). Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*: Molecular Characterization, Evolution, and Epidemiology. *Clinical Microbiology Reviews*, 31(4). <https://doi.org/10.1128/CMR.00020-18>

Lebreton, F., van Schaik, W., McGuire, A. M., Godfrey, P., Griggs, A., Mazumdar, V., Corander, J., Cheng, L., Saif, S., Young, S., Zeng, Q., Wortman, J., Birren, B., Willems, R. J. L., Earl, A. M., & Gilmore, M. S. (2013). Emergence of epidemic multidrug-resistant *Enterococcus faecium* from animal and commensal strains. *MBio*. <https://doi.org/10.1128/mBio.00534-13>

Lee, A. S., De Lencastre, H., Garau, J., Kluytmans, J., Malhotra-Kumar, S., Peschel, A., & Harbarth, S. (2018). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Nature Reviews Disease Primers*, 4. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2018.33>

Loeb, J. (2021a). Prescribing breaches are getting political. *Veterinary Record*, March-April, 203–203. <https://doi.org/10.1002/vetr.310>

Loeb, J. (2021b). Responsible use is not zero use. *Veterinary Record*, July, 49–49. <https://doi.org/10.1002/vetr.732>

Madden, D. E., McCarthy, K. L., Bell, S. C., Olagoke, O., Baird, T., Neill, J., Ramsay, K. A., Kidd, T. J., Stewart, A. G., Subedi, S., Choong, K., Fraser, T. A., Sarovich, D. S., & Price, E. P. (2022). Rapid fluoroquinolone resistance detection in *Pseudomonas aeruginosa* using mismatch amplification mutation assay-based real-time PCR. *Journal of Medical Microbiology*, 71(10). <https://doi.org/10.1099/jmm.o.001593>

Marturano, J. E., & Lowery, T. J. (2019). ESKAPE pathogens in bloodstream infections are associated with higher cost and mortality but can be predicted using diagnoses upon admission. *Open Forum Infectious Diseases*, 6(12). <https://doi.org/10.1093/ofid/ofz503>

A., Satlin, M. J., Wong, D., Bonomo, R. A., Van Duin, D., Cooper, V. S., Van Tyne, D., & Doi, Y. (2022). Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii* in U.S. Hospitals: Diversification of Circulating Lineages and Antimicrobial Resistance. *MBio*, 13(2). <https://doi.org/10.1128/mbio.02759-21>

Jiang, Y., Ding, Y., Wei, Y., Jian, C., Liu, J., & Zeng, Z. (2022). Carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii*: A challenge in the intensive care unit. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1045206>

Laborda, P., Martínez, J. L., & Hernando-Amado, S. (2022). Evolution of Habitat-Dependent Antibiotic Resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology Spectrum*, 10(4). <https://doi.org/10.1128/spectrum.00247-22>

Lakhundi, S., & Zhang, K. (2018). Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*: Molecular Characterization, Evolution, and Epidemiology. *Clinical Microbiology Reviews*, 31(4). <https://doi.org/10.1128/CMR.00020-18>

Lebreton, F., van Schaik, W., McGuire, A. M., Godfrey, P., Griggs, A., Mazumdar, V., Corander, J., Cheng, L., Saif, S., Young, S., Zeng, Q., Wortman, J., Birren, B., Willems, R. J. L., Earl, A. M., & Gilmore, M. S. (2013). Emergence of epidemic multidrug-resistant *Enterococcus faecium* from animal and commensal strains. *MBio*. <https://doi.org/10.1128/mBio.00534-13>

Lee, A. S., De Lencastre, H., Garau, J., Kluytmans, J., Malhotra-Kumar, S., Peschel, A., & Harbarth, S. (2018). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Nature Reviews Disease Primers*, 4. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2018.33>

Loeb, J. (2021a). Prescribing breaches are getting political. *Veterinary Record*, March-April, 203–203. <https://doi.org/10.1002/vetr.310>

Loeb, J. (2021b). Responsible use is not zero use. *Veterinary Record*, July, 49–49. <https://doi.org/10.1002/vetr.732>

Madden, D. E., McCarthy, K. L., Bell, S. C., Olagoke, O., Baird, T., Neill, J., Ramsay, K. A., Kidd, T. J., Stewart, A. G., Subedi, S., Choong, K., Fraser, T. A., Sarovich, D. S., & Price, E. P. (2022). Rapid fluoroquinolone resistance detection in *Pseudomonas aeruginosa* using mismatch amplification mutation assay-based real-time PCR. *Journal of Medical Microbiology*, 71(10). <https://doi.org/10.1099/jmm.o.001593>

Marturano, J. E., & Lowery, T. J. (2019). ESKAPE pathogens in bloodstream infections are associated with higher cost and mortality but can be predicted using diagnoses upon admission. *Open Forum Infectious Diseases*, 6(12). <https://doi.org/10.1093/ofid/ofz503>

Mazel, D. (2006). Integrons: Agents of bacterial evolution. *Nature Reviews Microbiology*. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1462>

Mende, K., Akers, K. S., Tyner, S. D., Bennett, J. W., Simons, M. P., Blyth, D. M., Li, P., Stewart, L., & Tribble, D. R. (2022a). Multidrug-Resistant and Virulent Organisms Trauma Infections: Trauma Infectious Disease Outcomes Study Initiative. *Military Medicine*, 187, 42–51. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab131>

Méndez-Moreno, E., Caporal-Hernandez, L., Mendez-Pfeiffer, P. A., Enciso-Martinez, Y., De la Rosa López, R., Valencia, D., Arenas-Hernández, M. M. P., Ballesteros-Monreal, M. G., & Barrios-Villa, E. (2022). Characterization of Diarrheagenic *Escherichia coli* Strains Isolated from Healthy Donors, including a Triple Hybrid Strain. *Antibiotics*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11070833>

Mills, J. P., & Marchaim, D. (2021). Multidrug-Resistant Gram-Negative Bacteria: Infection Prevention and Control Update. *Infectious Disease Clinics of North America*, 35(4), 969–994. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2021.08.001>

Mlynarczyk-Bonikowska, B., Kowalewski, C., Krolak-Ulinska, A., & Marusza, W. (2022). Molecular Mechanisms of Drug Resistance in *Staphylococcus aureus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15). <https://doi.org/10.3390/ijms23158088>

Mota-Bravo, L., Camps, M., Muñoz-Gutiérrez, I., Tatarenkov, A., Warner, C., Suarez, I., & Cortés-Cortés, G. (2023). Detection of Horizontal Gene Transfer Mediated by Natural Conjugative Plasmids in *E. coli*. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, 193. <https://doi.org/10.3791/64523>

Pérez-Etayo, L., Berzosa, M., González, D., & Vitas, A. I. (2018). Prevalence of integrons and insertion sequences in *esbl*-producing *E. coli* isolated from different sources in Navarra, Spain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph15102308>

Qin, S., Xiao, W., Zhou, C., Pu, Q., Deng, X., Lan, L., Liang, H., Song, X., & Wu, M. (2022). *Pseudomonas aeruginosa*: pathogenesis, virulence factors, antibiotic resistance, interaction with host, technology advances and emerging therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01056-1>

Ríos Ruy-Pérez, C. (2004). Legislación sobre Antibióticos en América Latina. In Oficina Sanitaria Panamericana, OPS. <https://www3.paho.org/spanish/ad/dpc/cd/amr-legis.pdf>

Rowe-Magnus, D. A., & Mazel, D. (2001). Integrons: Natural tools for bacterial genome evolution. *Current Opinion in Microbiology*. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(00\)00252-6](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(00)00252-6)

Ruekit, S., Srijan, A., Serichantalergs, O., Margulieux, K. R., Mc Gann, P., Mills, E. G., Stribling, W. C., Pimsawat, T., Kormanee, R., Nakornchai, S., Sakdinava, C., Sukhchat, P., Wojnarski, M., Demons, S. T., Crawford, J. M., Lertsethtakarn, P., & Swierczewski, B. E. (2022). Molecular characterization of multidrug-resistant ESKAPEE pathogens from clinical samples in Chonburi, Thailand (2017–2018). *BMC Infectious Diseases*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07678-8>

Shintani, M., Sanchez, Z. K., & Kimbara, K. (2015). Genomics of microbial plasmids: Classification and identification based on replication and transfer systems and host taxonomy. *Frontiers in Microbiology*, 6(MAR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00242>

Simonetti, O., Marasca, S., Candelora, M., Rizzetto, G., Radi, G., Molinelli, E., Brescini, L., Cirioni, O., & Offidani, A. (2022). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* as a cause of chronic wound infections: Alternative strategies for management. *AIMS Microbiology*, 8(2), 125–137. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2022011>

Smillie, C., Garcillan-Barcia, M. P., Francia, M. V., Rocha, E. P. C., & de la Cruz, F. (2010). Mobility of Plasmids. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00020-10>

Tenover, F. C., Nicolau, D. P., & Gill, C. M. (2022). Carbapenemase-producing *Pseudomonas aeruginosa* –an emerging challenge. *Emerging Microbes and Infections*, 11(1), 811–814. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2048972>

Tian, D., Liu, X., Chen, W., Zhou, Y., Hu, D., Wang, W., Wu, J., Mu, Q., & Jiang, X. (2022). Prevalence of hypervirulent and carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* under divergent evolutionary patterns. *Emerging Microbes and Infections*, 11(1), 1936–1949. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2103454>

Qin, S., Xiao, W., Zhou, C., Pu, Q., Deng, X., Lan, L., Liang, H., Song, X., & Wu, M. (2022). *Pseudomonas aeruginosa*: pathogenesis, virulence factors, antibiotic resistance, interaction with host, technology advances and emerging therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41392-022-01056-1>

Ríos Ruy-Pérez, C. (2004). Legislación sobre Antibióticos en América Latina. In Oficina Sanitaria Panamericana, OPS. <https://www3.paho.org/spanish/ad/dpc/cd/amr-legis.pdf>

Rowe-Magnus, D. A., & Mazel, D. (2001). Integrons: Natural tools for bacterial genome evolution. *Current Opinion in Microbiology*. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(00\)00252-6](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(00)00252-6)

Ruekit, S., Srijan, A., Serichantalergs, O., Margulieux, K. R., Mc Gann, P., Mills, E. G., Stribling, W. C., Pimsawat, T., Kormanee, R., Nakornchai, S., Sakdinava, C., Sukhchat, P., Wojnarski, M., Demons, S. T., Crawford, J. M., Lertsethtakarn, P., & Swierczewski, B. E. (2022). Molecular characterization of multidrug-resistant ESKAPEE pathogens from clinical samples in Chonburi, Thailand (2017–2018). *BMC Infectious Diseases*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07678-8>

Shintani, M., Sanchez, Z. K., & Kimbara, K. (2015). Genomics of microbial plasmids: Classification and identification based on replication and transfer systems and host taxonomy. *Frontiers in Microbiology*, 6(MAR), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00242>

Simonetti, O., Marasca, S., Candelora, M., Rizzetto, G., Radi, G., Molinelli, E., Brescini, L., Cirioni, O., & Offidani, A. (2022). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* as a cause of chronic wound infections: Alternative strategies for management. *AIMS Microbiology*, 8(2), 125–137. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2022011>

Smillie, C., Garcillan-Barcia, M. P., Francia, M. V., Rocha, E. P. C., & de la Cruz, F. (2010). Mobility of Plasmids. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00020-10>

Tenover, F. C., Nicolau, D. P., & Gill, C. M. (2022). Carbapenemase-producing *Pseudomonas aeruginosa* –an emerging challenge. *Emerging Microbes and Infections*, 11(1), 811–814. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2048972>

Tian, D., Liu, X., Chen, W., Zhou, Y., Hu, D., Wang, W., Wu, J., Mu, Q., & Jiang, X. (2022). Prevalence of hypervirulent and carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* under divergent evolutionary patterns. *Emerging Microbes and Infections*, 11(1), 1936–1949. <https://doi.org/10.1080/22221751.2022.2103454>

Turner, N. A., Sharma-Kuinkel, B. K., Maskarinec, S. A., Eichenberger, E. M., Shah, P. P., Carugati, M., Holland, T. L., & Fowler, V. G. (2019). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: an overview of basic and clinical research. *Nature Reviews Microbiology*, 17(4), 203–218. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0147-4>

Vakulenko, S. B., Golemi, D., Geryk, B., Suvorov, M., Knox, J. R., Mobashery, S., & Lerner, S. A. (2002). Mutational replacement of Leu-293 in the class C Enterobacter cloacae P99 -lactamase confers increased MIC of cefepime. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 46(6), 1966–1970. <https://doi.org/10.1128/AAC.46.6.1966-1970.2002>

Wang, S., Ju, X., Dong, N., Li, R., Li, Y., Zhang, R., Huang, Y., & Zhou, H. (2022). Emergence of Mobilized Colistin Resistance Gene mcr-8.2 in Multidrug-Resistant Enterobacter cloacae Isolated from a Patient in China. *Microbiology Spectrum*, 10(4). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01217-22>

HOMENAJE AL PROFESOR E ING. QUÍM. FEDERICO GALDEANO-BIENZOBAS. UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA SOBRE UN TESORO DE OAXACA, SU MOLE NEGRO HECHO CON EL CHILE SECADO CON HUMO. PARTE 2. EL CHILHUACLE O CHILE HUACLE O CHILLI HUACTLI EN EL MOLE NEGRO

Homage to Prof. Federico Galdeano-Bienzobas, Chem. Eng. A review of the literature on a Oaxacan treasure, its mole negro made with the smoke-dried chile. Part 2. The chilhuacle or chile huacle or chilli huactli in the black mole

Rolando Salvador García-Gómez
Marisela Bernal-González
María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa

Capsicum

<https://orcid.org/0000-0002-4135-9605>
<https://orcid.org/0000-0002-4610-1945>
<https://orcid.org/0000-0001-9509-908X>

Año 10 No. 28

Recibido: 27/julio/ 2023

Aprobado: 10/diciembre/ 2023

Publicado: 7/enero/ 2024

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México. Correos-e: rolandoga2000_a@yahoo.com, marisela_bernal2000@yahoo.com.mx, mcduran@quimica.unam.mx

Con las valiosas contribuciones de / with the valuable contributions of M. en C. Porfirio López-López [Jubilado]

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Valles Centrales, Oaxaca, México y/and Q.A. Miriam

Rayx-Hernández

Autora del Trabajo Monográfico “Los moles de México” bajo la asesoría del Prof. I.Q. Federico Galdeano-Bienzobas y/and QFB (T.A.)

Juan Manuel Díaz-Álvarez

Coordinación de la Carrera de Química de Alimentos de la UNAM

Resumen

En esta segunda parte los tres primeros autores, con el valioso apoyo de quienes han dedicado su labor profesional a la defensa y revalorización del chile y, en especial, del emblemático chile huacle de Oaxaca con el que se prepara el mole negro desean compartir lo que una profesionista de la química de alimentos desarrolló en torno a este platillo emblemático, el mole negro de Oaxaca con las y los lectores(as). Se presentan en esta segunda parte las historias de este platillo y del chile que le da su exquisito sabor y su valía a través de quienes lo cocinan con amor y para quienes lo degustan recibiendo ese amor.

Palabras clave: Homenaje, IQ Federico Galdeano-Bienzobas, chile huacle, chilli huactli, mole negro

Abstract

In this second part, the first three authors, with the valuable support of some persons who have dedicated their professional work to the defense and revalorization of the chile, Specially the emblematic huacle chilli from Oaxaca with which the black mole is prepared, wish to share what a food chemist professional developed concerning the black mole from Oaxaca, an emblematic dish, with the readers. In this second part, the history of this dish and of the chilli that gives it its exquisite flavor and its value through those who cook it with love for those who taste it receiving that love are presented.

Keywords: Tribute, IQ Federico Galdeano-Bienzobas, huacle, huactli chilli, black mole

Introducción

Como se mencionó en la primera parte, estos dos documentos tienen el objetivo de honrar la memoria de un insigne profesor de la Facultad de Química de la UNAM, fundador de la entonces nueva carrera de química de alimentos quien falleció justamente poco después de dirigir dos tesis sobre la temática de un auténtico tesoro de México al decir de algunos de los autores consultados por los tres primeros autores de este documento.

Se dijo también en la primera parte que el Ing. Quím. Federico Galdeano se formó en la UNAM y siempre fue parte de ella. Su tesis, mancomunada con Gloria Lira y con Alejandro Íñiguez (1976), ayudó a consolidar la parte administrativa de la Facultad de Química para apoyar sus valiosos labores académicas. Durante su actividad académica en la UNAM dirigió 107 tesis profesionales, tanto de químicos de alimentos como de ingenieros químicos y de químicos farmacobiólogos de las entonces orientaciones de tecnología de alimentos y de farmacia.

En este documento se hizo una revisión bibliográfica sobre uno de los productos emblemáticos de una de las tesis que él dirigió, el mole negro, elaborado con un chile autóctono de Oaxaca, actualmente conocido como chilhuacle (del náhuatl chilli, chile, y de las palabras ezchahuqui o tlhuatzalli, secado, chile secado con humo de leña+ o huaquí, seco, según Cabrera*). Una de sus estudiantes (Radix-Hernández, 2008) hizo un Trabajo Monográfico para obtener su título de Química de Alimentos y dentro de los siete moles que han hecho a Oaxaca un estado famoso en la gastronomía, abordó el tema del mole

negro, cuyo principal ingrediente es justamente el chile descrito en la primera parte, el huacle o chilhuacuqui.

Es importante mencionar que el investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, en los Valles Centrales de Oaxaca, el M. en C. Porfirio López-López, es un experto en la materia y ha publicado numerosos estudios sobre los 25 chiles autóctonos de esa región mexicana. En una de sus publicaciones pone unas fotografías de las flores de donde proviene este chile y de los tres colores en que puede presentarse (Figuras A y B) (López-López y Pérez-Bennetts, 2015) y en otra realizada con un grupo de expertos mexicanos publican mapas de todas y cada una de las regiones en las que se cultivan estos frutos inigualables indicando datos precisos de cada uno de ellos. Es un libro que sistematiza este conocimiento ancestral de uno de los regalos de México al mundo (Aguilar-Rincón et al., 2010). A continuación se pone como ejemplo el mapa que se señala el sitio de origen del chile huacle y sus características (Figura C), así como los deliciosos platillos que se preparan con este noble fruto, tanto seco como fresco (Figura D) (Aguilar-Rincón et al., 2010).



Figura 1. Estadísticas preocupantes hasta 2020, informe (OPS, 2021).
Fuente: Cortesía de López-López y Pérez-Bennetts, 2015

* Traducción tomada de <https://www.translatenahuatl.com/en/dictionary-english-nahuatl/dried>

² Cabrera, L. 2002. Diccionario de aztequismos. Obra póstuma. Revisión y puesta en orden: J. Ignacio Dávila-Garibi. Términos nahuas: Luis Reyes-García. Términos latinos (clasificaciones botánicas y zoológicas): Esteban Inclarte. 5ª ed. Ed. Colofón S.A. Ciudad de México, México

⁴ Al buscar al M.C. Porfirio López-López los tres primeros autores fuimos informados por personal del INIFAP que estaba jubilado

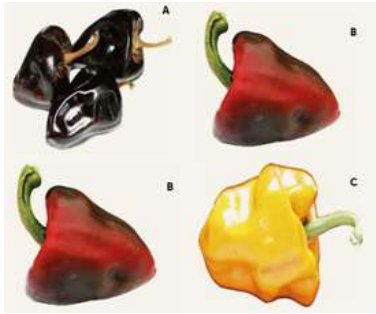


Figura B. Frutos de Huacle (*Capsicum annum*): A, negro, B, rojo y C, amarillo
Fuente: Cortesía de López-López y Pérez-Bennetts, 2015



Figura C. Cortesía de Aguilar-Rincón y colaboradores (2010) a través del M. en C. P. López-López



Figura D. Preparación de moles con el chile Huacle seco o fresco (Cortesía de Aguilar-Rincón y colaboradores, 2010, a través del M. en C. P. López-López)

Trabajo Monográfico "Los moles de México" (Radyx-Hernández, 2008)

Yendo ahora al Trabajo Monográfico que conforma para esta segunda parte su corazón, algo verdaderamente atractivo son las citas con una fotografía alusiva para cada capítulo. Esto incluye la introducción, los objetivos, las conclusiones, la bibliografía, el glosario y el anexo. Los tres primeros autores se permitieron tomarlos para enriquecer el texto alusivo al mole negro, que es el

objeto de este documento. A continuación se presenta justamente la cita y fotografía de la introducción (Figura 1) y los objetivos (Figura 2) escritos por la autora.

"...
PARA EL MEXICANO EL MOLE NO SÓLO ES ALIMENTO, SINO UN SÍMBOLO QUE REPRESENTA IDENTIDAD. TIENE UNA RAÍZ TAN NUESTRA QUE SÓLO SON CAPACES DE COMPRENDERLA QUIENES COMPARTEN ESE SENTIMIENTO DE MEXICANIDAD Y GASTRONOMÍA PROPIA, QUE HUNDE SU ORIGEN EN LOS TIEMPOS MAS REMOTOS Y TIÑE CON INTENSOS COLORES LA COCINA ACTUAL.
CHAPA, 2005



Figura 1. Cita y fotografía de la introducción del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)"

La Q.A. Radyx-Hernández señala en la introducción de su Trabajo Monográfico (2008) lo siguiente:

"Siendo un platillo tradicional mexicano, preparado generación tras generación, la documentación sobre los diferentes moles es escasa y, por esta razón, decidí abordar este tema y hacer una herramienta que sea piedra angular para futuras investigaciones. En este documento se incluyen diversos aspectos de los moles que se elaboran en la República Mexicana, presentando y analizando diferentes clasificaciones con base en sus atributos y la región en que se elaboran."

"Se realizó una intensa búsqueda de recetas, en particular del mole poblano y de los siete moles oaxaqueños, identificando la frecuencia con que aparecen los ingredientes, coincidencias y diferencias en su forma de preparación."

“Para este trabajo de investigación se realizaron diversas actividades como fueron:”

“Visitas a diversas bibliotecas (Facultad de Química, Biblioteca Central, Fondo Antiguo, las tres de la UNAM, la Biblioteca Nacional, la del INCMYSZ, la del Conaculta, la de la Fundación HERDEZ, la de la Gastronomía Mexicana, la del IPN Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, la de la Universidad del Claustro de Sor Juana, la de la Universidad Iberoamericana y la de la Escuela de Administración de Instituciones de la Universidad Panamericana, escuela de hospitalidad pionera en México, ESDAI).”

“Se visitaron las ferias del mole realizadas en la entonces Delegación Benito Juárez, la de San Pedro Atocpan entrevistando al mayor productor del lugar.”

“Se hizo investigación hemerográfica, la adquisición de libros y revistas. Se realizó la degustación de moles, así como la investigación de las recetas más representativas de estos platillos, clasificando las recetas y sus ingredientes, pesando cada uno de ellos y haciendo videos de la preparación de los diferentes moles.”

“En el primer capítulo se dieron algunas definiciones relativas al mole, dándose diferentes versiones del origen del mole poblano, que van desde lo anecdótico, poético y hasta histórico. Se incluyó un valioso trabajo de investigación periodística realizado por Paco Ignacio Taibo I sobre el mole y sus orígenes en los medios de publicación escritos. También se puso en contexto la importancia de los moles, su religiosidad, su rareza y su afinidad con la festividad mexicana. También se presentaron los

aspectos técnicos diferenciadores de los moles con sus contrapartes adobos y pipianes, así como las clasificaciones de estos, ya fuera por su textura, color, lugar de elaboración, carnes, entre otras cualidades.”

“En el segundo capítulo se describieron las técnicas tradicionales para la elaboración de los moles en estudio, permitiendo distinguir la frecuencia de los ingredientes, proporciones, porcentajes, acercando al(a) lector(a) para obtener los valores nutrimentales de este platillo suculento por excelencia. Con base en múltiples análisis de las recetas obtenidas (en algunos casos cercanas a las cuarenta), se hizo una integración y estandarización de ellas para la obtención de aquella receta que, de acuerdo con la autora, rescata la esencia del mole en cuestión, permitiendo asegurar su identidad, perpetuar su consistencia, sabor, olor y tradición.”

“Por último, en el capítulo tercero se presenta la información relacionada con la normativa técnica oficial, así como todo aquello que pudiera formar parte de una propuesta para establecer una Norma de Denominación de Origen diferenciada.”

“Este trabajo de investigación, al igual que cada mole, toma las expresiones, investigaciones y opiniones de los autores, las desmenuza, despepita, desvena y muele, integrándolos con las recetas, experiencias y tradiciones de la cocina mexicana, formando una deliciosa guía al misticismo de este platillo.”

Los objetivos de este Trabajo Monográfico fueron (Radix-Hernández, 2008) los siguientes (Figura 2).

“...
SÓLO LAS OLLAS SABEN

LOS HERVORES DE SU CALDO

NO HAY MOLE

SI NO SE MUELE



Figura 2. Cita y fotografía de los objetivos del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)

“Objetivo general”

“Realizar una revisión bibliográfica sobre los moles de México, poniendo énfasis en el mole poblano y los moles oaxaqueños, desglosando sus recetas e identificando la frecuencia con que aparecen sus ingredientes y las distintas formas de preparación.”

“Objetivos particulares”

“Cuantificar los ingredientes de los diferentes tipos del mole y sus procesos para facilitar la implementación de un sistema de calidad.”

“Analizar los requisitos de calidad del producto terminado en las normas relacionadas al mole para su aplicación.”

“Realizar una compilación actualizada en la materia, a fin de introducir al desarrollo de una norma de denominación de origen de este producto.”

De ellos en esta segunda parte se verá lo relativo al mole negro, tanto en el objetivo general, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada por la ahora QA Miriam Radyx Hernández (2008), como los particulares, especialmente la forma de acercarse a este tema tan personal de cómo preparar un platillo tan emblemático como este. La Figura

3 muestra la cita y fotografía para esta sección.

Revisión bibliográfica

“...
PA' QUE QUIERO MÁS AGRURAS
SI CON MI MOLE ME BASTA

MOLE SIN AJONJOLI
NI PARA TÍ, NI PARA MÍ



Figura 3. Cita y fotografía de la revisión bibliográfica del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)

“El origen de la palabra mole es un aztequismo, que viene de la palabra mol, mulli, que significa guisado-potaje-salsa (Lomelí, 1991). Se menciona también que la palabra mole proviene de la época prehispánica de la palabra náhuatl molli o mulli (Cabrera, 2002), que quiere decir salsa (Chapa, 2005). El mole es una salsa espesa preparada con diferentes chiles, jitomates, especias y condimentos, el cual difiere de región en región y en cada una de ellas se encuentra un toque distintivo, siendo habitual utilizarlo en eventos festivos tales como bodas, bautizos, cumpleaños y en las fiestas de los santos patronos de cada pueblo.”

Historia del Mole

“La cocina constituye un elemento fundamental de la cultura mexicana, por lo que alrededor de ella se genera un gran número de leyendas y tradiciones

de las que no se escapa uno de sus platillos favoritos: El Mole.”

Estas leyendas y tradiciones están dirigidas al llamado mole poblano. La autora toma varias páginas de su Trabajo Monográfico para narrarlas. Se invita a las y los lectores(as) a leerlas ya que son interesantes. Para el mole negro de Oaxaca no hay tales así que se procederá a ver las recetas encontradas por la autora.

otros: Mole de flor de jamaica con langosta, mole de novia, mole huasteco, mole de chapopote, mole negro oaxaqueño, mole de castilla, mole de Xico, mole de tamarindo, mole pico de damas al foie gras y mole poblano. Los moles también son clasificados de acuerdo con el lugar de elaboración. Autores como Chapa (2005), Lomelí (1991), Rhijn (1993), Taibo I (1981, 2003), Quintana (1992, 1999, 2005), entre otros, ... y, para Oaxaca, en el proceso de creación de la comida oaxaqueña se dan cita componentes inesperados, resultado de accidentes históricos que en su momento cambiaron el mundo (Caraza-Campos, 1996)”.

“La clasificación propuesta para la gran diversidad de moles oaxaqueños es en tres grupos. En primer lugar, los más importantes que serían los siete moles oaxaqueños citados por Velásquez-de-León (1991) y Trilling (2003), el segundo grupo incluiría todos aquellos moles que no correspondan al primer grupo, en el tercer grupo se incluyen todos los platillos en los que participa el mole como salsa. Los más importantes (y relacionados con el chile Huacle) son: Amarillo: Uno de los siete moles de Oaxaca; contiene chiles chilhuacles amarillos, o chiles costeños amarillos, junto con otros chiles, tomate

y tomatillos. Se espesa con masa y se le da sabor con hierba santa, cilantro o pitona, según la carne que se use (Trilling, 2003). Negro: El rey de los moles. Obtiene su color negro porque los chiles se tuestan hasta quedar oscuros y se queman las semillas. Tiene más de 25 ingredientes y es uno de los dos moles que contiene un trocito de chocolate. Se hace para el Día de Muertos y otras festividades. Una autora señala que esta salsa se usa para hacer enmoladas (Trilling, 2003). Y muchos más citan a este ‘rey de los moles’ (Belman-Gay, 2006; Caraza-Campos, 1996; Chapa, 2005; Dalton, 2000; Flores-Montiel, 2003; Gironella-D’Angelli, 1993-1999; Henestrosa-Ríos-de-Webster, 2000; Lomelí, 1991; Merlín-Arango y Hernández-López, 2000; Rhijn, 1993; Quintana, 1992, 1999, 2005; Taibo I, 1981, 2003; Tajonar-Campo, 1975; Velásquez-de-León, 1991; Voluntariado Nacional, 1988).”

“Para terminar con las clasificaciones del mole se cita las gubernamentales. De acuerdo con la NOM-F-422-1982 (DOF, 1982), el mole se clasifica en tres tipos, con su grado de calidad, asignándose como mole y sus variedades. TIPO I Mole en polvo granulado o comprimido, TIPO II Mole en pasta, TIPO III Mole líquido. Con el pliego de condiciones para el uso de la marca Oficial México Calidad Suprema en Mole, PC-019-2004 (PC, 2004) se clasifica en: TIPO I Mole en polvo granulado o comprimido. Polvo seco, granulado o comprimido de fácil suspensión.”

“La revista semanal Día Siete No. 359 dedicó un artículo al origen y la evolución del mole, presentando a tres personajes conocedores del tema: Alicia Gironella-D’Angeli, Ricardo Muñoz-Zurita y Patricia Quintana; ade-

más de una clasificación de los moles de México en tipo, ingredientes y el estado. Los moles contienen diferentes orígenes, historias y leyendas siendo enfocadas la mayoría de éstas en el Estado de Puebla. Al llevar a cabo una recapitulación del mole es de remarcar que los libros y las personas identifican principalmente el mole poblano y los moles oaxaqueños. Por consiguiente debido a la gran cantidad y diversidad de moles existentes se proseguirá a estudiar solamente dos regiones de México, el mole poblano y los siete moles oaxaqueños.”

Elaboración del mole negro

“Existen siete moles oaxaqueños de acuerdo con Velásquez-de-León (1991) y Trilling (2003), empezando por orden alfabético son: Mole amarillo, chichilo, coloradito, manchamanteles, negro, rojo y verde. Cada uno de ellos presenta un color, sabor y olor diferentes (Figura 4).”

“PASCUALITO MUY QUERIDO MI SANTO PASCUAL BAILÓN YO TE OFREZCO ESTE GUISITO
Y TU PONES LA SAZÓN

“Mole negro”

“Se revisaron veintinueve recetas de diecinueve autores diferentes presentando algunas características específicas. Los autores por su parte agregan ingredientes diferentes y le ponen su

propia sazón a la ya elaborada receta. Para el estado de Oaxaca la autora cita a Trilling (2003), quien comenta acerca del mole negro:”

‘...El mole negro oaxaqueño, el rey de los moles. Esta ardiente salsa negra es una fascinante combinación de chiles secos de la región. Requiere chilhuacle negro, un chile ancho negro que se encuentra solamente en Oaxaca, además de otros chiles; cinco en total. Los chiles se tuestan hasta que se quedan negros y se remojan. Se asan las cebollas y los ajos. Los tomates (jitomates) y tomatillos (tomates verdes de pergamino) se fríen despacio hasta que se secan. De las nueces y semillas, algunas se tuestan y otras se fríen. Las semillas de ajonjolí requieren el mayor cuidado, con mucho amor y atención. Las especias, pimientas, clavos y trozos de canela se tuestan también para extraer su sabor. Las hierbas de olor -ramilletes de tomillo, mejorana y orégano- a menudo se fríen junto con plátanos machos, pan y pasitos.’

“También De la Vega-Arnaud (2006) comenta acerca del mole negro:”

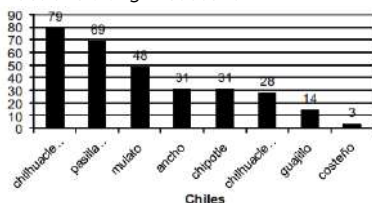
‘El mole negro: es el más complejo de todos. Lleva seis tipos de chiles (chilhuacle negro, mulato, pasilla, ancho, guajillo y chipotle) y sus semillas, plátano macho, jengibre, cebolla, jitomate, miltomate, clavo, pimienta negra y gorda; semillas (almendras, nueces, ajonjolí y cacahuates), pan, tortillas, mejorana, hoja de aguacate, orégano, tomillo, comino, canela, chocolate, azúcar y sal.’

“Ingredientes”

“Existen treinta y siete ingredientes presentes en el mole negro, de acuerdo con las diferentes recetas. Para su análisis se presentan gráficas de frecuencias. Por la amplia gama de componentes se dividieron en tres grupos: El primer grupo corresponde al chile, como ingrediente principal, el segundo grupo incluye la carne y el tercero los demás ingredientes.”

“Chiles”

En la Gráfica 1 se muestra la frecuencia de chiles utilizados para la elaboración del mole negro oaxaqueño en veintinueve recetas diferentes, se observó que son ocho los chiles más utilizados ocupando el primer lugar el chile chilhuacle negro 79%, prosiguiendo con el chile pasilla mexicano 69%, mulato 48%, ancho y chipotle 31%, chilhuacle colorado 28%, guajillo 14% y el siguiente chile presenta la menor frecuencia al 3% costeño.



Gráfica 1. Frecuencia de chiles presentes en veintinueve recetas de mole negro oaxaqueño (Cortesía de Radyx-Hernández, 2008)

Haciendo un análisis de las recetas para la elaboración del mole negro se encontraron once de éstas que utilizan cuatro chiles (mostrados en la Tabla 1), cuatro de éstas ocupan el chilhuacle negro, chipotle, pasilla y mulato siendo el más frecuente; se mencionaron en tres recetas chilhuacle negro, chilhuacle colorado, pasilla y mulato; en dos recetas chilhuacle negro, chilhuacle colorado, pasilla y ancho; en una receta chilhuacle negro, chilhuacle colorado, guajillo y mulato, en otra receta pasilla, chipotle, ancho y mulato y, en otra receta, ancho, chipotle, mulato y pasilla. De la Tabla 1 los siguientes autores corresponden al número de receta: 1 Quintana (1992), 2 y 3 Gironella-D'Angelli (1993-1999), 4 Caraza-Campos (1996), 5 y 6 Flores-Montiel (2003), 7, 8, y 9 Taibo I (2003), 10 Belman-Gay (2006) y 11 Quintana (1992). Se encontraron diez recetas más que utilizan tres chiles (mostrados en la Tabla 2). Se observó que tres de éstas se elaboran con tres chiles siendo el más frecuente el chilhuacle negro, el pasilla y el mulato; se mencionan en dos recetas chilhua-

cle negro, pasilla y chipotle; chilhuacle negro, pasilla y ancho en otras dos recetas; ancho, guajillo y costeño en una receta; pasilla, ancho y mulato en una receta; chilhuacle negro, pasilla y chilhuacle colorado se mencionaron en una receta.”

RECETAS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TIPO	Ancho		X					X				X
	Chilhuacle colorado	X	X	X				X		X	X	
DE	Chilhuacle negro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Chipotle			X		X	X		X			X
CHILES	Costeño											
	Guajillo										X	
	Mulato	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Pasilla mexicana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 1. Tipos de chiles empleados para la elaboración de mole negro en diferentes recetas

Recetas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TIPO	Ancho		X	X				X	X		
	Chilhuacle colorado									X	
DE	Chilhuacle negro	X	X	X	X	X	X			X	X
	Chipotle	X		X							
CHILES	Costeño							X			
	Guajillo						X				
	Mulato					X	X		X	X	X
	Pasilla mexicana	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla 2. Tipos de chiles empleados para la elaboración del mole negro en diferentes recetas

Los autores de las recetas de la Tabla 2 son: 1 Voluntariado Nacional (1988), 2 Lomelí (1991), 3 Velásquez-de-León (1991), 4 Quintana (1992), 5 Rhijn (1993), 6 Gironella-D'Angelli (1993-1999), 7 Dalton (2000), 8 Henestro-sa-Ríos-de-Webster (2000), 9 Taibo I (2003) y 10 Kennedy (1994).

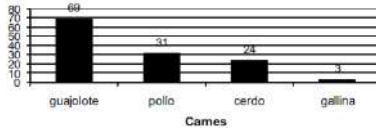
“Se encontraron tres recetas con cinco chiles que corresponden a Velásquez-de-León (1991) dos recetas y una de Trilling (2003); chilhuacle negro, pasilla mexicana, chipotle, ancho y chilhuacle colorado; chilhuacle negro, pasilla, chipotle, guajillo y mulato; chilhuacle negro, pasilla, chipotle, ancho y guajillo.”

“Con dos chiles se encontraron tres recetas diferentes que corresponden a

Chapa (2005) y Molina (1985), siendo los chile más frecuente chihuacle negro y mulato, chihuacle negro y pasilla mencionada en una receta de Quintana (1992). Con un chile se encontraron dos recetas diferentes que corresponden a Tajonar-Campo (1975) y Merlín-Arango y Hernández-López (2000), siendo el chihuacle negro o el chile ancho.”

Carnes

Como se puede ver en la Gráfica 2 de la variedad de carnes que se ocupan para la elaboración del mole negro oaxaqueño, la carne de guajolote es la más utilizada, ya que se encontró en las recetas 69% posteriormente la carne de pollo 31%, la carne de cerdo 24% y la de gallina 3%. Haciendo un análisis de las recetas para la elaboración del mole negro se encontraron veintidós recetas con una carne (mostradas en la Tabla 3), observando que trece de ellas se elaboran con guajolote, siete recetas con pollo y cerdo y una con gallina.



Gráfica 2. Frecuencias de tipo de carne presente en veintinueve recetas de mole negro oaxaqueño

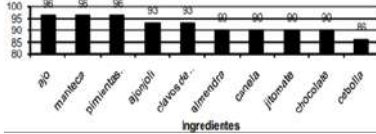
TIPOS DE CARNES				
Recetas	Cerdo	Gallina	Guajolote	Pollo
1			X	
2			X	
3		X		
4			X	
5				X
6				X
7			X	
8			X	
9				X
10				X
11			X	
12			X	
13			X	
14			X	
15			X	
16			X	
17			X	
18			X	
19				X
20	X			
21				X
22				X*

Tabla 3. Tipos de carnes empleadas para la elaboración de mole negro en diferentes recetas

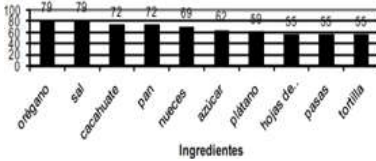
“Los autores de las recetas son: 1 Lomelí (1991), 2,3 y 4 Velásquez-de-León (1991), 5 y 6 Quintana (1992), 7 Rhijn (1993), 8 Gironella-D’Angelli (1993-1999), 9 Dalton (2000), 10 Henetrosa-Ríos-de-Webster (2000), 11 Merlín-Arango y Hernández-López (2000), 12 Caraza-Campos (1996), 13 y 14 Flores-Montiel (2003), 15,16 y 17 Taibo I (2003), 18 Belman-Gay (2006), 19 Trilling (2003), 20 y 21 Quintana (1992) y 22 Kennedy (1994). Seis recetas que corresponden a Tajonar-Campo (1975), Voluntariado Nacional (1988), Taibo I (2003), Chapa (2005) y Molina (1985) se elaboran con dos carnes siendo las más frecuentes el guajolote y el cerdo; el guajolote y el pollo se mencionó en una de las recetas de Gironella-D’Angelli (1993-1999). Se muestra en otra receta de Gironella-D’Angelli (1993-1999) la elaboración con tres carnes: guajolote, cerdo y pollo.”

"Otros"

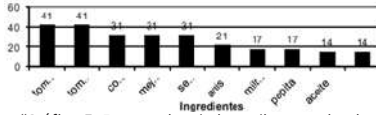
"En las Gráficas 3 a 6 se muestra la frecuencia de los otros ingredientes presentes en veintinueve recetas del mole negro oaxaqueño. El ajo, manteca y pimienta se encontraron con mayor frecuencia, 96%. Los ingredientes menos frecuentes son el cilantro y la calabaza entre otros como se muestra en la Gráfica 6."



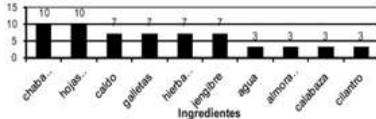
"Gráfica 3. Frecuencias de ingredientes mayoritarios presentes en 29 recetas de mole negro oaxaqueño"



"Gráfica 4. Frecuencias de otros ingredientes presentes en 29 recetas de mole negro oaxaqueño"



"Gráfica 5. Frecuencias de ingredientes minoritarios presentes en 29 recetas de mole negro oaxaqueño"



"Gráfica 6. Frecuencias de ingredientes presentes en 29 recetas de mole negro oaxaqueño"

"Proporciones en masa de los ingredientes utilizados en la elaboración de mole negro"

"Una vez obtenidos los ingredientes principales de todas las recetas del mole negro oaxaqueño que se encontraron, se pesaron las cantidades mencionadas por los autores. Posteriormente, se seleccionaron aquellos

autores que tuvieran proporciones y cantidades similares de ingredientes además de asemejar el número de comensales, lo cual dejó solamente nueve recetas como se observa en las Tablas 4a hasta i."

Receta [Quintana (1992) 1]	Gramos	%
Manteca	1000	20
Jilomatate (tomate rojo)	1000	20
Chile	953	19
Almendra	500	10
Ciruela pasa	384	8
Chocolate	350	7
Pan, tortilla	275	5
Plátano macho	247	5
Ajonjolí	180	4
Ajo	53	1
Semilla de chile	50	1

"Tabla 4a. Masa y % ingredientes"
"Tabla 4b. Masa y % ingredientes"

Receta [Quintana (1992) 2]	Gramos	%
Chile	1400	30
Jilomatate (tomate rojo)	950	19
Cebolla	583	12
Pan, tortilla	500	10
Chocolate	350	7
Manteca	312	6
Azúcar	250	5
Ciruela pasa	128	3
Ajo	123	2
Ajonjolí	120	2
Jengibre	60	1

"Para mayor claridad se agruparon los ingredientes de acuerdo con sus características y semejanzas, algunos de forma botánica, como se menciona a continuación y con ello se realizó la comparación de esas nueve recetas donde se muestra el porcentaje de cada grupo de ingredientes (Tabla 5)."

Receta [Quintana (1992) 3]	Gramos	%
Cebolla	350	21
Manteca	312	19
Plátano macho	247	15
Almendra y cacahuate	180	11
Tomate	160	10
Ajonjolí	120	7
Chile	110	7
Chocolate	90	5
Pan y tortilla	67	4
Ajo	15	1
-	-	-
-	-	-

"Tabla 4c. Masa y % ingredientes"
"Tabla 4d. Masa y % ingredientes"

Receta [Quintana (1992) 4]	Gramos	%
Jilomatate o tomate	2160	33
Chile	1035	16
Almendra, cacahuat e, nuez	700	11
Manteca	624	10
Cebolla	583	9
Chocolate	300	5
Ajonjolí	250	4
Plátano macho	247	4
Pepita	200	3
Hoja de aguacate	160	2
Tortilla	78	1
Ajo	42	1

Receta [Kennedy (1994)]	Gramos	%
Jitomate (tomate rojo)	250	18
Plátano macho	247	18
Chile	245	18
Cebolla	233	17
Manteca	117	8
Almendra y cacahuete	73	5
Chocolate	60	4
Pan y tortilla	59	4
Ajonjolí	30	2
Pasas	19	1
Ajo	18	1
Tomillo	10	1

“Tabla 4e. Masa y % ingredientes”
 “Tabla 4f. Masa y % ingredientes”

Receta [Trilling (2003)]	Gramos	%
Tomate verde (tomatillo)	350	25
Plátano macho	247	18
Cebolla	233	17
Chile	194	14
Chocolate	125	9
Ajonjolí	60	4
Aceite o manteca	60	4
Almendra y cacahuete	40	3
Ajo	18	1
Pan	15	1
Pasita	10	1
Hoja de aguacate	8	1

Chile	7-30%	Ancho, chilhuacle colorado, chilhuacle negro, chipotle, costeño, guajillo, mulato y pasita mexicana (orden alfabético)
Chocolate	1-9%	Cacao
Edulcorante	<1-5%	Azúcar
Especia	1%	Tomillo
Espesante	<1-10%	galleta, pan y tortilla
Semillas y frutos secos	3-25%*	ajonjolí, almendra, cacahuete, ciruela pasa y nuez
Grasa	4-20%	Manteca
Fruto, rizoma (tubérculo)	1-18%	plátano macho, jengibre
Hierba	<1 -2%	hoja de aguacate
Hortalizas	15-64%	
Hortaliza de bulbo	1-22%	ajo y cebolla
Hortaliza de fruto	4-48%	jitomate (tomate rojo), tomate verde (tomatillo)

“Tabla 5. Comparación de las nueve recetas estudiadas”

Receta [Gironella; D'Angelli (1993-1999) 1]	Gramos	%
Jitomate (tomate rojo)	1625	48
Chile	750	22
Cebolla	466	14
Chocolate	180	5
Almendra, cacahuete, nuez	150	4
Ajo	70	2
Ajonjolí	50	1
Pepita	50	1
-	-	-
-	-	-

“Tabla 4g. Masa y % ingredientes”
 “Tabla 4h. Masa y % ingredientes”

Receta [Gironella; D'Angelli (1993-1999) 2]	Gramos	%
Chile	1250	25
Jitomate (tomate)	1250	25
Plátano macho	741	15
Cebolla	466	9
Chocolate	450	9
Almendra, cacahuete, nuez	300	6
Galleta	250	5
Ciruela pasa	200	4
Ajonjolí	100	2
Ajo	35	1

RECETAS (%)										
	Quinta (1992)	Quinta (1992)	Quinta (1992)	Quinta (1992)	Kennedy (1994)	Trilling (2003)	Gironella; D'Angelli (1993-1999) 1	Gironella; D'Angelli (1993-1999) 1	Gironella; D'Angelli (1993-1999) 1	Gironella; D'Angelli (1993-1999) 1
Chile	20	30	7	19	18	14	23	25	28	
Chocolate	7	7	5	5	4	9	5	9	1	
Edulcorante	<1	5	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	
Especia	NM	NM	NM	NM	1	NM	NM	NM	NM	
Espesante	5	10	4	1	4	1	<1	5	1	
Fruto	5	1	15	4	18	18	9	15	NM	
Fruto seco	4+18	2+3	7+11	4+11	2+6	4+4	1+4	2+10	2+25	
Grasa	20	6	19	10	8	4	18	NM	18	
Hierba	NM	<1	<1	2	<1	1	<1	NM	<1	
Hortaliza	21	33	32	42	36	43	64	35	15	

“NM: No se menciona”

Receta [Gironella; D'Angelli (1993-1999) 3]	Gramos	%
Chile	1265	23
Manteca	1000	18
Almendra, cacahuete, nuez	875	16
Cebolla	500	9
Pasitas	500	9
Plátano macho	494	9
Semilla de chile	250	5
Jitomate (tomate)	220	4
Ajo	105	2
Ajonjolí	120	2
Cacao	63	1
Pan	45	1

“Tabla 4i. Masa y % ingredientes”

"Preparación"

"Con base en el estudio de las recetas antes mencionadas se diseñó una receta estándar cuya preparación se muestra en este apartado. Para la preparación del mole negro es necesario que algunos ingredientes lleven un tratamiento previo como se muestra a continuación."

"Tratamiento previo de ingredientes"

"Chiles

- Limpiar (despepitar y desvenar)
- Asar o tostar
- Remojar en agua caliente (15-20min) estén suaves
- Escurrir
- Moler
- Colar"

"Carnes

- Colocar la carne de guajolote en una olla
- Agregar (ajo, cebolla, agua suficiente para cubrirla y sal al gusto)
- Cocer a fuego lento (1½ horas)
- Colar"

"Tortillas, pan, semillas de chile

- Tostar
- Moler
- Colar"

"Ajonjolí y otros frutos secos (almen-
dras, cacahuete, nueces)

- Tostar por separado
- Moler por separado"

"Ajo, cebolla, pimienta, jitomate

- Asar
- Moler
- Colar"

"Plátano, canela, pasas, así como hojas
de aguacate y tomillo

- Plátano cortarlo
- Freír por separado
- Escurrir
- Moler"

"Incorporación y mezclado de ingre- dientes"

"A continuación se presenta la prepa-
ración del mole con los ingredientes
listos. En una olla se agregan los ingre-
dientes anteriores

- Cocinar con fuego suave (que salga la
grasa) 45min
- Mover
- Agregar la carne
- Agregar el chocolate
- Mover
- Agregar azúcar
- Agregar el caldo
- Sazonar
- Agregar la hoja de aguacate
- Cocinar a fuego lento 2 a 3 horas
- Mover"

"Lo que le da su característica única
a este tipo de mole son los siguientes
grupos de ingredientes presentes en
los resultados de frecuencias y porcen-
tajés."

Carne	guajolote
Chile	ancho, chiltuacile negro, chipotle, mulato y pasilla Chocolate
Especia	clavo, pimienta y tomillo
Espesante	pan y tortilla
Fruto	plátano macho
Fruto seco	ajonjolí, almendra, cacahuete y nuez
Grasa	manteca
Hierba	hoja de aguacate y orégano
Hortaliza	ajo, cebolla, jitomate y tomate"

"Algunos comentarios de los diferen-
tes autores se presentan a continua-
ción:"

- "Gironella-D'Angelli (1993-1999) y Flores-Montiel (2003) recomiendan engrasarse las manos antes de abrir los chiles con unas tijeras para no enchilarse las manos.
- Quintana (1992) tuesta las semillas y las venas de los chiles salpicándolos con agua.
- Trilling (2003) aconseja freír las pasitas hasta que se inflen. El mole debe tener un espesor cremoso."

"Se han realizado algunos trabajos
de investigación relacionados con la
industrialización del mole negro. Entre
ellos puede citarse a:"

"1. Cruz-Toledo (2003) quien desarrolló "Una tecnología para la elaboración del mole negro líquido". En la Tabla 6 se presenta el listado de las materias primas.

Primera etapa: Se recibe la materia prima, seguida de su almacenamiento. Segunda etapa: Se realiza su acondicionamiento.

Tercera etapa: Se hace el freído por inmersión. El alimento se ingresa cuando la grasa está entre 175 y 200°C, requiriendo el empleo de un termopar con el fin de determinar las temperaturas exactas y el tiempo necesario para cada una de las materias primas para lograr la estandarización del proceso. Cuarta etapa: Se hacen la molienda y mezclado de los ingredientes con el agua y la eliminación de la materia no deseable.

Quinta etapa: Cocción del mole, además de la formulación del mole líquido."

Materia prima	Masa (g)	Porcentaje (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Observaciones
Ajo	15	0.1843	138.42	12	
Ajonjolí	100	1.2292	138.42	12	
Agua	5500	67.6090			
Azúcar	25	0.3073	138.42	12	
Cacahuate	250	3.0731	162.70	30	
Canela	20	0.2458	138.42	12	
Cebolla	90	1.1063	138.42	12	
Ciavo	5	0.0614	138.42	12	
Chile ancho	230	2.8272	141.65	15	Consistencia maleable, color y sabor agradables
Chile pasilla	230	2.8272	141.65	15	Consistencia maleable, color y sabor agradables
Chile mulato	300	3.6877	141.65	15	Consistencia maleable, color y sabor agradables
Chocolate	100	1.2292	162.70	30	
Jitomate	350	4.3023			
Laurel	5	0.0614	138.42	12	
Manteca	710	8.7277			
Mejorana	5	0.0614			
Orégano	15	0.1843	138.42	12	
Plátano macho	150	1.8438	155	22	Producto cocido, sabor y color agradables
Pimienta negra	5	0.0614	138.42	12	
Sal	25	0.3073	138.42	12	
Tomillo	5	0.0614	138.42	12	
Total		100"			

"2. Diseño y evaluación del proceso térmico para mole negro enlatado" (Meza-Pacheco, 2002). En este estudio se encontró que para una lata de 211x300 mm, el punto de más lento calentamiento para el centro de la lata, el llamado punto frío, para este producto se localizó a 38.1 cm (1.5 pulgadas) de la parte central de la lata con un tiempo de proceso de 58 minutos, manteniendo una temperatura en la autoclave de 250°C. Este tiempo de esterilización deberá hacer que las condiciones de procesamiento del mole negro sean menos drásticas para evitar su sobrecoccimiento en el interior de la lata."

Con este último punto sobre la elaboración del mole negro, ahora se verá el siguiente objetivo específico, del Trabajo Monográfico de la Q.A. Radyx-Hernández (2008), que era el de la aplicación de la normativa vigente, en este caso para el mole negro de Oaxaca.

Normativa relacionada con el mole

Para este tercer capítulo del Trabajo Monográfico se tienen las siguientes cita y fotografía (Figura 5).

"...
SI DE PRISA HACE EL MOLE,
¿QUÉ DEJA PA' HACER DESPACIO?"

SI PRETENDES MOLE,
CUIDA LA OLLA



Figura 5. Cita y fotografía de la revisión bibliográfica del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)

"La normativa aplicable al mole, de

manera genérica, da parámetros de calidad para el consumo humano. Es la Norma NMX-F-422-1982 Productos alimenticios para uso humano - alimentos regionales - mole y sus variedades (DOF, 1982).”

“Esta norma determina las especificaciones que debe reunir el mole y sus variedades destinadas para el consumo humano: Fisicoquímicas, microbiológicas, presencia de materia extraña, parámetros sensoriales y uso de aditivos. Además, cita la definición, la clasificación del mole y los métodos de muestreo cuando éste se requiera. También se mencionan especificaciones de marcado, etiquetado, envase, embalaje y almacenamiento.”

“Por otro lado, el pliego de condiciones PC-019-2004 retoma algunas de las especificaciones de la norma NMX-F-422-1982 mejorando los parámetros de calidad en el producto terminado, entre los cuales se encuentran los que a continuación se detallan:”

“Pliego de Condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Mole PC-019-2004”

“En este documento se realiza una descripción de las especificaciones que debe cumplir el mole, en este caso, el mole poblano para conseguir el sello de México Calidad Suprema, que lo identifique como un producto de calidad superior. Este sello es propiedad del gobierno federal. Este pliego incluye tres tipos de mole que se mencionan a continuación:”

- “Tipo I. Mole en polvo granulado o comprimido. Polvo seco, granulado o comprimido de fácil suspensión.”
- “Tipo II. Mole en pasta. Pasta semisólida de suavidad homogénea.”
- “Tipo III. Mole líquido. Líquido semifluido o espeso de acuerdo con la variedad.”

“Los productos dentro de esta clasificación tienen un solo grado de calidad.”

“Los productores que pretendan obtener el distintivo de Calidad Suprema deben cumplir con las siguientes especificaciones:”

- “Buenas prácticas de manufactura, BPM
- Requisitos de calidad de la materia prima
- Requisitos de calidad del producto terminado:”

“Las especificaciones tanto microbiológicas como fisicoquímicas y sensoriales que debe cumplir el producto terminado en cualquiera de sus presentaciones se detallan a continuación en las Tablas 7 y 8.”

Microorganismo	Tipo I Máximo permitido	Tipo II Máximo Permitido	Tipo III Máximo Permitido
Cuenta de organismos mesofílicos aerobios (cuenta estándar)	500,000 UFC/g	500,000 UFC/g	
Coliformes totales	500 UFC/g	500 UFC/g	
Hongos	500 UFC/g	500 UFC/g	
Levaduras	500 UFC/g	500 UFC/g	
<i>Salmonella</i> (en 25 g)	Negativo	Negativo	
<i>Staphylococcus aureus</i> (en 0.1g)	Negativo	Negativo	
<i>Escherichia coli</i> (en 0.1 g)	Negativo	Negativo	
Cuenta de organismos termofílicos anaerobios		Negativo	100 UFC/g
Cuenta de organismos termofílicos aerobios		Negativo*	

“Tabla 7. Especificaciones microbiológicas de los diferentes tipos de mole”

Especificaciones	Tipo I		Tipo II		Tipo III	
	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
Humedad %	-	8	-	8	-	8
Cenizas %	-	11	-	11	-	3
Proteínas %	8	-	5	-	1.2	-
Fibra cruda %	-	15	-	8	-	3.5
Extracto etéreo %	10	-	4.5	-	2	-
pH	6.5		5.5		4.5*	

“Tabla 8. Especificaciones fisicoquímicas para los diferentes tipos de mole”

El producto objeto de esta norma no debe exceder las tolerancias expresadas a continuación:”

“Promedio de 25 insectos/25 g. 100 fragmentos de insecto por 25 g de muestra, promedio de 10 pelos de roedor por 25 g de muestra. NOTA: El

promedio se refiere a la determinación en cinco muestras por cada lote. Esto fue modificado como se muestra en la Tabla 3.”

Fragmentos de insecto	50
Insectos enteros	0
Pelos de roedor o algún animal	0
Otros adulterantes	0”

“Tabla 3. Especificaciones de materia extraña”

“Prosiguiendo con las especificaciones sensoriales:”

“El producto debe cumplir con las especificaciones dependiendo del tipo de producto del que se trate como se detalla a continuación:”

“- Consistencia

Tipo I. Polvo seco, granulado, comprimido de fácil suspensión

Tipo II. Pasta semisólida de suavidad homogénea

Tipo III. Líquido semifluido o espeso de acuerdo a la variedad”

“- Color. Característico de acuerdo con la variedad de la que se trate”

“- Olor. Característico de la variedad de la que se trate, sin presentar signo de rancidez u otro olor extraño.”

“- Sabor. Característico de la variedad de la que se trate y no representar ningún sabor extraño.”

“- Métodos de prueba

Marcado, Etiquetado, Envasado y Embalaje”

“- Almacenamiento”

“- Transporte”

“- Métodos de Muestreo

“- Evaluación de conformidad”

“Con esto se cierra la normatividad que existe del mole.”

“Denominación de origen”

La denominación de origen se refiere al nombre de una región geográfica del país que sirva para designar un producto originario de la misma y cuya calidad o característica se deban exclusivamente al medio geográfico, comprendido en éste los factores naturales y los humanos. Este marco garantiza, mediante un enfoque más uniforme, unas condiciones de competencia leal entre los productores de los productos que se benefician de estas indicaciones y hace que dicho productos gocen de una mayor credibilidad a los ojos de los consumidores.”

“El origen de la denominación”

Respecto al origen de las denominaciones de origen, el jurista Dr. Astudio, de Caracas, Venezuela, comenta:”

‘Con el desarrollo del comercio a partir del Siglo XI, una serie de productos de diversa naturaleza fueron adquiriendo notoriedad por ser distinguidos con nombres geográficos. Ejemplos de ellos son el mármol de Carrara, Cedros del Líbano, Cognac y Queso Parmesano. No obstante, históricamente han sido regiones vinícolas las que más han individualizado su producción a través de los nombres de las regiones de elaboración. Con la organización corporativa que tiene lugar en Europa a partir de dicho siglo, hacen aparición las marcas “colectivas” o de “corporación”, adoptadas por asociaciones profesionales de artesanos para distinguir sus productos, las cuales aún existen y son un privilegio de control de la comercialización de productos emanados de talleres de maestros artesanos miembros de una corporación determinada. Dichos artesanos frecuentemente adoptaron los nombres geográficos de los lugares de fabricación de sus productos para distinguirlos. Estos nombres geográficos utilizados como marcas, eran comúnmente propiedad del conjunto de artesanos o fabricantes de un producto de una misma localidad o región, lo que

trajo como consecuencia que estas marcas colectivas se asociaran en un principio, no sólo al origen geográfico de un producto, sino también a una determinada calidad, consecuencia de la intervención del hombre. Esta no diferenciación entre marcas colectivas y denominaciones de origen, se mantuvo en Europa hasta comienzo del Siglo XX, cuando en Francia se dicta en 1905 una Ley para la represión de los fraudes en la venta de mercancías y de falsificaciones de géneros alimenticios y de productos agrícolas, previéndose en la misma que las marcas deberán indicar las apelaciones regionales. Esta Ley fue complementada en 1912, cuando se dictó una Ley relativa a la protección de las denominaciones de origen, constituyendo ésta el primer instrumento legal específico sobre la materia. Posteriormente, en 1935 se dictó un Decreto-Ley creando la denominación de origen "controlada" para los vinos franceses.'

En cuanto a nivel internacional, existe en general una tendencia a la unificación de criterios en aspectos conceptuales, presentándose una cierta constante en cuanto a los elementos que conforman las diversas definiciones. Dicha unificación constituye una ventaja en cuanto a la comprensión de esta materia."

"Convenios internacionales"

"Existen dos importantes principios prevalecientes en la protección de los derechos de la propiedad intelectual. Uno de estos principios es el bien llamado principio de la independencia de los derechos de la propiedad intelectual, referente a que la protección en el país de origen no es requerida como una condición para la protección en otros países. Este principio ha sido expresamente reconocido en la Convención de París para la Protección de la Propiedad Industrial, relacionado con las patentes y marcas de fábrica en sus artículos 4 y 6. De igual modo en la base de un acuerdo especial

relacionado con las indicaciones geográficas (indicaciones de procedencia y denominaciones geográficas), llamado el Acuerdo de Madrid, para la represión de las indicaciones de procedencias falsas y engañosas de los productos. El primer adelanto de la protección otorgada por la Convención de París a las indicaciones de procedencia radica en la extensión del área territorial cubierta por la Unión de París, cuando el primero de septiembre de 1991 unió a 102 estados miembros. El otro principio es aquel que señala que se requiere protección en el país de origen como una condición para la protección en los otros países. Este principio (principio de dependencia), es la base de un acuerdo especial que ampara algunas clases de indicaciones geográficas (denominaciones de origen e indicaciones de procedencia), llamado el Acuerdo de Lisboa, para la protección de las denominaciones de origen y su registro internacional. En concordancia, las denominaciones de origen pueden disfrutar de una protección internacional si no está protegida como si fuese su país de origen. Para que una Denominación de Origen tenga derecho a la Protección Internacional, debe de satisfacer dos requisitos: -Que goce del reconocimiento y la Protección del Estado que solicita en su interior, previamente a la solicitud. -Que esté inscrita en el Registro Internacional de Denominaciones de Origen con sede en la ciudad de Ginebra, Suiza. El Registro Internacional de la Organización Mundial de la Propiedad Industrial no posee competencia para examinar la solicitud con respecto al fondo de la misma; éste sólo puede realizar un examen en la forma. Bajo el artículo 5 del Acuerdo de Lisboa, el Registro Internacional notifica sin demoras a las oficinas de los estados parte del Acuerdo de Lisboa y publica dicha información en su periódico Les Appellations D'Origine- Las Denominaciones de Origen (regla N° 5 de las regulaciones). Hasta septiembre de 1991, 727 denominaciones de origen habían sido registradas bajo el Acuerdo de Lisboa. El Estado Mexicano, se

adhirió al Tratado de Lisboa, el mismo día de su entrada en vigor, mismo que fue ratificado por la Cámara de Senadores y publicada en el Diario Oficial el 11 de julio de 1964.”

“Productos con Denominación de Origen”

“En la actualidad México tiene registrados hoy en día 11 productos con denominación de origen:

1. El Ámbar de Chiapas
2. La Bacanora
3. El Café de Chiapas
4. El Café de Veracruz
5. El Charanda
6. El Mango Ataúlfo del Soconusco de Chiapas
7. El Mezcal
8. El Olinalá
9. El Sotol
10. La Talavera
11. El Tequila”

“Actualmente se encuentra en proceso la denominación de origen del ‘mole poblano’, la cual está siendo llevada a cabo por la Cámara Nacional de la Industria de Restaurantes y Alimentos Condimentados (Canirac). Esta denominación es de suma importancia para la industria restaurantera, ya que una vez que se obtenga este distintivo se espera el incremento de turistas en la entidad. Este proyecto cuenta con el apoyo de la Secretaría de Desarrollo Rural y el sustento de los productos que sirven como materia prima para su elaboración. Los trámites para llevar a cabo una denominación de origen se encuentran en el anexo de este documento.”

“Referencias para esta tercera parte”

“Astudio-Gómez, Francisco. 1998. Los Derechos Marcarios y las denominaciones de origen, recogido dentro de la obra La propiedad en el Umbral del Siglo XXI. Servicio Autónomo de la Propiedad Intelectual, pp.162. Caracas, Venezuela.

Bäumer, Ludwig. 1997. Director,

Industrial Property Law Department, WIPO. Symposium on the international protection of geographical indications in the worldwide context: Organized by the World Intellectual Property Organization (WIPO) in cooperation with the Hungarian Patent Office: Eger (Hungary), October 24 and 25, 1997. <https://tind.wipo.int/record/23129>.

La Protección Internacional de las Indicaciones Geográficas. División de Propiedad Industrial. Simposio sobre la Protección Internacional de Indicaciones Geográficas, organizado por The World Intellectual Property (OMPI). ¿Qué es una indicación geográfica en la OMPI? Una indicación geográfica (IG) es un signo utilizado en productos que tienen un origen geográfico específico y poseen cualidades o una reputación que se deben a ese origen. Para que funcione como una IG, un signo debe identificar un producto como originario de un lugar determinado.”

DOF. 1982. Norma Oficial Mexicana, Productos alimenticios para uso humano -alimentos regionales- mole y sus variedades, NOM-F-422-1982, 82/07/09. Diario Oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos Pliego de condiciones para el uso de la marca Oficial México Calidad Suprema en Mole, PC-019-2004”

Conclusiones

En esta parte se presentan las conclusiones derivadas de este Trabajo Monográfico que, como los rubros anteriores, tiene una cita y una fotografía (Figura 7).

ADIÓS SALSAS Y TAMALES,
ADIÓS MOLE DE OLORES
ADIÓS CHILES Y CHARALES
YO ME COMO HASTA LAS FLORES

Y CON ESTA ME DESPIDO
NO ME SIRVAN DE COMER
QUE SOLO VIENE EL OLVIDO
CON EL TOMAR Y EL BEBER



“Figura 6. Cita y fotografía de Las conclusiones del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)”

Las conclusiones derivadas de este Trabajo Monográfico de la Q.A. Miriam Radyx Hernández se refieren no solamente al mole negro, el rey de los moles, sino a estos platillos en general:

El mole es, sin duda, uno de los platillos más representativos de la cocina mexicana, resultado de un lento proceso culinario iniciado desde la época prehispánica como una salsa y perfeccionada durante la Colonia como un guiso. Se han propuesto diferentes clasificaciones del mole basándose en criterios como su textura, color, sabor, ingredientes y forma de preparación así como la región o el lugar de procedencia. De los aproximadamente trescientos tipos de mole que se elaboran a nivel nacional, los más reconocidos tanto nacional como internacionalmente son el mole poblano y los siete moles oaxaqueños. Un ingrediente fundamental en cualquier receta para la elaboración del mole es el chile, del cual se utilizan desde uno hasta cinco diferentes variedades por receta. El chile representa en promedio un 14% de la masa de los ingredientes utilizados. Además del chile en sus diferentes variedades, en las recetas para preparar mole aparecen como ingredientes destacados tanto por su frecuencia como por la cantidad en que participan: el ajo, la cebolla y el tomate en sus diferentes variedades (jitomate, miltomate y tomate verde). Los demás ingredientes tienen una menor participación en la elaboración del mole y su presencia está muy relacionada con el tipo de mole y la región donde se elabora. Para dar un ejemplo de esto, en la preparación del mole amarillo, chichilo y verde se utiliza la masa como ingrediente espesante. En la producción del mole coloradito y el mole rojo de Oaxaca se emplean prácticamente los mismos frutos secos (almendra y cacahuete). El mole manchamanteles es el único que contiene frutas frescas en su elaboración, así como piloncillo, mientras que los moles coloradito, negro y poblano emplean

chocolate. El mole negro de Oaxaca y el mole poblano son muy parecidos, ya que se requieren prácticamente los mismos ingredientes. Utilizan el mismo tipo de grasa, espesante, fruto y carne. El mole verde es el único en el que los ingredientes se requieren frescos. Un ingrediente importante en el mole como guisado son las carnes de: Guajolote, pollo, gallina, res, cerdo, conejo y temazate. Con base en el estudio de los moles oaxaqueños y el poblano se han establecido diferentes etapas para su preparación. Entre ellas se deben considerar: La limpieza de la materia prima y un tratamiento previo de algunos ingredientes. El tiempo de elaboración dependerá del tipo de mole y el número de comensales.”

“Con respecto de la normativa del mole, el pliego de condiciones PC-019-2004 retoma algunas de las especificaciones de la norma MX-F-422-1982, mejorando los parámetros de calidad para el producto terminado, entre los cuales se encuentran: las especificaciones microbiológicas, fisicoquímicas, materias extrañas y sensoriales; que deben ser avaladas por un laboratorio certificado. Alguna sugerencia adicional a las normas del mole, sería estudiar la posibilidad de incorporar especificaciones sensoriales relacionadas con la pungencia o grado de picor de estos platillos en forma de tabla, para degustarlos placenteramente. La información reunida en este trabajo podría ser de gran utilidad para el desarrollo de anteproyectos de normas de denominación de origen para la gran diversidad de moles mexicanos, protegiendo su identidad.”

Con base en estas conclusiones puede señalarse que el **mole negro, el rey de los moles**, puede y, en particular el **chile Huacle**, debe ser incluido en las ‘nuevas’ normas mexicanas que, aunque no son de carácter obligatorio, sí dan un indicativo de lo que debe tener el chile, en este caso el Huacle para ser considerado como el “ingrediente estrella” de este platillo.

La MX-FF-108-SCFI-2007 PRODUCTOS ALIMENTICIOS – CHILE CHIPOTLE Ó CHIPOTLE (Capsicum annum L.) – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA podría ser un excelente ejemplo a seguir para considerar al chile Huacle con su propia norma.

Y, ya con base en esta norma mexicana, se podría también solicitar la denominación de origen del “mole negro de la Cañada, Oaxaca, México” siguiendo lo señalado en el Anexo.

Finalmente, los tres primeros autores sugieren que habría que hacer un concurso entre las personas de la zona de la Cañada auspiciado por el Gobierno del Estado de Oaxaca para encontrar aquella receta que resulte ser la merecedora del premio al **mejor mole negro preparado con chile Huacle mayoritariamente o incluso únicamente sin otros chiles** para con ella solicitar la denominación de origen. En la degustación podría invitarse a aquellas personas de la comunidad que deseen participar y fuera de la comunidad a chefs hombres o mujeres del propio estado de Oaxaca y del país para evaluar esa mejor receta siguiendo las pautas que estableció la QA Miriam Radyx Hernández con objeto de volverla objetivamente evaluable además, claro, de la subjetividad de las personas que la evalúen con base en su color, aroma, sabor, textura, pungencia, etc.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Glosario

A continuación se presenta la hermosa cita en náhuatl y español asociada con esta parte del Trabajo Monográfico de la Q.A. Miriam Radyx Hernández.

XOCHITL TZTZELIUHTOC IN,
MA ON NETOTOILO, ANTOCNIHUAN,
HUEHUETITLAN!

YA LLOVIERON LAS FLORES,
¡COMIENCE EL BAILE, OH AMIGOS NUESTROS,
EN EL LUGAR DE LOS ATABALES O TAMBORCITOS!



"Figura 7. Cita y fotografía del Glosario del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)"

'Glosario'

Concepto	Significado
Acre	Áspero y picante al gusto y al olfato, como el sabor y el olor del ajo, del fósforo, etc. Propiedad que se refiere no solamente a la pungencia de los chiles sino a esta sensación en el paladar
Acuyo, hierba Santa	Arbusto de las Piperáceas, de hojas aromáticas usadas para aderezar ciertos guisos
Ayomole	Mole que se prepara con calabaza tierna y también con sus tripas
Bagre	Pez teleósteo, de cuatro a ocho decímetros de longitud, abundante en la mayor parte de los ríos de América, sin escamas, pardo por los lados y blanquecino por el vientre, de cabeza muy grande, hocico obtuso, y con barbillas. Su carne es amarillenta, sabrosa y con pocas espinas
Cacaya	Flor comestible originaria de Oaxaca
Chirimole	La localidad de El Chirimole está situado en el Municipio de Elota (La Cruz de Elota en el Estado de Sinaloa)

Chirmole	Chirmole se puede clasificar dentro de la categoría de sopas. Usa el "recado" negro como ingrediente básico y se hace con pollo y huevos cocidos. Se come con tortillas calientes
Chochoyotes	Bolitas de masa
Chocomite	Es un róbalo o róbalo (<i>Centropomus undecimalis</i> Bloch, 1792) pequeño que no mide más de 50 cm
Clemole	Caldillo de chile con tomate
Condumio	Manjar que se come con pan, como cualquier cosa guisada
Coquinaria	Pertenciente o relativo a la cocina
Cuitlacoche, huitlacoche	Es maíz contaminado con un hongo y se considera comida gourmet de la cocina mexicana y se utiliza para preparar diferentes platillos
Desleídas	Diluídas
Despepitar	Quitar las pepitas o semillas de algún fruto, como del algodón, del melón, del chile, etc.
Desvenar	Quitar las venas
Embadurnar	Untar, embarrar, manchar, pintarrajar
Espelón	Frijol o frijol negro yucateco
Guazmole	Mole hecho con semillas de guajes
Huaxolotl	Proveniente del náhuatl guajolote. Ave comestible muy apreciada en México y, después de la llegada de los europeos a América y en particular a México, en el resto del mundo donde se le conoce como pavo
Iconoclastas	Se dice de quien niega y rechaza la merecida autoridad de maestros, normas y modelos
Izote	Del nahua iczotl. Árbol de América Central, de la familia de las Liliáceas. Es una especie de palma, de unos cuatro metros de altura, con ramas en forma de abanico, hojas fuertes y ensiformes, punzantes y ásperas en los bordes, y flores blancas, muy olorosas, que suelen comerse en conserva
Macerar	Mantener sumergida alguna sustancia sólida en un líquido a la temperatura ambiente, con el fin de ablandarla o de extraer de ella las partes solubles
Menjurje	Cosmético o medicamento formado por la mezcla de varios ingredientes
Mole	Del nahua molli o mulli, salsa o pipián o guiso
Pemoles	Pan de maíz, originario del estado de Tamaulipas
Pitiona	Yerba utilizada para infusiones curativas
Pulacles	Son tamales de frijol en hoja de plátano con pipián y un toque de chile
Quiotes	Del nahua quiotl, tallo, brote es el tallo comestible de la flor del maguey
Recado	Tortillas carbonizadas y otras especies
Refectoleras	Habitación destinada para juntarse a comer en comunidades y en algunos colegios
Soufflé	Dicho de un alimento: Preparado de manera que quede inflado
Tasajo	Tajada de cualquier carne, pescado e incluso fruta. se ponen en vinagre una o dos horas

Tatemado	Colocar en vinagre una o dos horas la carne
Tltonile	Es una salsa hecha a base de cacahuate y chile, es típica de Huatusco, Veracruz
Temazate	Esta especie de venado mide entre 65 y 75 cm de altura a los hombros y alcanza una masa entre 24 y 48 kg. La espalda tiene un aspecto ligeramente encorvado y el anca es visiblemente alta en comparación con los hombros. Es un ciervo esbelto, de color pardo rojizo en el dorso y espalda se continúa hacia el vientre, haciéndose un poco más claro allí, pero nunca es blanquecino. La frente presenta un mechón de pelos largos con los extremos oscuros. Solamente los machos tienen astas cortas, casi rectas y dirigidas hacia atrás. Se localiza en el sur de Tamaulipas, sur de Chiapas y en la Península de Yucatán, en México, hasta el sur de Brasil, el norte de Argentina, el sur de Bolivia, Paraguay, Trinidad y Tobago. Habita en las selvas tropicales, en los bosques mesófilos de montaña y en las partes menos frías de los bosques de coníferas, se alimenta de hojas, frutos, brotes tiernos, flores y arbustos diversos; se reproduce en cualquier época del año y tiene de una a dos crías
Tempesquistle	Planta medicinal
Tepejilote	Palmera sus tallos pueden crecer hasta 10 cm de diámetro y sus hojas dispersas y verde oscuro, le aportan un aspecto único. Decrecimiento muy rápido y apropiada para climas tanto templados cálidos como tropicales
Tesmole, texmole	Platillo mexicano que contiene carne, maíz y verduras
Tlemoles	Salsas preparadas al fuego, pues tlel es fuego en náhuatl Vericueto Lugar o sitio áspero, alto y quebrado, por donde no se puede andar sino con dificultad
Vianda	Comida que se sirve a la mesa
Xoconoxtle	ide de 1-2 metros de altura, con pencas de 30-40 cm. espinas de 3-5 por aréola y frutas redondas en forma de pera, arborescente de 2-3 m. de altura, tronco bien definido como de 20 cm. De diámetro, grisáceo, con ramificación abundante. La flor amarilla, fruto subgloboso de 2 cm de diámetro de pulpa ácida, rosada, ligeramente perfumada, fruto comestible que aparece en marzo. Se encuentra silvestre en varios lugares del altiplano mexicano
Yuca	Planta de América tropical, de la familia de las Liliáceas, con tallo arborescente, cilíndrico, lleno de cicatrices, de 15 a 20 dm de altura, coronado por un penacho de hojas largas, gruesas, rígidas y ensiformes. Tiene flores blancas, casi globosas, colgantes de un escapo largo y central, y raíz gruesa, de la que se saca harina alimenticia
Zacahuil	Tamal de gran tamaño con un lechón entero, envuelto en hojas de plátano y cocido en barbacoa"

Referencias

Llamadas Bibliografía en el Trabajo Monográfico tiene su cita e imagen (Figura 8). Se considera una fuente bibliográfica interesante para los y las lectores(as) con su propio formato citado.

ERES EL AJONJOLÍ
DE TODOS LOS MOLES
.....
SI NO LE PUSISTE CHILE,
NO PRETENDAS QUE TE SEPA



“Figura 8. Cita y fotografía de La Bibliografía o Referencias del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)”

Enciclopedia: Una

1. Microsoft® Encarta® 2006. © 1993-2005 Microsoft Corporation.

Libros: 57 diferentes

Normas: 6 documentos

Revistas y Periódicos: 11 diferentes

Tesis: 4

Consultas por Internet: 49

*Anexos

A continuación se presenta la última parte de este documento con su cita y la Figura 9 tomados del Trabajo Monográfico de la Q.A. Miriam Radyx Hernández.”

“TU ERES MI MERO MOLE

.....
MONO, PERICO Y POBLANO
NO LO TOQUES CON LA MANO
TÓCALOS CON CUIDADITO
QUE ES UN ANIMAL BENDITO”



“Figura 9. Anexos del Trabajo Monográfico cortesía de la autora (Radyx-Hernández, 2008)”

Hay dos anexos de la autora del Trabajo Monográfico, uno sobre algunos de los chiles usados en su documento y otro sobre la parte legal que ella investigó (Normas y forma de proteger la denominación de origen y de utilizarla posteriormente

AGUA, chile de AMARILLO (chicostle)	Variedad de forma más o menos cónica parecido en su forma aun poblano chico, aunque éste es de color verde limón; es utilizado principalmente en guisos y salsas oaxaqueñas Chile seco parecido a un chile guajillo chico pero de color más claro. Se encuentra en Oaxaca y se utiliza en su cocina
ANCHO, chile	Variedad de chile que es llamado poblano cuando es fresco y verde. Se conocen numerosas variedades o sub-variedades en diversos estados de la República Mexicana, sobre todo en los Estados del Centro y Sureste. Es rojo oscuro y generalmente poco picante y algo dulce. Es un clásico de la cocina en prácticamente toda la República, indispensable en numerosos adobos y moles
COSTEÑO	Chile seco, rojo, más grande que el chile de árbol. Se encuentra principalmente en Oaxaca, Veracruz y toda la Costa Chica
CHILCOXTLE	Chile seco de Oaxaca, color sepia claro. Se utiliza en la comida de la región. Es picoso
CHILHUACLE	Es un chile seco. De color sepia oscuro, casi negro, de picor medio. Es clásico en la cocina oaxaqueña ya que entre otras cosas es ingrediente indispensable en el mole negro
CHIPOTLE	Chile seco de color sepia-claro o sepia-oscuro. Se trata en realidad del conocido chile jalapeño secado y ahumado. Es muy picoso y perfumado. Se conoce desde los aztecas. Se preparan con adobado, en vinagre, etc. Como ingrediente de muchas salsas y hasta rellenos de queso

GUAJILLO	Es un chile seco, pariente del pasilla aunque diferente a éste, es largo de 5 a 11 cm, de color sepia-rojizo. Existen en muchos tamaños y diferentes anchos. Generalmente entre más chicos son más picosos, los de tamaño grande casi no pican y se utilizan más para dar sabor y color. Todas estas diferencias se originan debido al lugar de cultivo. Se produce casi en toda la República. Cuando frescos pueden ser verdes, amarillos o rojos. También son un clásico de muchos platillos
JALAPEÑO. (Cuaresmeño)	Es un chile fresco y muy carnoso de 4 a 6 cm de largo, de color verde oscuro o rojo cuando está más maduro. Picante y ligeramente perfumado. Cuando es seco se torna color sepia y cuando es seco y ahumado se convierte en el conocido chipotle. Se prepara generalmente en vinagre ya sea entero o en rajadas. Es indispensable para los "chiles en vinagre" con cebolla, ajo, zanahorias y hierbas de olor. Se preparan también rellenos
MANZANO	Chile fresco, de forma esférica, que recuerda una manzana llega a tener un diámetro hasta de 4 cm. Es muy carnoso y picante, de colores muy atractivos y lustrosos. Se encuentran de color verde, amarillo, anaranjado y rojo. Generalmente se consume picado en salsa con cebolla y diversos aderezos. Siempre se separan las semillas que son negras
MULATO	Es un chile seco, es un tipo de chile poblano cuando es fresco. De color muy oscuro, casi negro, de sabor picante, menos penetrante y ligeramente dulce, se diferencia del chile ancho por su color más oscuro y menos perfumado. Es clásico de numerosos guisos nacionales
PASILLA	Es un chile seco de color muy oscuro, largo, cuando verde se le llama chilaca. Es muy picante, se conocen muchas variedades, también se le llama achocolatado. Es el ingrediente esencial
PIQUIN o Chilepín o chilapulga	Se conocen muchas variedades, es el más pequeño de los chiles y se conoce casi en toda la República Mexicana, así mismo es el chile más conocido y cultivado en el mundo. Cuando está fresco es de color verde que va tornándose rojo al ir madurando. Cuando está seco se hace de color rojo-sepia. Sin duda uno de los chiles más picosos. Cuando está fresco es ligeramente perfumado. Fresco o seco se utiliza para multitud de salsas, entre ellas la conocida "Tabasco", molido en polvo, es un aderezo universal
POBLANO	Es un chile fresco grueso y largo. Cuando seco se convierte en ancho, mulato o chino. Los hay de muy diversos tamaños, ya que pueden tener de 4 a 15 cm, de largo. Son de color verde oscuro que puede variar a muy oscuro. Se encuentran variedades muy picosas y otras casi dulces. Seguramente de este chile proviene el pimiento. Se preparan en numerosas variedades de chiles rellenos y en rajadas para múltiples fines. Son también un clásico que se consume en prácticamente toda la República Mexicana
PUYA, chile	Es en realidad un chile de árbol, generalmente más largo. Se encuentra principalmente en el estado de San Luis Potosí

SERRANO o VERDE, chile	Es un chile de color fresco verde intenso de 3 a 5 cm de largo carnoso, cuando madura se hace rojo. También se vende seco y es de color rojo-sepia. En ambos casos suele ser muy picante, aunque en los últimos años los consumidores suelen quejarse que con frecuencia “ya no pican” esto sin duda se debe a que como es una de las variedades más comerciales suele cortarse demasiado pronto, lo que impide su adecuada maduración. Se utiliza para dar sabor y picante a muy numerosos guisos nacionales y por supuesto es el ingrediente indispensable para la salsa verde y la mexicana. También se prepara en vinagre, junto con el jalapeño son las variedades más utilizadas en la industria de conservas”
------------------------	--

“Anexo 1: Breve diccionario de los chiles utilizados en la elaboración de los moles

“Trámite: Autorización para el uso de una denominación de origen

1. ¿Quién lo presenta y en qué casos?
Personas físicas o morales que se dediquen a la extracción, producción o elaboración del producto que se pretenda amparar con la denominación, cámaras o asociaciones de fabricantes o productores, las dependencias o entidades del gobierno federal y los gobiernos de las entidades de la Federación. Cuando quién demuestre tener interés jurídico en términos del artículo 158 de la Ley de la Propiedad Industrial, pretenda que el nombre de una región geográfica del país sirva para designar un producto originario de la misma, y cuya calidad o característica se deba exclusivamente al medio geográfico, comprendido en éste los factores naturales y los humanos.
2. Dependencia u organismo responsable del trámite
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial Dirección Divisional de Marcas Arenal 550, Piso 3 Colonia Tepepan CP 16020, México, D.F.
3. Otras oficinas en donde puede realizarse el trámite
En todas las delegaciones de la Secretaría de Economía
En la Unidad Administrativa responsable del trámite Oficinas regionales
En todas las subdelegaciones de la Secretaría de Economía
4. Horarios de atención al público
De 8:45 a 16:00 horas de lunes a viernes
5. Tipo de resolución
Declaración de la protección de la Denominación de Origen
6. Vigencia
Concepto: indeterminada
Observaciones: La vigencia de la declaración de protección de una denominación de origen, estará determinada por la subsistencia de las condiciones que la motivaron y sólo dejará de surtir efectos por otra declaración del Instituto.
7. Medio de presentación
Escrito libre
Número de originales: 2
8. ¿Qué información se requiere?
•Nombre del solicitante
•Domicilio
•Nacionalidad del solicitante
•Si es persona moral deberá señalar, además, su naturaleza y actividades a que se dedica
9. ¿Qué documentos se requieren?
Documentos que sirvan para la comprensión y análisis de la solicitud y funden la petición
Número de originales: 1
Número de copias: 1
10. ¿Cuánto se paga?
Concepto: por el estudio de la solicitud de declaración general de protección a una denominación de origen o de la solicitud de modificación de una declaración general.
Monto: \$1,468.70
Nombre del formato de pago: Formato Único de Ingresos o en el Formato Electrónico

nico de Pagos por Servicios.”

“Trámite: Autorización para el uso de una denominación de origen

1. ¿Quién lo presenta y en qué casos?

Persona física o moral

Cuando quién desee utilizar la denominación de origen se dedique directamente a la extracción, producción o elaboración de los productos protegidos por la denominación y que realice tal actividad dentro del territorio determinado en la declaración.

2. Dependencia u organismo responsable del trámite

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial Dirección Divisonal de Marcas
Arenal 550, Piso 3 Colonia Tepepan
CP 16020, México, D.F.

3. Otras oficinas en donde puede realizarse el trámite

En todas las delegaciones de la Secretaría de Economía

En la Unidad Administrativa responsable del trámite

Oficinas regionales

En todas las subdelegaciones de la Secretaría de Economía

4. Horarios de atención al público

De 8:45 a 16:00 horas de lunes a viernes

5. Tipo de resolución

Autorización

6. Vigencia

Concepto: 10 años

Observaciones: Los efectos de la autorización para usar una denominación de origen durarán diez años, contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud en el Instituto y podrán renovarse por períodos de la misma duración.

7. Medio de presentación

Formato: Solicitud de Autorización de uso de Denominación de Origen Número de originales: 3

8. ¿Qué información se requiere?

Los datos indicados en el formato

9. ¿Qué documentos se requieren?

Los documentos indicados en el formato

10. ¿Cuánto se paga?

Concepto: por la autorización para usar una denominación de origen Monto: \$645.22

Nombre del formato de pago: Formato Único de Ingresos o en el Formato Electrónico de Pagos por Servicios.

Pasos:

1. Llenar la solicitud.

2. Proveer los anexos que sean necesarios.

3. Realizar el pago en ventanilla bancaria o por transferencia electrónica.

4. Acudir a las oficinas autorizadas para recibir solicitudes y promociones.

5. Presentar solicitud y sus anexos.

6. Guardar el acuse de recibo.

7. Esperar la respuesta del Instituto.

“Anexo 2: Trámites para llevar a cabo una denominación de origen”

<https://www.gob.mx/tramites/ficha/autorizacion-para-usar-una-demoninacion-de-origen/IMPI3172>

Referencias bibliográficas

Referencias seleccionadas de las citadas por la Q.A. Miriam Radyx-Hernández para este documento con excepción de las que se presentaron específicamente para la Normativa relacionada con el mole (tercer capítulo del Trabajo Monográfico).

Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez Meraz, M., Villalón Mendoza, H., Aguilar-Castillo, J.A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. 114 p. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Belman-Gay, Janette. 2006. Especial Delicias. II Cocina práctica. No. 50, septiembre. México.

Caraza-Campos, Laura B. 1996. La ciudad de Oaxaca y sus alrededores. Tips de Aeroméxico. No.1, Edición Especial. Ciudad de México, México.

Chapa, Martha. 2005. La república de los moles. Editorial Aguilar. 1ª edición. Ciudad de México, México. Pp. 35-37, 39, 50-52, 54, 85-90, 93-94, 97, 101, 105-110, 113-115, 119, 123-125, 129, 133-135, 139-142, 145-148, 151-152, 155-156, 159, 162-163, 167-171, 175-179, 183, 187-191, 195, 199, 203-206, 209, 213-214, 217-223, 227, 231-240.

Cruz-Toledo, Adriana. 2003. Desarrollo de una tecnología para la elaboración de mole negro. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.

Dalton, Margarita. 2000. Recetario de la costa de Oaxaca. Cocina Indígena y Popular. Editorial CONACULTA, No. 16, México.

De la Vega-Arnaud, Liliانا. 2006. Siete son los sabores. Diario Reforma. Buena Mesa. Octubre 27, Ciudad de México, México.

DOF. 1982. Norma Oficial Mexicana, Productos alimenticios para uso humano - alimentos regionales - mole y sus variedades. NOM-F-422-1982. Septiembre 7, 1982. Diario oficial de la Federación. Estados Unidos Mexicanos.

Flores-Montiel, Germán. 2003. La sazón de Oaxaca. Caprichos y Antojos, No. 39. Julio. México.

Gironella-D'Angelli, Alicia. 1993-1999. Gran Larousse de la cocina mexicana. Editorial Barcelona, México.

Henestrosa-Ríos-de-Webster, Cibebes. 2000. Recetario zapoteco del Istmo. Cocina Indígena y Popular. Editorial CONACULTA, No. 33. México.

Kennedy, Diana. 1994. El arte de la cocina mexicana. Editorial Diana. Ciudad de México, México.

Lomelí, Arturo. 1991. El arte de cocinar con chile. Editorial Contenido, Ciudad de México, México. Pp.96-97, 120-127, 243, 245-254.

López-López, P., Pérez-Bennetts, D.⁵ 2015. El chile huacle (*Capsicum annum* sp.) en el estado de Oaxaca, México / Huacle pepper (*Capsicum annum* sp.) in the state of Oaxaca, México. Agro-Productividad. 8(1):35-39.

⁵ El coautor Diego Pérez-Bennetts finalmente fue localizado a través de una publicación (Hacia la incertidumbre educativa. De la arreté en la héfade a la educación de la sociedad actual / Towards educative uncertainty. From Hellas arete to current social education de la autoría de Diego de Jesús Pérez-Bennetts) y le estamos extraordinariamente reconocidos por su cortesía de permitirnos reproducir las dos hermosas fotografías de la flor del chilhuacle y de los tres tipos de chiles huacle

Merlín-Arango, Roger, Hernández-López, Josefina. 2000. Recetario mazateco de Oaxaca. Cocina Indígena y Popular. Editorial CONACULTA. No. 42. Ciudad de México, México.

Meza-Pacheco, Rosario. 2002. Diseño y evaluación del proceso térmico para mole negro enlatado. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México.

Molina, Sara. 1985. 300 recetas de la sabrosa cocina mexicana. Octava reimpre-
sión, Estado de México, México.

PC. 2004. Pliego de condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad
Suprema en Mole, PC-019-2004. Estados Unidos Mexicanos.

Quintana, Patricia. 1992. El sabor de México. Noriega Editores, 1ª reimpre-
sión. Ciudad de México, México. Pp. 122, 250, 252-253, 264, 266-268.

Quintana, Patricia. 1999. Las fiestas de la vida en la cocina mexicana. Editorial
Limusa México, 19a Edición, Ciudad de México, México. Pp. 222-223, 226-229, 232-
235.

Quintana, Patricia. 2005. Mulli, el libro de los moles. Editorial Océano, Ciudad
de México, México. Pp. 10-11, 96, 98-103, 105-108, 110, 112-113, 115-118, 120, 122,
124-126, 129-131, 133-134, 136, 138-139, 141, 144-145, 147, 151-152, 156-159, 161-
164, 166,168, 170175, 176-178, 180-185, 187-188, 190-192, 194-196, 198, 200-202,
204-207, 209-211, 213-215, 217-219, 221-226, 228-229, 231-232, 234-237, 239-241,
243-247, 250, 252-254, 256, 258- 265, 268, 279, 281.

Radyx-Hernández, M. 2008. Los moles de México. Trabajo Monográfico de Actuali-
zación. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad
de México, México.

Rhijn, Patricia van. 1993. La cocina del chile. Editorial Planeta, Ciudad de México,
México. Pp. 68-69, 93, 98, 100,106, 120.

Semarnat. 2018. Las 64 variedades de chile en México. Secretaría de Medio
Ambiente y Recursos Naturales. 31 de diciembre de 2018. [https://www.gob.mx/
semarnat/articulos/las-64-variedades-de-chile-en-mexico#:~:text=Entre%20
los%20m%C3%A1s%20conocidos%20est%C3%A1n,de%20una%20%20
otra%20regi%C3%B3n](https://www.gob.mx/semarnat/articulos/las-64-variedades-de-chile-en-mexico#:~:text=Entre%20los%20m%C3%A1s%20conocidos%20est%C3%A1n,de%20una%20%20otra%20regi%C3%B3n).

Taibo I, Paco Ignacio. 1981. Breviario del mole poblano. Editorial Terra Nova, S.A.
Ciudad de México, México. Pp. 26-30, 32, 71-72, 85-86.

Taibo I, Paco Ignacio. 2003. El libro de todos los moles. Ediciones B. 1ª edición.
Ciudad de México, México. Pp. 49-53, 57, 105-106, 195-201, 203-213, 215, 217-222,
241-259.

Tajonar-Campo, Elena. 1975. Lo mejor de la cocina oaxaqueña. Gómez Gómez
Hermanos Editores, México.

Trilling, Susana. 2003. Sazón de mi corazón. Editorial Diana, Ciudad de México,
México. Pp. 52, 82, 86, 139,142, 191, 225, 265-266, 268-273, 276-287,290-294, 364-
365, 368.

Velásquez-de-León, Josefina. 1991. Cocina oaxaqueña. 2ª edición. Vol. 19. Editori-
al Universo. Ciudad de México, México.

Voluntariado Nacional. 1988. Comida familiar en el estado de Oaxaca. Autor: La-
rry Levín-Kosberg. Banco Nacional de Crédito Rural. ISBN 968 866 017 5, 978 968
866 017 1. 226 páginas. México."

Reconocimientos

Los primeros tres autores quieren reiterar su reconocimiento a la autora del Trabajo Monográfico, sustento académico de este documento, la Q.A. Miriam Radyx-Hernández por su excelente presentación de este apasionante tema sobre el uso del chilhuacle o chile Huacle para preparar el mole negro, el rey de los moles, con sus bellas citas y fotografías, así como a los autores del libro sobre los chiles en México publicado en Chapingo, México y, finalmente, por ser el más valioso al investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Valles Centrales, Oaxaca, México, el M. en C. Porfirio López-López y el colega académico Diego Pérez Bennetts por sus valiosas contribuciones para preservar a estas joyas que son los chiles de México, el motivo que subyace en este homenaje. La fotografía más apreciada en esta segunda parte del Homenaje al Profesor e I.Q. Federico Galdeano-Bienzobas es la que cortésmente nos permite reproducir la Q.A. Miriam Radyx-Hernández del día de su examen profesional (Figura E)



I.Q. FEDERICO GALDEANO-BIENZOBAS

quien dedicó su vida a la academia.

Su esposa y su hija deben sentirse muy orgullosos de la huella que él dejó en todos nosotros y que siempre lo recordaremos con su sonrisa afable y su gran bonhomía.

Para terminar esta segunda parte, dedicamos ambas partes a la memoria del querido colega que aparece en la hermosa fotografía que amablemente nos hizo llegar la Q.A. Miriam Radyx-Hernández del día de su examen profesional con nuestro homenajeado:



Figura E. El Profesor e I.Q. Federico Galdeano-Bienzobas, de tan querida memoria, acompañando a Miriam Radyx-Hernández en 2008 después de terminado su examen

Como colofón, se presenta a continuación su semblanza como un panegírico⁶ dedicado a su valiosa presencia en la UNAM tomado de lo que se leyó en la Ceremonia de Premiación (PNCTA) del 6 de octubre de 2010 en el Museo Nacional de Antropología de la Ciudad de México, como un homenaje, a casi cuatro meses de su inesperado fallecimiento por un infarto al corazón que ocurrió el jueves 10 de junio de 2010.

Semblanza del Profesor I.Q. Federico Galdeano Bienzobas

Español de nacimiento, mexicano de corazón. Probablemente la faceta más reconocida del profesor Federico Galdeano fue su perpetua disponibilidad para compartir su conocimiento.

No solamente impartía las asignaturas de estadística y de química de alimentos en general en su Alma mater, la Facultad de Química de la UNAM, sino que siempre abría a los estudiantes las bondades de la vida universitaria y del desempeño futuro a lo largo de la vida en sí. En sus años de profesor constituyó un ejemplo de serenidad y objetividad que se reflejaba en el lenguaje mesurado y notablemente correcto que siempre usó. Características que hacían no solamente fácil sino deseable buscar su punto de vista y su consejo.

El Maestro Federico, como se le llamaba afectuosa y respetuosamente, aportó la visión y el orden que se requería para establecer una escuela de pensamiento, en particular para el área de la Tecnología de los Alimentos. Cuando fue Jefe de este departamento incorporó profesores con experiencia industrial quienes además de permitir lograr un equilibrio en la plantilla docente con el personal de carrera, como se conocía a los profesores de tiempo completo, le dieron una visión de la situación real en las empresas a las y los estudiantes.

Participó en las iniciativas de reorganización y actualización de los planes de estudio de la Facultad de Química que permitieron crear la carrera de Química de Alimentos a partir de la que existía entonces que era la de Químico Farmacéutico Biólogo con Orientación de Tecnología de Alimentos.

Se desempeñó como Coordinador de Extensión Académica y Secretario General de la Facultad de Química de la UNAM, en este último puesto por 9 años. En estos puestos su desempeño fue ejemplar.

Participó como evaluador de proyectos apoyados por el CONACYT, así como en el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (PNCTA) auspiciado por la empresa embotelladora Coca Cola, en representación de la Facultad de Química de la UNAM, presidiendo en varias ocasiones el Comité Evaluador. Era siempre notorio el reconocimiento por su desempeño en estos puestos de tanta responsabilidad.

El fuerte dominio que tenía de la Estadística más su personalidad un poco bohemía pero siempre sencilla, pulcra y apropiada le dieron la autoridad necesaria a lo largo de más de tres décadas para ser nuestro Decano.

El Maestro Federico fue Amigo, Colega, Maestro y Jefe, en ese orden, de innumerables profesores y alumnos. Balance difícil para el común de la gente, pero completamente natural en él. Siempre tenía un comentario agradable que hacía ver la vida más sencilla.

Solamente un hombre con su amplitud de criterio y capacidad para conservar los

⁶ Del latín *panegyricus*, y este del griego *πανηγυρικός* *panēgyrikós*. 1. adj. Perteneciente o relativo al panegírico. 2. m. En oratoria, discurso o sermón en alabanza de algo o de alguien. 3. m. Elogio enfático de algo o de alguien (<https://dle.rae.es/paneg%C3%ADrico?m=form>) [los primeros tres autores]

esfuerzos centrados en el evento principal ante la diversidad de caracteres que se manifiestan visiblemente a la luz de la Libertad de Cátedra, podría lograr esa armonía y ese orgullo de gremio que se hacen evidentes en el trabajo en equipo. El equipo formado por autoridades, maestros y empleados administrativos, siempre tuvo en él a un asesor de primera clase gracias a su altruista disponibilidad para lograr que los alumnos, nuestra principal responsabilidad y obvia alegría del Maestro Federico, obtuvieran el mejor valor por su tiempo y por su esfuerzo.

Hablando de las y los estudiantes, pocos maestros hemos logrado obtener la confianza y la búsqueda de la guía que siempre estuvieron disponibles para ellos, tanto en la cátedra, como en el escaso tiempo libre que tenía el Maestro Federico. Líder nato y con una tolerancia poco común.

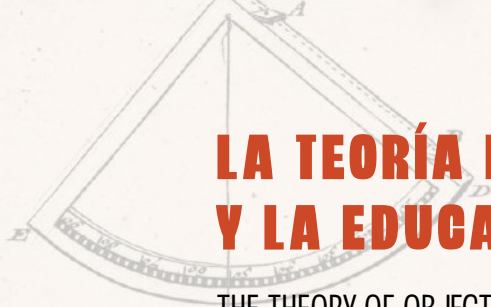
Profesor con vocación. La gran cantidad de tesis que dirigió, más de 100, atestiguan ese trabajo intenso y casi paternal que dedicó a los alumnos involucrando cuando era preciso, con muy buen criterio a los miembros del sínodo de cada estudiante. Uno de sus principales logros fue elevar el índice de titulación, ofreciendo un apoyo incondicional, como siempre, a las y los estudiantes.

El legado del Maestro Federico trascenderá su época porque como todo verdadero educador, seguirá vivo a través de las legiones de estudiantes que lo recordarán y transmitirán sus amenas y útiles enseñanzas pero, sobre todo, su calidad humana. El alcance de su presencia trascendió los límites de la Facultad de Química de la UNAM, donde siempre estará presente, a pesar de su inesperada partida.

Te extrañamos Maestro Federico.

Descansa en paz ya que siempre te llevaremos en nuestros corazones y pensamientos.

Fig. 8. Pag. 99.



A Fig. 7. Pag. 99. B



LA TEORÍA DE LA OBJETIVACIÓN Y LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA

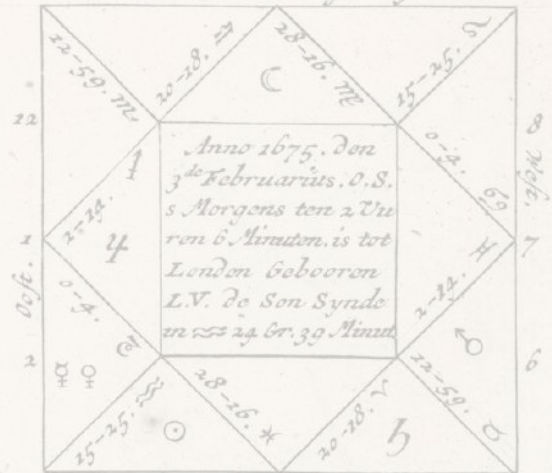
THE THEORY OF OBJECTIFICATION AND MATHEMATICS EDUCATION

Fig. 9. Pag. 93.



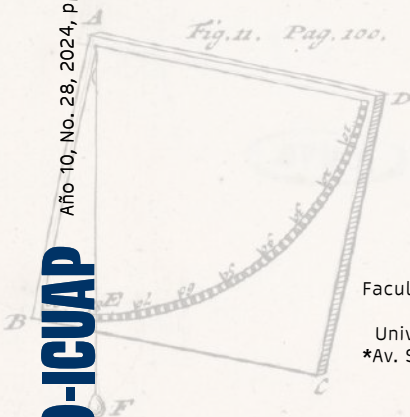
Felipe Castro Fernández*
José Antonio Juárez López
José Gabriel Sánchez Ruiz

11 Mid 10 dag. 9



3 Middler 4 nagt. 5

Fig. 11. Pag. 100.



<https://orcid.org/0009-0007-2874-8810>
<https://orcid.org/0000-0003-2501-943X>
<https://orcid.org/0000-0002-4306-1431>

Recibido: 17. julio. 2023
Aprobado: 30/noviembre/ 2023
Publicado: 07/ enero / 2024
FOLIO 880

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Universidad Nacional Autónoma de México - Campus Zaragoza
*Av. San Claudio y 18 Sur, San Manuel, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, México / 2223711161
felipe.castro@correo.buap.mx
jajul32@hotmail.com
josegsr@unam.mx

Resumen

El objetivo del presente artículo es dar a conocer algunos antecedentes históricos y fundamentos filosóficos de la Teoría de la Objetivación (TO), así como sus principales componentes y aportes conceptuales en el área ontológica, epistemológica, educativa, metodológica y valorativa. La justificación de ello deriva del desconocimiento existente sobre dicha teoría entre los docentes de matemáticas que, en el caso de México, se enfrentan a los desafíos del nuevo modelo educativo nacional denominado Nueva Escuela Mexicana, cuyos principios promueven una educación con sentido crítico, humanista y comunitario. Con relación al método, se llevó a cabo una investigación de tipo documental, por lo que se realizó un análisis de contenido cualitativo de algunos artículos escritos por el creador de la TO y en los cuales se exponen sus elementos constitutivos fundamentales. Entre los hallazgos se logró identificar que dicha teoría se inscribe dentro de las teorías socioculturales contemporáneas de la Educación Matemática y que, basada en el materialismo dialéctico, concibe al conocimiento matemático como un proceso social, cultural e histórico; por lo cual, se distancia de la enseñanza tradicional y el constructivismo. Se concluye que, al resignificar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas, así como la relación docente-estudiante, la TO se ubica dentro de un proyecto educativo que pretende formar sujetos reflexivos, críticos y éticos encaminados hacia la transformación social. De ahí que, se recomienda a los docentes que enseñan matemáticas en todos los niveles educativos conocer los fundamentos de la TO para orientar su práctica pedagógica en un sentido transformador.

Palabras clave: Teoría de la Objetivación, Educación Matemática, Perspectivas socioculturales, Materialismo Dialéctico

ABSTRACT

The purpose of this article is to present some historical background and philosophical foundations of the Theory of Objectification (TO), as well as its main components and conceptual contributions in the ontological, epistemological, educational, methodological and evaluative areas. The justification for this derives from the existing lack of knowledge about this theory among mathematics teachers who, in the case of Mexico, face the challenges of the new national educational model called New Mexican School, whose principles promote an education with a critical, humanistic and communitarian sense. In relation to the method, a documentary type of research was carried out, so a qualitative content analysis of some articles written by the creator of the TO was performed and in which its fundamental constitutive elements are exposed. Among the findings, it was possible to identify that this theory is part of the contemporary sociocultural theories of Mathematics Education and that, based on dialectical materialism, it conceives mathematical knowledge as a social, cultural and historical process; therefore, it distances itself from traditional teaching and constructivism. It is concluded that, by re-signifying the teaching-learning process of mathematics, as well as the teacher-student relationship, TO is located within an educational project that seeks to form reflective, critical and ethical subjects aimed at social transformation. Therefore, it is recommended that teachers who teach mathematics at all educational levels know the foundations of TO in order to guide their pedagogical practice in a transformative sense.

Keywords: Objectification Theory; Mathematics Education; Sociocultural Perspectives; Dialectic Materialism.

INTRODUCCIÓN

El proceso de enseñanza-aprendizaje de las matemáticas es sumamente complejo. Analizar y comprender dicha complejidad es justamente el objeto de estudio particular de la Educación Matemática, una disciplina científica relativamente joven (Godino, 2000; Hernández y Juárez, 2015), cuyo reconocimiento dentro del campo disciplinar de las ciencias sociales se caracteriza, también, en contar con diversos enfoques teórico-metodológicos que se han venido desarrollando y consolidando durante las últimas cuatro décadas. Algunos de estos enfoques son, por ejemplo, el cognitivista (con Dubinsky, Vergnaud y Tall Vinner, entre otros), la escuela francesa (con Brousseau, Chevallard y Artigue), la escuela anglosajona (por ejemplo, con Polya y Schoenfeld), la epistemología genética (Ortiz Hurtado), el constructivismo radical (con Von Glasersfeld), la etnomatemática (D'Ambrosio), el socio-constructivismo (Ernest), el enfoque ontosemiótico (con Godino, Batenero y Font), el realista (Freudenthal), el crítico (Skovsmose) y la socioepistemología (de Cantoral y Farfán) (Pochulu y Rodríguez, 2016).

Las características que diferencian a tales enfoques han llevado a distinguir entre aquellas teorías que asumen una posición más psicológica y cognitiva, concibiendo al conocimiento matemático como un producto mental e individual del estudiante, y las que lo conciben como un proceso social, cultural e histórico (Planas, 2010; Blanco, 2011). Entre estas últimas se ubica la Teoría de la Objetivación (TO), cuyos elementos básicos conceptuales fueron esbozados por primera vez en el año 2006 por su creador Luis Radford. Por lo que, a continuación, se describen algunos de los principales antecedentes históricos y aportes teórico-metodológicos de

dicha teoría al campo de estudio de la Educación Matemática.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y FUNDAMENTOS FILOSÓFICOS

Desde sus orígenes, en la Educación Matemática ha predominado una concepción eurocéntrica de las matemáticas y un enfoque individualista de su aprendizaje. La pedagogía tradicional, por ejemplo, inspirada en el conductismo, considera que la educación debe centrarse en desarrollar en los estudiantes las competencias requeridas por la economía de mercado capitalista. En esta pedagogía el proceso de enseñanza-aprendizaje se basa en la clase magistral, un modelo alienante caracterizado por una relación de sumisión, en la cual el poder se encuentra en manos del profesor quien posee el conocimiento y lo transmite al estudiante que de manera pasiva se somete y simplemente lo reproduce, mediante la repetición y la memorización. Se trata, pues, de la concepción bancaria de la educación, sustentada en una ética de la autoridad y la obediencia (Radford, 2014, 2016, 2018b, 2018c, 2019, 2020a, 2020c, 2020d, 2021b).

A diferencia de la enseñanza tradicional, en la pedagogía individualista el poder se traslada al alumno, quien se hace responsable de la producción y construcción de su propio saber y conocimiento. El profesor ocupa un papel secundario, pues el aprendizaje es resultado de las acciones individuales del estudiante alienado del mundo histórico-cultural (Radford, 2014, 2018a, 2019, 2020c, 2020d, 2021a).

El constructivismo es una teoría individualista inspirada en los trabajos de Piaget y de von Glasersfeld. Encuentra su versión más acabada en los Estados Unidos con Paul Cobb y sus colaboradores (Radford, 2007, 2015b, 2016,

2020a, 2020b, 2020c). Tal perspectiva concibe al saber y el aprendizaje como algo subjetivo, a-histórico y a-cultural, pues considera que el sujeto es quien construye su propio conocimiento (Radford, 2015b, 2018b, 2018c, 2019, 2020b, 2021a). Cuando, para responder a sus detractores, ha tenido que incorporar la dimensión social, lo hace a través de la idea de la interacción y “participación reflexiva en las prácticas del aula”, pero las asume sólo como un medio de apoyo para que el “sujeto-yo” logre alcanzar sus propios fines (Radford, 2018c, 2020b). En cuanto a la educación matemática, sostiene que tiene por objetivos: construir estructuras conceptuales y el desarrollo de la autonomía intelectual de los estudiantes, en la cual se basa su ética (Radford, 2018c, 2020b, 2020d, 2021b). La Teoría de Situaciones Didácticas (TSD), por su parte, inspirada en la psicología genética de Piaget, ha puesto énfasis en el saber matemático y la gestión adecuada del ambiente o entorno (milieu) para la emergencia de un razonamiento matemático preciso y su consiguiente aprendizaje (Radford, 2006, 2007, 2020b, 2020d). Para esta teoría, el objetivo de la educación matemática es la difusión del conocimiento matemático requerido por la sociedad europea industrializada, por lo que se espera que los estudiantes logren adquirir un conocimiento dado (Radford, 2015a, 2018c, 2020b, 2020d, 2021b).

En ese contexto es que, dentro del campo de la Educación Matemática, en las últimas dos décadas del siglo pasado algunos investigadores interesados en ofrecer una alternativa distinta centraron sus estudios en comprender el papel de la cultura, la historia y la sociedad en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas. De ahí surgió el llamado movimiento opositor “sociocul-

tural” con los trabajos realizados por D’Ambrosio y Bishop, en los años 80. Después, en los años 90, aparecieron las propuestas de Bartolini Busi y Mariotti, quienes investigaron el rol de la interacción y los artefactos en el aprendizaje; Arzarello, Bazzini y Chiappini, se interesaron en los signos matemáticos y su evolución; Lerman, por su parte, investigó el papel del lenguaje en la constitución de la intersubjetividad; Boero, Pedemonte y Robotti, estudiaron la historicidad del discurso (Radford, 2014, 2016, 2018c, 2020a, 2020c). Así, a mediados de la primera década del presente siglo surgió la TO, como una alternativa no individualista de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas, distinguiéndose de la enseñanza tradicional, del constructivismo y de la Teoría de Situaciones Didácticas.

La TO se inscribe en las denominadas teorías educativas socioculturales contemporáneas, las cuales consideran que el saber y el conocimiento no son producto de estructuras mentales epistémicas individuales, ajenas a la cultura, sino una forma histórico-cultural de prácticas sociales realizadas por sujetos mediante la interacción, el lenguaje, el uso de signos y la creación de artefactos (Radford, 2006, 2007, 2008, 2014, 2015b, 2016, 2021a).

De ahí que, teórica y filosóficamente (Figura 1), la TO se fundamenta en la dialéctica de Georg Wilhelm Friedrich Hegel, de Evald Ilyenkov, Theodor Adorno, Felix Mikhailov y Franck Fischbach; en el pensamiento histórico-cultural de Lev Vygotsky y la teoría de la actividad de Alexei N. Leóntiev; así como en las ideas de Paulo Freire y el materialismo dialéctico desarrollado por Carlos Marx (Radford, 2015a, 2015b, 2016, 2017b, 2018b, 2018c, 2019, 2020a, 2020c, 2020d, 2021a).

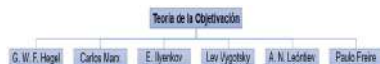


Figura 1. Fundamentos teórico-filosóficos de la Teoría de la Objetivación. Fuente: Elaboración propia

APORTES TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Área Ontológica

En la TO el saber (matemático, artístico, etc.) no es concebido como algo que se pueda “poseer”, “adquirir” o “construir” individualmente, tiene que ver más bien con “potencialidad”, “capacidad”, “habilidad” o “posibilidad” de algo que nos encontramos en la cultura y nos objeta (se nos opone). Se trata de algo abstracto, general e indeterminado, imposible de sentir y percibir, pues tiene que ver con “formas culturales de hacer y de pensar” en continua transformación (Radford, 2015b, 2017a, 2017b, 2018c, 2019, 2020b, 2020d, 2021a). Dicho de otra manera, al fundamentarse en el materialismo dialéctico la TO concibe el saber como una entidad cultural e histórica y no como lo plantea el constructivismo, algo psicológico o subjetivo. Se trata de formas de acción y reflexión humana (corpórea, sensible y material), codificadas y sintetizadas histórica y culturalmente, que evolucionan a partir de las contradicciones sociales de donde surgen. Como sistema de pensamiento y acción, el saber es producido por los seres humanos y se transforma de una cultura a otra, a través del tiempo (Radford, 2016, 2017a, 2018a, 2018c, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2021a).

Por lo que se refiere a los objetos matemáticos, estos son definidos como “patrones fijos de actividad reflexiva incrustados en el mundo en cambio constante de la práctica social mediada por los artefactos” (Radford, 2006). Esto significa que objetos como “círculo”, “línea”, “plano”, etc., no son producto de la abstracción o contem-

plación intelectual, sino de la actividad práctica y laboral de los seres humanos. A diferencia de las posiciones ontológicas platónicas y realistas que conciben los objetos matemáticos como algo perpetuo y anterior a la actividad humana, o de la postura ontológica racionalista que los considera como producto de la mente regida por las leyes de la lógica, la TO los concibe como entidades sociales-histórico-culturales, producto de la actividad humana (Radford, 2006, 2007, 2008, 2015b).

En cuanto a su concepción sobre el ser, la TO se diferencia de las tendencias racionalistas y empiristas del siglo XVIII, las cuales consideran al individuo como una “entidad sustancial, producida desde adentro”, pues concibe al ser humano como un “ente histórico-cultural”, material y relacional (Radford, 2018a, 2018c, 2020d, 2021a). En tanto entidad material y relacional, en constante transformación, el sujeto se constituye como tal mediante sus acciones y reflexiones enraizadas en formas de acción y relación histórica y culturalmente constituidas (Radford, 2014, 2021a). Esto significa que los seres humanos no existen aislados del mundo y sus culturas, son seres relacionales que “piensan, hacen, sienten, imaginan, esperan y sueñan” a partir de su cultura y momento histórico (Radford, 2016, 2017c). El individuo, entonces, es considerado como “un ser natural” con necesidades, las cuales satisfacen a través de la actividad con otros individuos (Radford, 2016, 2020a). Además, se concibe a los individuos como “entidades en flujo”, proyectos de vida inacabados, coproduciéndose constantemente en un contexto cultural e histórico determinado (Radford, 2017c, 2020d).

Área Epistemológica

Para la TO el conocimiento no es una

construcción subjetiva ni algo que se transmite, es más bien la actualización o materialización sensible del saber y una entidad histórico-cultural, también. En otras palabras, el conocimiento es el “contenido conceptual, actualizado o materializado” del saber, entendido este como formas de hacer y de pensar histórica y culturalmente constituidas. Esto no significa que el conocimiento sea inmediato, sino resultado de la actividad que, como proceso de mediación, moviliza al saber y lo actualiza en una forma singular e incompleta, lo cual permite desarrollar, modificar y ampliar el saber general. En un sentido dialéctico, a través de la actividad, el saber es negado por el conocimiento que, a su vez, es negado por un nuevo saber desarrollado (Radford, 2017a, 2019, 2020a, 2020c, 2021a) (Figura 2).

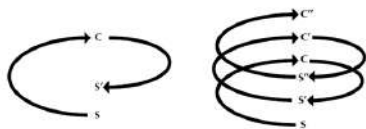


Figura 2. Dialéctica del saber y el conocimiento (Radford, 2017b). Nota: El saber (S) y el conocimiento (C) mediados por la actividad (flechas), para dar lugar a un nuevo saber (S') y nuevo conocimiento (C')

La TO parte de una concepción no mentalista, sino antropológica del pensamiento, el cual es considerado como una praxis reflexiva ocurrida en el ámbito de lo social y no en la mente de los sujetos (Radford, 2006, 2007, 2008). Dicho con mayor precisión, el pensamiento es “una reflexión mediatizada del mundo de acuerdo con la forma o modo de la actividad de los individuos” (Radford, 2006).

El carácter reflexivo del pensamiento significa que éste no es una simple asimilación de la realidad externa ni una construcción que surge de la nada, sino un movimiento dialéctico entre una realidad (histórica y culturalmen-

te constituida) y un individuo que la refracta y la transforma. En cuanto a su carácter mediatizado, este tiene que ver con el rol de los artefactos (signos, instrumentos, objetos, etc.) en la realización de la práctica reflexiva; ya que no se consideran auxiliares, sino parte constituyente de la actividad mental, pues “pensamos con y a través de los artefactos culturales”. De hecho, los artefactos son contenedores de saberes históricos y culturales (Radford, 2006, 2007, 2008). Al igual que los artefactos, las emociones y los afectos con parte constitutiva del pensamiento, por esa razón es que aprender matemáticas no es algo puramente mental, sino que también involucra lo emocional y afectivo (Radford, 2018a).

Área Educativa

En el marco del modelo económico neoliberal capitalista, las escuelas son vistas como instituciones bancarias donde los estudiantes pueden conseguir créditos y credenciales que les garanticen la movilidad social, o bien, son consideradas como empresas donde se producen sujetos necesarios para la economía de mercado (Radford, 2014, 2017c, 2020b). Contrario a esta visión, la TO considera que, en tanto “no sólo producen conocimientos sino también subjetividades” (Radford, 2018b), las escuelas deben ser un “espacio público de debates” (Radford, 2017c) y “un sitio de transformación social” (Radford, 2021a).

En ese sentido se concibe al salón de clase o aula como “una comunidad de aprendizaje” donde se produce el encuentro entre el sujeto y el objeto de saber; un espacio social donde se aprende a estar y ser con otros, escuchando y respetando otras voces, dando lugar a la reflexión crítica, la subversión y el cambio (Radford, 2006, 2007). Esto significa que el aula tam-

bién se entiende como “un espacio ético y político” donde el ser y el saber se transforman continuamente (Radford, 2008); un espacio donde “no sólo se producen saberes, sino también subjetividades” es decir, sujetos (estudiantes y docentes) envueltos en contextos histórico-culturales cambiantes que se transforman al trabajar juntos en una obra común (Radford, 2015a, 2018a, 2018b, 2018c, 2020d, 2021a).

Respecto a la concepción sobre los profesores y estudiantes, la enseñanza tradicional visualiza al estudiante como un simple receptor de los conocimientos que el docente le transmite; mientras que el constructivismo, asume que el alumno construye su propio conocimiento; y la TSD, conceptualiza al docente y el estudiante como individuos relacionados mediante un contrato didáctico en el cual se ha establecido implícitamente una clara división del trabajo, en la que el rol del docente consiste en asegurarse de que el estudiante acepte la responsabilidad de resolver los problemas matemáticos (Radford, 2016, 2017c). A diferencia de estos enfoques, la TO no concibe a los profesores y estudiantes como seres ya dados, autosuficientes y autónomos, sino como sujetos en formación continua o proyectos de vida inacabados que se realizan y comprometen en una obra común. Esto significa que maestro y alumno son entidades en constante flujo, pues ni el primero es poseedor de conocimientos que transmite, ni el segundo se mantiene como simple receptor pasivo, sino que ambos trabajan y se coproducen juntos (Radford, 2016, 2018a).

La TO también difiere de la concepción que favorece la alienación de los estudiantes al reducir la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas a la simple transmisión y adquisición de técnicas

y conceptos matemáticos (Radford, 2008, 2021a). Para la TO la enseñanza y el aprendizaje no son dos actividades separadas una de otra, sino una sola y misma actividad realizada por docentes y estudiantes (Figura 3) que implica tanto el saber cómo el ser y su devenir (Radford, 2008, 2014, 2018a, 2018b, 2019, 2020d).

Enseñanza-Aprendizaje



Figura 3. El proceso de enseñanza-aprendizaje como una sola actividad que implica el saber y el ser.
Fuente: Elaboración propia

A diferencia del constructivismo que considera al aprendizaje como un proceso individual y subjetivo, en el que el estudiante construye su propio conocimiento, la TO lo concibe como un proceso esencialmente social, histórico y cultural. Esto significa que la interacción es consustancial al aprendizaje, pues al no ser éste contemplativo ni pasivo ni puramente intelectual, requiere de la actividad colectiva de los individuos. Esto significa que la dimensión social no sólo es mediadora del aprendizaje, sino que es parte constitutiva de él (Radford, 2006, 2008, 2015a, 2018a, 2018b, 2020a, 2020c, 2020d).

La TO también se distingue, en cuanto a su concepción sobre el aprendizaje, de las corrientes socioculturales que adoptan el punto de vista de la “enculturación” y la “internalización”, pues el aprendizaje no se trata de la adaptación o integración del individuo a su cultura y las prácticas sociales existentes; tampoco se trata de la internalización de la cultura en el sujeto.

En ambos casos el aprendizaje queda reducido a la simple reproducción cultural y no toma en cuenta la dimensión crítica, ni la capacidad de acción transformadora de los individuos y su cultura (Radford, 2017a, 2018a, 2021a).

Igualmente, la TO se distancia de la tradición racionalista occidental que concibe a las matemáticas como algo puramente intelectual o cognitivo, pues considera que el aprendizaje incluye, además, la dimensión afectiva, la cual está integrada por varios descriptores, como es el caso de las emociones. Dichas emociones no obedecen a algo puramente biológico, sino que se desarrollan socialmente, dado que la manera de sentir de un individuo está cargada culturalmente de concepciones a través de las cuales los individuos se visualizan de una forma u otra (capaz o incapaz, por ejemplo) al estudiar matemáticas (Radford, 2017c, 2018a, 2018c, 2019, 2020d, 2021b).

Para la TO, entonces, el aprendizaje tiene que ver con el saber y el ser, por lo que no se limita a la cuestión del conocimiento o contenidos disciplinarios, sino que involucra también la dimensión del ser y su devenir (Figura 4). Dicho de otro modo, el aprendizaje es un proceso de objetivación que implica un “encuentro” con saberes culturales (sistemas de pensamiento y acción) y la transformación de los sujetos humanos, por lo cual, debe procurarse una comprensión profunda de conceptos matemáticos y, al mismo tiempo, la formación de sujetos reflexivos, solidarios y responsables (Radford, 2006, 2008, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2020b, 2020d, 2021a, 2021b).

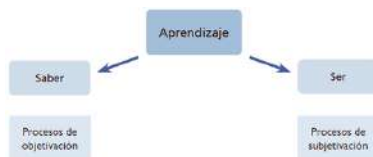


Figura 4. Concepción del Aprendizaje en la Teoría de la Objetivación (Radford, 2021b, p. 116).

El concepto objetivación es de “naturaleza semiótico-cognitiva” y hace referencia a la “conciencia subjetiva del objeto cultural”, es decir, un proceso social de toma de conciencia gradual de saberes culturales (sistemas de pensamiento y acción) que anteceden a los sujetos y son encontrados (objetivados) por ellos, dotándolos de sentido y significado, a través de la labor conjunta (Radford, 2006, 2007, 2008, 2018a, 2018b, 2018c, 2019, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2021a). Esto implica la transformación del saber general al saber actualizado en conocimiento, revelado por la actividad sensible, material y conjunta de profesores y estudiantes durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (Radford, 2017a). Dicho de otra forma, la objetivación “es el proceso social, corpóreo y simbólicamente mediado de toma de conciencia y discernimiento crítico de formas de expresión, acción y reflexión constituidas históricamente [sic] y culturalmente” (Radford, 2014, p. 141). La toma de conciencia y discernimiento crítico significa que se trata de un proceso dialéctico en el que sujeto y objeto se transforman mutuamente (Radford, 2015a, 2018b).

Para estudiar el aprendizaje desde la dimensión del saber, al interior de la TO se creó el constructo teórico denominado procesos de objetivación. Es a través de estos procesos por los cuales los estudiantes colectivamente toman conciencia gradual de formas de acción y reflexión, así como de significados

culturales e históricos. Esto no significa que los estudiantes acepten dichas formas de pensamiento y acción de forma acrítica y que sólo las reproduzcan. Tampoco implica que tomen conciencia de ellas de forma repentina, sino que lo hacen progresivamente, pues los saberes culturales se van revelando parcialmente (Radford, 2015a, 2015b, 2018b, 2018c, 2020a, 2020c).

Asimismo, la TO introduce el concepto de medios semióticos para referirse a todos aquellos signos y artefactos culturales (símbolos matemáticos, gráficos, palabras, gestos, calculadoras, etc.) que son utilizados tanto por los estudiantes como por los profesores durante el proceso de objetivación. Dichos artefactos son considerados partes constitutivas y consustanciales del pensamiento humano, es decir, que se piensa con y a través de tales artefactos depositarios de saberes culturales. Esto ubica a los objetos conceptuales no dentro de la cabeza de los individuos, sino en el plano de lo social (Radford, 2006, 2007, 2008).

Al utilizar la categoría subjetivación, la TO se refiere al proceso histórico de formación y creación permanente de sujetos únicos (profesores y estudiantes) que, al participar en actividades sociales (matemáticas, por ejemplo) de su cultura, toman una “posición” abierta y crítica. En este sentido, posicionarse implica encontrarse con otros, hacer valer su “voz” y expresar críticamente su perspectiva, haciéndola así presente en este mundo (Radford, 2008, 2014, 2015a, 2018b, 2018c).

Para investigar el aprendizaje y la producción de subjetividades la TO creó el constructo teórico denominado “procesos de subjetivación” (Radford, 2018a, 2020b, 2020d), los cuales ocurren simultáneamente con los procesos

de objetivación durante la actividad de enseñanza-aprendizaje (Radford, 2020b, 2021a). A través de ellos, estudiantes y profesores se coproducen continuamente como sujetos singulares, como proyectos de vida inacabados que llegan a ser presencia cuando llegan a actuar y expresarse críticamente en contextos culturales e históricos determinados (Radford, 2016, 2017c, 2018a, 2018b, 2019, 2020b, 2021a, 2021b). De acuerdo con su concepción sobre el ser, la TO define la subjetividad como la actualización o materialización continua de dicho ser en un sujeto singular reflexivo y sensible, siempre en constante transformación (Radford, 2017c). Una subjetividad es entendida, entonces, como “un sujeto o individuo único, histórico, cultural y concreto” (Radford, 2020b, p. 36) inacabado. En la TO el interés está en la formación de subjetividades (profesores y estudiantes) críticas y éticas (Radford, 2020d).

Con respecto a la actividad, la TO se refiere a ella a partir de cuatro dimensiones (Radford, 2021a), a saber:

- 1) Constitutiva: actividad referida a la energía “sensible y sensual, material e ideal, discursiva y gestual” de los individuos que buscan algo en común.
- 2) Ontológica: actividad relativa a una forma de vida que conlleva a la realización de los individuos como seres vivos.
- 3) Epistemológica: actividad a través de la cual “los individuos producen y reproducen los objetos del saber” histórico-cultural.
- 4) Relacional: actividad configurada en torno a una ética comunitaria basada en la responsabilidad, el compromiso y el cuidado del otro.

Además de lo anterior, la TO distingue entre actividad como *Aktivität/aktivnost* y actividad como *Tätigkeit/deyatel'nost'*. En el primer caso se trata

simplemente de “estar ocupado con algo”. En el segundo se trata de un “esfuerzo conjunto” entre individuos para satisfacer sus necesidades colectivas (al producir sus medios materiales de vida) y al mismo tiempo producirse a sí mismos. Para no confundirla con otro tipo de actividad, se le denomina labor conjunta (Radford, 2018a, 2018c, 2020a, 2020d).

El concepto de labor conjunta es central en la TO, pues permite comprender el proceso de enseñanza-aprendizaje como una única actividad en la que profesores y estudiantes trabajan juntos en la misma “obra común” en la que aparece el saber actualizado o materializado (Figura 5). Esto se da bajo formas comunitarias de producción de saberes y formas colectivas de colaboración (éticas y no alienantes), que no están exentas de tensiones y diferencias entre los sujetos involucrados (Radford, 2016, 2017a, 2017c, 2018a, 2018c, 2019, 2020a, 2020c, 2020d, 2021a).



Figura 5. Labor conjunta entre profesora y estudiantes trabajando en la misma “obra común” (Radford, 2019, p. 3068).

La labor conjunta involucra modos de producción y relaciones de producción, ejes en torno a los cuales se organiza la actividad en el aula o espacio de enseñanza-aprendizaje (Figura 6). Los primeros tienen que ver con todos aquellos procedimientos, maneras o formas colectivas y culturales de producción de saberes (Radford, 2014, 2018b, 2020d, 2021a). Las segundas se refieren a las formas de relacionarse e interactuar los sujetos, es decir, a las formas de colaboración humana

(Radford, 2014, 2020d). Las formas de cooperación promovidas por la TO se basan en una ética comunitaria, por lo que difieren de las formas alienantes de la enseñanza tradicional donde las relaciones son transmisor-receptor y de la pedagogía individualista centrada en el estudiante donde la relación es instrumental (Radford, 2018b, 2020d, 2021a).

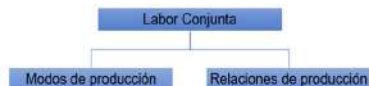


Figura 6. Ejes de la labor conjunta en el aula de clase. Fuente: Elaboración propia

Área Valorativa

La TO está cimentada en un proyecto de transformación social que aspira a superar el actual modelo neoliberal capitalista alienante, mediante la creación de sujetos reflexivos, críticos y éticos, que sean capaces de construir una sociedad justa, inclusiva y digna (Radford, 2017c, 2020b). En este marco se inscribe el proyecto educativo de la TO que atribuye a la educación un potencial muy importante para el cambio social (Radford, 2017c), pues es concebida como un proyecto que implica no sólo la dimensión del conocimiento sino, también, la del devenir del sujeto (Radford, 2018b).

Lo anterior explica que, desde la TO, los conceptos educativos de saber, aprendizaje y estudiante, sean vistos siempre en relación con el contexto político, económico y social del cual surgen (Radford, 2018b). Esto la hace distinguirse de otras teorías actuales en educación matemática (la TSD y el socio constructivismo, por ejemplo) que justifican la educación en la medida que garantiza la formación de un sujeto autónomo, independiente y libre (Radford, 2007), que despliega su potencial cognitivo y se autorrealiza al aprender (Radford, 2021a).

Como parte del proyecto social y educativo mencionados, la TO invita a repensar la finalidad de la Educación Matemática más allá de la difusión de saberes, como lo plantea la TSD, así como de la construcción y desarrollo de estructuras mentales que sugiere el constructivismo norteamericano (Radford, 2014, 2015a, 2018a). La TO trasciende el contenido disciplinario y concibe a la Educación Matemática como “un esfuerzo político, social, histórico y cultural cuyo fin es la creación de individuos éticos y reflexivos que se posicionan de manera crítica en prácticas matemáticas constituidas histórica y culturalmente” (Radford, 2014, p. 135-136), deliberando sobre “nuevas posibilidades de acción y de pensamiento” (Radford, 2016, 2018a, 2018b, 2020b, 2020d, 2021a); e imaginando “nuevas formas de vida colectiva, justa y solidaria” (Radford, 2021b).

Desde el punto de vista histórico-cultural de la TO, la Educación Matemática deja de ser considerada como un apéndice de las matemáticas que sólo busca técnicas y métodos pedagógicos para transmitir eficientemente el saber matemático a los estudiantes; se le asocia más bien con la dimensión ética y transformadora de los estudiantes, quienes dejan de ser vistos como simples resolutores de problemas matemáticos (Radford, 2017c, 2018b).

La ética que promueve la TO en el aula de clase es consistente con el proyecto social-educativo que promueve y es denominada ética comunitaria (Radford, 2015a, 2016, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2021a, 2021b). Dicha ética se compone de tres vectores (Figura 7), a saber: 1) la responsabilidad, referida al acto de responder al llamado del otro con el cual se está trabajando conjuntamente; 2) el compromiso hacia los demás como

promesa y cumplimiento de hacer todo lo posible en la realización de la “obra común” durante la labor conjunta; y, 3) el cuidado del otro que, al trabajar con él, implica la atención, preocupación e interés al reconocer su vulnerabilidad, sufrimientos, necesidades y esperanzas (Radford, 2017c, 2018b, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2021b).

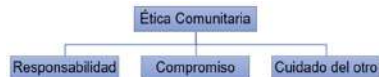


Figura 7. Vectores de la ética comunitaria. Fuente: Elaboración propia

Área Metodológica

No fue, sino hasta casi una década después de haber sido esbozados sus componentes conceptuales generales, cuando apareció un artículo centrado en los aspectos metodológicos de la TO (Radford, 2006, 2015). Así, pues, en tanto el objetivo es estudiar el proceso de toma de conciencia de saberes matemáticos constituidos histórica y culturalmente, la actividad desarrollada en el aula por estudiantes y docentes juntos constituye la unidad de análisis (Radford, 2015a, 2016, 2017a, 2018a, 2019).

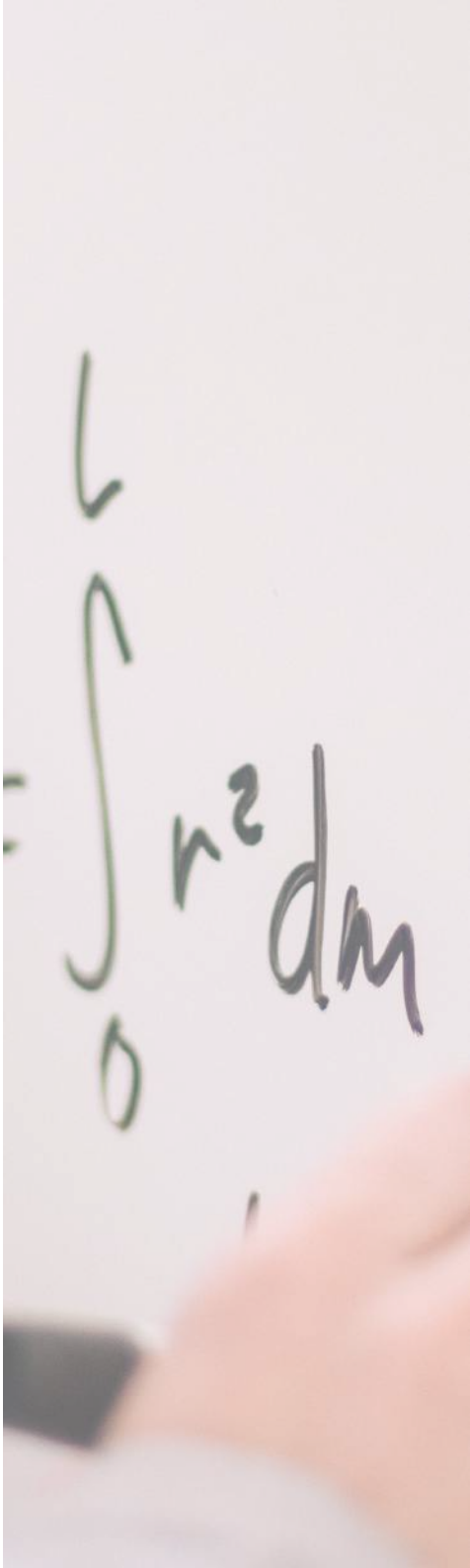
Al momento de diseñar las tareas, se sugiere que el docente tome en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes y que los problemas sean interesantes para estos. Igualmente, debe propiciar la discusión en pequeños grupos, entre grupos y en plenaria (Figura 8); debe considerar niveles conceptuales cada vez más profundos y ofrecer la oportunidad de que los estudiantes reflexionen matemáticamente de diferentes maneras a las matemáticas dominantes, así como proponer problemas con un nivel de complejidad creciente (Radford, 2006, 2015a).



Figura 8. La actividad como sistema emergente en el aula (Radford, 2015a, p. 556).

Se propone realizar la recopilación de datos a través de la grabación de video y audio de la actividad conjunta de docentes y estudiantes, las hojas de trabajo de los estudiantes y notas de campo creadas con grabadoras de voz después de cada clase (Radford, 2015a).

El interés está en analizar los procesos de objetivación y subjetivación de los estudiantes. Así que se procede a transcribir y seleccionar los “segmentos sobresalientes” (evidencia de aprendizaje) de las videograbaciones realizadas, a partir de los principios de la Teoría de la Objetivación y las preguntas de investigación (Radford, 2015a). Se recomienda poner atención en los medios semióticos de objetivación que utilizan los estudiantes durante el proceso de toma de conciencia de los saberes matemáticos constituidos histórica y culturalmente (Radford, 2006). La toma de conciencia es analizada a partir de la actividad multimodal (perceptiva, auditiva, corporal, lingüística y simbólica) de estudiantes y docente (Radford, 2015a). Para analizar los procesos de objetivación se rastrean elementos discursivos, semióticos y corporales; mientras que para el análisis de los procesos de subjetivación se identifican las posturas (voces) críticas y éticas a través de las cuales se co-posicionan tanto los estudiantes como el docente (Radford, 2020b).



CONCLUSIÓN

La TO se inscribe dentro de las teorías socioculturales contemporáneas de la Educación Matemática. Fundamentada en el materialismo dialéctico y en un sentido ontológico, concibe al saber, los objetos matemáticos y el ser como entidades histórico-culturales en constante transformación. En términos epistemológicos, sostiene que el conocimiento solo es posible a través de la actividad colectiva y que los artefactos culturales, así como las emociones y los afectos, son parte constitutiva del pensamiento, por lo que aprender matemáticas es algo emocional y afectivo, también.

Para la TO, tanto la escuela como el salón de clases o aula son espacios de transformación social, pues en ellos no solo se producen saberes, sino también subjetividades. Los profesores y estudiantes son concebidos como entidades inacabadas y en evolución constante, ya que realizan una sola y misma actividad durante el proceso de enseñanza-aprendizaje en el cual están implicados tanto el saber cómo el ser. El aprendizaje, entonces, es concebido como un proceso social, histórico y cultural, que implica tanto el encuentro con saberes culturales (objetivación) y la toma de conciencia de estos (procesos de objetivación), así como la formación de sujetos únicos (subjetivación).

Por lo anterior, se entiende que la TO parte de un proyecto social-educativo que invita a repensar el objetivo de la educación matemática, más allá de la difusión de saberes o la construcción de estructuras cognitivas mentales, pues la concibe en términos políticos, sociales, históricos y culturales. Así pues, a partir de la labor conjunta (entre estudiantes y profesores) y una ética comunitaria basada en la responsabilidad, el compromiso hacia los demás y el cuidado del otro, pretende formar sujetos reflexivos y críticos que contribuyan a la transformación social.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Agradecimiento.

Los autores agradecen al Instituto de Ciencias (ICUAP) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por su invaluable apoyo a la divulgación científica.

REFERENCIAS

- Blanco, H. (2011). La postura sociocultural de la educación matemática y sus implicaciones en la escuela. *Revista Educación y Pedagogía*, 23(59), 59-66.
- Godino, J. D. (2000). La consolidación de la educación matemática como disciplina científica. En, A. Martínón. *Las matemáticas del siglo XX. Una mirada en 101 artículos* (pp. 347-350). Nivola.
- Hernández, L. A. y Juárez, J. A. (2 de noviembre de 2015). La educación matemática como ciencia. *Saberes y Ciencias. Suplemento de La Jornada de Oriente*. No. 045. <https://saberesyciencias.com.mx/2015/11/02/la-educacion-matematica-como-ciencia/>
- Planas, N. (2010). Las teorías socioculturales en la investigación en educación matemática: reflexiones y datos bibliométricos. En M.M. Moreno, A. Estrada, J. Carrillo, & T.A. Sierra, (Eds.). *Investigación en Educación Matemática XIV* (pp. 163-195). Lleida: SEIEM
- Pochulu, M. D. y Rodríguez, M. A. (2016). Introducción. En M. D. Pochulu, y M. A. Rodríguez. (Comps.). *Educación Matemática. Aportes a la formación docente desde distintos enfoques teóricos*. Editorial Universitaria Villa María.
- Radford, L. (2006). Elementos de una teoría cultural de la objetivación. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, Special Issue on Semiotics, Culture and Mathematical Thinking*, pp. 103-129., <http://relime.org/index.php/repositorio/volumen-9/numero-especial-9-4/0904p/270-pdf-elementos-de-una-teoria-cultural-de-la-objetivacion/file>
- Radford, L. (2007). Towards a cultural theory of learning. In Pitta-Pantazi, D. & Philippou, G. (Eds.). *Proceedings of the Fifth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME – 5)*, pp. 1782-1797.
- Radford, L. (2008). The ethics of being and knowing: Towards a cultural theory of learning. In L. Radford, G. Schubring & F. Seeger (Eds.), *Semiotics in mathematics education: epistemology, history, classroom, and culture* (pp. 215-234). Sense Publishers.
- Radford, L. (2014). De la teoría de la objetivación. *Revista Latinoamericana de Etnomatemática*, 7(2), pp. 132-150. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=274031870010>
- Radford, L. (2015a). Methodological Aspects of the Theory of Objectification. *Perspectivas da Educação Matemática*, 8(18), pp. 547-567.
- Radford, L. (2015b). The Epistemological Foundations of the Theory of Objectification. In L. Branchetti (Ed.), *Teaching and Learning Mathematics. Some Past and Current Approaches to Mathematics Education* (pp. 127-149). Isonomia.
- Radford, L. (2016). The theory of objectification and its place among sociocultural research in mathematics education. *Revista Internacional de Pesquisa Em Educação Matemática*, 6(2), 187-206.
- Radford, L. (2017a). Aprendizaje desde la perspectiva de la Teoría de la Objetivación. En B. D'Amore & L. Radford (Eds.), *Enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: problemas semióticos, epistemológicos y prácticos* (pp. 115-136). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Radford, L. (2017b). Saber y conocimiento desde la perspectiva de la Teoría de la Objetivación. En B. D'Amore & L. Radford (Eds.), *Enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: problemas semióticos, epistemológicos y prácticos* (pp. 97-114). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Radford, L. (2017c). Ser, subjetividad y alienación. En B. D'Amore & L. Radford (Eds.), *Enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: problemas semióticos, episte-*

mológicos y prácticos (pp. 97-114). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Radford, L. (2018a). A cultural-historical approach to teaching and learning: The theory of objectification. In: Hsieh, F.-J. (Ed.), Proceedings of the 8th ICMI-East Asia Regional Conference on Mathematics Education (Vol 1, pp. 137-147). EARCOME.

Radford, L. (2018b). Algunos desafíos encontrados en la elaboración de la Teoría de la Objetivación. PNA. Revista de investigación en Didáctica de la Matemática, 12(2), pp. 61-80. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/pna/article/view/6965>

Radford, L. (2018c). Saber, aprendizaje y subjetivación en la Teoría de la Objetivación. En I. Abreu Mendes (Ed.), Anais do 5o Simpósio Internacional de Pesquisa em Educação Matemática – 5º SIPEMAT (pp. 1-22).

Radford, L. (2019). On the Epistemology of the Theory of Objectification. In U. T. Jankvist, M. Van den Heuvel-Panhuizen, & M. Veldhuis (Eds.), Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME11, February 6 – 10, 2019) (pp. 3062-3069). Freudenthal Group & Freudenthal Institute, Utrecht University and ERME.

Radford, L. (2020a). ¿Cómo sería una actividad de enseñanza-aprendizaje que busca ser emancipadora? La labor conjunta en la teoría de la objetivación. Revista Colombiana de Matemática Educativa, RECME, Número especial de la Teoría de la Objetivación, 5(2), pp. 15-31. <http://ojs.asocolme.org/index.php/RECME/article/view/379>

Radford, L. (2020b). El aprendizaje visto como saber y devenir: una mirada desde la teoría de la objetivación. REMATEC: Revista de Matemática, Ensino e Cultura, 15(36), 27-42.

Radford, L. (2020c). Le concept de travail conjoint dans la théorie de l'objectivation. In M. Flores González, A. Kuzniak, A. Nechache, & L. Vivier (Eds.), Cahiers du laboratoire de didactique André Revuz n°21 (pp. 19-41). IREM de Paris.

Radford, L. (2020d). Un recorrido a través de la teoría de la objetivación. En S. Takeco Gobara & L. Radford (Eds.), Teoria da Objetivação: Fundamentos e aplicações para o ensino e aprendizagem de ciências e matemática (pp. 15-42). Livraria da Física.

Radford, L. y Lasprilla, A. (2020). De por qué la ética es ineludible de considerar en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas. La matemática e la sua didáctica, 28(1), 107-128.

Radford, L. (2021a). Aspectos conceituais e práticos da teoria da objetivação. En V. Moretti & L. Radford (Eds.), Pensamento algébrico nos anos iniciais: Diálogos e complementaridades entre a teoria da objetivação e a teoria histórico-cultural (pp. 35-56). Livraria da Física.

Radford, L. (2021b). La ética en la teoría de la objetivación. En L. Radford & M. Silva Acuña (Eds.), Ética: Entre educación y filosofía (pp. 107-141). Universidad de los Andes.

LOS HUMEDALES, POLÍTICAS A SEGUIR PARA SU RESCATE

WETLANDS, POLICIES TO FOLLOW FOR ITS RESCUE

Amado Enrique Navarro-Frómeta^{1*},
María-del-Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa²

<https://orcid.org/0000-0001-9509-908X>
<https://orcid.org/0000-0002-4827-0670>

Recibido: 9/julio/2023
Aprobado: 30/Noviembre/2023
Publicado: 07/enero / 2024

¹Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, Calle de la Reforma 168, Campestre La Paz, 74420 Izúcar de Matamoros, Puebla, México

²Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Química, FQ, Departamento de Ingeniería Química, DIQ, Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, LIQAYQA, Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México.
Tel. (+52-55) 5622-5300 al 04, Fax (+52-55) 5622-5300
Correos-e (e-mails): navarro4899@gmail.com, mcduran@quimica.unam.mx

Resumen

El objetivo de esta investigación es el de sentar las bases de una política de rescate y conservación de los humedales mexicanos para que los seres humanos que coexisten con ellos se relacionen simbióticamente con ese entorno ofreciendo y recibiendo beneficios mutuos. Debe considerarse el proyecto denominado PentaHélice para que esta política funcione. Con el apoyo de estas cinco partes de la sociedad humana, podrán construirse humedales artificiales o tecnificados que impidan que el agua residual llegue a los humedales dañando sus ecosistemas. La consolidación de estas acciones permitirán alcanzar la sustentabilidad y el aprovisionamiento de alimentos, agua limpia y ambientes agradables que mejoren la calidad de vida, tanto espiritual como material, para todas las personas y para la naturaleza.

Palabras clave: Humedales, rescate, cambio climático

Abstract

The objective of this research is to establish the bases of a policy of rescue and conservation of the Mexican wetlands so that the human beings that coexist with them relate symbiotically with that environment offering and receiving mutual benefits. The PentaHelix project must be considered for this policy to work. With the support of these five parts of human society, artificial or technical wetlands might be built that prevent residual water from reaching the wetlands, damaging their ecosystems. The consolidation of these actions will make it possible to achieve sustainability and the supply of food, clean water and pleasant environments that improve the quality of life, both spiritual and material, for all people and for nature.

Keywords: Wetlands, rescue, climate change

Introducción

En los años 80 del siglo veinte la relación con los humedales en el grupo de investigación creado por la segunda autora se inició por invitación del Prof. Dr. Fermín Rivera de la ahora FES Iztacala (López-Ochoterena, 1998; en Gaitán-Zamora, 2022).

De hecho, en esa década México fue incluido en la Convención de Ramsar para proteger sus humedales (Durán-Domínguez-de-Bazúa et al., 2022). En estos casi 40 años se ha visto que la inclusión de estos humedales de importancia internacional con los que la naturaleza nos dotó no conllevó un programa articulado para protegerlos enseñando de manera proactiva a los grupos sociales que viven en el entorno de los humedales a aprender a llevar a cabo una convivencia con ellos de manera simbiótica, dando y recibiendo vida y calidad de vida para ambos ecosistemas, el de los grupos humanos y el de los humedales naturales.

Y esta es justamente la tarea que debe seguirse en la sociedad para armonizar el modus vivendi de los seres humanos con el de los humedales que la naturaleza dio a todos los seres vivos del planeta Tierra y, en especial, a México, tan rico en biodiversidad, como lo señala su Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO.

Si se analizan los temas de las celebraciones del Día Mundial de los Humedales ellos darán pautas para lograr esta simbiosis positiva entre estos ecosistemas y los grupos humanos que cohabitan con ellos. Se invita a las(os) lectoras(es) a consultar el libro “Los humedales, un día de celebración y 364 días y un cuarto de trabajo para su rescate, una reseña histórica” publicado por los autores y que se encuentra en

el portal electrónico de la RedICA de la BUAP.

Por tanto, el objetivo de esta reflexión es ofrecer una solución que permita ofrecer una política de rescate para los humedales mexicanos.

A continuación se desarrolla esta investigación que da pautas para rescatarlos.

Para ello se plantea la problemática que estos sistemas únicos en nuestro planeta han sido depredados y destruidos por Homo sapiens en aras de un beneficio inmediato.

Con base en la búsqueda de soluciones, un grupo de países se reunieron para crear lo que se llamó la Convención de Ramsar, la ciudad iraní donde se desarrolló esta reunión. La primera vertiente es incluirlos en una solución multi-grupal y se da el ejemplo de un proyecto europeo conocido como la penta-hélice.

La segunda propuesta de solución para el caso de México, con base en varias publicaciones que dan algunas respuestas más promisorias, se da el ejemplo de los llamados humedales artificiales o tecnificados o construidos que permiten tratar el agua contaminada antes de verterla a los humedales conocidos como naturales.

Bases de las propuestas

Hasta 2022 han transcurrido 26 años de la celebración formal del Día Mundial de los Humedales y este próximo 2 de febrero de 2023, se iniciará una siguiente a partir de 2021 cuando la ONU declaró este Día Mundial dentro de las celebraciones de los 25 años como Día Internacional de su organización ya que los seres humanos al tener cinco dedos en nuestras extremidades tendemos a contar en lustros.

El 2 de febrero de 2022 el diario La Jornada en Yucatán señaló:

“Este 2 de febrero, como parte del Día Mundial de los Humedales, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) entregó la distinción internacional Ramsar a la Reserva Ciénagas y Manglares de la Costa Norte de Yucatán. Esta reserva cuenta con una superficie de más de 54 mil hectáreas de conservación, que brindan ‘un sinnfín’ de servicios ecosistémicos.”

“Este tipo de lugares son humedales protegidos por ser considerados cunas de diversidad biológica, es decir, son uno de los entornos más productivos del mundo y un refugio de varias especies de flora y fauna.

México ocupa la segunda posición de países con mayor número de sitios Ramsar, ya que contaba con 142, los cuales suman una superficie de 8 millones 657 mil 57 hectáreas.”

En realidad son ya 144 humedales de importancia internacional con dos más aprobados en 2022.

<https://www.lajornadamaya.mx/yucatan/189313/reserva-cienagas-y-manglares-de-la-costa-norte-de-yucatan-reconocida-como-sitio-ramsar#:~:text=La%20regi%C3%B3n%20cuenta%20con%20una,prioritaria%20para%20la%20conservaci%C3%B3n%20de>

En estos casi 27 años todavía no ha podido traducirse plenamente la concientización de las sociedades humanas de promover la recuperación o restauración o rescate de los humedales. México no es la excepción y continúa destruyéndolos. En la publicación previa ya mencionada se señalaban los puntos más preocupantes para el caso de México, tomados justamente de la Convención de Humedales de Ramsar cuando había 142 sitios (Durán-Domín-

guez-de Bazúa et al., 2022):

Contaminación	105
Modificaciones de los sistemas naturales	97
Utilización de recursos biológicos	96
Asentamientos humanos (no agrícolas)	83
Agricultura y acuicultura	81
Regulación del agua	58
Especies invasoras y otras especies y genes	45
Problemáticos	45
Intrusiones y perturbaciones humanas	31
Cambio climático y condiciones meteorológicas adversas	27
Corredores de transporte y servicios	16
Producción energética y minería	2
Fenómenos geológicos	2

Es claro que en este documento no pueden darse las pautas para resolverlos todos. Se tomará el ejemplo de los humedales conformados por el antiguo Lago de Xochimilco del cual solamente queda una proporción mínima habiendo ocurrido esto justamente por los asentamientos humanos sin actividades agrícolas y también por la contaminación. Y se seleccionó porque representa a uno de los 83 sitios Ramsar de México afectados del total de los 142 para el primer rubro (casi el 60% de ellos) y uno de los 105 del segundo (casi el 75% de ellos).

Primera propuesta: El ejemplo del proyecto Penta-Hélice europeo

Para esta propuesta se requiere de la aplicación decidida del proyecto europeo denominado pentahélice que incluye, según quienes la promovieron a los cinco componentes importantes de una comunidad que, unidos, podrán resolver un problema común:

El capital (servicios financieros, bancos, inversionistas, dueños de propiedades, etc.)

La comunidad (grupos vecinales, asociaciones deportivas, grupos escolares, organizaciones protectoras de la vida silvestre, todas las personas)

El conocimiento (diseñadores, ingenieros, científicos, médicos, investigadores)

Las empresas (emprendedores, dueños de tiendas, desarrolladores de edificaciones, agricultores, manufactureras, etc.)

El gobierno (servicio público: administradores, organismos políticos, policía, servicios de salud, transporte público, autoridades locales) (ver la imagen abajo)



Tomado de: <https://osmosnetwork.com/pentahelix/>

En este proyecto desarrollado bajo los auspicios de la Unión Europea, durante 43 meses, estos cinco grupos se unieron para buscar soluciones para mejorar el clima y el uso de la energía en sus comunidades. A continuación se muestran algunos de los infogramas que ellos ponen a disposición de los cibernautas: <https://pentahelix.eu/the-final-newsletter-of-pentahelix-no-6-is-out-will-be-delivered-to-your-mailbox/>

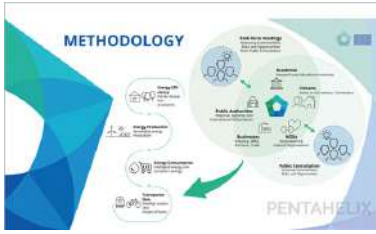
El proyecto empodera a las auto-

ridades locales y regionales para encontrar enfoques innovadores y rentables para desarrollar, financiar, implementar y mejorar los Planes de Acción Climática y de Energía Sostenible (PACES) que contribuyen a alcanzar los objetivos y políticas nacionales y europeos en materia de clima y energía. El 30 de septiembre de 2021 marca el cierre oficial del proyecto PentaHelix. A lo largo de 43 meses se ha desarrollado e implementado una metodología para facilitar la adopción de PACES en toda Europa. Se incluyen cifras sobre los resultados obtenidos, así como una instantánea de la participación del proyecto en un congreso y algunas actualizaciones sobre la adopción de los PACES.

Resultados del proyecto Penta-Hélice

“El proyecto se está cerrando. Ha sido un viaje largo y emocionante que arrojó resultados impresionantes, tanto en términos de número de PACES desarrollados, partes interesadas comprometidas como de ahorro de energía, producción de energía renovable y reducción de CO2. Todos estos datos se han recogido en una infografía que resume los resultados obtenidos en cada país y el total.” Como las imágenes dicen más que mil palabras, las figuras mostradas a continuación lo hacen:





"El Proyecto PentaHélice ha contribuido a los objetivos del Pacto de los Alcaldes y ayuda a los municipios y partes interesadas a trabajar en una visión y misión integradas"

Palabras de Orlando Redondo, Jefe del Departamento de Ahorro de Energía y Eficiencia



"El proceso de co-creación con las diferentes partes interesadas - como agricultura, negocios, escuelas y organizaciones - ha fomentado una mayor participación y apoyo para las acciones del plan llamado 'Clima'"

Palabras de Danny Bossuyt, Consejal del Ambiente en el municipio de Meulebeke (municipio piloto parte de la consulta climática "Midwest" guiada por "World Vision International")



"El proyecto Penta-Hélice ha sido importante para desarrollar e implementar Los Planes de Acción Climática y de Energía Sostenible (PACES) en Viken. Se han desarrollado e implementado un número importante de medidas en cooperación con el grupo de trabajo de los Socios Climáticos de Viken"

Palabras de Guri Bugge, Coordinador del Clima de Viken

Estos ejemplos de comunidades en España, Bélgica y Noruega en el marco del proyecto Penta-Hélice dan la pauta para que el(a) alcalde(sa) de Xochimilco se reúna con:

- los(as) habitantes de los diferentes barrios de Xochimilco,
- los(as) floricultores(as) que usan productos agroquímicos,
- los(as) chinamperos(as) que siguen los métodos tradicionales,
- los(as) agricultores(as) de tierra firme que también usan productos agroquímicos,
- las autoridades de escuelas de todos los niveles públicas y privadas,
- los(as) responsables de centros de salud y comunitarios,
- los(as) dueños(as) de trajineras,
- los(as) prestadores de servicios (alimentos, música, etc.) y teniendo como interlocutor al(a) responsable del Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

¿Por qué los autores hacen esta propuesta?

Porque lo que queda del Lago de Xochimilco sobrevive por el agua de lluvia y por el suministro de agua tratada de las plantas de tratamiento de aguas residuales, PTAR,

a cargo del SACM. Y, justamente estas plantas, especialmente la de Cerro de la Estrella, es una de las que reciben aguas mixtas que no pueden ser tratadas eficazmente con el sistema que tiene, enviando agua contaminada con sustancias emergentes como residuos de medicamentos, de productos químicos, etc., provenientes de la demarcación territorial de Ixtapalapa. Estas acciones contaminan aún más los canales, que es todo lo que queda del hermoso Lago de Xochimilco.

También las instituciones de educación superior e investigación como la UNAM, la UAM, el IPN, etc., pueden ser parte del grupo ya que con las ideas y guía del conocimiento las partes interesadas lograrán llevar a buen puerto las acciones que se emprendan para alcanzar el rescate de este humedal.

Obviamente, estas acciones van a requerir del apoyo financiero y logístico del primer nivel de gobierno a través de la Comisión Nacional del Agua y de quienes manejan el dinero (banqueros, emprendedores, etc.).

Segunda propuesta:

Uso de humedales artificiales, contruidos o tecnificados para limpiar las aguas residuales antes de verterlas a los humedales naturales

Intensificación de procesos en humedales para el tratamiento de aguas contaminadas o aguas residuales

Uno de los inconvenientes de la tecnología de los humedales de tratamiento, especialmente de los sistemas de flujo subsuperficial horizontal, es que normalmente requieren un área de terreno considerable, para alcanzar tasas satisfactorias de

remoción de la DBO, la DQO, el nitrógeno amoniacal, N-NH₄⁺, cuando se diseñan los mismos como el único sistema de tratamiento. Esto incluye además a algunos contaminantes más refractarios como los medicamentos, las sustancias de uso personal, etc., sobre todo cuando es necesario tratar aguas residuales complejas y de alta demanda de oxígeno para la eliminación mediante procesos de oxidación de las sustancias químicas presentes en las mismas (Khan et al., 2022).

Lo anterior ha conducido a su utilización para el pulido terciario y a su combinación en sistemas híbridos con otras alternativas de tratamiento. Sin embargo, en los últimos años se han explorado e introducido en la práctica alternativas para intensificar los procesos que ocurren en estos sistemas como aplicación independiente dando lugar a lo que se conoce como humedales intensificados. Estos sistemas en esencia mediante diferentes estrategias aumentan el suministro de oxígeno o intensifican los procesos de remoción de los contaminantes (Li et al., 2023b; Qiu et al., 2023; Sossalla et al., 2021; Zhuang et al., 2019).

En la Tabla 1 se muestran algunas opciones revisadas por Carlos Arias (2018) en la IV Conferencia Panamericana de Humedales realizada en la Ciudad de Lima, Perú.

Tipo de Intensificación / Intensive Type	Clase de intensificación / Intensive Class	Ejemplo / Example
Energética / Energy Supply	Aeración / Aeration Alargado / Extended Bombeo / Pumping Flotación / Flotation	Sistemas aerados (Arias, 2018) / Aerated systems (Arias, 2018) H1 de filtrado y drenaje alternos / CW with alternative filling and drainage
Fisicoquímica / Physicochemistry application	Materiales con capacidad de adsorción / Materials with adsorptive capacity Desulfuración química / Chemical desulfurage	Escorias, arcilla expandida, zeolitas, bioadsorbentes, material químico, minerales de ingeniería / Slag expanded clay, zeolites, bioadsorbent, chemical material, engineering minerals
Bioelectrónica / Bioelectrónica	Bacterias bioelectrónicas / Bioelectronic bacteria	Alumina, cloruro férrico, agentes oxidantes / Alumina, ferric chloride, oxidizing agents
Operacionales / Operative systems	Cosechas con frecuencia / Crop harvest Períodos de descenso / Flooding periods Recirculación de caudales / Hydraulic force recirculating	Medellín 07 Algo similar a lo desarrollado en México desde 2011 y patentado en 2017 (Salinas-Jurado, 2017) Alfamares de cargas en lechos paralelos / Alfamares beds in parallel beds Recirculación de efluentes en humedales de flujo vertical / Recirculating of effluents in vertical flow wetlands

Tabla 1. Humedales tecnificados, algunos ejemplos

Dos ejemplos tomados de Arias (2018)

Sistemas aireados

Generalmente se diseñan para satisfacer demandas altas de oxígeno usando aireación

-Eliminación de altos niveles de DBO5

-La **desnitrificación** se puede incrementar modificando los esquemas de operación de la aireación

-Se construyen para tratar aguas "complicadas" de efluentes con altas demandas de O₂

Cuando no hay suficiente superficie disponible

Cuando hay cambios estacionales extremos

Cuando se desean tecnologías verdes con energía

Humedal aireado, ejemplo

En las siguientes dos fotografías se observa un humedal tecnificado aireado. En la Fotografía 1 se observan las tuberías que distribuyen el aire. En la Fotografía 2 se muestra el dispositivo que muestra la presión del aire que es lo único que se observa desde el exterior.



Fotografía 1. Tuberías distribuidoras de aire



Fotografía 2. Dispositivo de medición de presión

En la Fotografía 2 se muestra el dispositivo que muestra la presión del aire que es lo único que se observa desde el exterior.

Evidentemente, el uso de energía para la aeración puede ser una limitante para el empleo de estos sistemas. Por ello se ha experimentado con diferentes estrategias de aeración, observándose que la disminución del porcentaje de aeración afecta en primer lugar a la remoción de los indicadores bacterianos, incluso con un 85%. La disminución al 50% afecta ya la remoción de algunos microcontaminantes (Sossalla et al., 2022).

Llenado y drenaje alternos

La Fotografía 3 muestra un sistema compuesto por dos celdas de las cuales una está llena y la otra vacía y se alternan entre sí mediante el bombeo del agua. Lo anterior garantiza:

- Altas tasas de transferencia de O₂;
- Cambios de condiciones aerobias / anaerobias;
- Buen tratamiento;
- Se bombean altos volúmenes de agua

Repercusión de los humedales intensificados para pequeñas comunidades u objetivos socioeconómicos

Como es conocido, la disponibilidad para sufragar los costos de la energía para la operación de los sistemas de tratamiento es, entre otros factores, una limitante para las comunidades u objetivos socioeconómicos pequeños (Rivera et al., 2018). Por ello, esta disponibilidad es un prerequisite indispensable para pensar en la utilización de sistemas como los HT aerados. No obstante la utilización de energías alternativas abre una posibilidad para su utilización.

Como es conocido, la disponibilidad para sufragar los costos de la energía para la operación de los sistemas de tratamiento es, entre otros factores, una limitante para las comunidades u objetivos socioeconómicos pequeños (Rivera et al., 2018). Por ello, esta disponibilidad es un prerequisite indispensable para pensar en la utilización de sistemas como los HT aerados. No obstante la utilización de energías alternativas abre una posibilidad para su utilización.



UFZ Ecotechnology Research Facility, Leipzig, Germany

Figura 3. UFZ: Umwelt Forschungszentrum Investigación ecotecnológica. Instalación en Leipzig, Alemania. Sistema FaD reciprocante

Otro aspecto a considerar son los beneficios ambientales de poder intensificar el tratamiento con la correspondiente disminución del área destinada al humedal. Esto puede considerarse por ejemplo si se desean utilizar áreas ribereñas para tratar las aguas residuales de comunidades que ya están asentadas en las márgenes de los ríos. Los beneficios ambientales pueden ser tales que justifiquen la inversión.

No obstante, el ingenio humano es capaz de vencer estas dificultades y los humedales intensificados tendrán nuevas aplicaciones y tecnologías para lograr sus objetivos, como lo es por ejemplo la aplicación de campos magnéticos para incrementar la remoción de los contaminantes orgánicos (Li et al., 2022; Li et al., 2023a).

Nuevamente, la aplicabilidad de esta ecotecnología de humedales artificiales requiere de la formación de grupos de trabajo auspiciados por las autoridades de los tres niveles de gobierno y de los que manejan el dinero.

Para complementar esto se presenta una infografía publicada por la Convención Ramsar que enmarcan justamente la importancia de los humedales para la supervivencia tanto de la especie humana como de muchas otras que nos permiten vivir sobre el Planeta Tierra.



Figura 3. UFZ: Umwelt Forschungszentrum Investigación ecotecnológica. Instalación en Leipzig, Alemania. Sistema FaD reciprocante

Comentarios finales

Si esto pudiera hacerse para los humedales, iniciándose en este año 2023 con la inclusión de la sociedad en su conjunto en cada localidad (capital, comunidad, conocimiento, empresas y gobierno) podría lograrse revertir el daño beneficiando a la sociedad de colonias, barrios, ciudades, municipios, que se comprometan con el proyecto de restauración de los humedales.

La Convención de Ramsar presentó el infograma que se encuentra en la siguiente página justamente para concientizar a la raza humana de la necesidad de su compromiso con la naturaleza ya que eso significa su propia supervivencia.

Deben los(as) adultos(as) re-educarse a la par de que educan a los(as) niños(as) ya que sin ese compromiso no se cumplirá con los objetivos del desarrollo sustentable en el próximo lustro. Y, muy probablemente, no se reviertan los daños causados en estos más de 120 años.

En el siglo veinte y lo que va del siglo veintiuno el ser humano, Homo sapiens, se siente Dios, como señaló Harari (2020) en el inicio y final de su epílogo (Raymer, 2015):

“Hace 70,000 años, Homo sapiens era todavía un animal insignificante que se ocupaba de sus propias cosas en un rincón de África. En los milenios siguientes se transformó en el amo de todo el planeta y en el terror del ecosistema.”

“Hoy en día está a punto de convertirse en un dios, a punto de adquirir no solamente la eterna juventud, sino las capacidades divinas de la creación y la destrucción. Lamentablemente, el régimen de los sapiens sobre la Tierra hasta ahora ha hecho pocas cosas de las que podamos sentirnos orgullosos.”

“Hemos domeñado nuestro entorno, aumentado la producción de alimentos, construido ciudades, establecido imperios y creado extensas redes comerciales. Pero ¿Hemos reducido la cantidad de sufrimiento en el mundo?”

“Una y otra vez, un gran aumento del poder humano no mejoró necesariamente el bienestar de los sapiens individuales y, por lo general, causó una inmensa desgracia a otros animales.”

“Dioses hechos a sí mismos, con solamente las leyes de la física para acompañarnos, no hemos de dar explicaciones a nadie.”

“En consecuencia, causamos estragos a nuestro socios animales y al ecosistema que nos rodea, buscando poco más que nuestra propia comodidad y diversión pero sin encontrar nunca satisfacción.”

“¿Hay algo más peligroso que unos dioses insatisfechos e irresponsables que no saben lo que quieren?”

Antes del final ¿Por qué se llama esta contribución:

Los humedales, políticas a seguir para su rescate

Los autores hicieron un libro completo sobre el “Día Mundial de los Humedales” que se celebra cada 2 de febrero desde 1997 y sobre las propuestas para alcanzar el objetivo propuesto.

Si las(os) lectoras(es) desean conocerlo el libro-e está, como ya se mencionó al inicio, en el portal de la Red Internacional de Ciencias Ambientales, RedICA, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, BUAP, que también edita esta revista. Contiene material muy interesante, desde propuestas hasta caricaturas para entusiasmar a todos y todas a cuidar y proteger los humedales ya que de ellos depende la supervivencia de la humanidad como la conocemos.

A manera de conclusiones

La restauración de los humedales es una tarea éticamente necesaria para el Homo sapiens, ya que los daños causados son justamente provocados por las comunidades humanas.

México y muchos otros países están en la encrucijada de decidir si desean salvar sus humedales o ir hacia la pérdida del bien más valioso que brinda el agua de estos ecosistemas:

La vida.

Abajo se encuentra una convocatoria a un premio en efectivo que otorga la empresa Danone a quien o quienes apoyen con ideas o proyectos que restaurezcan a los humedales en todo el planeta Tierra. Su sugerente nombre es: “Lanzamiento (como en el béisbol) para la subvención en 2023”.

CONVOCATORIA DE AYUDA PITCH FOR THE GRANT 2023

La Convención de Ramsar sobre los Humedales, en el Día Mundial de los Humedales 2023, cuyo tema es. Es hora de la restauración de los humedales para las personas y la naturaleza, invita a personas, organizaciones comunitarias y empresas sociales a presentar propuestas de ideas de proyectos o iniciativas encaminadas a contribuir a unos humedales sanos promoviendo su conservación, su restauración o la mejora de su gestión.

La idea del proyecto o la iniciativa ganadora recibirá 10 000 euros aportados por Danone.

IDEAS Y CRITERIOS ADMISIBLES

El objetivo de la convocatoria Pitch for the Grant 2023 es apoyar ideas o enfoques de iniciativas en curso o previstas en cualquier lugar del mundo que tengan una capacidad demostrada de poder aplicarse y reproducirse en zonas con características similares.

Algunas ideas admisibles podrían ser:

- Técnicas para la conservación, la restauración y el uso racional de los ecosistemas de humedales, incluidos sus recursos;
- Esfuerzo o compromiso de la comunidad en pro de una causa que beneficie a los humedales, p. ej., designación como sitio protegido o actividad de limpieza de humedales, etc.
- Iniciativas para apoyar la creación de medios de vida alternativos para reducir la presión sobre los humedales
- Iniciativas o acciones que den lugar a la protección y conservación de los humedales a largo plazo
- Proyecto de investigación o académico encaminado a mejorar los conocimientos y la protección sobre los humedales



GLOSARIO

Términos y acrónimos

Anáhuac (el Lago de Xochmilco era parte del)

Área a 2.5 kilómetros (ca. 1.5 millas) sobre el nivel del mar entre los 19° y 20° de latitud norte y los 98°45' a 99°20' de longitud oeste, es el núcleo antiguo de México. Anáhuac es un nombre náhuatl que significa "cerca del agua". Se puede descomponer así: A(tl) + náhuac. Atl significa "agua" y náhuac, que es una palabra relacional que se puede agregar a un sustantivo, significa "cerca de". Anáhuac a veces se usa indistintamente con "Valle de México", pero Anáhuac designa correctamente la parte centro-sur del valle de 8,000 km² (3.089 millas cuadradas), donde los rasgos culturales prehispánicos bien desarrollados habían creado paisajes distintivos ahora ocultos por la expansión urbana de Ciudad de México. En el sentido de la terminología geomorfológica moderna, "Valle de México" estaría mal empleado

BUAP

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

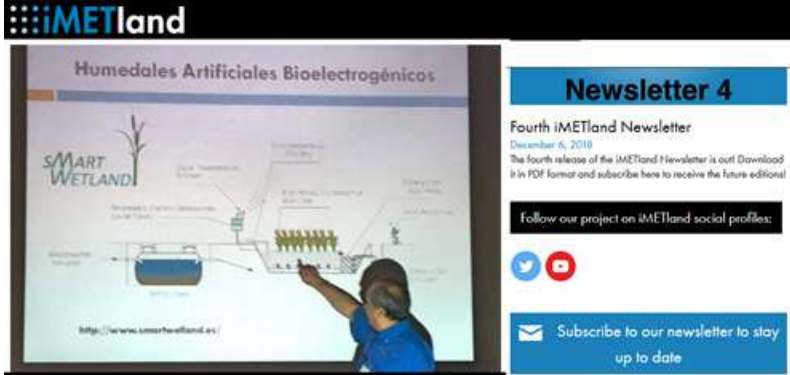
iMETland®

METland Microbial electrochemical wetlands® / Humedales electroquímicos microbianos® <http://imetland.eu/news/bioelectrogenic-wetlands-a-sustainable-solution-for-small-population>



14 de junio de 2017. El coordinador Abraham Esteve participa en una jornada técnica sobre humedales artificiales. Abraham Esteve, investigador asociado de IMDEA Agua y coordinador de iMETland, habló sobre METlands: una nueva generación de humedales basados en microorganismos electroactivos, y mostró los avances de esta nueva tecnología que ya se está aplicando a escala real. La depuración de aguas residuales de pequeñas poblaciones mediante un sistema de humedales artificiales es un proceso sostenible, tanto económica como ambientalmente, con bajos costos de inversión inicial y mantenimiento, que puede implantarse en munici-

pios que no pueden permitirse los tratamientos convencionales. Estos sistemas de depuración fueron los protagonistas de la Jornada Técnica dedicada a la depuración de aguas residuales, organizada ayer por el Sistema Público de Saneamiento de la Comunidad Valenciana, EPSAR, así como la Diputación de Castellón. El objetivo es incentivar la construcción y la explotación de nuevos sistemas de depuración más modernos, eficaces y sostenibles. El concepto de METland o humedal electrogénico forma parte de la integración de las Tecnologías Electroquímicas Microbianas (MET) con el biofiltro utilizado en los humedales artificiales



La combinación de bacterias electroactivas con un innovador material electroconductor supone una mejora en el rendimiento de los biofiltros clásicos, con una tasa de depuración 10 veces superior a la conseguida con la tecnología habitual. Estos principios se basan en el proyecto iMETland H2020, coordinado por IMDEA Agua, cuyo objetivo es construir y validar estos humedales a escala para tratar las aguas residuales de pequeñas comunidades a costo energético cero. El proyecto prevé la implantación en cuatro ubicaciones geográficas diferentes (España, Dinamarca, Argentina y México). El primer METland ya funciona en las instalaciones del CENTA en Carrión de los Céspedes (Sevilla). Durante la sesión varios expertos presentaron diseños y experiencias prácticas realizadas en diferentes comunidades autónomas, entre ellos la presencia de Juan José Salas, director de I+D+i del CENTA y principal especialista en España en el diseño y construcción de humedales artificiales.

IPN

Instituto Politécnico Nacional, México

IUCN

Siglas en inglés para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), fundada en 1948, es considerada la organización ambiental global más grande, antigua y diversa del mundo. La Lista Roja UICN de Especies Amenazadas clasifica a las especies en función de su riesgo de extinción. Es una base de datos en línea que permite la búsqueda e indica el estado global de 45,000 especies, incluyendo las informaciones en que se basan las conclusiones



Mexico-Tenochtitlan

Tenochtitlan (<https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9xico-Tenochtitlan>) fue la capital del Imperio azteca o mexica. Durante la dominación española se fundó sobre ella la Ciudad de México, que fue la capital del Virreinato de la Nueva España y tras la independencia, es la capital de los Estados Unidos Mexicanos. La fundación de la ciudad fue un hecho cuya historia se mezcla con la mitología, lo cual es distintivo de los pueblos originarios americanos. Fuentes del siglo XVI que hicieron correlaciones de los antiguos calendarios con los occidentales la han situado en diversos años, siendo la más frecuente el 13 de marzo de 1325 (697 años), -2 casa en la cuenta calendárica mexica-, 1345, 1363, 1364 y otros en un islote al centro de la zona lacustre, de acuerdo con la información registrada en varios documentos coloniales, al igual que en los relieves posteriores del monolito mexica llamado Teocalli de la Guerra Sagrada. El mito de la fundación cuenta que México-Tenochtitlan fue poblada por un grupo de tribus nahuas migrantes desde Aztlán, lugar cuya ubicación precisa se desconoce. Tras merodear por las inmediaciones del lago de Tetzcoco, los futuros mexicas se asentaron en diversos puntos de la cuenca de México que estaban sujetos al altépetl de Azcapotzalco.



La migración concluyó cuando fundaron su ciudad en un islote cercano a la ribera occidental del lago. Las excavaciones arqueológicas apuntan a que el islote de México estuvo habitado desde antes del siglo XIV y que la fundación de Tenochtitlan pudo ser posterior a la de México-Tlatelolco, su "gemela" del norte. México-Tenochtitlan se convirtió en un altépetl independiente tras el establecimiento de una alianza con Texcoco y Tlacopan que derrotó a Azcapotzalco. La capital de los mexicas se convirtió en una de las mayores ciudades de su época en todo el mundo

y fue la cabeza de un poderoso estado multiétnico que dominó una gran parte de Mesoamérica. El florecimiento de la ciudad se realizó a costa del tributo pagado por los pueblos sometidos a su poder. Por ello, cuando los españoles llegaron a Mesoamérica, numerosas naciones indígenas se aliaron con ellos con el objetivo de poner fin a la dominación tenochca. Cuauhtémoc -último tlatoani de México-Tenochtitlan- encabezó la resistencia de la ciudad, que cayó el 13 de agosto de 1521, a manos de los españoles y sus aliados indígenas, todos bajo el mando de Hernán Cortés

Tecnología hidráulica **El sistema hidráulico a la llegada de los españoles**

El asentamiento en el entorno lacustre exigió sistemas hidráulicos para el aprovechamiento de los recursos naturales y la contención de las aguas para evitar que la ciudad se anegara con aguas salobres y se abasteciera de agua dulce, así como para cultivos y la propia circulación hacia lo interno y externo de la ciudad. Se hicieron necesarias entonces obras complejas de control y cultivo (así como de cómputo y conocimiento de ciclos y factores climáticos) que permitieron producir alimentos en volumen para una mega-urbe que desarrolló sistemas complejos agrícolas, base de su economía y subsistencia. Los mexicas construyeron y cultivaron chinampas, parcelas superficiales sustentadas con pilotes y gruesas capas de tierra regadas con canales (acalotes) y por infiltración propia del lecho donde estaban asentadas. También idearon sistemas de riego mediante canales, presas (hechas con madera, piedra o lodo) diques, compuertas y depósitos pluviales. Las aguas del lago representaron siempre un riesgo por las corrientes que en él se formaban (causantes actuales de las denominadas tolveneras en la Ciudad de México, que corren de oriente a occidente casi sin ningún obstáculo) así como las características propias de un entorno lacustre.

Las obras principales fueron los diques o albarradas, destacando el llamado albarra-dón de Nezahualcóyotl, ideado por este y construido en 1449 -luego de una enorme inundación- un muro de piedra y argamasa pensado en la contención y separación de las aguas salobres y dulces y que corría de sur a norte desde el embarcadero de Mexicaltzingo (actual cruce de La Viga y Ermita-Iztapalapa) en la margen de Iztapalapa hasta el Peñón de los Baños (cerca del actual aeropuerto) a lo largo de 16 kilómetros. Otro fue el de Ahuizotl, construido en 1499 y que protegía el islote en su parte este de las corrientes del Lago Texcoco en el embarcadero del mismo nombre. México-Tenochtitlan se inundó en 1382, 1449 y 1517. Otra obra hidráulica importante fueron los acueductos, destacando el construido por Ahuizotl para abastecer de agua dulce desde el acuecuexcatl de Huitzilopochco (Churubusco) hasta el centro de Tenochtitlan por la calzada de Ixtapalapa y que fue un elemento central para la caída de Tenochtitlan en 1521 al conquistarlo Cortés y cortar el abasto de agua, así como el doble de Chapultepec (construido en 1465) que circulaba adyacente a la calzada Tlacopan, con dos canales que se usaba uno a la vez para dar mantenimiento al otro



Calzadas

México-Tenochtitlan y sus calzadas (reconstitución de Hanns J. Prem, 1997, 2007, 2008)

Las calzadas fueron elevaciones artificiales de un ancho promedio de 15 metros hechas con piedra, arcilla y argamasa y plantadas en el fondo del lago con pilotes de madera. Fueron tres las principales, diferenciándose las que corrían de norte a sur (Tepeyacac e Ixtapalapa) y las de poniente-orienté (Tlacopan y Coyoacán), ya que eran con un mayor número de cortes seccionales en los que se instalaban puentes móviles de madera diurnos para una circulación sin problema de las aguas del lago, mientras que las primeras fueron más resistentes, pues eran esencialmente de piedra y pudieron fundirse como diques antes de la construcción del dique de Nezahualcōyotl, en 1449.

Las calzadas principales fueron:

Calzada de Tepeyacac: Cruzaba de norte a sur desde el cerro del Tepeyacac hasta el islote de Nonoalco-Tlaltelolco, aproximadamente en las actuales calles de República de Argentina, Jesús Carranza y Calzada de los Misterios hasta el cerro Tepeyacac. Tuvo un ancho de 11 metros y un espesor de 1.8 metros y fue hecha de piedra.

Calzada de Tlacopan o Tacuba: Partía hacia el poniente hasta el templo mayor de Tlacopan (Tacuba) siguiendo el trazo aproximado de la actual Calzada México-Tacuba, partiendo del Canal de los Toltecas (en donde está erigida la iglesia de San Hipólito), Avenida Hidalgo, Puente de Alvarado, Ribera de San Cosme y México-Tacuba hasta la actual estación del Metro Tacuba, sitio aproximado donde se encuentra aún sepultados los restos del Templo Mayor de Tlacopan. Tuvo un ancho de 22 metros y una bifurcación hacia la Calzada de Chapultepec hacia el surponiente en el islote de Mazatzintamalco y que terminaba en Chapultepec con un ancho de 12 metros.

Calzada de Nonoalco: Conectaba a la ciudad de Tlaltelolco con tierra firme siguiendo el trazo aproximado de las actuales avenidas Manuel González y Eulalia Guzmán. Se bifurcaba en el islote de Xochimanca hacia el norponiente y terminaba en San Miguel Amantla y Azcapotzalco. Fue hecha de arcilla y tenía un ancho de 15 metros y un espesor de 1.6 metros.

Calzada de Ixtapalapan: Partía del Templo Mayor hacia el sur, saliendo hacia el agua en San Antonio Abad y tocando tierra de nuevo en la actual Av. del Taller y siguiendo el trazo aproximado de la actual Calzada de Tlalpan bifurcándose hacia Huitzilopochco y Coyoacán. En esta se realizó el primer encuentro entre Hernán Cortés y Motecuhzoma Xocoyotzin. Fue hecha de piedra y arcilla terminada en talud con un espesor de 2.10 metros y un ancho de 15 metros.

Calzada de Tenayocan: Conectaba el islote de Tlaltelolco hasta Tenayocan en el norte. Tenía el trazo aproximado de la actual Calzada Vallejo.

Otras calzadas principales fueron: la que iba hacia el este y terminaba en el Embarcadero Texcoco en Tetamazolco (actuales calles de República de Guatemala y Miguel Negrete); las que comunicaban el Templo Mayor con el de Tlaltelolco (Bolivia-S. Allende e Isabel la Católica-República de Chile) y una que partía de la calzada de Tlacopan hasta la acequia de Tezontlale. Fueron hechas primero clavando estacas de 5 metros de largo por un diámetro de 1, a lo largo de la orilla de lo que sería la calzada, el ancho de las calzadas era de 15 metros. Después de clavadas las estacas en un área se procedía a rellenar con piedras como el tezontle y el basalto y una mezcla de cal caliente, compactándolas y dando el aplanado final. Esto les dio a las calzadas una gran resistencia y sus caminos eran sumamente rectos.

Se construían tramos rectangulares y con espacios entre sí para permitir el paso de las trajineras y canoas en los canales. Y entre los tramos de calzadas se colocaban plataformas de madera que eran elevadas en caso de que pasara una embarcación. Así al elevarse se convertía también en una defensa por el canal que cruzaba, pero además el puente se convertía en una barrera que protegía a los que estaban al otro lado de la plataforma. Las torres que elevaban el puente estaban dispuestas siempre del lado de la ciudad para evitar que el enemigo las usara en contra suya



Calles

Las calles de Tenochtitlan (tlaxilacalli) fueron hechas con una especie de banqueta de tierra apisonada para el tránsito humano y en muchas de las calles adyacentes iba un canal para el acceso de canoas. Se procuraba, según versiones de los cronistas, su terraplenado y apisonado constante así como su barrido y limpieza. Los excrementos eran recogidos por macehuales dedicados a ello, que posteriormente los vendían como fertilizante o bien se depositaban en letrinas privadas o públicas que se vaciaban en las zonas del lago que tenían humedales para su degradación evitando la contaminación de las aguas de los lagos. Los excedentes de orina se depositaba en vasijas para ser usada en el tratamiento textil y posteriormente se degradaba en humedales. Las plantas lacustres tenían muchos usos (construcción, elaboración de esteras, etc). La basura se incineraba en enormes hogueras que servían para iluminar de noche las calles, una costumbre mexicana que los españoles desecharon.

MIDA

Siglas en inglés para Multi-Internationally Designated Areas: Ramsar Sites, World Heritage sites, Biosphere Reserves and UNESCO Global Geoparks (Áreas Designadas Internacionalmente Múltiples: Sitios Ramsar, sitios del Patrimonio Mundial, Reservas de Biosfera y Geoparques Mundiales de la UNESCO)

Netizen

Acronimo en inglés de las palabras internet y citizen y se usa para las personas que están de manera habitual o exageradamente en línea a través de las redes internacionales (cibernautas)



Pantanos, humedales, marismas

¿Es un pantano un humedal? Fen – Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fen>



Keddy ofrece una definición algo más simple de un pantano o ciénaga como “un humedal que generalmente está dominado por juncos y pastos enraizados en turba poco profunda, a menudo con un movimiento considerable de agua subterránea y con un pH superior a 6”. Esta definición diferencia los pantanos o ciénagas de los humedales y marismas por la presencia de turba.

¿Cuál es la principal diferencia entre humedales y marismas?

La diferencia entre los dos es que los humedales suelen tener agua estancada más profunda y están húmedos durante períodos más largos del año, según el Servicio de Parques Nacionales. Los humedales tienen suelos ricos e inundados que sustentan la vida vegetal, según National Geographic. 11 jun 2020

¿Cuál es la diferencia entre fen y bog?

Aunque tanto los humedales tipo “fen” (pantanos) como los humedales tipo “bog” son tipos similares de humedales, ya que ambos se consideran turberas, lo que los diferencia entre sí es la fuente de suministro de agua. Los “fen” generalmente se alimentan de una fuente constante de agua subterránea, mientras que los “bog” suelen ser depresiones cerradas llenas de agua de lluvia

RedICA

Red Internacional de Ciencias Ambientales, México

UAM

Universidad Autónoma Metropolitana

UNAM

Universidad Nacional Autónoma de México

¹ Nota del autor y de la autora: Swamp tiene la connotación de esponja y marsh la de zonas donde un río desagua a un cuerpo de agua salada (marisma)

² Nota del autor y la autora: Las dos palabras son de origen etimológico diferente y no tienen equivalente en español

Reconocimientos

A las personas que crearon la Convención de Ramsar en 1971. A los gobiernos de muchos países que han mantenido este ideal de conservar los humedales del planeta Tierra para beneficio de la humanidad y todas las especies que nos acompañan en él.

A la BUAP por su fraterno y sororal apoyo a la divulgación del conocimiento.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Referencias bibliográficas

Arias, C. 2018. Intensificación en humedales para tratamiento de aguas. Conferencia presentada en la IV Reunión Panamericana de Humedales. Lima. Perú.

Carballal-Staedtler, M., Flores-Hernández, M. 2004. Elementos hidráulicos en el Lago de México-Texcoco en el posclásico. *Arqueología Mexicana*. 68(jul-ago): 28-33. "Lagos del Valle de México". México.

Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.d.C. 2022. Humedales, los riñones del planeta. Cómo mantenerlos y/o recuperarlos / Wetlands, the kidneys of the planet. How to maintain and/or recover them. Con el valioso apoyo de / With the valuable support of Bernal-González, M., García-Gómez, R.S., Salinas-Juárez, M.G., Sánchez-Tovar, S.A., Padrón-López, R.M., Navarro-Frómata, A.E. *Ambiens Techné et Scientia México*. 10(2):165-185.

Esteve, A. 2017. Coordinator.
<http://imetland.eu/news/bioelectrogenic-wetlands-a-sustainable-solution-for-small-populations/>

Gaitán-Zamora, N.A. 2022. Nuevo acercamiento al aprovechamiento de los residuos de humedales artificiales basado en estudios a escala prototipo y de laboratorio / New approach to the recycling of residues from artificial or constructed wetlands based on prototype and laboratory-scale studies. *Ambiens Techné et Scientia México*. 10(1):11-62.

Harari, Y.N. 2020. De animales a dioses. Breve historia de la humanidad. Debate. Traducción de Joan Domènec Ros i Aragonès. Penguin Random House Grupo Editorial, S.A. de C.V. Pp. 455-456. Ciudad de México, México.

Khan, H.I.U.H., Groot C.K., Schepers O., van Oirschot D., Martens M., Ronsse F., Rousseau D.P.L. 2022. Effect of controlled aeration on cod and nitrogen removal in aerated constructed wetlands used for effluent polishing. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 10(3), p. 108043. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108043>.

Li, C., Feng, L., Lian, J., Yu, X., Fan, C., Hu, Z., Wu, H. 2023a. Enhancement of organics and nutrient removal and microbial mechanism in vertical flow constructed wetland under a static magnetic field. *Journal of Environmental Management*, 330, 117192. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117192>

Li, M., Zhang, J., Liang, S., Li, M., Wu, H. 2022. Novel magnetic coupling constructed wetland for nitrogen removal: Enhancing performance and responses of plants and microbial communities. *Science of The Total Environment*, 819, 152040. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152040>

Li, L., Zhang, J., Shi, Q., Lu, S. 2023b. Comparison of nitrogen removal performance and mechanism from low-polluted wastewater by constructed wetlands with two oxygen supply strategies: Tidal flow and intermittent aeration. *Chemosphere*. 313, p. 137364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137364>.

López-Ochoterena, E. 1998. In Memoriam. Fermín Rivera Agüero (1946-1996). *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 48:157-158. <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/jspui/bitstream/11154/143012/1/48VMemorianFermin.pdf>

Prem, H.J. 2008. Manual de la Antigua Cronología Mexicana. Miguel Ángel Porrúa. Idioma español. 352 páginas. ISBN-10 9708191159, ISBN-13 978-9708191159. Ciudad de México, México.

Prem, H.J. 2007. Geschichte Altamerikas: 23. Walter de Gruyter. 2ª Ed., idioma alemán. 397 páginas. ISBN-10 3486530321, ISBN-13 978-3486530322. Berlín, Alemania.

Prem, H.J. 1997. Ancient Americas: A Brief History and Guide to Research. Traducido al inglés por Kornelia Kurbjuhn. University of Utah Press, edición ilustrada. Idioma inglés. 319 páginas. ISBN-10 0874805368, ISBN-13 978-0874805369. Utah, Estados Unidos desde 1848.

Qiu, Y., Feng, Y., Yan, Z., Li, J., Li, D., Yan, C., Liu, G. 2023. Improving performance of pilot-scale ecological bed coupled with microbial electrochemical system for urban tail water treatment. *Science of The Total Environment*. 865, 161289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161289>

Ramsar. 2023. Páginas electrónicas sobre el Día Mundial de los humedales. <https://www.ramsar.org/>, https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/wwd1998_briefing_paper_s.pdf

Raymer, M. 2015. Quotes 11-2-2015. *Sapiens: A Brief History of Humankind*, by Yuval Noah Harari, pp. 415-416. <http://www.words-and-dirt.com/words/quotes-11-2-2015/>

Rivera, P., Chávez, R., Rivera-Salinas, F. 2018. Advances and limitations in the treatment of wastewater in the state of Zacatecas. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 9(1): 113-123. Epub 24 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.24850/j-ty-ca-2018-01-08>

Salinas-Juárez, M.G. 2011. Tesis doctoral (registrada formalmente como patente el 29 de noviembre de 2017: Humedal artificial para la generación de electricidad. María Guadalupe Salinas-Juárez, Pedro Roquero-Tejeda y María-del-Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa, Facultad de Química, UNAM. Coordinación de Gestión de Propiedad Intelectual, Coordinación de Propiedad Intelectual, Dirección General de Vinculación, Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM. Solicitud de registro con el IMPI expediente MX/a/2017/015327 folio MX/E/2017/088197. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. MÉXICO. Patente Núm. 395859. Otorgada el 12 de septiembre de 2022). Defensa ante jurado doctoral: Diciembre 02, 2016. Ciudad de México, México. Premio a la Innovación Fundación UNAM-PEMEX. Tesis de doctorado: Estudio de la generación de electricidad en un humedal artificial asistido electroquímicamente. MARÍA GUADALUPE SALINAS-JUÁREZ (bajo la tutoría conjunta de Pedro Roquero-Tejeda y María-del-Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa). Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental, Suelo). UNAM. Fundación UNAM y Petróleos Mexicanos. Entrega del Premio: Noviembre 07, 2017. Ciudad de México, México.

Sossalla, N.A., Nivala, J., Escher, B.I., Schlichting, R., van Afferden, M., Müller, R.A., Reemtsma, T. 2022. Impact of various aeration strategies on the removal of micropollutants and biological effects in aerated horizontal flow treatment wetlands. *Science of The Total Environment*. 828, 154423. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154423>

Sossalla, N.A., Nivala, J., Reemtsma, T., Schlichting, R., König, M., Forquet, N., van Afferden, M., Müller, R.A., Escher, B.I. 2021. Removal of micropollutants and biologi-

cal effects by conventional and intensified constructed wetlands treating municipal wastewater. *Water Research*. 201, 117349. doi:10.1016/j.watres.2021.117349

UNESCO. 2023. Páginas electrónicas sobre el Día Mundial de los humedales. <https://whc.unesco.org/en/news/1622>, <https://whc.unesco.org/en/news/1550>

Zhuang, L.-L., Yang, T., Zhang, J., Li, X. 2019. The configuration, purification effect and mechanism of intensified constructed wetland for wastewater treatment from the aspect of nitrogen removal: A review. *Bioresource Technology*, 122086. doi:10.1016/j.biortech.2019.122086

PATOGENICIDAD EN LECHUGAS. DETERMINACIÓN DE RIESGO POR LA CALI- DAD DEL CULTIVO DE LACTUCA SATIVA Y A LA SALUD HUMANA POR RIEGOS AGRÍCOLAS CON AGUAS RESIDUALES EN MÉXICO.

**PATHOGENICITY IN LETTUCE. DETERMINATION OF RISK BY THE
QUALITY OF THE LACTUCA SATIVA CROP AND HUMAN HEALTH
FROM AGRICULTURAL IRRIGATION WITH WASTEWATER IN MEXICO**

Julieta Monterrosas Flores
Guadalupe Estefanía Rojas Galindo
Atzin Tonatiuh Valle Porras

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 92-105

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0006-1242-9674>
<https://orcid.org/0009-0006-4060-4281>
<https://orcid.org/0009-0006-1387-645X>

Año 10 No. 28
Recibido: 31/mayo/2023
Aprobado: 30/noviembre/2023
Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas, Licenciatura en Biotecnología
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
julieta.monterrosasf@alumno.buap.mx
guadalupe.rojasg@alumno.buap.mx
atzin.valle@alumno.buap.mx

Resumen

El objetivo de la presente comunicación es mostrar los resultados de una revisión bibliográfica en torno a las investigaciones realizadas con respecto a los efectos que pueden existir en el consumo de *Lactuca sativa* contaminadas con indicadores microbiológicos, en particular, coliformes fecales, *Salmonella* spp, colifagos somáticos y huevos de helminto. La metodología tomada como base se realizó en un cultivo de *Lactuca sativa* en Colombia, donde se recolectaron muestras de agua, suelo y lechugas para analizar la calidad microbiológica, asimismo, los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de los indicadores superaban en algunos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implicaba un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores. El riesgo era mayor para los huevos de helminto, seguido por los colifagos somáticos y los coliformes fecales, mientras que el riesgo por *Salmonella* spp fue despreciable debido a su baja concentración. Se concluyó que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representaba un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta, por lo que se recomienda implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas.

Palabras clave: Lechuga, aguas residuales, riego agrícola, calidad del suelo, salud humana, tratamiento de aguas, bacterias coliformes.

ABSTRACT

The aim of this paper is to show the results of a literature review on the research carried out regarding the effects that may exist in the consumption of *Lactuca sativa* contaminated with microbiological indicators, in particular, fecal coliforms, *Salmonella* spp, somatic coliphages and helminth eggs. The methodology taken as a basis was carried out in a *Lactuca sativa* in Colombia, where samples of water, soil and lettuce were collected to analyze the microbiological quality, also, the results showed that the concentrations of the indicators exceeded in some cases the limits established by the national regulations, which implied a potential risk to the health of farmers and consumers. The risk was higher for helminth eggs, followed by somatic coliphages and fecal coliforms, while the risk for *Salmonella* spp was negligible due to its low concentration. It was concluded that irrigation with untreated wastewater in the lettuce crop represented an unacceptable sanitary risk for the exposed population, so it is recommended to implement control and prevention measures to ensure the safety of agricultural products.

Keywords: Lettuce, wastewater, agricultural irrigation, soil quality, human health, water treatment

INTRODUCCIÓN

La lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.) es originaria del Mediterráneo y su cultivo se ha extendido por todo el mundo debido a su popularidad en la gastronomía. Se adapta a diferentes condiciones climáticas y requiere poca cantidad de agua para su desarrollo. Su ciclo de vida es corto y puede cosecharse entre 60 y 90 días después de la siembra.



Figura 1. lechuga Romana (*Lactuca sativa* L.) [Fotografía], por Información Agroalimentaria Y Pesquera, S. (s. f.), (<https://www.gob.mx/siap/articulos/lactuca-sativa-l-tipos-y-variedades-que-se-producen-en-mexico?idiom=es>)

Esta hortaliza tiene bajo contenido calórico y alto valor nutritivo, ya que es rica en vitaminas y minerales esenciales para la salud humana. Cada 100 gramos de lechuga aportan 15 calorías, 1.5 gramos de proteína, 0.3 gramos de grasa, 1.4 gramos de carbohidratos y 1.4 gramos de fibra. Entre su contenido en vitaminas y minerales podemos mencionar la presencia de vitamina C, folatos y provitamina A (b-carotenos), tiamina y vitamina E, así como fósforo, potasio, hierro y calcio. Esta planta herbácea es de hoja verde que se consume principalmente en ensaladas y que tiene beneficios para la salud humana, como la prevención de enfermedades cardiovasculares y el cáncer, debido a su contenido en antioxidantes, vitaminas, minerales y fibra. Además, posee propiedades diuréticas, sedantes y digesti-

vas, por lo que es útil en el tratamiento de enfermedades como la cistitis, el insomnio y el estreñimiento.

México, es uno de los principales cultivos hortícolas, con una producción de 539 mil toneladas y un valor económico de más de mil millones de pesos en 2020. Se cultiva en 21 estados del país, siendo Guanajuato, Zacatecas, Aguascalientes y Puebla los mayores productores. La lechuga es una hortaliza muy consumida en la alimentación diaria, tanto en hogares como en restaurantes y establecimientos de comida rápida. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el consumo per cápita de lechuga en México fue de 4.2 kilogramos en 2020. Además, de ser un ingrediente clave en la preparación de ensaladas, tacos, tortas y otras comidas típicas de la gastronomía mexicana.

Sin embargo, el cultivo de lechuga enfrenta diversos retos y problemas, entre los que destaca el uso de aguas residuales para el riego. El agua residual es un recurso cada vez más utilizado en la agricultura, debido a la creciente demanda de agua y a la necesidad de gestionar adecuadamente los residuos generados por la sociedad. Estos contaminantes pueden afectar la calidad de la lechuga y la salud de los consumidores, así como la calidad del suelo y el medio ambiente.

El uso de aguas residuales para el riego agrícola es una práctica común en México, debido a la escasez de agua potable y a la falta de infraestructura para el tratamiento y la distribución del recurso hídrico. Se estima que el sector agrario consume más del 65 % del agua potable y que el 14% del agua utilizada para riego proviene de fuentes contaminadas. A pesar de los riesgos sanitarios y ambientales que

implica esta práctica, existen también beneficios económicos y sociales para los productores y los consumidores, como el ahorro de costos, el aumento del rendimiento y la disponibilidad de alimentos.

Ante este panorama, surge la necesidad de realizar una investigación que analice los efectos del riego con aguas residuales en el cultivo de lechuga en México, así como las posibles alternativas para reducir los riesgos y aprovechar los beneficios.

El objetivo general de esta investigación es determinar el peligro que genera el riego con aguas negras en cultivos de lechuga en México. Los objetivos específicos son:

- Identificar los diferentes tipos de contaminantes presentes en las aguas negras y sus efectos en la calidad de la lechuga y la salud humana.
- Revisar las normativas y regulaciones locales y nacionales que rigen el uso de aguas residuales para el riego de cultivos.
- Analizar cómo el uso de aguas residuales afecta la calidad de las lechugas.
- Investigar las afecciones registradas hacia el consumidor por el consumo de lechugas regadas con aguas negras.
- Explorar las diferentes tecnologías que se utilizan para tratar las aguas residuales y cómo mejoran la calidad del agua y reducen el riesgo de contaminación en los cultivos.
- Evaluar las alternativas de riego disponibles y sus ventajas y desventajas.

Revisión de la literatura

Aguas residuales

El agua residual es aquella que ha sido utilizada en algún proceso y que contiene contaminantes que la hacen inadecuada para su uso original o para el consumo humano.

Existen diferentes tipos de aguas residuales, que varían según su origen y su contenido de contaminantes. Entre los tipos de aguas residuales se encuentran:

- Aguas residuales domésticas: Proceden del uso del agua en los hogares, y contienen sustancias como materia orgánica, nutrientes, metales pesados, detergentes y productos farmacéuticos.
- Aguas residuales industriales: Son aquellas que provienen de procesos industriales, y su composición depende del tipo de industria. Pueden contener sustancias como productos químicos, aceites, metales pesados y otros contaminantes.
- Aguas residuales urbanas: Son una combinación de las aguas residuales domésticas e industriales que se generan en las zonas urbanas.



Figura 2. Aguas residuales [Fotografía], por Tecnología Del Agua, I. M. (s. f.) (HYPERLINK "<https://www.gob.mx/imta/articulos/La-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas-residuales?idiom=es>"<https://www.gob.mx/imta/articulos/La-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas->

En promedio el agua residual cruda contiene alrededor de 1,000 mg/L de sólidos en solución y suspensión, lo que equivale a decir que es agua en un 99.9%, siendo el 0.1% sólidos constituidos 70% (proteínas, carbohidratos y grasas) y 30% por inorgánicos (arenas, sales marinas y metales) (Cisneros Estrada y Saucedo Rojas, 2018, p. 8).

El riego con aguas residuales implica un riesgo sanitario debido a la posible transmisión de microorganismos patógenos que pueden contaminar la

lechuga y causar enfermedades en los consumidores. Estos microorganismos pueden ser de origen viral, bacteriano o parasitario y pueden provocar infecciones gastrointestinales, respiratorias, cutáneas y otras. Algunos ejemplos de estos microorganismos son el SARS-CoV-2 (Campos et al., 2015), la Giardia lamblia (Jacobo-Velázquez & Cisneros-Zevallos, 2009), el Vibrio cholerae (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018), el Mycobacterium tuberculosis (SIAP, 2020) y el Clostridium botulinum (SIAP, 2021), los virus de la hepatitis A, la enterovirus y bacterias del género Escherichia coli. La concentración y la diversidad de estos microorganismos dependen de la fuente y el tratamiento de las aguas residuales, así como de las condiciones ambientales y del manejo agrícola. Por lo tanto, es necesario evaluar la calidad microbiológica de las aguas residuales y de la lechuga para determinar el nivel de peligro que representan para la salud pública. Además de los microorganismos patógenos, las aguas residuales pueden contener diversos compuestos químicos que pueden afectar la calidad del agua y la salud de los seres vivos. Entre los contaminantes químicos que se pueden encontrar en las aguas residuales se encuentran los metales pesados los cuales son elementos químicos que tienen una alta densidad y que pueden ser tóxicos para los seres vivos incluso en bajas concentraciones. Algunos ejemplos de metales pesados presentes en las aguas residuales son el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo y el arsénico. Estos metales pueden causar daños en el sistema nervioso, el hígado, los riñones y otros órganos vitales (Estrucplan, 2000). Los metales pesados pueden provenir de fuentes industriales, mineras, agrícolas o domésticas y pueden acumularse en los sedimentos, las plantas y los animales acuáticos (Gob.mx, 2021). Los sólidos

suspendidos que pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los sólidos suspendidos pueden causar turbidez, obstrucción de filtros y tuberías, y reducción de la penetración de la luz y el oxígeno en el agua (Innotec Laboratorios, 2021). Los sólidos suspendidos pueden provenir de fuentes naturales, como la erosión del suelo, o de fuentes antropogénicas, como los residuos domésticos, industriales o agrícolas (UDLAP, 2000).

Tratamientos de aguas residuales

El agua residual tratada se define como aquella que se colecta en un sistema de alcantarillado, es conducida hasta una planta de tratamiento y que pasa por un tren de tratamiento con procesos físico-químicos o biológicos con el objetivo de remover contaminantes presentes en ella para mejorar su calidad y volverla apta para reutilizarla.

Se estima que en México se generan un total de 228.7 m³/s de aguas residuales de tipo municipal anualmente, el total de aguas que reciben un tratamiento representa en promedio el 48.66% del total generado. (CONAGUA, 2015) El crecimiento poblacional y el desarrollo de actividades económicas está ligado al aumento de generación de aguas residuales, por lo que existe la alternativa de colectarlas en un sistema de alcantarillado para conducir las plantas de tratamiento con el objetivo de mejorar su calidad y encontrar la posibilidad de reusarla

Normativas y regulaciones.

Para realizar los análisis de las muestras de aguas residuales, catalogar aguas residuales como aptas para su reutilización en la agricultura se deben seguir ciertas normas vigentes mexicanas o referentes internacionales como la OMS, que indiquen los lineamientos necesarios para realizar correctamente el desarrollo experimental o llevar a

cabo las alternativas propuestas. Se consideraron las siguientes:

- Norma NMX-AA-3-1980, NORMA MEXICANA "AGUAS RESIDUALES- MUESTREO" da las pautas para muestrear aguas residuales para determinar las características físicas y químicas de estas.

- Norma Oficial Mexicana NOM-210-SSA1-2014, Productos y servicios.

Métodos de prueba microbiológicos.

Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos: establece los métodos que se pueden seguir para determinar indicadores microbianos y/o patógenos las muestras de alimentos y bebidas para el consumo humano.

- NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales y bienes nacionales para garantizar su calidad y seguridad de estas.
- La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

- Las Normas Mexicanas en materia de Análisis de Agua para aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas, las Normas Mexicanas de productos químicos utilizados en la potabilización del agua para uso y consumo humano y las Normas Mexicanas de Servicios, elaboradas por la Comisión Nacional del Agua a través del Comité Técnico de Normalización Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COTEMARNAT).

- El Procedimiento de muestreo, análisis y reporte de calidad de las aguas residuales establecido por la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento³.



Figura 3. Consumo de Lactuca sativa L. [Fotografía por Núñezj. (2022). (HYPERLINK "<https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/266-contaminacion-microbiana-en-verduras-de-hoja-mejor-prevenir-que-curar>")<https://infoalimentos.org.ar/temas/inocuidad-de-los-alimentos/266-contaminacion-microbiana-en-verduras-de-hoja-mejor-prevenir-que-curar>)]

4.1.3 Afecciones hacia el consumidor

El uso de aguas negras para el riego del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) conlleva cuestiones que son válidas de reconocer como por ejemplo que el gasto económico es menor, el agua potable se destina exclusivamente al humano, los agricultores obtienen mayores ganancias y ahorran en fertilizantes, sin embargo, como se mencionó anteriormente, el agua contiene patógenos que pueden traer tanto los agricultores como los consumidores. También es posible que se presenten elementos potencialmente tóxicos como metales pesados, compuestos orgánicos como grasa, aceite y fármacos (Salvador, s. f.).

Dentro de las principales enfermedades registradas en el consumo de *Lactuca sativa* L que no fue desinfectada son cisticercosis, hepatitis A, salmonela o cólera (Hernández, 2009). Asimismo, los suelos bajo riego continuo con aguas residuales muestran elevadas concentraciones de cadmio y plomo, por lo cual es posible generar riesgos a la salud por contaminación con metales pesados (Zamora, s. f.).

4.1.4 Síntomas de las afecciones causadas por patógenos en la lechuga.

En base a la información previamente

mencionada, es importante destacar que el riego de aguas residuales en los cultivos de lechuga puede introducir una variedad de patógenos que representan un riesgo para la salud humana. Estos patógenos pueden ser responsables de la aparición de diversas enfermedades que afectan a quienes consumen la lechuga contaminada.

Para ofrecer una visión general de las posibles enfermedades asociadas con estos patógenos, a continuación, se presenta una lista de algunas de ellas, junto con sus síntomas principales. Es importante tener en cuenta que esta lista no abarca todas las enfermedades posibles, pero proporciona una muestra representativa:

- Gastroenteritis. Esta enfermedad se caracteriza por la inflamación del tracto gastrointestinal y puede ser causada por patógenos como Salmonella y Escherichia coli (E. coli). Los síntomas comunes incluyen náuseas, vómitos, diarrea, dolor abdominal y fiebre.
- Tifus. Enfermedad provocada por la bacteria Rickettsia prowazekii que causa fiebre, diarrea, vómitos, inflamación del bazo y del intestino.
- Fiebre tifoidea: enfermedad provocada por la bacteria Salmonella typhi que causa fiebre alta, dolor de cabeza, malestar general, dolor abdominal, diarrea o estreñimiento.
- Tracoma: enfermedad provocada por la bacteria Chlamydia trachomatis que causa infección de los ojos, inflamación, irritación, secreción y cicatrices en la córnea. Puede provocar ceguera si no se trata a tiempo.
- Enterovirus: grupo de virus que causan diversas enfermedades como meningitis, encefalitis, miocarditis, parálisis flácida aguda y exantemas.
- Tuberculosis: enfermedad provocada por la bacteria Mycobacterium tuberculosis que afecta principalmente a los pulmones y causa tos crónica con esputo sanguinolento, fiebre, sudoración nocturna y pérdida de peso.
- Botulismo: enfermedad provocada por la toxina producida por la bacteria Clostridium botulinum que afecta al sistema nervioso y causa debilidad

muscular, visión borrosa, dificultad para hablar y tragar, y parálisis respiratoria.

·Cólera: enfermedad provocada por la bacteria Vibrio cholerae que causa diarrea acuosa severa, vómitos y deshidratación.

Identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales

La seguridad alimentaria es una preocupación creciente en la producción agrícola, especialmente en lo que respecta a los productos cultivados en suelos regados con aguas residuales. Las lechugas, siendo un alimento común en la alimentación de la población, pueden ser particularmente susceptibles a la contaminación por patógenos presentes en las aguas residuales, las cuales son utilizadas para su riego. La identificación precisa de estos patógenos es crucial para prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por alimentos, por lo que existen diversas técnicas de laboratorio que ayudan a identificarlos.



Figura 4. Mejoramiento de cultivos. [Fotografía] por Chilebio. (2019, 15 julio). (<https://www.chilebio.cl/2019/03/29/nuevas-tecnicas-de-mejoramiento-genetico-para-combatir-el-hambre/>)

- Técnicas de cultivo microbiológico: El aislamiento de patógenos en lechugas puede realizarse mediante métodos de cultivo microbiológico, como la siembra en medios de cultivo selectivos y diferenciales. Este método permite observar el crecimiento y la identificación de bacterias patógenas específicas presentes en las muestras de lechuga.
- Ensayos inmunológicos: Los ensayos inmunológicos como la inmunofluo-

rescencia y los ensayos de ELISA, son utilizados para detectar y cuantificar antígenos de patógenos específicos en muestras de lechuga. Estas técnicas se basan en la interacción de anticuerpos específicos con los antígenos presentes en la muestra, lo que permite su identificación y cuantificación.

•Reacción en cadena de la polimerasa (PCR): La PCR es una técnica ampliamente utilizada para la detección y la identificación de patógenos en muestras ambientales y alimentarias. Esta técnica permite amplificar el ADN específico de los patógenos presentes en las lechugas y su posterior identificación mediante análisis de secuenciación o técnicas de hibridación.

Alternativas para mejorar la calidad de los cultivos

Una alternativa para no aumentar la cantidad de aguas residuales es reutilizarlas para la agricultura, sin embargo, se deben seguir ciertos requisitos que cumplan con la calidad de esta para evitar la propagación de enfermedades o daños a la salud de la sociedad. Para que las aguas residuales puedan reutilizarse, estas deben provenir de una planta de tratamiento y cumplir con las normas vigentes mencionadas anteriormente.

A pesar de la existencia de las normas, la realidad indica que gran cantidad de aguas residuales no cumplen con la calidad debida para su reutilización en los riegos, por lo que la mayoría de las aguas que llegan a los cultivos requieren de tratamientos complementarios con el fin de mejorar su calidad, mayormente en el aspecto bacteriológico. (Estrada y Rojas, 2016).

Para reutilizar dichos efluentes se siguen alternativas que pueden llevarse a cabo en la planta de tratamiento o en la parcela, a continuación, se describen algunas:

·Desinfección con rayos ultravioleta: este método se realiza previo a su reutilización de las aguas residuales en las parcelas. Se debe contar con

tecnología UV que asegure que la longitud de onda elimine totalmente los microorganismos y agentes patógenos y que no produzca residuos. Los rayos UV destruyen el material genético de las bacterias, por lo que ya no pueden seguir reproduciéndose, reduce la carga biológica del agua y mejora su calidad sanitaria.

Algunas ventajas de este método son la erradicación de bacterias sin adicionar productos químicos, no generar algún olor o sabor, su efectividad no depende del pH del agua, la instalación del equipo y su utilización requiere poco espacio y bajos costos.

Igualmente, sus desventajas son el cuidadoso mantenimiento del equipo, no poder utilizarlo con aguas con sólidos en suspensión mayores a 30mg/L y es necesario contar con una fuente de energía eléctrica en el sitio.

·Decantadores: este método se basa en separar compuestos de las aguas residuales mediante la gravedad y su peso de cada uno de estos, pudiendo separar compuestos un poco grandes como arcillas o gravillas.

·Desinfección con ozono: el ozono es efectivo para remover bacterias y virus, sin embargo, puede ser utilizado como tratamiento complementario. La tecnología de este método consiste en un sistema que integra un generador de ozono, filtros de aire, un sistema difusor y un tanque de contacto. El equipo está en línea con una tubería de suministro de agua, para cuando se ala toma de agua, su caída produzca una presión que haga que un sensor registre la variación de presión y empiece a producir ozono, ocurriendo automáticamente y en distintas etapas. A menor temperatura del agua se requerirá mayor intervalo de tiempo de contacto y mayor concentración de ozono. (Comisión Nacional de Riego, 2007).

Sus principales desventajas se enfocan en que sigue siendo una tecnología compleja, tiene un alto costo de inversión y requiere de una fuente de

energía eléctrica cercana, además de ser un gas inestable que pudiera provocar riesgos.

·Micro y ultrafiltración con membranas: la microfiltración permite remover bacterias de las aguas y la ultrafiltración remueve virus. Ambas están basadas en los principios de separación física de partículas, utilizando membranas con poros de 0.1 a 10 μm . Para realizarla el agua ya se debió tratar previamente para poder establecer las unidades de prefiltrado con materiales de poro. Está demostrado que utilizar membranas de óxido de aluminio puede remover patógenos y sólidos de aguas residuales. (Gobierno de España-Ministerio de Economía, 2010). Sus desventajas radican en que es un método complejo aún, ya que requiere de diversos equipos que representan un alto costo de inversión inicial, además de necesitar una fuente de energía eléctrica.

Condiciones para la reutilización de aguas residuales en riegos agrícolas.

Para poder reutilizar aguas residuales en riegos de cultivos se deben considerar varios aspectos como la selección de cultivos, el manejo del agua y método de riego e implementar medidas de seguridad a la salud de los trabajadores.

Selección de cultivos

Esta condición obedece la calidad del agua que se va a reutilizar, considerando los riesgos a la salud pública y las restricciones que impongan las normas o legislaciones.

La calidad del agua incluye en los cultivos positiva o negativamente, por lo que se considera la conductividad eléctrica del agua, la toxicidad de iones específicos como Na o Cl y metales pesados, además de patógenos presentes, principalmente bacterias coliformes. Las directrices para determinar la calidad del agua son útiles para realizar la selección del cultivo. (Ayers y Westcot, 1987)

La concentración de sales en las aguas residuales puede limitar su uso en ciertos cultivos, su toxicidad de estas aguas se presenta cuando el ion se acumula en los tejidos de la planta, por lo que se debe considerar el grado de resistencia a salinidad de los cultivos para que sea favorable su uso y la concentración de estos en las aguas, ya que si es una cantidad residual no debería causar daño a los cultivos, sin embargo, si la concentración es alta puede provocar quemaduras.

Igualmente se deben considerar los riesgos a la salud pública, relacionados a la presencia de patógenos como bacterias o parásitos presentes en el agua de riego, por lo que conociendo la calidad bacteriológica de esta se determinan los posibles cultivos a regar con esta agua. La clasificación de riesgos de salud asociados a este tema es bajo, medio y alto, respondiendo a el tipo de cultivo y su destino, es decir, quiénes lo consumieran, pudiendo ser humanos, animales o para industrializar. (Estrada y Rojas, 2016).

Las legislaciones en México han delimitado las condiciones que deben cumplir las aguas residuales para poder reutilizarse en riegos. La NOM-001-SEMARNAT-1996 define dos parámetros y sus unidades como límites para la utilización de este efluente. Los coliformes fecales deben tener como límite 2000 NMP/100 ml en promedio mensualmente y la concentración de huevos de helmintos no deben superar 5 NMP/100ml por riego. (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2003).

Manejo del agua y métodos de riego

La relación que tienen los métodos de riego con el manejo del agua determina en gran medida la calidad de los cultivos, por lo que se reúnen ciertos factores a considerar, como el aspecto económico refiriéndose a la cuota por servicio de costo del bombeo, la tecnología requerida para su distribución en los cultivos y el manejo del agua

dependiendo del método.

El riego por gravedad en surcos y melgas es la opción más económica y popular, ya que se aprovecha la topografía del terreno y la gravedad para que llegue a todos los cultivos, sin embargo, el agua residual no debe tener contacto con los cultivos.

Las camas de siembra son otro método con el cual se busca que los cultivos se siembren colocando las semillas en hilera simple o doble, para que se desarrollen los cultivos y el agua se aplique entre cama y cama penetrando verticalmente por capilaridad. Su principal ventaja de esta práctica es el bajo riesgo de contaminación de cultivo por el contacto con el agua de riego. (Estrada y Rojas, 2016).

Metodología de estudio con base a la literatura

La búsqueda se realizó a través de la Biblioteca Digital de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (<http://www.bibliotecas.buap.mx/>), se consultaron las bases de datos de libres accesos Google Académico y las bases de datos Scopus y Science Direct.

Los autores se basaron en la estimación del riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con estos indicadores, utilizando el modelo de exposición propuesto por la OMS como se muestra a continuación:

- Definir el escenario de exposición, considerando el tipo de cultivo, el tipo y la frecuencia de riego, el nivel de contaminación del agua, el tiempo de cosecha y el consumo per cápita de lechugas.
- Identificar los agentes infecciosos de interés, considerando su prevalencia y concentración en el agua, el suelo y las lechugas, su persistencia y transmisión en el ambiente y su patogenicidad e infectividad en el huésped humano.
- Estimar las dosis ingeridas de los agentes infecciosos por el consumidor, considerando la concentración en las

lechugas, el peso fresco consumido y la frecuencia de consumo.

- Calcular la probabilidad de infección por los agentes infecciosos, considerando la dosis ingerida y la curva dosis-respuesta que relaciona la dosis con la probabilidad de infección.
- Por último, se estimó el riesgo sanitario como el número esperado de casos de infección por año por cada 10.000 personas expuestas.

La metodología experimental seguida fue a partir de la selección de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) de 3,2 ha, fueron realizados 4 muestreos durante un mes considerando el periodo de siembra, crecimiento y cosecha de las lechugas. Las muestras recolectadas fueron las siguientes:

8 muestras de agua proveniente del canal de riego a dos diferentes profundidades, una vez por semana para la determinación de la presencia de cambios en la calidad del agua. Las muestras fueron recolectadas bajo las recomendaciones de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA, por sus siglas en inglés) en frascos estériles a 4 °C. Para las muestras del suelo se recogieron 5 muestras durante una semana por cuatro semanas a distintas profundidades, mientras que, para el análisis de hortalizas, fueron recolectadas 5 muestras de lechuga de manera alternativa después del último riego durante dos periodos de cosecha (Pinilla et al., 2015).

Resultados y discusión.

Campos et al. (2015) evaluaron el riesgo sanitario debido al riego con aguas residuales sin tratar en un cultivo de lechuga en el Centro Agropecuario Marengo, en Colombia. Los autores se enfocaron en analizar la calidad microbiológica del agua, del suelo y de las lechugas, utilizando como indicadores de contaminación fecal coliformes fecales, específicamente *Salmonella* spp., colifagos somáticos y huevos de helmineto. Los resultados mostraron que las concentraciones de estos indicadores superaban en algu-

nos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implicaba un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores.

Con los resultados propuestos se demostró que el riesgo era mayor para los huevos de helminto, seguido por los colifagos somáticos y los coliformes fecales. El riesgo por *Salmonella* spp. fue despreciable debido a su baja concentración. Los autores concluyeron que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representaba un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta, por lo que se recomendaba implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas.

La reutilización de aguas residuales para riegos agrícolas obedece a distintas condiciones que limitan o no su uso para determinar su calidad, como la concentración de iones o metales pesados, la presencia de microorganismos, pudiendo ser patógenos o bacterias coliformes y los riesgos a la salud pública; de la caracterización de estas aguas dependerá su destino pudiendo ser para consumo humano, animal o para industrializar. Existen alternativas y métodos a seguir para la utilización de este efluente dependiendo del tipo de calidad que sea el agua, el método de riego y el manejo del agua. Algunos métodos pueden ser el riego por gravedad en surcos y las camas de siembra que se caracterizan por no exponer a los cultivos a una posible contaminación ya que estos no entran en contacto con el agua.



Conclusiones

El riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con indicadores microbiológicos es una problemática importante en la tanto en producción agrícola como en el consumo humano. La metodología aplicada nos permitió estimar el riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas con indicadores microbiológicos y se estudia que el riego con aguas residuales sin tratar en el cultivo de lechuga representa un riesgo sanitario no aceptable para la población expuesta.

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de huevos de helminto, colifagos somáticos y coliformes fecales en el agua, suelo y lechugas superaban en algunos casos los límites establecidos por la normativa nacional, lo que implica un riesgo potencial para la salud de los agricultores y los consumidores. Por otro lado, la concentración de *Salmonella* spp fue baja, por lo que el riesgo asociado a esta bacteria fue despreciable.

Para finalizar, es necesario implementar medidas de control y prevención para garantizar la inocuidad de los productos agrícolas y reducir el riesgo sanitario asociado al consumo de lechugas contaminadas. Además, se deben realizar más estudios para determinar la concentración de otros agentes patógenos que pueden afectar la salud humana y establecer medidas de control efectivas en la producción agrícola para garantizar la seguridad alimentaria.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

Agradecimientos.

A nombre de los autores de este manuscrito, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la PhDs. Beatriz Espinosa Aquino por compartir generosamente su vasto conocimiento y experiencia con nosotros. Su guía y apoyo en la estructuración y análisis de los datos fueron esenciales para la elaboración de este reporte. Agradezco su dedicación y compromiso con nuestro aprendizaje y crecimiento.

Anexos.

- Campos, C., Contreras, A. M., & Leiva, F. R. (2015). Evaluación del riesgo sanitario en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) debido al riego con aguas residuales sin tratar en el Centro Agropecuario Marengo (Cundinamarca, Colombia). *Revista Biosalud*, 14(1), 69-78. <https://doi.org/10.17151/biosa.2015.14.1.8>
- García, A., & Hernández, M. (2018). *Escherichia coli* en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) regada con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 1043-1054. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1440>
- Salas, J. J., López, M. E., Zerrouk, M. H., & Quiroga, J. M. (2012). Reutilización de aguas residuales regeneradas mediante técnicas no convencionales para el riego de lechuga romana (*Lactuca sativa*). *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(4), 113-126. <https://www.tecnoyagua.mx/index.php/tyca/article/view/211>
- World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4: Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9241546859>

REFERENCIAS

Balkema, A. J., Preisig, H. A., Otterpohl, R., & Lambert, F. J. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban water*, 4(2), 153-161.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J. I., Goicoechea, N., & Becerril, J. M. (2013). Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(46), 11129-11140.

Baslam, M., Esteban, R., García-Plazaola, J. I., Goicoechea, N., & Becerril, J. M. (2013). Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(46), 11129-11140.

Cabrera, G., Luna, G., & Sánchez, J. (2018). Identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales. *Revista de Investigación en Microbiología*, 15(2), 112-126.

Campos, C., Krapf, D., & Salazar, E. (2015). Detection and quantification of SARS-CoV-2 in wastewater: state of the art and research needs. *Science of the Total Environment*, 750, 141702.

Cifuentes, E., Blumenthal, U., Palacio, G. R., Bennett, S., Quigley, M., Peasey, A., & Romero-Alvarez, H. (1993). Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. *Salud Pública de México*, 35(6), 614-619.

Ecología Verde. (2020). Contaminación por metales pesados en el agua. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-por-metales-pesados-en-el-agua-1452.html>

Estrucplan. (2000). Composición de las aguas residuales. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/>

Ganoulis, J. (2012). Risk analysis of water pollution: probabilities and fuzzy sets. John Wiley & Sons.

Gob.mx. (2021). La actualización de la norma sobre descargas de aguas residuales. Recuperado de <https://www.gob.mx/imta/es/articulos/la-actualizacion-de-la-norma-sobre-descargas-de-aguas-residuales?idiom=es>

Gómez, M. L., Torres, J. M., & Rodríguez, E. (2019). Aplicación de la reacción en cadena de la polimerasa para la identificación de patógenos en lechugas regadas con aguas residuales. *Revista de Microbiología y Biotecnología*, 22(4), 267-278.

Hernández, K. (2009, 6 febrero). Un estuche de enfermedades crean verduras regadas con aguas negras – Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/un-estuche-de-enfermedades-crean-verduras-regadas-con-aguas-negras/#:~:text=El%20consumo%20de%20verduras%20y,hepatitis%20A%2C%20salmonela%20o%20c-%20C3%B3lera>

¡Agua. (2021). Enfermedades causadas por agua contaminada con gérmenes. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Innotec Laboratorios. (2021). Características de aguas residuales. Recuperado de <https://www.innotec-laboratorios.com/caracteristicas-de-aguas-residuales/>

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of food science*, 74(9), R107-R113.

Jacobo-Velázquez, D. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2009). Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of food science*, 74(9), R107-R113.

Mayo Clinic. (2019). Botulismo. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/botulism/symptoms-causes/syc-20370262>

Mayo Clinic. (2020). Enfermedades infecciosas. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/infectious-diseases/symptoms-causes/syc-20351173>

Mayo Clinic. (2020). Tuberculosis. Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/tuberculosis/symptoms-causes/syc-20351250>

Mayo Clinic. (2021). Infección por giardia (giardiosis). Recuperado de <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/giardia-infection/symptoms-causes/syc-20372786>

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2010). Economic feasibility study for wastewater treatment: a cost-benefit analysis. *Science of the total environment*, 408(20), 4396-4402.

Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2015). Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach. *Science of the total environment*, 505, 1017-1027.

MoUD (Ministry of Urban Development) (2008) National urban sanitation policy: Government of India.

Pinherio P. - MD.Saúde. (2020). Enfermedades causadas por agua contaminada con gérmenes. Recuperado de <https://www.mdsau.de.com/es/enfermedades-infecciosas/enfermedades-transmitidas-por-el-agua/>

Ricart, S., Rico-Amorós, A., & Esteller-Alberich, M. V. (2019). Water reuse in Spain: data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Water reuse and desalination: water scarcity solutions for the 21st century*.

Salvador, D. G. C. E. N. F. R. R. G. J. C. R. (s. f.). Las "aguas negras" y sus beneficios. *Ciencia UNAM*. https://ciencia.unam.mx/leer/425/Las_%E2%80%9Caguas_negras%E2%80%9D_y_sus_beneficios

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario_2017.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/445839/Anuario_2017.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562434/Anuario_2019.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Avance de siembras y cosechas: lechuga. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Zamora, F. (s. f.). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, Estado Falcón. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612008000300006#:~:text=El%20uso%20de%20aguas%20residuales,del%20suelo%20y%20del%20agua

NEONICOTINOIDES, UN RIESGO POTENCIAL PARA LOS POLINIZADORES

NEONICOTINOIDS, A POTENTIAL RISK FOR POLLINATORS

Amanda Denisse Nicanor Barbosa

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 106-113

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0007-9636-8107>

Año 10 No. 28
Recibido: 1/julio/ 2023
Aprobado: 30/diciembre/ 2023
Publicado: 07/enero/ 2024

Facultad de Ciencias Biológicas. Licenciatura en Biotecnología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
Av. 18 sur y San Claudio S.N. Ciudad Universitaria, Col. San Manuel, Puebla. Mx.

amanda.nicanorb@alumno.buap.mx
202072184@viep.com.mx

Resumen

Para la agricultura actual es necesaria la producción química de los cultivos, ya que (incluso con el uso de estos químicos) todos los años al menos un 40% de los cultivos globales se pierden por plagas y enfermedades. El uso de estos productos que ayudan a proteger los cultivos evitan pérdidas causadas por distintos factores. Y con la creciente población mundial, esto adquiere relevancia debido a la limitada cantidad de área apta para la agricultura. A pesar de ello, la utilización de insecticidas, como son los llamados neonicotinoides, presentan cierto grado de toxicidad en algunos grupos de insectos y en este caso específico de las abejas, que son un importante tipo de polinizadores que además en el mundo son económicamente fundamentales. El objetivo de este artículo de divulgación es tener un conocimiento más amplio de los que son los neonicotinoides y el daño que pueden provocar tanto a los insectos considerados como el objetivo principal (plagas a los que se destinan) como a los insectos y animales que no causan problema a los cultivos. Con lo anterior en cuenta, se realizó una búsqueda y recopilación de información de distintos autores, con el fin de abordar un tema poco común y conocer las consecuencias que puede tener la aplicación y uso desmedido de este tipo de productos en zonas de cultivo, de las cuales se obtienen distintos alimentos destinados al consumo. Al final de dicha investigación, se concluyó que los neonicotinoides tienen un fuerte efecto en el sistema nervioso central de una gran variedad de insectos.

Palabras clave: Neonicotinoides Agricultura Neurotoxicidad Polinizadores Toxicidad

Abstract

For current agriculture, the chemical production of crops is necessary since (even with the use of these chemicals) every year at least 40% of global crops are lost to pests and diseases. The use of these products that help protect crops avoid losses caused by different factors. With the growing world population this acquires due to the limited amount of area suitable for agriculture. Despite this, the use of insecticides such as the so-called neonicotinoids, presents a certain degree of toxicity in some groups of insects and in this specific case of bees, which are an important group of pollinators that are also economically important in the world. The objective of this article is to have a broader knowledge of what neonicotinoids are and the damage they can cause, both to insects considered as the main target (pests to which they are intended) and to insects and animals that do not cause problems to crops. With this in mind, a search and compilation of information from different authors was carried out, with the purpose of approaching an uncommon subject and to know the consequences that the application and excessive use of this type of products can have in cultivation areas, from which different foodstuffs destined for consumption are obtained. At the end of this research, it was concluded that neonicotinoids have a strong effect on the central nervous system of a great variety of insects.

Keywords: Neonicotinoids Agriculture; Neurotoxicity; Pollinators; Toxicity.

Introducción

Con el presente artículo de revisión se pretende brindar información sobre los neonicotinoides que son utilizados principalmente como fertilizante y explicar el porqué son un riesgo potencial para los polinizadores, con un enfoque especial en las abejas.

El origen de este tipo de insecticidas se debe a los receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR), estos son canales iónicos controlados por ligandos que median la transmisión sináptica rápida en el sistema nervioso de los insectos y son objetivo de un grande grupo de insecticidas, los cuales son los neonicotinoides. Constan de 5 subunidades dispuestas alrededor de un canal iónico central. Debido a la composición de dichas subunidades se determinan las propiedades funcionales y farmacológicas del receptor (Jones, A. & Sattalle, D., 2010).

Su introducción al mercado se dio en la década de 1990, son utilizados principalmente en la agricultura para el control de plagas, así como para el control de pulgas en mascotas como lo son perros y gatos. Sin embargo, tienen un efecto negativo en distintos grupos de insectos debido a la selectividad de compuestos neonicotinoides a este tipo de animales. Algunos de los neonicotinoides de uso más común en los campos agrícolas son el acetamiprid, clortianidina, Imidacloprid, tiacloprid y thiamethoxan.

Por otro lado, más del 75% de los principales cultivos mundiales y al menos el 80% de todas las especies de plantas con flores dependen de polinizadores animales. De la inmensa cantidad de cultivos polinizados por animales que forman parte del suministro de alimentos del mundo, el 15% son polinizados por abejas domésticas, mientras que al menos 80% son polinizados por especies de abejas silvestres y otros animales salvajes. Por esta razón, los polinizadores son esenciales para la diversidad de la dieta, la biodiversidad y el mantenimiento de los recursos naturales (Abrol, D. P., 2012).

Con lo anterior en cuenta, los neonicotinoides a menudo se aplican como tratamientos sistémicos de semillas para cultivos y se conoce sobre el impacto negativo que produce a los polinizadores cuando estos aparecen en el néctar floral o el polen. Esta manera de administración provoca que los pesticidas penetren en los tejidos de las plantas. (Wright, G., Softtley, S. & Earnshaw, H. 2015) Además, el rociado de estos insecticidas en los cultivos de flores puede volverse una amenaza para las abejas que se alimentan durante su actividad de vuelo, y la vida de la colonia así como de las crías puede verse afectada por el consumo de polen y néctar contaminados. (Reetz, J. et al. 2011).



Imágenes 1 y 2. Abeja polinizando flores de una planta de lavanda (Lavandula).
Fuente: Elaboración propia

De esta manera es evidente la disminución global de las abejas melíferas y abejas silvestres y, por tanto, se ha relacionado con diversas razones como son: patógenos, cambio climático, la

fragmentación de su hábitat y por el uso de pesticidas. Es importante mencionar que las abejas viven en colonias en una relación de interdependencia, es decir, dependen las unas de las otras para poder sobrevivir. Además, de que desempeñan un importante papel en la polinización. (Reetz, J. et al. 2011).

Adsorción y degradación de neonicotinoides en suelos agrícolas

Existen siete neonicotinoides disponibles de manera comercial en el mercado de insecticidas, los cuales son: imidacloprid, tiametoxam, clotianidina, dinotefuran, acetamiprid, tiacloprid y nitenpiram. Se ha estimado que una vez que se aplican a través del suelo o por medio de la preparación de semillas, el cultivo absorbe entre el 2-20% mientras que el resto generalmente son absorbidos por el suelo (Li et al. 2018).

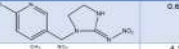
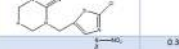

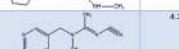
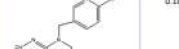

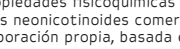
Neonicotinoide	Estructura química	Solubilidad en agua (g/l)	Coefficiente de reparto (tallos/agua)
Imidacloprid		0.81	0.17
Tiametoxam		4.1	-0.13
Clotianidina		0.34	0.7
Dinotefuran		34.3	0.64
Acetamiprid		8.2	0.8
Tiacloprid		0.184	1.26
Nitenpiram		840	-0.64

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los principales neonicotinoides comerciales.

Fuente: Elaboración propia, basada en (Li, Y., Li, Y., Bi, G. et al. 2023).

Los datos sobre degradación y adsorción de neonicotinoides en los suelos son de gran importancia, ya que ayudan a evaluar el destino y transporte de dichos insecticidas en suelos y aguas subterráneas (Li, Y., Li, Y., Bi, G. et al. 2023). El grado de toxicidad persiste por un periodo de tiempo variable, dependiendo de la planta, su etapa de crecimiento y la cantidad de pesticida aplicada.

Usos de los neonicotinoides

Dentro de los principales usos de estos insecticidas encontramos: 1) protección de cultivos y plantas ornamentales contra insectos herbívoros y ácaros, 2) control de plagas urbanas para combatir organismos nocivos como cucarachas, hormigas, termitas, avispas, etc., 3) aplicaciones veterinarias y 4) piscicultura.

En agricultura, horticultura, viveros de árboles y silvicultura, los neonicotinoides pueden ser aplicados de distintas maneras como: pulverización (foliar), tratamiento de semillas, formación de bolitas de semillas, tratamiento del suelo, aplicación granular, inmersión plantular, quiigación, empapado del suelo, aplicación en surco, inyecciones en el tronco de árboles, mezcla con agua de riego, empapamiento de bulbos de flores y aplicación con brocha en tallos de árboles frutales (Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. et al. 2015).

Sin embargo, la aplicación de mayor uso, así como de mayor popularidad en la protección de cultivos agrícolas, es el recubrimiento profiláctico de semillas. El cual es un tratamiento a priori contra las plagas objetivo que pueden disminuir los rendimientos productivos. Durante la germinación y el crecimiento, las raíces de las plantas cultivadas absorben la sustancia activa de la cubierta de la semilla y la trasladan a todas las partes del cultivo, lo que provoca que dicho cultivo sea tóxico para los insectos que intentan alimentarse de él (Van der Sluijs et al. 2013).

Modo de acción

Los neonicotinoides están sujetos a un intenso metabolismo en las plantas, lo cual lleva a la aparición de diferentes metabolitos durante la vida de dichas plantas o, al menos, hasta que dicha cosecha sea consumida por los humanos o animales. Por esta razón, los metabolitos pueden inducir una acción duradera contra las plagas.

El metabolismo de los siete principales neonicotinoides se divide en dos fases:

- Fase I

Depende en gran medida del citocromo

P450, incluye reacciones como: desmetilación, hidrólisis de ciano, hidroxilación de imidazolidina y tiazolidina acompañada de formación de ofelina, hidroxilación de oxadiazina acompañada de apertura de anillo y decoloración de cloropiridinilo. El metabolismo de esta fase se ha encontrado tanto en pequeños mamíferos como en plantas (Casida, 2011).

•Fase II

Responsable de la formación de conjugados, que difieren entre plantas y animales.

Polinizadores y su importancia

El rendimiento de los cultivos y la calidad de más de tres cuartas partes de los principales cultivos del mundo dependen de polinizadores animales. La dependencia de los polinizadores es debido a que proporcionan una gran cantidad de micronutrientes, vitaminas y minerales necesarios para la dieta humana. Además, el volumen de los cultivos ha aumentado en un 300% en las últimas cinco décadas y la limitación de la polinización debido a la falta de polinizadores es una causa común del menor rendimiento de los cultivos agrícolas.

Una comunidad diversa de polinizadores, por lo regular, genera una polinización de cultivos más efectiva y estable a comparación de la polinización realizada por cualquier especie individual. Existe una gran diversidad de polinizadores, además de la abeja se incluyen especies como moscas, avispas, escarabajos, mariposas y polillas, aves y murciélagos. Se estima que los insectos que no son abejas realizan entre el 25-50% de visitas a cultivos de importancia mundial.



Diagrama 1. Tipos de polinización y agentes polinizadores que existen.

Fuente: Elaboración propia, basado en información de (Requier et al., 2023).

Tradicionalmente, las abejas han sido consideradas como el grupo más importante de polinizadores de cultivos a nivel mundial. Su eficiencia polinizadora está relacionada, con: 1) su dieta compuesta principalmente de recurso derivados de las flores, 2) sus cuerpos cubiertos de pelos ramificados, lo que permite la unión de transporte eficiente de granos de polen y 3) su fidelidad floral a una determinada especie durante el mismo viaje de su alimentación o incluso durante toda su vida (Requier et al., 2023).

Disminución actual de los polinizadores

Las poblaciones de insectos están disminuyendo a nivel mundial. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los cultivos dependen de la polinización por insectos, lo cual pone en riesgo la seguridad alimentaria. Esto ha sido demostrado debido a la fragmentación del hábitat, la eliminación vegetal natural y el uso de pesticidas (Marques, M.F. et al. 2017).

Metodología

Se realizó una búsqueda en la literatura sobre los neonicotinoides utilizados en la agricultura y el efecto que estos tienen sobre los polinizadores, se encontró que cuando se registra el uso de pesticidas, se realiza una exhaustiva revisión para determinar si, según las buenas prácticas agrícolas, los compuestos pueden llegar a organismos no objetivo, como lo son las abejas. (Reetz, J. et al. 2011)

Debido al problema de contaminación por neonicotinoides y otros tipos de pesticidas en las abejas, así como los productos y subproductos de estas, se han desarrollado técnicas basadas en la extracción en fase sólida dispersiva (d-SPE) para la remoción de pesticidas en frutas y verduras. La técnica que ha recibido mejores resultados es conocida como QuEChERS, acrónimo del inglés Quick (rápido), Easy (fácil), Cheap (barato), Effective (efectivo), Rugged (robusto) y Safe (seguro); esta técnica complementada con métodos cromatográficos así como de espec-

trofometría de masas, permiten la caracterización de pesticidas presentes en la miel.

Hablando más a detalle de la metodología QuEChERS, esta permite una extracción simplificada de un gran número de residuos pesticidas multi-clase y multiresiduo, esto en una gran cantidad de diferentes matrices, cada una con sus características especiales. Inicialmente, se creó para el análisis de los pesticidas mencionados en frutas y hortalizas, pero sus aplicaciones se han extendido a una gran cantidad de muestras (casi cualquiera) debido a su fácil modificación en función de las propiedades de los analitos y composición de la matriz. (Martin-Culma, N. Y. & Arenas-Suárez, 2017)

Consta de dos pasos: 1) Una partición de solvente utilizando acetonitrilo como solvente de extracción y NaCl, así como MgSO₄ para inducir la formación de sales y

2) Un procedimiento de extracción en fase sólida dispersivo basado en MgSO₄ para eliminar agua residual y amina primaria-secundaria como principal absorbente de limpieza. Dicho método, tal como hace referencia a su nombre, es sencillo, económico y aumenta el rendimiento de las muestras. (González-Curbelo, M.Á., et al., 2021) Después de la etapa de extracción, lo obtenido puede ser analizado mediante cromatografía de gases o cromatografía líquida. Dichas técnicas son utilizadas para llevar a cabo las determinaciones debido a su gran sensibilidad, capacidad de separar, identificar y analizar de manera cualitativa y cuantitativa compuestos de distinta naturaleza. Otros autores han encontrado otras aplicaciones del QuEChERS para analizar pesticidas en el polen, como lo es el enfoque del QuEChERS tamponado con citrato, ya que su uso resultó en una mayor extracción de muestras de polen.

Resultados

Gracias a las técnicas mencionadas anteriormente podemos conocer qué pesticidas son los que están presentes en productos que son consumidos por las abejas y otros polinizadores, como

lo son el néctar y polen de distintas plantas, pero esto principalmente en cultivos agrícolas, ya que son los espacios en los que, agricultores aplican grandes cantidades de pesticidas (neonicotinoides, incluidos en ellos) para la protección de dichos cultivos, lo que causa diversos efectos perjudiciales en la vida de los polinizadores, entre estos efectos encontramos: pérdida de memoria a corto plazo, daños en el sistema nervioso central y el más grave de todos, la muerte.



Foto libre

Con base en la información recabada, existe información limitada de estudios que hablen sobre la supervivencia a largo plazo de las colonias de abejas melíferas después de la exposición a neonicotinoides, ya que son necesarios experimentos a escala paisaje en condiciones agrícolas para integrar la variación espacial, temporal y específica de la especie, con el fin de comprender el impacto de los neonicotinoides en las abejas (Woodcock, B. et al. 2017).

Además, como resultado de su amplio uso y sus propiedades fisicoquímicas, estas sustancias pueden encontrarse en todos los compartimentos ambientales, en donde está incluido el suelo, el agua y el aire.

Conclusiones

En conclusión, cada vez existen más pruebas de que los pesticidas no solo controlan plagas o patógenos, sino que tienen diversos efectos secundarios en organismos que no son objetivo, el medio ambiente y nosotros los humanos. Además, son significativos los impactos que causan los plaguicidas en el medio ambiente y en los seres humanos, debido a la enorme variedad de ingredientes activos que los conforman, así como sus mecanismos de acción, por ello no se pueden identificar patrones generales para las diferentes clases de plaguicidas.

Considero que si existieran programas de capacitación adecuados para los agricultores podrían conocer diferentes opciones de pesticidas y entre ellos buscar la mejor opción que brinde beneficios a sus cultivos, que sean protegidos de las especies objetivo y que sean inofensivas para especies no objetivo, con ello se podrán reducir los efectos negativos en suelo, aire y agua, así como en las diferentes formas de vida que sean beneficiadas con productos de las plantas como polen o néctar para los polinizadores. Además, crear concientización a la comunidad en general para que conozcan los efectos negativos que pueden producir pesticidas como los neonicotinoides.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

Agradecimientos

Agradezco a la PhDs. Beatriz Espinosa por su guía en el proceso del desarrollo de este trabajo, así como a los investigadores citados ya que gracias a las investigaciones que han realizado con el enfoque de mi tema seleccionado en sus trabajos publicados en forma de artículos o capítulos de libros, me han ayudado a realizar un trabajo de calidad con buenas fuentes de información.

Referencias

- Abrol, D.P. (2012). Decline in Pollinators. In: *Pollination Biology*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2_17
- B. A. Woodcock et al., Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. *Science* 356, 1393-1395 (2017). DOI:10.1126/science.aaa1190
- González-Curbelo, M.Á., González-Sálamo, J., Varela-Martínez, D.A., Hernández-Borges, J. (2021). Analysis of Pesticide Residues in Pollen and Dairy Products. In: Inamuddin, Ahamed, M.I., Lichtfouse, E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews 47*. Sustainable Agriculture Reviews, vol 47. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54712-7_2
- Karmakar, R., Singh, S. & Kulshrestha, G. Persistence and Transformation of Thiamethoxam, a Neonicotinoid Insecticide, in Soil of Different Agroclimatic Zones of India. *Bull Environ Contam Toxicol* 76, 400-406 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00128-006-0935-9>
- Li, Y., Li, Y., Bi, G. et al. Adsorption and degradation of neonicotinoid insecticides in agricultural soils. *Environ Sci Pollut Res* 30, 47516-47526 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25671-9>
- Mani, M., Venkatesan, T., Chethan, B.R. (2022). Molecular Identification of Insect Pests of Horticultural Crops. In: Mani, M. (eds) *Trends in Horticultural Entomology*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0343-4_1
- Marques, M.F., Hautequestt, A.P., Oliveira, U.B. et al. Local knowledge on native bees and their role as pollinators in agricultural communities. *J Insect Conserv* 21, 345-356 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10841-017-9981-3>
- Martin-Culma, N. Y. & Arenas-Suárez, N. E. Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola. *Entramado*. Enero - Junio, 2018. vol. 14, no. 1, p. 232-240 <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27113>
- Reetz, J.E., Zühlke, S., Spittler, M. et al. Neonicotinoid insecticides translocated in guttated droplets of seed-treated maize and wheat: a threat to honeybees?. *Apidologie* 42, 596-606 (2011). <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0049-1>
- Requier, F., Pérez-Méndez, N., Andersson, G. K. S., Blareau, E., Merle, I., & Garibaldi, L. A. (2023). Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 38 (2), 196-205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.10.006>
- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P. et al. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environ Sci Pollut Res* 22, 5-34 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>
- Wright, G., Softley, S. & Earnshaw, H. Low doses of neonicotinoid pesticides in food rewards impair short-term olfactory memory in foraging-age honeybees. *Sci Rep* 5, 15322 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep15322>

MICROPLÁSTICOS EN LA MESA: EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN EN NUESTROS ALIMENTOS

MICROPLASTICS ON THE TABLE: THE IMPACT OF POLLUTION ON OUR FOOD

Uriel Yair Capilla Juárez
Lesly Guzmán Vargas, Citlali Huerta Barron
Stephanie Muñoz Ayala

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 114-123

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0000-7316-1065>
<https://orcid.org/0009-0003-3820-1764>
<https://orcid.org/0009-0007-8653-1505>
<https://orcid.org/0009-0000-3437-5650>

Año 10 No. 28
Recibido: 31/mayo/2023
Aprobado: 30/noviembre/2023
Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas, Licenciatura en Biotecnología
72589, Blvd. Capitán Carlos Camacho Espíritu 1617, Universidades,
Puebla, Pue.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
uriel.capillaj@alumno.buap.mx, lesly.guzmanv@alumno.buap.mx,
citlali.huerta@alumno.buap.mx,
stephanie.munoz@alumno.buap.mx

Resumen

En la actualidad, la presencia de microplásticos en los alimentos es un tema que preocupa a la comunidad científica, a los consumidores y a las autoridades sanitarias en todo el mundo. Los microplásticos son pequeñas partículas de plástico que se encuentran en el agua, el aire, el suelo y en los alimentos que consumimos como pescados, mariscos, agua embotellada y sal de mesa. Estas partículas son tan pequeñas que pueden penetrar en nuestras células, tejidos y órganos, lo que puede tener efectos negativos en nuestra salud. La contaminación plástica es uno de los principales causantes de la presencia de microplásticos en los alimentos. El plástico es uno de los materiales más utilizados en el mundo, y su producción y uso ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas. Gran parte de este plástico se utiliza para la fabricación de envases y embalajes para alimentos, y se estima que el 79% de todo el plástico que se ha producido en el mundo todavía está presente en el medio ambiente en algún lugar. La presencia de microplásticos en los alimentos puede tener efectos negativos en la salud humana, como la alteración del sistema endocrino, la inflamación, el daño hepático, la neurotoxicidad y la disminución de la fertilidad. Además, los microplásticos también pueden tener efectos negativos en el medio ambiente, como la contaminación del agua y del suelo, la afectación de la biodiversidad marina y terrestre, y el impacto en la cadena alimentaria. En este artículo se explicará cómo los microplásticos llegan a nuestra mesa, sus efectos en la salud y el medio ambiente, y qué medidas se están tomando para reducir la contaminación plástica y proteger nuestra salud.

Palabras clave: Microplásticos, contaminación plástica, alimentos, salud, medio ambiente.

Abstract

Currently, the presence of microplastics in food is a concern for the scientific community, consumers, and health authorities worldwide. Microplastics are small plastic particles found in water, air, soil, and the food we consume such as fish, seafood, bottled water, and table salt. These particles are so small that they can penetrate into our cells, tissues, and organs, which can have negative effects on our health. Plastic pollution is one of the main causes of the presence of microplastics in food. Plastic is one of the most widely used materials in the world, and its production and use have increased exponentially in recent decades. Much of this plastic is used for food packaging, and it is estimated that 79% of all plastic ever produced in the world is still present in the environment somewhere. The presence of microplastics in food can have negative effects on human health, such as endocrine disruption, inflammation, liver damage, neurotoxicity, and decreased fertility. In addition, microplastics can also have negative effects on the environment, such as water and soil pollution, marine and terrestrial biodiversity, and impact on the food chain. This article will explain how microplastics reach our table, their effects on health and the environment, and what measures are being taken to reduce plastic pollution and protect our health.

Keywords: Microplastics, plastic pollution, food, health, environment

Introducción

Debido al bajo precio de producción y la durabilidad del plástico, este se ha utilizado en varios productos de uso comercial. Es por lo que la acumulación de desecho de este material ha ido incrementando de forma significativa. La problemática se ve aún más grave cuando a partir de la degradación del plástico se generan los microplásticos, que son partículas de un tamaño < 5 mm, capaces de penetrar en la membrana de las células.

Es un contaminante emergente que puede ser transportado mediante el aire, agua y estar presente en el suelo. Por estas razones estas partículas pueden estar presentes en los alimentos que consumimos. Las investigaciones arrojan que alimentos de consumo humano pueden presentar microplásticos, por ello la investigación y consulta de la bibliografía podría ser de ayuda para localizar las causas que los alimentos puedan presentar microplásticos y que tipo de alimentos se encuentren contaminados.

Las partículas microplásticas (MP) de menos de 130 cm de diámetro tienen el potencial de trasladarse a los tejidos humanos, desencadenar una respuesta inmunitaria localizada y liberar monómeros constituyentes, sustancias químicas tóxicas agregadas durante la producción de plástico y contaminantes absorbidos del medio ambiente, incluidos metales pesados y persistentes contaminantes orgánicos como PCB y DDT. (Cox et al., 2019). Además los contaminantes hidrófobos, como los PCB (bifenilos policlorados) y los pesticidas, que se adsorben en sedimentos y materia orgánica, tienen una gran afinidad por las superficies plásticas. Dado que estos productos químicos tóxicos se unen fácilmente al plástico, los MP se consideran “vectores” para transferir

contaminantes a los animales y a la cadena alimentaria (Weis, 2020). El primer depósito de MP que puede entrar en la cadena alimentaria se encuentra en los sedimentos. Se han informado rangos de abundancia (partículas kg -1 peso seco de sedimento (dw) para, por ejemplo, playas en Corea del Sur (0,9–4463; 50–5500 μ m de longitud de fibra), México (0–4800; 4,3–4500 μ m), y la costa de España (101–897; 63–2000 μ m). (Van Raamsdonk et al., 2020).

La absorción de partículas plásticas por parte de los humanos puede ocurrir a través del consumo de alimentos terrestres y acuáticos, agua potable e inhalación (Van Raamsdonk et al., 2020b).



Figura 1. Microplásticos en alimentos Amor Escoz Roldán.

Técnica Superior en Salud Ambiental, Ambientóloga, Educadora Ambiental y Doctora en Ciencias de la Educación. <https://www.osman.es/microplasticos-en-los-alimentos-ocurrencia-origen-deteccion-y-percepcion/>

En el ecosistema marino, la morfología, abundancia, tamaño y densidad de las MP, entre otras variables, parecen afectar la biodisponibilidad de las MP absorbidas por el zooplancton y, por lo tanto, tanto el proceso de Biomagnificación como la transferencia entre niveles tróficos (Carbery et al., 2018). MP/NP se han detectado consistentemente en pescados y mariscos, varios alimentos y bebidas precocinados y en agua del grifo/embotellada.

Las MP/NP también se distribuyen y acumulan dentro de los organismos

vivos en diferentes tejidos incluidos el tracto digestivo, la sangre, el hígado, el páncreas, el corazón y en particular, el cerebro. (Chen et al., 2023).

En cuatro de las 30 especies de pescado seco que se consumen comúnmente, 36 de las 61 partículas extrañas aisladas se identificaron como polímeros plásticos. (Smith et al., 2018). De manera similar, se descubrió que los MP en el agua potable embotellada provenían de las tapas y también podrían tener implicaciones de exposición a largo plazo. También se han encontrado MP en la cerveza, las bebidas energéticas y otros refrescos y, más recientemente, se han encontrado MP (< 10 µm de diámetro) en la pulpa de frutas y verduras (Blackburn y Green, 2021g). Teniendo en cuenta la presencia y abundancia de microplásticos en los sistemas de agua dulce, la fuente de agua puede ser una fuente importante de contaminación en las bebidas vendidas comercialmente. Además, se pueden formar microplásticos como resultado de la fricción entre la tapa y la botella, especialmente al abrir y cerrar la tapa. (Altunışık, 2023).

Se encontró que el agua potable distribuida en botellas de plástico, botellas de vidrio y cartones de bebidas obtenidos de supermercados en Alemania contenía microplásticos al igual que el agua de grifo de diferentes países (Barboza et al., 2018). Debido a que la sal de mesa se produce con mayor frecuencia mediante la destilación del agua de mar, es difícil evitar los microplásticos en los productos finales de sal marina sin más pasos de purificación porque el agua de mar contiene microplásticos. (Kwon et al., 2020). La mayoría de estos productos alimenticios a veces también están contaminados por la presencia de impurezas de los materiales de procesamiento y contaminantes presentes en el empaque. (Ziani et al., 2023).

Por ello el objetivo de la siguiente investigación es realizar una revisión sistemática de la bibliografía de diversas investigaciones realizadas por investigadores con respecto a los microplásticos presentes en los alimentos de consumo humano.

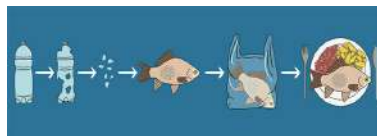


Figura 2. Microplásticos: la contaminación invisible
https://www.euskadi.eus/contenidos/blog_post/20210313_microplasticos/es_def/

Metodología

Para la metodología del artículo se tomaron en cuenta factores como la distribución o el consumo de plásticos alrededor del mundo:

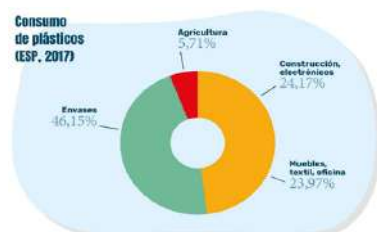


Figura 1. Justicia Alimentaria. (s.f). Somos Plástívoros [Distribución del consumo de plástico en los diferentes sectores económicos] Recuperado de: <https://justiciaalimentaria.org/campana/somos-plastivoros/>

Como podemos ver en el gráfico, el consumo de olas tipo se distribuye de manera distinta en los sectores económicos, pero sí prestamos atención podemos notar que el Mayor porcentaje se encuentra en Los envases con un 46.15%.

Enfoque en la metodología

La metodología del presente artículo fue enfocada principalmente en la selección y estudio de diferentes artículos científicos y de divulgación con la finalidad de comparar diferentes meto-

dologías teóricas y de experimentación sobre la identificación de microplásticos en nuestros alimentos, así como sus efectos tóxicos en la salud humana. Lo cual nos servirá para dar a conocer una información más detallada sobre el origen de estos contaminantes en nuestra dieta, así como las consecuencias de su alojamiento en nuestro cuerpo.

Selección de artículos

Los artículos que tomamos en cuenta tuvieron un proceso de selección en el cual se consideraron características como el título, se tomó en cuenta también el origen de la publicación, la metodología dando prioridad a los artículos en los cuales el tema central era la contaminación de Microplásticos en la dieta humana. Se seleccionaron los que mejor cumplieran los requerimientos expuestos anteriormente, y con base a los artículos seleccionados, se comenzó la lectura de estos, así como la comparación y el estudio de ellos; con base a la información de los artículos comparados, así como investigaciones en otras fuentes y nuestros conocimientos propios, se plantearon nuestros resultados.

Datos importantes de las lecturas y comparaciones hechas

Se analizó la información de la revista "Plastívoros", en la cual su foco de atención principal es el consumo de plásticos en la producción agrícola y en la agricultura, en dónde los puntos importantes son la contaminación por Microplásticos producto de la producción de envases o bolsas de plástico, así como los plásticos consumidos en cultivos plásticos, ensilados, riegos, etc. El artículo de la revista habla del libro "Comer petróleo" publicado por Maurice B. El cual tenía como objetivo investigar hasta qué punto la producción y el suministro de alimentos industriales dependía de los combusti-

bles fósiles.

En el segundo documento analizado fue un Informe de micro y nanoplásticos en la cadena alimentaria del año 2019; en él se nos menciona que se ha demostrado la presencia de estos contaminantes en los alimentos, pero a pesar de ello, no existe aún mucha información debido a la dificultad en los métodos analíticos. Por otro lado, se menciona que principalmente se han encontrado microplásticos en los alimentos de origen marino, así como en la miel, cerveza, azúcar, sal de mesa, agua del grifo y embotellada. El informe se basa en la exposición de los alimentos que consumimos y contienen microplásticos, así como en los efectos tóxicos que estos llegan a tener en nosotros, describe otros alimentos como huevos, carne, etc.

El último artículo analizado fue el Review de "Microplásticos en comida: una revisión de los métodos analíticos y los cambios" en el cual se nos dan resultados mucho más concisos de cada uno de los alimentos mencionados anteriormente.

Se menciona primero el análisis realizado a la sal de mesa, en dónde se explica que debido al origen de estos productos (destilación del agua de mar), es difícil evitar los microplásticos en los productos finales de la sal marina. En pescados y mariscos capturados en la naturaleza, se han encontrado microplásticos, así como en los alimentos procesados como la cerveza, la miel y leche; se menciona la evaluación de partículas antropogénicas en donde se identificaron partículas del tamaño de un micrófono.

Resultados

De la fábrica al alimento

A lo largo de los años, los polímeros han representado un material fundamental

para la vida diaria esto debido a sus excelentes propiedades como la variabilidad, ligereza, flexibilidad, resistencia y persistencia (Carbery et al., 2018). Esto le ha brindado la oportunidad de convertirse en la materia prima apta para el almacenamiento de productos alimenticios representando el 39.6% del plástico total (Smith et al., 2018). Generalmente los empaques están creados a partir de plásticos como polietileno de alta densidad (HDPE), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET) (Carbery et al., 2018; Smith et al., 2018).

En la manufactura de los productos plásticos se agregan otros elementos que ayuden a mejorar sus propiedades específicas entre los que se pueden encontrar plastificantes, retardantes de llama, pigmentos, agentes antimicrobianos, estabilizadores térmicos, estabilizadores UV, rellenos y retardantes de llama (Van Raamsdonk et al., 2020). En un principio se califican como no peligrosos debido a que no son reactivos, pero a través de la degradación por diversos factores, es que estos químicos se liberan y ocasionan daños al ambiente y a la salud humana (Van Raamsdonk et al., 2020). Esta contaminación se da principalmente en los océanos donde los organismos ingieren aguas contaminadas con MP entrando así a las cadenas tróficas.

El consumo de microplásticos o nanoplasticos (M-NPL) por parte de los humanos ocurre de maneras accidentales (Blackburn y Green, 2022) ya sea por el envasado o por el consumo de especies contaminadas. Entre los alimentos contaminados se encuentran la azúcar, sal, agua embotellada y gran cantidad de mariscos (Blackburn y Green, 2022).

Estos últimos almacenan partículas de plástico en el tracto digestivo por lo que al ser comidos enteramente se exponen a la dieta humana a los M-NPL (Van Raamsdonk et al., 2020).

Presencia y posibles efectos

Según diversos estudios se ha determinado que el consumo anual de partículas de microplásticos va de un rango de un rango de 39 000 a 52 000 (Van Raamsdonk et al., 2020). Para determinar el efecto de los microplásticos sobre la salud humana se debe considerar si tras la ingesta se quedan concentrados en el tracto digestivo u ocurre una translocación a través del epitelio a otros órganos (Rubio et al., 2022).

El torrente sanguíneo puede absorber gran cantidad de MP lo cual supone su presencia en la sangre y la orina (Kwon et al., 2020). De estudios realizados a donadores de sangre se han encontrado variedad de plásticos en ella entre los cuales destacan tereftalato de polietileno, el polietileno, los polímeros de estireno y acrilato de metilo, representando una media de concentración de 1,6 µg/mL (Blackburn y Green, 2022). La distribución va a depender del tamaño de los MP, los MP de >0,2 µm son capaces de entrar al sistema cardiovascular, mientras que los NP de <0,1 µm permanecen en la sangre (Kwon et al., 2020).

Estos además pueden ser encontrados en otros órganos y fluidos como son los pulmones, esputo, saliva, placenta y heces (Blackburn y Green, 2022). En el caso de los lactantes se ha encontrado una presencia de PET de 10 veces mayor en las heces en comparación con una persona adulta (Smith et al., 2018). Se ha descubierto que los biberones de los bebés presentan una cantidad de 310 000 ± 130 000 a 16 200 000 ± 1 300 000 partículas por litro siendo alrede-

dor del 2600 veces el consumo de MP por parte de alimentos y agua de una persona adulta (Van Raamsdonk et al., 2020). Otro estudio ha demostrado que en las frutas y verduras hay grandes presencias de MP siendo las manzanas las más contaminadas con medias de 223 000 p/g (Van Raamsdonk et al., 2020).

La toxicidad y los efectos que los MP producen en el ser humano va a depender de la naturaleza de los químicos, las características de la exposición, la susceptibilidad y los controles de peligro, provocando así afecciones que provocan problemas cardiopulmonares, alteraciones de los metabolitos endógenos, genotoxicidad, respuestas inflamatorias, estrés oxidativo, efectos sobre la absorción de nutrientes, daños en la microflora intestinal y la reproducción (Van Raamsdonk et al., 2020).

Los NPL pueden provocar anomalías neuronales caracterizadas por pincosis nuclear, además de un aumento de citocinas provocando inflamaciones en estas zonas (Blackburn y Green, 2022). Se ha comprobado que en ratas los M-NPL afectan al sistema endocrino mediante alteraciones en los niveles de la hormona anti mülleriana (AMH) provocando apoptosis y fibrosis en las células de granulosa y los ovarios.

Otra problemática es que los MP pueden servir como portadores de otros componentes químicos tóxicos, muchos de estos químicos son el bisfenol A, los PCB, los PAH, los pesticidas clorados y potenciales patógenos (Blackburn & Green, 2022; Carbery et al., 2018); que tienen efectos mutagénicos y cancerígenos. Finalmente preocupa el hecho de que los MP puede ser capaces de transportar bacterias resistentes a antibióticos (BRA) siendo de 100 a 500 veces mayor que en el agua, de las que destacan la resistencia a penicilina, el sulfafurazol, la eritromicina y la tetraciclina (Van Raamsdonk et al., 2020).



Conclusión

Los microplásticos son partículas de plástico de menos de 5 milímetros que se han encontrado en alimentos como el agua potable y los mariscos. Existe preocupación sobre los posibles efectos en la salud humana debido a la presencia de microplásticos en los alimentos. Los polímeros utilizados en la fabricación de envases alimentarios pueden liberar aditivos químicos al medio ambiente y los alimentos al degradarse. Los MP pueden ingresar al sistema digestivo y permanecer allí o ser absorbidos en el torrente sanguíneo y distribuirse en otros órganos y fluidos. El tamaño de los MP es un factor importante en su distribución. Los MP pueden tener efectos tóxicos en el cuerpo humano, incluyendo problemas cardíacos y pulmonares, inflamación y problemas reproductivos, y pueden absorber productos químicos tóxicos y liberarlos en el cuerpo. Aunque se necesitan más estudios, es importante tomar medidas para reducir la exposición a los microplásticos, como la reducción del uso de plásticos en general, la eliminación adecuada de los residuos plásticos y el consumo de alimentos frescos y locales en lugar de alimentos procesados.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses alguno.

Agradecimientos

Nos gustaría mucho expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible este artículo. En primer lugar, agradecemos a nuestros colegas y colaboradores que han proporcionado valiosas ideas y comentarios que han mejorado significativamente el contenido del artículo. También queremos agradecer a los autores de los artículos científicos que se utilizaron como base para la realización de este trabajo de divulgación científica. Agradecemos especialmente a la PHDs. Beatriz Espinosa Aquino por su dedicación y su ayuda en la revisión y edición del artículo.

Por último, pero no menos importante, nos gustaría agradecer a nuestros amigos y familiares por su apoyo y paciencia mientras trabajamos en este artículo. Sin su amor y apoyo, no hubiera sido posible completar este proyecto.

Nuevamente, gracias a todos los que han contribuido a la creación de este artículo y esperamos que nuestros lectores encuentren su contenido interesante y útil.

Referencias

- ACSA. (2019). Microplásticos y nanoplásticos en la cadena. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/microplasticos-y-nanoplasticos-en-la-cadena-alimentaria-informe-de-situacion-actual/>
- Blackburn, K., Green, D. Los efectos potenciales de los microplásticos en la salud humana: lo que se sabe y lo que se desconoce. *Ambio* 51 , 518–530 (2022).<https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>
- Carbery, M., O'Connor, W. A., & Thavamani, P. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115, 400-409. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.007>
- Cox, KD, Covernton, GA, Davies, HL, Dower, JF, Juanes, F. y Dudas, SE (2019). Consumo humano de microplásticos. *Ciencia y tecnología ambiental* , 53 (12), 7068-7074.
- Cverenková, K., Valachovičová, M., Mackuľak, T., Žemlička, L., & Bírošová, L. (2021). Microplastics in the Food Chain. *Life*, 11(12), 1349. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/life11121349>
- Justicia. (2023, 6 febrero). Plásticos - Justicia Alimentaria. Justicia Alimentaria. <https://justiciaalimentaria.org/campana/somos-plasticos/>
- Justicia. (2023b, febrero 6). Plásticos - Justicia Alimentaria. Justicia Alimentaria. <https://justiciaalimentaria.org/campana/somos-plasticos/>
- Kadac-Czapska, K., Knez, E., Gierszewska, M., Olewnik-Kruszkowska, E., & Grembecka, M. (2023). Microplastics Derived from Food Packaging Waste—Their Origin and Health Risks. In *Materials* (Vol. 16, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/ma16020674>
- Khan, A., & Jia, Z. (2023). Recent insights into uptake, toxicity, and molecular targets of microplastics and nanoplastics relevant to human health impacts. In *iScience* (Vol. 26, Issue 2). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106061>
- Kwon, J. H., Kim, J., Pham, T. S., Tarafdar, A., Hong, S., Chun, H. J., Lee, S. Y., Kang, D., Kim, J. H., Kim, S. B., & Jung, J. (2020). Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6710. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186710>
- Microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria. Situación actual. (2019, noviembre). https://acsa.gencat.cat/web/_content/_Publicacions/Informes-tecnics/comite_cientific_assessor/publis/nanoplastics/informeCCA-micro_nanoplasticos_ES051119ac-003.pdf
- Pironti, C., Notarstefano, V., Ricciardi, M., Motta, O., Giorgini, E., & Montano, L. (2022). First Evidence of Microplastics in Human Urine, a Preliminary Study of Intake in the Human Body. *Toxics*, 11(1), 40. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/toxics11010040>
- Rubio, C., Alejandro-Vega, S., Paz-Montelongo, S., Gutiérrez, Á. J., Carrascosa, C., & La Torre, A. G. (2022). Microplastics as Emerging Food Contaminants: A Challenge for Food Safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1174. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031174>

Smith, M., Love, DC, Rochman, CM y col. Microplásticos en pescados y mariscos y las implicaciones para la salud humana. *Curr Envir Health Rpt* 5 , 375–386 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>

Van Raamsdonk, L. W. D., Van Der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L., Peters, R., Groot, M., Peijnenburg, A. A. C. M., & Weesepeel, Y. (2020). Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods*, 9(1), 72. <https://doi.org/10.3390/foods9010072>

Van Raamsdonk, L. W. D., Van Der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L., Peters, R., Groot, M., Peijnenburg, A. A. C. M., & Weesepeel, Y. (2020). Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. *Foods*, 9(1), 72. <https://doi.org/10.3390/foods9010072>

Weis, J. S. (2020). Aquatic Microplastic Research—A Critique and Suggestions for the Future. *Water*, 12(5), 1475. <https://doi.org/10.3390/w12051475>

INFLUENCIA DE DISRUPTORES ENDOCRINOS EN MEDIOS ACUOSOS

INFLUENCE OF ENDOCRINE DISRUPTORS IN AQUEOUS MEDIA

Jaime Alejandro Vidal-Alvarez
Cristian Humberto Alonso-Morales
Francisco Rivera-Juarez
Ana Carolina Robles-Ramos

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 124-135

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0008-4895-7000>
<https://orcid.org/0009-0004-6839-1834>
<https://orcid.org/0009-0003-3704-9895>
<https://orcid.org/0009-0006-0817-754X>

Año 10 No. 28

Recibido: 31/mayo/2023

Aprobado: 30/noviembre/2023

Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas. Licenciatura en Biotecnología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio, Col. Jardines de San Manuel, 72570 Puebla, Pue. Tel: 2222640792 Cel:2211641962
jaime.vidala@alumno.buap.mx, cristian.alonsom@alumno.buap.mx
francisco.riveraju@alumno.buap.mx ana.roblesr@alumno.buap.mx

Resumen

En el nivel de crecimiento de la población, se ha observado el aumento en la cantidad de productos, ya que son parte de nuestras vidas regularmente. Ya sea en casa, trabajando, en la calle o incluso en el patio, por lo que se observa cada vez más el uso de diferentes productos químicos. Algunas sustancias generan riesgo de salud pública. Los disruptores endocrinos son parte de estas sustancias, las cuales pueden alterar el sistema hormonal del organismo humano y generar su disfunción, lo que puede llegar a causar diferentes enfermedades relacionadas con la salud reproductiva de la mujer, además de trastornos en los hombres, trastornos metabólicos, enfermedades neurológicas, cáncer de tiroides o los trastornos cardiovasculares. Los efectos creados en el cuerpo son acumulados e irreversibles y pueden transferirse de generación a generación, sin probar la patología. En el presente artículo se indaga acerca de la contaminación en los medios acuáticos, haciendo hincapié en los productos de uso cotidiano con presencia de estos disruptores endocrinos en su contenido, como los distintos efectos causados a seres humanos y a la vida marina, por mencionar algunos: los bloqueadores solares en los cuales recientes estudios indican que podrían ser bioacumulativos, persistentes y tóxicos, también los fármacos, esto se debe a que en su mayoría presentan anillos aromáticos en su estructura. Por lo tanto, se cree que es importante tener una idea sobre estos disruptores endocrinos para buscar de esta forma la disminución de los contaminantes, así como su utilidad en productos de uso cotidiano.

Palabras clave: Disruptor endocrino, hormonas, ecotoxicidad, ecosistema acuático, homeostasis hormonal.

Abstract

At the level of population growth, we have observed the increase in the amount of products as they are part of our lives on a regular basis. Whether at home, at work, in the street or even in the yard, the use of different chemicals is increasingly observed. Some substances pose a public health risk. Endocrine disruptors are part of these substances, which can alter the hormonal system of the human organism and generate its dysfunction. These can cause different diseases related to women's reproductive health, as well as disorders in men, metabolic disorders, neurological diseases, thyroid cancer or cardiovascular disorders. The effects created in the body are cumulative and irreversible and can be transferred from generation to generation, without proving the pathology. This article investigates about pollution in aquatic environments, with emphasis on everyday products with the presence of these endocrine disruptors in their content, such as the various effects caused to humans and marine life, to mention a few: sunscreens in which recent studies indicate that they could be bioaccumulative, persistent and toxic, also drugs, this is because most of them present aromatic rings in their structure. Therefore, it is believed that it is important to have an idea about these endocrine disruptors to look for the reduction of pollutants, as well as their use in everyday products.

Keywords: Endocrine disruptor, hormones, ecotoxicity, aquatic ecosystem, hormone homeostasis.

Introducción

En la actualidad el aumento de la población, así como el uso de productos cotidianos, causan contaminación en aire, suelos y mantos acuíferos. Por lo que podemos entender como contaminante a cualquier sustancia o materia, sus combinaciones o compuestos y derivados que al incorporarse y actuar, ya sea en atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento del ambiente alteran o modifican su composición o afectan la salud (SEMARNAT, s.f).

No obstante, algunos de ellos pueden llegar a alterar el sistema endocrino, como los subproductos de la desinfección, las sustancias fluoradas, los bisfenoles, los ftalatos, los pesticidas y los estrógenos conocidos como disruptores endocrinos (Gonsioroski et al., 2020).

Estos xenobióticos han tomado relevancia de manera muy rápida ya que increíblemente son capaces de mimetizar nuestras hormonas por lo que no solo amenaza la calidad y seguridad del agua, si no también a nosotros, los humanos y criaturas marinas (animales) causando alteraciones en la reproducción, además de trastornos en los hombres, trastornos metabólicos, enfermedades neurológicas, cáncer de tiroides o los trastornos cardiovasculares.

Estas sustancias cuentan con características, acciones para disminuir su contaminación y una clasificación para comprender donde se encuentran, por lo que todo ello se tratarán en el presente artículo.

1.2 Objetivo

En esta investigación se busca mostrar los potenciales daños, fuentes y rutas de los disruptores endocrinos, así como conocer qué es lo que son y cómo interactúan con los sistemas biológicos, haciendo énfasis en específico sobre la

interacción en ecosistemas acuáticos y el cómo este se ve alterado por este tipo de compuestos.

1.3 Justificación

Actualmente, el planeta pasa por una crisis ambiental preocupante, aunado a que la contaminación crece año con año, hay una gran cantidad de tipos de contaminantes y sus perjuicios para el medio ambiente, los cuales son productos del estilo de vida que llevamos diariamente.

Entre esta inmensa cantidad de desechos y contaminantes se encuentran los disruptores endocrinos, los cuales son compuestos sintéticos capaces de mimetizarse por hormonas y alterar así el correcto funcionamiento de un organismo. Estos principalmente afectan a la fauna, y a la larga van provocando daños irreversibles a los ecosistemas en donde se encuentran, además de ser compuestos persistentes y de fácil y larga dispersión (Abellan, 2020).

Pese a todo esto, no hay regulaciones suficientes para los mismos, desde su producción hasta estrategias para el correcto tratamiento de residuos que puedan contenerlo y evitar así su contacto con los seres vivos e incluso con el mismo ser humano. Por tanto, tomamos a este tipo de contaminantes para su estudio y visualización de riesgo de su presencia dentro de la naturaleza y más en medios acuáticos donde son fáciles de dispersar y persistir.

2. Metodología

Este artículo tiene la misión de recolectar información actual acerca de los disruptores endocrinos y a su vez como la influencia humana tiene un impacto negativo en medios acuáticos. Para así dar a conocer a todas las personas una visión sobre la problemática y concientizar sobre la importancia de

tener cuidado con cómo perjudicamos estos ecosistemas acuáticos y las consecuencias que tiene en la salud humana, causando enfermedades como cáncer de mama, infertilidad, trastornos de la función reproductora masculina, trastornos metabólicos, enfermedades neurológicas o trastornos cardiovasculares.

3. Disruptores endocrinos.

Los disruptores endocrinos son compuestos con actividad endocrina y están presentes en el ambiente, tienen el potencial de interferir con diversos procesos fisiológicos en humanos y animales; algunos de los sistemas que se ven afectados por estos compuestos son el sistema nervioso central, el endocrino, óseo y el inmunológico. Además, los disruptores endocrinos son compuestos químicos capaces de imitar los roles de las hormonas dentro de organismos vivos, a los cuales puede alterar el funcionamiento típico del sistema, siendo así unos agentes nocivos para la salud.

Actualmente, hay más de 1000 compuestos considerados como disruptores endocrinos, muchos de ellos juegan un rol algo común dentro del día a día. En el caso particular de esta investigación, encontramos los siguientes agentes como los de mayor presencia en el medio. Se cree que estos compuestos serían los responsables en alteraciones de la reproducción humana y como precursores de algunos tipos de cáncer del sistema reproductivo tanto en hombres como en mujeres.

Los disruptores endocrinos pueden llegar a causar diferentes enfermedades relacionadas con la salud reproductiva de la mujer (cáncer de mama, infertilidad, pubertad precoz, etc.). Así como trastornos de la función reproductora masculina (afecciones de

próstata, pérdida de la calidad seminal, malformaciones congénitas del aparato reproductor), trastornos metabólicos (diabetes u obesidad), enfermedades neurológicas (trastornos del comportamiento, déficit de atención e hiperactividad, enfermedad de Parkinson, etc.), cáncer de tiroides o trastornos cardiovasculares. (Sanitas, s. f.)

Se formó una clasificación de acuerdo a los productos o materiales de uso cotidiano en donde se encuentran comúnmente estos disruptores y cuáles son estos, como: pesticidas, cosméticos, fármacos, metales pesados y plásticos, que se desarrollarán más adelante. (Arias et al., 2020).



Diagrama 1. Clasificación de los disruptores endocrinos (Arias et al., 2020). Estos son algunos ejemplos de los disruptores que se encuentran en productos que utilizamos divididos en cinco grandes colectivos. Elaboración propia en bubbl.us

3.1 Pesticidas/ Fungicidas

Los plaguicidas utilizados en la agricultura llegan a los cursos de aguas subterráneas y superficiales (ríos y lagos) fundamentalmente por arrastre y lixiviación, pudiendo contaminar los reservorios de agua para consumo humano que son alimentados por estos recursos hídricos. La dinámica de los plaguicidas en el suelo es muy compleja y depende de una serie de factores que influyen en los procesos antes mencionados (Dierksmeier et al. 2002, Pérez Espejo 2012). Las sustancias rociadas sobre los cultivos pueden ser lavadas por el agua de lluvia y riego, para luego ser transportadas hacia aguas subterráneas por lixiviación y a aguas superficiales por escorrentía, fenómeno que además

está influenciado por la pendiente del terreno; es decir, el volumen de agua que cae al suelo y la topografía de la zona donde se desarrollan los cultivos son dos de los factores que juegan un papel importante en el riesgo de contaminación de los recursos hídricos por plaguicidas (Duffner et al. 2012, Leistra y Boesten 2012).

Los procesos de transporte también son afectados por las propiedades de sorción del suelo, las cuales están determinadas principalmente por el contenido de materia orgánica, óxido de hierro y arcilla, la capacidad de intercambio iónico y el pH (Duffner et al. 2012). No menos importantes son las características fisicoquímicas de los plaguicidas; en general las sustancias más solubles en agua y más persistentes, es decir, las que tienen mayor tiempo de vida media, son las más fácilmente transportables y representan el mayor riesgo de contaminación (Hernández-Antonio y Hansen 2011).

Un ejemplo de ellos es el clorpirifos que es un insecticida organofosforado utiliza para controlar las garrapatas del ganado y se rocía en los cultivos para controlar las plagas. Es un sólido blanco de apariencia cristalina y de aroma fuerte. No se mezcla bien con el agua, por lo que se mezcla con líquidos aceitosos antes de ser aplicado a los cultivos. Es moderadamente tóxico y la exposición crónica se ha relacionado con efectos neurológicos, trastornos del desarrollo y trastornos autoinmunes.

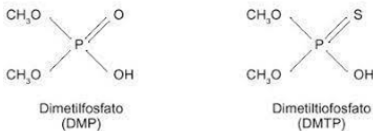


Figura 1: Estructura molecular de compuestos organofosforados comunes en pesticidas.

3.2 Cosméticos

En los años actuales no podemos ignorar la preocupación existente en el destino y comportamiento de gran número de sustancias químicas orgánicas sintéticas que se utilizan en productos de cuidado e higiene personal. Debido a que su uso masivo ha facilitado su introducción a diferentes cuerpos de aguas (ríos, lagos, mares, etc.) e incluso ha sido reportado que pueden estar presentes en agua destinada a consumo humano, aire, polvo y suelo.

3.2.1 Las dos caras de los parabenos

Uno de estos disruptores endocrinos aplicados a este tema son los parabenos, se ocupan en la industria de los cosméticos y para productos de higiene personal como conservador. Estos son ésteres del ácido p-hidroxibenzoico se caracterizan por su actividad contra bacterias, mohos y levaduras, su bajo costo y alta estabilidad a diferentes pH (Soler, 2016). Los tipos de parabenos más utilizados en cosmética son tres: el metilparabeno, etilparabeno y el propilparabeno, en una concentración menor a 1% en peso del cosmético (Jacob et al., 2018).

De acuerdo a Vale et al. (2020) se detectan parabenos con frecuencia en matrices ambientales (hasta 170,9 µg/L en aguas superficiales), con una presencia y persistencia críticas en los sistemas acuáticos (hasta 36.000 h de vida media).

Las evidencias demuestran que esta sustancia puede interferir con los receptores nucleares para andrógenos, estrógenos, progesteronas, glucocorticosteroides, así como modulan la actividad de enzimas que metabolizan hormonas (Nowak, 2018).

3.2.2 Los bloqueadores solares como contaminantes emergentes

Según Franceinfo (2017) en todo el mundo, cada año, 25.000 toneladas de

protector solar se vierten en el océano siendo que estos productos son peligrosos porque envenenan a las microalgas en menos de 48 horas. Uno de sus componentes, el filtro UV benzofenona-3 (oxibenzona) es susceptible de ser un disruptor endocrino. Por lo que la acumulación de algunas de estas sustancias en los ecosistemas marinos y de agua dulce, como la oxibenzona y el octilmetoxicinamato, causa alteraciones en el medio y puede llegar a ocasionar trastornos hormonales y reproductivos en las especies que habitan en él, como las barreras de coral que se ven especialmente afectadas (Garay, 2022).

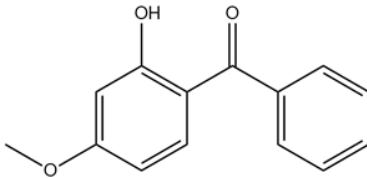


Figura 2. Estructura química de la oxibenzona. La oxibenzona es un disruptor endocrino que se encuentra en los bloqueadores solares el cual es una amenaza para la vida marina, así como para humanos ya que se relaciona con la endometriosis. Elaboración propia en ChemDraw.

Conforme a Montesdeoca-Esponda et al. (2020) y los resultados obtenidos en su experimentación, los estabilizadores UV de benzotriazol (BUVS) podrían ser bioacumulativos, persistentes y tóxicos, sin embargo, aún faltan más estudios acerca de los protectores solares y su impacto en la vida marina.

Un estudio reciente demostró la presencia de los tres metabolitos de BP3, benzofenona 1 (BP1), 4HB y 4,4'-dihidroxibenzofenona (4DHB) en huevos no eclosionados, por lo que puede deducirse que los compuestos son absorbidos por el ave a través del intestino y los derivados OH formados son transferidos por la madre al huevo antes de la puesta. La cigüeña blanca

(Ciconia ciconia) y el aguilucho lagunero occidental (Circus aeruginosus) fueron las especies más contaminadas. Los que concluyeron que no puede descartarse un proceso de biomagnificación (Molins-Delgado et al., 2017).

3.3 Productos farmacéuticos

De igual forma, los productos farmacéuticos forman parte del grupo de los contaminantes emergentes, los fármacos de igual forma que los antibióticos son productos químicos que son utilizados para la prevención, tratamiento, alivio, diagnóstico o curación de alguna afección o enfermedad. En el caso particular de los antibióticos, estos son utilizados para combatir a microorganismos patógenos como las bacterias.

En muchas ocasiones los productos farmacéuticos pueden actuar como disruptores endocrinos, afectando así el correcto funcionamiento del sistema endocrino debido a la interferencia de este tipo de agentes en la secreción, producción y acción de las hormonas. Esto tiene repercusiones desde el aspecto de la reproducción, fertilidad y ciclos de un ser vivo, hasta afecciones a nivel neuronal, como podría ser la interferencia en hormonas de esencial presencia, como lo es la acetilcolina o la fenilefrina, provocando así afecciones a nivel neuronal y nervioso.

Sin embargo, menos conocido y tenido en cuenta es el hecho de que algunos medicamentos y dispositivos médicos también contienen estos productos químicos nocivos, que están presentes tanto en fármacos recetados y de venta libre, como en equipos médicos utilizados en el hospital, incluso en la unidad de cuidados intensivos neonatales. (CulturaOcio, s. f.)

Este tipo de capacidades en los productos fármacos es debido a que estos en

su mayoría presentan anillos aromáticos en su estructura, que además de ser bastantes reactivos por su estructura resonante, suelen ser estructuras de frecuente presencia en la composición de las hormonas, lo cual provoca que estos puedan mimetizarse dentro del organismo.

Por mencionar algunos de estos medicamentos, el dietilestilbestrol o DES y el paracetamol poseen propiedades de alteración endocrina y su exposición intrauterina puede causar efectos adversos graves para la salud, como malformaciones congénitas y cáncer. A pesar de que el paracetamol es el medicamento más utilizado por las mujeres embarazadas, estudios recientes han demostrado que atraviesa la placenta y tiene propiedades antiandrogénicas. La exposición gestacional al paracetamol ha sido asociada con la reducción de la distancia ano genital en la descendencia masculina, la inhibición de la producción de testosterona y la interferencia con la producción de prostaglandinas, y ha demostrado posibles efectos adversos en el desarrollo de las niñas. (Arias et al., 2020).

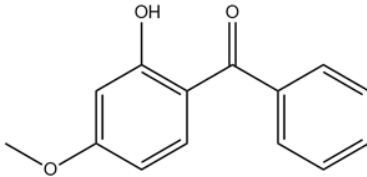


Figura 3. Estructura química del paracetamol. Este es un fármaco analgésico-antipirético utilizado con frecuencia para el dolor agudo y la fiebre.

Elaboración propia en ChemDraw.

3.4 Metales Pesados

Los metales pesados son considerados según la tabla periódica como elementos químicos de alta densidad (mayor a 4 g/cm³), masa y peso atómico por

encima de 20 y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son Aluminio (Al), berilio (Be), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), plomo (Pb), talio (Tl), entre otros (L. F. Londoño, 2016). Actualmente, uno de los mayores problemas a nivel ambiental es la contaminación de las fuentes hídricas del mundo por metales pesados. Esto es debido a la toxicidad que presentan los metales pesados en el agua de los ríos, que son considerados como un serio problema para los habitantes de las poblaciones que se abastecen de dichos ríos. En especial, si se considera que el incremento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas procede de las diversas actividades antropogénicas, elevando además los efectos potencialmente nocivos sobre los diferentes sistemas ecológicos y el ambiente, los cuales son el soporte de la vida humana. Esto acarrea serios problemas a nivel económico tanto a nivel local como nacional debido al aumento en los costos de los tratamientos médicos y una disminución en la productividad de los habitantes de la zona (J. Contreras Pérez, 2004).



Figura 4. Linderos de un cuerpo de agua donde suceden descargas industriales con metales pesados en ella.

El mayor aporte a la contaminación de las aguas por metales pesados es debido a las descargas de aguas residuales producto de diversas actividades antropogénicas, Principalmente de tipo

industrial. Cada día es mayor el grado de contaminación de las fuentes hídricas debido al constante uso de estos metales en la industria, lo que aumenta la concentración de los mismos en el agua y por ende aumenta el riesgo para los seres humanos y demás organismos vivos al aumentar la probabilidad de quedar expuestos a estos metales. Lo cual es de preocupar si consideramos que los niveles permisibles en el agua para consumo humano de metales como el mercurio, plomo y cromo son de 1.0 µg/L, 10 µg/L y 50 µg/L respectivamente; según la legislación RD 140/03 y la NTC 183 mientras que se establece un valor máximo de 2.0 µg/L, 15 µg/L y 100 µg/L respectivamente según la agencia de protección ambiental de estados unidos (EPA).

3.5 Plásticos.

A nivel mundial, la producción de plásticos y polímeros de origen fósil ha ido creciendo con el pasar de los años, y al no haber un manejo correcto de residuos, aunado a la persistencia que estos productos presentan, se van acumulando y bioacumulando en los ecosistemas y los seres vivos que ahí se encuentran. (Yang C, et al, 2011).

La ONU en 2018 estimó que al año 13 millones de toneladas de plástico son vertidos a los océanos y se estima que hay entre 5 y 50 billones de fragmentos plásticos en el mar, los cuales al descomponerse en fragmentos como microplásticos, nano plásticos, etc. Los cuales van entrando a las dietas de la fauna marina y, por tanto, a las cadenas tróficas del ecosistema y a nivel global, que entre tantos efectos adversos tanto físicos como químicos, este tipo de compuestos al descomponerse liberan sustancias capaces de alterar el correcto funcionamiento de los organismos vivos, los disruptores endocrinos. (Ibédola, 2016).

La EHP, en el año 2011, realizó un estudio sobre posibles disruptores endocrinos en polímeros de uso industrial como los plásticos, en el cual se evidenció que todos los tipos de plástico en la industria y el mercado tienen una potencial liberación de compuestos disruptores, por medio de los aditivos utilizados en PET, PVC, Poliestireno, etileno, policarbonato, PAN, PES, COP, etc. Los cuales están compuestos por monómeros que al diluirse o separarse paulatinamente de las cadenas poliméricas resultan tóxicos para los organismos vivos. (Yang C, et al, 2011). Sin embargo, hay un par de polímeros que presentan una mayor amenaza, el policarbonato, con la liberación de bisfenol-A, y los ftalatos presentes como aditivos en productos como el PVC. La principal amenaza que estos representan es la capacidad que tienen de mimetizarse con hormonas desde el sistema endocrino, hasta mimetizarse a nivel celular con algunas enzimas y moléculas señal, causando un desequilibrio dentro de cualquier organismo vivo debido a la competencia generada en las cascadas de señales y acciones inhibitorias. (Mollo J. 2013) En el caso del Bisfenol-A (BPA) ingresa al organismo vía oral, dérmica, inhalatoria y lleva un promedio de 6 horas para su eliminación del organismo, está presente en muchos productos de uso común como botellas, juguetes, tupperes, biberones, recipientes, platos, etc. (Mollo J. 2013)

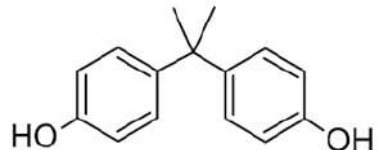


Figura 5. Estructura química monomérica del bisfenol A (BPA). Común en la industria pero que posee alta toxicidad.

Los ftalatos ingresan al organismo vía

oral, está presente en toda presentación de PVC, ya que lo hace más maleable, sin embargo, también forma parte de empaques, pinturas y sprays. (Mollo J. 2013)

Esto en seres humanos y animales puede provocar consecuencias neurológicas, cardiovasculares, metabólicas y reproductivas. Este tipo de productos se han visto involucrado en el desarrollo de padecimientos como el cáncer, malformaciones congénitas, infertilidad, diabetes, deterioro de sistema inmune y reducción de enzimas antioxidantes. (Yang C, et al, 2011)

4. Resultados

Los disruptores endocrinos son compuestos que se encuentran en el ambiente capaces de interferir con procesos fisiológicos como el sistema nervioso central, el endocrino, óseo y el inmunológico tanto en humanos como animales.

4.1 Pesticidas/fungicidas

En la agricultura pueden llegar a las fuentes de agua subterráneas y superficiales, contaminando los recursos hídricos, esto ocurre por arrastre y lixiviación. La capacidad de transporte se ve afectada por las propiedades de sorción del suelo, así como las características fisicoquímicas de los plaguicidas, siendo las sustancias más solubles y persistentes las que representan el mayor riesgo de contaminación. En este caso el ejemplo más común es el clorpirifos.

4.2 Cosméticos

Los parabenos utilizados como conservadores en la industria cosmética son capaces de interferir con diferentes receptores y hormonas. Los bloqueadores solares son considerados peligrosos para la vida marina, especialmente debido al filtro UV benzofenona-3, considerado un disruptor y cuya acumu-

lación en ecosistemas acuáticos puede alterar el medio y ocasionar trastornos tanto hormonales como reproductivos en especies.

4.3 Productos farmacéuticos

Pueden ser perjudiciales para la salud, ya que tiene la posibilidad de actuar como disruptores endocrinos al interferir en la producción y acción de hormonas, lo que puede tener efectos negativos en la reproducción, fertilidad, ciclos y salud neuronal y nerviosa. Estos efectos son causados por la presencia de anillos aromáticos en su estructura. Algunos ejemplos usuales de estos medicamentos son el dietilestilbestrol y el paracetamol.

4.4 Metales pesados

Las altas concentraciones de estos elementos en el agua aumentan los riesgos y preocupaciones para la salud y el medio ambiente. Los niveles de metales pesados en el agua potable tienen valores permisibles según diferentes legislaciones y agencias de protección ambiental. Por ejemplo, para el mercurio, plomo y cromo son de 1.0 µg/L, 10 µg/L y 50 µg/L respectivamente, según la legislación RD 140/03 y la NTC 183, mientras que se establece un valor máximo de 2.0 µg/L, 15 µg/L y 100 µg/L respectivamente según la EPA.

4.5 Plásticos

Los polímeros más amenazadores son el policarbonato, que libera bisfenol-A, y los ftalatos, que se encuentran en los productos que contienen PVC. Estos compuestos pueden imitar hormonas, son tóxicos y se liberan lentamente de las cadenas poliméricas, lo que causa desequilibrios en el cuerpo humano y de los animales en cascadas de señales y acciones inhibitorias, lo que puede tener consecuencias neurológicas, metabólicas, cardiovasculares y reproductivas.

Conclusión

Los disruptores endocrinos están en contacto con el público volviéndose esto un problema en el cual se deben dedicar más investigaciones, se sospecha que hay más de 800 sustancias químicas que son capaces de actuar como disruptores endocrinos. El principal problema es que en la mayoría de los casos no hay investigaciones que permitan determinar una clara relación causa-efecto. Por lo que se necesita dedicar futuras investigaciones a determinar las sustancias químicas que son usadas en los productos de uso cotidiano para reducir el riesgo de generar efectos negativos en las especies acuáticas y la salud pública general. Sabiendo que estos disruptores sobre los organismos son acumulativos e irreversibles, teniendo efectos a largo plazo de generaciones en generaciones.

Por todo lo antes ya mencionado es necesario concientizar, tratar de reducir o eliminar los efectos negativos de disruptores endocrinos con algunas de las siguientes medidas tanto en acciones cotidianas como en acciones que pueden tomar los expertos del tema.

- Eliminar o reducir en la medida de lo posible la exposición a disruptores endocrinos, es decir, escoger productos donde sus ingredientes sean libres de estos.
- Conocer en que otros productos, además de los ya presentados, los podemos encontrar.
- Reducir el uso estos productos y cuidar el uso del agua, además de la interacción entre los mismos (disruptores-agua)
- Evitar la exposición de niños y mujeres en edad reproductiva, embarazadas y lactantes.
- Establecer nuevos métodos de identificación y muestreo que incluya todas las sustancias capaces de interferir con el sistema hormonal.
- Establecer métodos e impulsar proyectos para la extracción de contaminantes de ecosistemas acuáticos.
- Promover la regulación de producción de productos con potencial acción disruptiva, así como buscar mejores alternativas de las mismas.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo y la paciencia de la Dra. Beatriz Espinosa, por la supervisión y asesoramiento con respecto a las dudas surgidas durante la realización de este artículo. Al mismo tiempo agradecer la disposición de los integrantes del equipo para llevar a cabo la realización de esta investigación.

Referencias

- Arias, M., Castro-Feijóo, L., Barreiro, J., & Cabanas, P. (2020). Una revisión sobre los disruptores endocrinos y su posible impacto sobre la salud de los humanos. *Revista Española Endocrinología Pediátrica*, 11(3), 33–53. <https://doi.org/10.3266/RevEspEndocrinolPediatr.pre2020.Nov.619>
- Carlos, M. T. J. (n.d.). Disruptores Endocrinos en el Plástico (Bisfenol A y Ftalatos). http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?pid=S1813-00542013000100005&script=sci_arttext&tlng=es
- Dierksmeier G., Hernández R., Ricardo C., Llanes M.N., Linares A.C. y Cárdenas Z. (2002). Movimiento de algunos plaguicidas en el suelo. *Fitosanidad* 6, 43-49.
- Duffner A., Ingwersen J., Hugenschmidt C. y Streck T. (2012). Pesticide transport pathways from slope litchi orchard to an adjacent tropical stream as identified by hydrograph separation. *J. Environ. Qual.* 41, 1315-1323.
- O. US EPA, “National Primary Drinking Water Regulations.” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations#one>. [Accessed: 09- Apr-2019].
- Franceinfo. (2017, 18 julio). Environnement : “L’enjeu pour l’Europe sur les crèmes solaires est exactement le même que sur les perturbateurs. Franceinfo. <https://www.franceinfo.fr/sante/environnement-et-sante/environnement-l-enjeu-pour-l-europe-sur-les-cremes-solaires-est-exactement-le-meme-que-sur-les-perturbateurs-endocriniens.2285718.html>
- Garay, C. (2022, 8 abril). ¿Qué impacto tienen las cremas solares en los ecosistemas? *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/04/que-impacto-tienen-las-cremas-solares-en-los-ecosistemas>
- Gonsioroski, A., Mourikes, V. E., & Flaws, J. A. (2020). Endocrine Disruptors in Water and Their Effects on the Reproductive System. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 1929. <https://doi.org/10.3390/ijms21061929>
- Hernández-Antonio A. y Hansen A. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27, 115-127.
- L. F. Londoño Franco, P. T. Londoño Muñoz, and F. G. Muñoz García, “Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal,” *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, p. 145, 2016.
- J. Contreras Pérez, C. L. Mendoza, and A. Gómez, “Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina,” *Cienc. Soc.*, vol 29, no. 1, pp. 38–71, 2004.
- Los disruptores endocrinos ¿Qué son y cómo nos afectan? (2020, February 21). *ISGlobal*. Retrieved May 12, 2023, from <https://sglobal.org/healthisglobal/-/cus->

tom-blog-portlet/los-disruptores-endocrinos-que-son-y-como-nos-afectan-#:~:text=Los%20disruptores%20endocrinos%20son%20químicos,afectar%20negativamente%20a%20nuestra%20salud.

Molins-Delgado, D., Máñez, M., Andreu, A., Hiraldo, F., Eljarrat, E., Barceló, D., & Díaz-Cruz, M. S. (2017). A Potential New Threat to Wild Life: Presence of UV Filters in Bird Eggs from a Preserved Area. *Environmental Science & Technology*, 51(19), 10983-10990. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03300>

Montesdeoca-Esponda, S., Torres-Padrón, M. E., Novák, M., Krchová, L., Sosa-Ferrera, Z., & Santana-Rodríguez, J. J. (2020). Occurrence of benzotriazole UV stabilizers in coastal fishes. *Journal of Environmental Management*, 269, 110805. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110805>

SEMARNAT. (s. f.). Glosario. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/compendio_2019/RECUADROS_INT_GLOS/D1_GLOS_SAMBIENTAL.htm

Yang, C., Yaniger, S. I., Jordan, V. C., Klein, D. N., & Bittner, G. D. (2011). Most Plastic Products Release Estrogenic Chemicals: A Potential Health Problem That Can Be Solved. *Environmental Health Perspectives*, 119(7), 989–996. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003220>

Soler, C. (2016). Determinación de la toxicidad aguda de ingredientes utilizados en los productos de cuidado personal. [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/99113/TFM_TOXICIDADPCPs_ANASOLER.pdf

Jacob SL, Cornell E, Kwa M, Funk WE, Xu S. Cosmetics and Cancer: Adverse Event Reports Submitted to the Food and Drug Administration. *JNCI Cancer Spectr*. 2018 Junio 20;2(2):pky012. doi: 10.1093/jncics/pky012. PMID: 31360845; PMCID: PMC6649728.

Vale, F., Sousa, C. A., Sousa, H., Santos, L., & Simões, M. (2022). Parabens as emerging contaminants: Environmental persistence, current practices and treatment processes. *Journal of Cleaner Production*, 347(131244), 131244. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131244>

Nowak, K., Ratajczak-Wrona, W., Górská, M., & Jabłońska, E. (2018). Parabens and their effects on the endocrine system. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 474, 238–251. doi:10.1016/j.mce.2018.03.014

SARGAZO COMO BIOCOMBUSTIBLE: BODIESEL, UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA UNA SOCIEDAD EN CRISIS

SARGASSUM AS BIOFUEL: BODIESEL, A SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR A
SOCIETY IN CRISIS

Kevin Brandon Acosta Morales

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 136-150

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0006-3314-6219>

Año 10 No. 28

Recibido: 31/mayo/2023

Aprobado: 30/noviembre/2023

Publicado: 07/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas, Edificio Multilaboratorios 6, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Avenida San Claudio s/n, Ciudad Universitaria, Colonia San Manuel, 72570, Puebla, Puebla, México.

kevin.acostam@alumno.buap.mx

Resumen

El sargazo es un alga marina altamente invasiva en las costas del caribe mexicano, la constante acumulación de esta materia prima ha causado problemas de alto impacto a zonas dependientes del turismo. En este artículo se presenta una revisión bibliográfica sobre los procesos necesarios para utilizar el sargazo como una fuente de combustible aprovechable y viable. Actualmente, los investigadores están explorando las vastas aplicaciones del sargazo, entre ellas destaca el utilizarlo como materia prima para elaborar biodiésel de alta calidad, mediante técnicas de trans-esterificación. Los resultados de esas pruebas han resultado alentadores para su producción en masa. Gracias a este nuevo proceso de producción se puede obtener un diésel de alta calidad comparable con el comercializado actualmente por las distintas petroleras comerciales, y la ventaja más destacable es que se produce una menor cantidad de gases de efecto invernadero y gases atmosféricos contaminantes que en comparación al proceso industrial convencional. Esta iniciativa ofrece una solución innovadora y sostenible para la elaboración de un biocombustible funcional y eficiente, logrando así reducir drásticamente la proliferación de esta alga en las costas del sureste de México. Sin embargo, dada la complejidad del proceso, se requiere un mayor desarrollo tecnológico y estudios financieros a gran escala para analizar el panorama del producto con el fin de asegurar su viabilidad económica. El uso del sargazo como materia prima podría ser un paso importante hacia una matriz energética sostenible para las regiones afectadas, logrando que biocombustible sea una de las aplicaciones que puede tener el sargazo.

Palabras Clave: Biomasa, energía, combustible, sargazo, diesel.

Abstract

Sargassum, a highly invasive marine algae along the Mexican Caribbean coast, has given rise to significant challenges, particularly in areas heavily reliant on tourism. This article presents a comprehensive review of the processes required to harness sargassum as a usable and viable fuel source, emphasizing the need for innovative solutions. Current research endeavors are exploring diverse applications, with transesterification techniques emerging as a promising avenue for converting sargassum into high-quality biodiesel. The encouraging results from these studies indicate the feasibility of mass production, yielding a diesel variant that not only stands up to commercial standards but also emits fewer greenhouse gases and pollutants than conventional industrial processes. This innovative approach provides a sustainable solution to mitigate the proliferation of sargassum along the southeast coast of Mexico. However, the inherent complexity of the process underscores the necessity for further technological development and in-depth financial studies to ascertain the economic viability of this groundbreaking endeavor. The utilization of sargassum as a raw material represents a crucial stride toward establishing a sustainable energy matrix for regions affected by this algae, positioning biofuel production as a key application. By incorporating sargassum into the energy sector, we aim to reduce the environmental impact while simultaneously addressing the economic and ecological challenges posed by its accumulation in these coastal areas.

Keywords: Biomass, energy, fuel, sargassum, diesel.

Introducción

Una problemática ambiental y social en el Caribe mexicano que ha tomado relevancia los últimos años es la excesiva proliferación de sargazo marino, un alga marina de color café dorado que se encuentra naturalmente en los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. Naturalmente este tipo de alga se encuentra en el medio, pero los constantes cambios climatológicos han hecho que haya una alta proliferación de esta en las corrientes marinas, tales corrientes las arrastran hasta las costas de México afectando zonas turísticas por sus características físicas. Cuando el sargazo entra en estado de descomposición libera una serie de olores catalogados como desagradables al público, de igual forma dichos componentes afectan en gravedad la calidad del agua pues este proceso necesita una gran cantidad de oxígeno provocando anoxia y emitiendo gases tóxicos como ácido sulfhídrico junto con metano, los cuales son peligrosos para la salud humana y responsables de la muerte masiva de especies marinas. (León, 2019; Arratiel, 2022)

Afortunadamente el sargazo representa una oportunidad para convertirlo en materia prima para diversos productos, entre ellos destaca su conversión a alimentos agropecuarios, bioplásticos, productos de belleza entre otras aplicaciones, pero entre todas destacan los biocombustibles, en específico un tipo de biodiesel denominado parafínico. El biodiesel es químicamente hablando un metil éster obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales, en Europa como en Canadá el biodiesel producido es proveniente del aceite de colza mientras que en Estados Unidos proviene a partir del aceite de soja. Esta alternativa resulta muy importante para el sector energético y económico, pues es una opción más sostenible y amigable

con el medio ambiente en comparación con combustibles convencionales derivados del petróleo. Es importante destacar que la utilización de esta materia prima sigue en investigación y desarrollo, pero con resultados alentadores, ya que en este artículo profundizaremos en la viabilidad del sargazo como materia prima para la obtención de biodiésel parafínico. (Tejada, 2013; Andersen, 2010)

Justificación

La presente revisión bibliográfica se enfocará en los estudios actuales sobre la problemática que representa el exceso de sargazo para la salud medioambiental, debido a la creciente acumulación de esta materia en el Gran Caribe y parte del Ecuador han desembocado en graves problemas para los organismos marinos como para la salud humana. Este trabajo tiene como finalidad exponer las circunstancias y condiciones por las que este evento ecológico está ocasionando un desbalance mortal para el ecosistema. Finalmente, se revisarán las opciones y alternativas que el método científico puede ofrecer para dar soluciones viables.

Sargazo como agente doble en una guerra ecológica

Sargassum natans y *Sargassum fluitans* o sargazo, como se le conoce coloquialmente, tiene un papel importante en la salud oceánica, pues esta masa de algas funciona como un hábitat perfecto para el desarrollo de crías de diversos peces al mismo tiempo que funciona como un refugio para las especies migratorias. Aún más relevante es su papel en la cadena trófica, pues este sirve como alimento para múltiples especies de interés ecológico como tortugas marinas y peces grandes, actualmente se encuentra diseminado en las costas de Brasil, África y el Gran Caribe. (CONABIO, 2023)



Figura 1. Sargazo (Obtenido en CONABIO, 2023, <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/#sargazo>)



Figura 2. Sargazo como alimento para peces marinos (Obtenido en Greenpeace, 2019, <https://www.greenpeace.org/mexico/noticia/3055/es-el-sargazo-realmente-malo/>)

Biológicamente hablando, el sargazo representa una estructura ecológica vital para el medio ambiente, pero como todo en el medio natural, el más mínimo cambio puede provocar cambios drásticos perjudiciales para todos los

seres vivos. Es común ver en los últimos años un aumento exponencial en la cantidad de sargazo en el Caribe como en la zona costera del sur de México. Hay múltiples causas antropogénicas por las que el sargazo se convierte en la plaga actual, cambios constantes en la situación climática, aumento de la temperatura marina y desecho de basura en mares son los principales factores de crecimiento del sargazo. El sargazo crece rápidamente a partir de residuos orgánicos y un exceso de nutrientes en el agua que funcionan como fertilizante, provocando un exceso de biomasa que no puede ser controlado naturalmente en su ciclo biológico. Bajo condiciones de una buena salud marina, el sargazo llega en pequeñas cantidades a las costas del Ecuador, sirviendo como una fuente de alimento vital para aves, peces y la vegetación costera. (CONABIO, 2023; Gower, 2011)

Cuando el sargazo en crecimiento desmedido se acumula en las zonas costeras implica muchos problemas a nivel ecológico como social y monetario. Las zonas dependientes de turismo sufren una drástica baja en el nivel de visitantes consecuencia de los efectos de descomposición del alga, pues un producto de este proceso es el sulfuro de hidrógeno. Ya que puede provocar náuseas, lagrimeo y dolor de cabeza (cefalea) y en el caso de la vida marina la descomposición del sargazo implica un aumento de microorganismos que reducen drásticamente la cantidad de oxígeno disponible, provocando asfixia que junto con los efectos del ácido sulfúrico pueden provocar la muerte en organismos marinos. Cabe destacar que la acumulación de esta alga es un impedimento en la movilidad local, pues la mayoría de las embarcaciones suele atascar las hélices de sus motores con la densa red algacea. (Martínez-González, 2019; CONABIO, 2023)



Figura 3. Tortuga muerta por intoxicación de sargazo. (Obtenido en Turquesa News, 2019, <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>)



Figura 4. Cardumen de peces muertos por intoxicación de sargazo. (Obtenido en Turquesa News, 2019, <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>)

El papel que tiene el sargazo en el Caribe es de suma vitalidad para el equilibrio natural, pero bajo las condiciones mencionadas con anterioridad se vuelve

en extremo perjudicial para la vida que depende de él. Por ello, la problemática actualmente es de alto interés para la comunidad científica que busca brindar soluciones óptimas para tratar este perjudicial caos ecológico, una propuesta que ha tomado fuerza con el pasar de los años es transformar el sargazo en un biocombustible en específico un biodiésel.

Biodiésel como biocombustible ¿Una opción viable?

Actualmente, la situación medioambiental es un tema de preocupación mundial, las actividades antropogénicas si bien han brindado un alto impacto en la sociedad tecnológica moderna; los problemas ecológicos derivados de esto han crecido a la par. Hoy en día es prioridad internacional producir energías limpias o con la menor producción de emisiones de gases de efecto invernadero y gases climatológicos contaminantes, la energía solar y eólica son las opciones más populares cuando se busca este tipo de energía, pero con la limitación de obtener un resultado variable y poco eficiente según las condiciones ambientales y factores como la geografía, logística y mantenimiento son limitantes a considerar para llevar la producción de energía a gran escala. Por lo anterior, equipos de investigación de todo el mundo buscan producir energía limpia utilizando materia como gas natural, nitrógeno, etanol y biodiésel. (Al-Dawody, 2023)

El combustible convencional derivado de depósitos fósiles se ha convertido en el principal precursor de la liberación de carbono en la atmósfera y debido a sus características fisicoquímicas, este permanece en el ecosistema terrestre por largos períodos de tiempo, provocando cambios importantes en la temperatura global. En los últimos diez años se ha visto una creciente preocu-

pación por la reserva de combustibles fósiles, por esta razón se ha vuelto una prioridad buscar nuevas formas de energía limpia. En muchos países, el biodiesel junto a otras variantes del diesel ya han sido implementados como un combustible eficiente, pues su uso ha reducido en un 78% las emisiones de dióxido de carbono en comparación con el combustible convencional. Otra de las ventajas de este biocombustible es que se puede utilizar sin modificar los motores de combustión interna convencionales. (Koul, 2021; Mohd, 2017; Alleman, 2016)



Figura 5. Botella con biodiesel. (Obtenido en Shizhao, 2005, <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodiesel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>)

El proceso químico que se realiza para partir de la materia prima, como lo es el sargazo a un biodiesel aprovechable, se basa en el hidroprocesamiento de aceites vegetales. Este método consiste en someter al aceite vegetal a elevadas temperaturas y presiones para que junto con catalizadores se sinteticen hidrocarburos de cadena lineal llamados diesel renovable. Junto con técnicas como el craqueo o la pirólisis se pueden producir combustibles diesel con una

estructura molecular muy parecida a la del diesel convencional obtenido por el refinamiento de petróleo. Una ventaja sobre el proceso convencional es que la materia prima utilizada para la producción de biodiesel y diesel renovable es la misma, lo que significa una reducción destacable de la huella de carbono. (Koul, 2021; Kumar, 2019)

Hay que hacer énfasis entre la diferencia de biodiesel y diesel renovable, el primero se somete a un proceso de trans-esterificación donde los aceites vegetales se convierten en ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, mientras que el diesel renovable se produce a partir de hidrotratamientos o gasificación y este puede incluir otros combustibles derivados de la biomasa como aceite vegetal hidrotratado y GTL (gas-to-liquid). Aunque los procesos de fabricación son diferentes en ambos, tienen la propiedad de ser excelentes opciones como biocombustibles, por lo que se deberá analizar con detenimiento las condiciones que sean más favorables financieramente para su síntesis a gran escala. (Koul, 2021; Ankit, 2021; Bezergianni, 2013)

Receta secreta para el biodiesel

Como se ha mencionado con anterioridad, la trans-esterificación es el método más empleado para producir biodiesel porque en comparación con otros métodos como la microemulsión o pirólisis, es el que produce la mejor tasa de conversión (98%) en el menor tiempo posible y sin pasos intermedios. (Tejada, 2013; Lin et al., 2011)

La reacción consta de mezclar grasas y aceites con alcohol metílico en un medio básico, en donde una molécula de triglicéridos reacciona con el alcohol primario gracias a un catalizador donde el producto será una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. (Tejada, 2013; Arévalo et al, 2008; Math et al, 2010; Keera, 2011)

Los catalizadores utilizados en este

proceso pueden ser soda cáustica o metilato sódico, los cuales se disuelven en metanol. La tecnología básica para producir biodiesel implica el uso de un reactor donde se lleva a cabo la trans-esterificación. Por un lado, se prepara una solución de metóxido de sodio en un tanque auxiliar, utilizando alcohol de alta pureza (generalmente metanol) e hidróxido de sodio. No se emplea alcóxido anhidro debido a que reacciona violentamente con agua y puede autoinflamarse. Esta solución altamente cáustica se vierte en el reactor principal, que contiene los lípidos fundidos. La reacción se suele llevar a cabo a una temperatura de aproximadamente 50 °C para acelerar el proceso. En procesos industriales más complejos, se utilizan centrifugas para separar el biodiesel y la glicerina generada, eliminando continuamente los productos de reacción. Sin embargo, los métodos por lotes, donde se realiza una decantación de la glicerina, aún son comunes. Después de separar la glicerina, se lava el éster para eliminar jabones y otros subproductos indeseados de la reacción como jabones. (Tejada, 2013; Larosa, 2003)

Ventajas del biodiesel

La principal ventaja de utilizar este biocombustible es que su uso no requiere de modificaciones en los motores de combustión interna que usan diesel convencional. Gracias a la densa cantidad de sargazo que azota el Caribe Mexicano, se puede diseñar un modelo de autoabastecimiento para el sector que dependa de este combustible como el agropecuario, construcción y movilidad marítima. Este biocombustible presenta gran poder de lubricación a la par que minimiza el desgaste progresivo del motor. Cabe destacar la gran reducción de las emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), en

comparación con el combustible diesel convencional. El rendimiento es muy similar al convencional, por lo que puede mezclarse con gasoil en cualquier proporción. Finalmente, una ventaja con alto peso ecológico es que no es nocivo para la salud humana, la vegetación ni los seres vivos, pues este compuesto es biodegradable. (Tejada, 2013; Oner & Altun, 2009; Balat & balat, 2010)

Desventajas del biodiesel

La síntesis de este biocombustible puede estar limitada a la disponibilidad de la materia prima, aunque en el caso del Caribe no habría problema, pues es rico en esta plaga de sargazo. La combustión del biodiesel puede aumentar de manera significativa derivados del óxido de nitrógeno (NOX). Otro problema es que presenta una baja estabilidad oxidativa, por lo que su almacenamiento no se recomienda por periodos de tiempo mayores a seis meses. Posee un alto poder solvente, en consecuencia no puede estar en contacto con plásticos y derivados del caucho natural, obligando a los consumidores a reemplazar componentes como mangueras de ser necesario. (Tejada, 2013; Balat & Balat, 2010).

Panorama ecológico

El Mar de los Sargazos, ubicado en la altamar del océano Atlántico septentrional, es un ecosistema flotante que alberga más de 60 especies, algunas de ellas endémicas. Este hábitat actúa como refugio y fuente de alimento para diversos organismos, como el cangrejo *Planes minutus*, el camarón *Latreutes fucorum*, el pez *Syngnathus pelagicus* y la anémona *Anemonia sargassensis*. El sistema de corrientes en esta región permite que las aguas superficiales cálidas giren lentamente sobre las aguas profundas más frías en sentido horario, desempeñando un papel crucial en la biología de las especies que dependen de las macroalgas del sargazo. Por ejemplo, las anguilas americanas

y europeas desovan en este entramado de algas y, una vez que las larvas emergen, viajan a sus lugares de origen para luego regresar años después y reproducirse. Además de su importancia biológica, el Mar de los Sargazos también brinda refugio a especies en peligro de extinción como la tortuga caguama y sirve como ruta migratoria para grandes mamíferos como la ballena jorobada. (SINC, 2022)



Figura 5. Botella con biodiesel. (Obtenido en Shizhao, 2005, <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodiesel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>)

El proceso químico que se realiza para partir de la materia prima, como lo es el sargazo a un biodiesel aprovechable, se basa en el hidroprocesamiento de aceites vegetales. Este método consiste en someter al aceite vegetal a elevadas temperaturas y presiones para que junto con catalizadores se sintetizen hidrocarburos de cadena lineal llamados diesel renovable. Junto con técnicas como el craqueo o la pirólisis se pueden producir combustibles diesel con una estructura molecular muy parecida a la del diesel convencional obtenido por el refinamiento de petróleo. Una ventaja sobre el proceso convencional es que la

materia prima utilizada para la producción de biodiesel y diesel renovable es la misma, lo que significa una reducción destacable de la huella de carbono. (Koul, 2021; Kumar, 2019).

Hay que hacer énfasis entre la diferencia de biodiesel y diesel renovable, el primero se somete a un proceso de trans-esterificación donde los aceites vegetales se convierten en ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos, mientras que el diesel renovable se produce a partir de hidrotratamientos o gasificación y este puede incluir otros combustibles derivados de la biomasa como aceite vegetal hidrotratado y GTL (gas-to-liquid). Aunque los procesos de fabricación son diferentes en ambos, tienen la propiedad de ser excelentes opciones como biocombustibles, por lo que se deberá analizar con detenimiento las condiciones que sean más favorables financieramente para su síntesis a gran escala. (Koul, 2021; Ankit, 2021; Bezerigianni, 2013).

Receta secreta para el biodiesel

Como se ha mencionado con anterioridad, la trans-esterificación es el método más empleado para producir biodiesel porque en comparación con otros métodos como la microemulsión o pirólisis, es el que produce la mejor tasa de conversión (98%) en el menor tiempo posible y sin pasos intermedios. (Tejada, 2013; Lin et al., 2011)

La reacción consta de mezclar grasas y aceites con alcohol metílico en un medio básico, en donde una molécula de triglicéridos reacciona con el alcohol primario gracias a un catalizador donde el producto será una mezcla de ésteres de ácidos grasos y glicerina. (Tejada, 2013; Arévalo et al, 2008; Math et al, 2010; Keera, 2011)

Los catalizadores utilizados en este proceso pueden ser soda cáustica o metilato sódico, los cuales se disuel-

ven en metanol. La tecnología básica para producir biodiesel implica el uso de un reactor donde se lleva a cabo la trans-esterificación. Por un lado, se prepara una solución de metóxido de sodio en un tanque auxiliar, utilizando alcohol de alta pureza (generalmente metanol) e hidróxido de sodio. No se emplea alcóxido anhidro debido a que reacciona violentamente con agua y puede autoinflamarse. Esta solución altamente cáustica se vierte en el reactor principal, que contiene los lípidos fundidos. La reacción se suele llevar a cabo a una temperatura de aproximadamente 50 °C para acelerar el proceso. En procesos industriales más complejos, se utilizan centrifugas para separar el biodiesel y la glicerina generada, eliminando continuamente los productos de reacción. Sin embargo, los métodos por lotes, donde se realiza una decantación de la glicerina, aún son comunes. Después de separar la glicerina, se lava el éster para eliminar jabones y otros subproductos indeseados de la reacción como jabones. (Tejada, 2013; Larosa, 2003)

Ventajas del biodiesel

La principal ventaja de utilizar este biocombustible es que su uso no requiere de modificaciones en los motores de combustión interna que usan diesel convencional. Gracias a la densa cantidad de sargazo que azota el Caribe Mexicano, se puede diseñar un modelo de autoabastecimiento para el sector que dependa de este combustible como el agropecuario, construcción y movilidad marítima. Este biocombustible presenta gran poder de lubricación a la par que minimiza el desgaste progresivo del motor. Cabe destacar la gran reducción de las emisiones de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), dióxido de azufre (SO₂), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), en comparación con el combustible diesel

convencional. El rendimiento es muy similar al convencional, por lo que puede mezclarse con gasoil en cualquier proporción. Finalmente, una ventaja con alto peso ecológico es que no es nocivo para la salud humana, la vegetación ni los seres vivos, pues este compuesto es biodegradable. (Tejada, 2013; Oner & Altun, 2009; Balat & balat, 2010)

Desventajas del biodiesel

La síntesis de este biocombustible puede estar limitada a la disponibilidad de la materia prima, aunque en el caso del Caribe no habría problema, pues es rico en esta plaga de sargazo. La combustión del biodiesel puede aumentar de manera significativa derivados del óxido de nitrógeno (NOX). Otro problema es que presenta una baja estabilidad oxidativa, por lo que su almacenamiento no se recomienda por periodos de tiempo mayores a seis meses. Posee un alto poder solvente, en consecuencia no puede estar en contacto con plásticos y derivados del caucho natural, obligando a los consumidores a reemplazar componentes como mangueras de ser necesario. (Tejada, 2013; Balat & Balat, 2010).

Panorama ecológico

El Mar de los Sargazos, ubicado en la altamar del océano Atlántico septentrional, es un ecosistema flotante que alberga más de 60 especies, algunas de ellas endémicas. Este hábitat actúa como refugio y fuente de alimento para diversos organismos, como el cangrejo *Planes minutus*, el camarón *Latreutes fucorum*, el pez *Syngnathus pelagicus* y la anémona *Anemonia sargassensis*. El sistema de corrientes en esta región permite que las aguas superficiales cálidas giren lentamente sobre las aguas profundas más frías en sentido horario, desempeñando un papel crucial en la biología de las especies que dependen de las macroalgas del sargazo.

Por ejemplo, las anguilas americanas y europeas desovan en este entramado de algas y, una vez que las larvas emergen, viajan a sus lugares de origen para luego regresar años después y reproducirse. Además de su importancia biológica, el Mar de los Sargazos también brinda refugio a especies en peligro de extinción como la tortuga caguama y sirve como ruta migratoria para grandes mamíferos como la ballena jorobada. (SINC, 2022)



Figura 6. Tortuga caguama. (Obtenido en Roberto Pillón, 2016, <https://www.naturalista.mx/taxa/39665-Caretta-caretta>)

Aunque todavía existen incógnitas sobre los orígenes de este problema ambiental, las hipótesis más sólidas sugieren que el crecimiento y la expansión del sargazo se deben a: cambios en las corrientes oceánicas causados por el derretimiento de los polos y los glaciares, junto con la aportación de nutrientes y materia orgánica provenientes de los ríos Amazonas y Orinoco en América del Sur. Estos factores han favorecido la reproducción rápida y caótica de estos organismos, capaces de duplicar su masa en menos de 18 días. Aunque puede haber estrategias de mitigación a corto plazo, como la eliminación física del sargazo en el mar o en las playas, estas no parecen ser una solución efectiva a largo plazo

para contrarrestar los impactos de los eventos de varamiento de sargazo. (SINC, 2022)

¿Hay más alternativas?

El biocombustible que puede obtenerse partir del sargazo es solo una de las múltiples aplicaciones que se le puede dar al alga, a pesar de ser considerada un problema grave, es un hecho que el sargazo presenta muchos usos potenciales que pueden ser aprovechados en beneficio humano, pues con el correcto tratamiento es un recurso valioso y aprovechable.

En el ámbito agrícola, el sargazo tiene un potencial para ser procesado como un fertilizante orgánico con buenas propiedades benéficas para el crecimiento de plantas, pues su alto contenido en micronutrientes y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio lo hacen ideal para este fin. Estos nutrientes pueden ser utilizados para mejorar las condiciones fértiles del suelo, como aumentar la producción de cultivos y reducir así la dependencia de fertilizantes químicos convencionales. Además, el sargazo tiene la propiedad de retener la humedad del suelo, lo que contribuye a la conservación de recursos hídricos y la mitigación de la erosión del suelo. (Hernández-Herrera, 2018)

El sector alimenticio es otro de los beneficiados por el sargazo, pues algunas variedades de sargazo llegan a ser comestibles como se ha visto en varias culturas costeras, un ejemplo de esto es el *Sargassum fusiforme*, conocido en Asia como “wakame” el cual es un alga muy utilizada en la preparación de sopas, ensaladas y platos salteados. Es importante mencionar que el sargazo y sus propiedades nutricionales varían según la región geográfica, así como las prácticas culinarias. Es de vital importancia y cuidado asegurarse de obtener un sargazo libre de contaminantes si se pretende destinarla al consumo humano. (Mouritsen, 2013)



Figura 7. Alga Wakame con ajonjolí (Obtenido en ABC Bienestar, 2019, https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-wakame-201909240904_noticia.html)

El uso del sargazo es en la industria farmacéutica y cosmética, pues se sabe que las algas marinas contienen compuestos bioactivos como antioxidantes, de alto interés para desarrollar productos destinados a la estética y salud humana. Actualmente, hay investigaciones con algas marinas para conocer el mecanismo de acción de sus propiedades antienvjecimiento y antioxidantes.

Una aplicación popular en los últimos años es crear biopolímeros o bioplásticos derivados de materia vegetal, el sargazo puede usarse como materia prima para estos productos. Actualmente, existe plástico biodegradable a base de trigo, yuca, maíz y demás materias primas renovables.



Conclusiones

Tras analizar con detenimiento las características de este potencial biocombustible, podemos asegurar que el biodiesel a partir de sargazo es una opción viable y prometedora para brindar una solución ante la constante invasión excesiva de sargazo. Sin embargo, es importante mencionar que la implementación de un sistema energético autosustentable y autosuficiente representa aún un reto para la comunidad científica, afortunadamente los avances tecnológicos modernos han permitido dar pasos más grandes hacia la materialización de este sistema. Es relevante fomentar el papel que tiene el sargazo y cualquier otro organismo vivo en el ambiente para generar conciencia sobre la fragilidad del medio marino.

Agradecimientos

Expreso mi gratitud con la PhDs. Beatriz Espinosa Aquino, por brindar su tiempo a la revisión y corrección de este artículo. De igual forma, se reconoce el esfuerzo de la docente durante el curso, brindando las herramientas necesarias para entender el panorama científico actual respecto al cuidado del medio ambiente.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Referencias

- ABC Bienestar. (2019, September 24). Wakame: beneficios, propiedades y curiosidades de las algas. *Abc; ABC.es*. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-wakame-201909240904_noticia.html
- Andersen, O., & Weinbach, J.-E. (2010). Residual animal fat and fish for biodiesel production. Potentials in Norway. *34*(8), 1183–1188. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.03.010>
- Al-Dawody, M. F., Wisam Al-Obaidi, Aboud, E. D., Abdulwahid, M. A., Khaled Al-Farhany, Wasim Jamshed, Eid, M. R., Zehba Raizah, & Iqbal, A. (2023). Mechanical engineering advantages of a dual fuel diesel engine powered by diesel and aqueous ammonia blends. *346*, 128398–128398. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128398>
- Alleman, T. L., McCormick, R. L., Christensen, E. D., Fioroni, G., Moriarty, K., & Yanowitz, J. (2016, November 8). *Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition)*. *Osti.gov*. <https://www.osti.gov/biblio/1347103>
- Ankit, S., & Kumar, N. (2019). Comparison of fuel characteristics of hydrotreated waste cooking oil with its biodiesel and fossil diesel. *28*(10), 11824–11834. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07110-w>
- Arévalo, P., Ulloa, J., & Astudillo, S. (2008). Obtención de biodiesel a partir de grasa bovina. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, *8*(2), 9-16.
- Arratibel, A. J. (2022, August 17). El sargazo, la marea parda que amenaza las costas del Caribe: ¿ha llegado para quedarse? *El País América*. <https://elpais.com/america-futura/2022-08-17/el-sargazo-la-marea-parda-que-amenaza-las-costas-del-caribe-ha-llegado-para-quequedarse.html>
- Bezergianni, S., & Dimitriadis, A. (2013). Comparison between different types of renewable diesel. *21*, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.042>
- Mouritsen, O. G. (2013). *Seaweeds: Edible, Available, and Sustainable*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BB1432778X>
- Cengiz Öner, & Şehmus Altun. (2009). Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine. *86*(10), 2114–2120. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.01.005>
- CONABIO. (2023, 3 abril). Alertas tempranas - SIMAR. *SIMAR* <https://simar.conabio.gob.mx/alertas/#sargazo>
- Cauhtémoc León. (2019). El sargazo a escena. *61*(5, sep-oct), 701–701. <https://doi.org/10.21149/10870>

El sargazo: la macroalga desatada que amenaza al Caribe mexicano. (2022). Agencia SINC. <https://www.agenciasinc.es/Reportajes/El-sargazo-la-macroalga-desatada-que-amenaza-al-Caribe-mexicano>

Gustavo Israel Martínez-González. (2019). Sargassum: the atypical irruption of an ancient ecosystem. 61(5, sep-oct), 698–698. <https://doi.org/10.21149/10838>

Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Andrea, D., Hernández-Carmona, G., Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Briceño-Domínguez, D. R., Andrea, D., & Hernández-Carmona, G. (2018). Seaweed as potential plant growth stimulants for agriculture in Mexico. *Hidrobiológica*, 28(1), 129–140. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972018000100129

J. F. R. Gower & S. A. King (2011) Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS, *International Journal of Remote Sensing*, 32:7, 1917-1929, DOI: 10.1080/01431161003639660

Koul R, Kumar N, Singh RC (2019) Efectos ambientales: una revisión de la producción y las propiedades fisicoquímicas del diésel renovable y su comparación con el biodiésel, 7036. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1646355>

Koul, R., Kumar, N., Singh, RC (2021). Características de emisión del diésel renovable y su comparación con el combustible diésel en motores diésel monocilíndricos. En: Sikarwar, BS, Sundén, B., Wang, Q. (eds) *Avances en ingeniería térmica y de fluidos. Apuntes de clase en ingeniería mecánica*. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0159-0_52

Larosa, R. (2003). Proceso para la producción de BIODIESEL. Recuperado http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/biodie_lar/biodie_lar.htm

Lin, L., Zhou Cunshan, Saritporn Vittayapadung, Shen Xiangqian, & Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. 88(4), 1020–1031. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.029>

Math, M. C., Kumar, S., & Chetty, S. V. (2010). Technologies for biodiesel production from used cooking oil – A review. 14(4), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.08.001>

Mohd, Abdullah Abdul Adam, Najafi, G., & Rizalman Mamat. (2017). Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. 80, 694–709. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.140>

News, T. (2019, June 19). Mató el sargazo a 78 especies de fauna marina en Quintana Roo. *Turquesa News*. <https://turquesanews.mx/quintana-roo/mato-el-sargazo-a-78-especies-de-fauna-marina-en-quintana-roo/>

Mustafa Balat, & Havva Balat. (2010). Progress in biodiesel processing. 87(6), 1815–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.01.012>

Roberto Pillon, algunos derechos reservados (CC BY-NC), subido por Roberto Pillon · Naturalista Mexico. (2016). *Naturalista Mexico*. <https://www.naturalista.mx/photos/176772831>

Safaa tawfeek Keera, El, M., & Taman, A. R. (2011, January 31). Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using alkaline catalyst. ResearchGate; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/244068538_Transesterification_of_vegetable_oil_to_biodiesel_fuel_using_alkaline_catalyst

Shin Zhao (2003, October 20). carburante. Wikipedia.org; Wikimedia Foundation, Inc. <https://es.wikipedia.org/wiki/Biodi%C3%A9sel#/media/Archivo:Biodiesel.JPG>

Tovar, t., Tejada benítez, lesly, ortiz, v., & Monroy rodríguez, luis. (2013). Obtención de biodiesel con grasa residual animal. Luna azul, 36, 10–25. [Http://www.Scielo.Org.Co/scielo.Php?Script=sci_arttext&pid=s1909_24742013000100002](http://www.Scielo.Org.Co/scielo.Php?Script=sci_arttext&pid=s1909_24742013000100002)

¿QUÉ TAN LIMPIO ES TU CUIDADO CAPILAR? HOW CLEAN IS YOUR HAIR CARE?

Iara Soledad Lopez Silva *
Brandon Cardenas Castro

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 151-160

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0001-1745-3626>
<https://orcid.org/0009-0003-6344-6018>

Año 10 No. 28
Recibido: 31/mayo/2023
Aprobado: 24/noviembre/2023
Publicado:5/enero/2024

Facultad de Ciencias Biológicas. Licenciatura en Biotecnología.
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 72589, Blvd. Capitán Carlos Camacho Espíritu 1617, Universidades, Puebla, Pue.
iara.lopez@alumno.buap.mx
brandon.cardenas@alumno.buap.mx

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo llevar a cabo una investigación para un posterior análisis teórico de los compuestos tóxicos presentes en champús de las marcas Head & Shoulders, Pantene, y Herbal Essences. Basándose en investigaciones previas, se examinará a detalle la composición y los posibles efectos adversos que pueden generar en la salud humana y en el medio ambiente. A continuación, se examinarán los posibles efectos adversos generados a la salud humana derivados de la exposición a estos compuestos tóxicos revisando estudios científicos y reportes de casos para comprender los riesgos potenciales para los usuarios de estos productos capilares. En primer lugar, se identificarán y analizarán los compuestos tóxicos comúnmente presentes en los productos de interés, prestando especial atención a ingredientes como parabenos, sulfatos, ftalatos y formaldehídos, que han sido asociados con problemas de salud como irritación de la piel, alergias, alteraciones hormonales y posibles efectos carcinogénicos. Asimismo, se investigarán los impactos ambientales relacionados con la presencia de estos compuestos en champús y acondicionadores, considerando sus efectos en ecosistemas acuáticos debido al lavado de estos productos por el desagüe, así como su bioacumulación y posible toxicidad para la vida silvestre. Finalmente, se propondrán soluciones y alternativas para reducir o eliminar compuestos tóxicos en estos productos, tomando en cuenta aspectos técnicos, regulatorios y económicos para sugerir opciones más seguras y sostenibles en su producción y consumo. Los resultados y recomendaciones podrán ser utilizados para promover una mayor conciencia sobre su seguridad y para fomentar prácticas más responsables en la industria.

Palabras clave: Champús [1], Ecotoxicología, Sulfatos, Parabenos, Formaldehídos, Riesgo.

ABSTRACT

The purpose of this article is to carry out an investigation for a subsequent theoretical analysis of the toxic compounds present in shampoos from the brands Head & Shoulders, Pantene, and Herbal Essences. Based on previous research, the composition and possible adverse effects on human health and the environment will be examined in detail. Next, the potential adverse effects on human health from exposure to these toxic compounds will be examined by reviewing scientific studies and case reports to understand the potential risks to users of these hair products. First, toxic compounds commonly present in the products of interest will be identified and analyzed, paying special attention to ingredients such as parabens, sulfates, phthalates, and formaldehydes, which have been associated with health problems such as skin irritation, allergies, hormonal alterations, and possible carcinogenic effects. The environmental impacts related to the presence of these compounds in shampoos and conditioners will also be investigated, considering their effects on aquatic ecosystems due to the washing of these products down the drain, as well as their bioaccumulation and possible toxicity to wildlife. Finally, solutions and alternatives will be proposed to reduce or eliminate toxic compounds in these products, considering technical, regulatory, and economic aspects to suggest safer and more sustainable options for their production and consumption. The results and recommendations can be used to promote greater awareness of their safety and to encourage more responsible practices in the industry.

Keywords: Shampoos, Ecotoxicology, Sulfates, Parabens, Risk.

Introducción

Los productos de cuidado personal son elementos esenciales de la rutina diaria de muchas personas, y los champús son uno de los productos más utilizados. Sin embargo, en los últimos años ha habido crecientes preocupaciones acerca de los compuestos tóxicos presentes en estos productos, incluyendo los champús. Los compuestos tóxicos presentes en los champús pueden tener efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, y pueden incluir sustancias como los parabenos, los ftalatos y los sulfatos (En Farmacia & Joan D'alacant, s/f). La preocupación por la seguridad de los productos de cuidado personal ha llevado a un aumento en la investigación acerca de los compuestos tóxicos presentes en estos productos, y los champús no son una excepción. En un estudio analizó un total de 2044 productos cosméticos, incluyendo champús, para identificar alérgenos de fragancia regulados. Se encontró que los champús presentaban un alto número de alérgenos, con un máximo de aproximadamente 70 alérgenos detectados. Los más comunes encontrados en los champús fueron el limoneno, presente en alrededor del 30% de los productos analizados, seguido de linalol en poco más de una cuarta parte de los productos, y benzyl alcohol en aproximadamente el 16% de los productos. Estos resultados indican que los champús son propensos a contener alérgenos de fragancia y que su composición puede variar significativamente en comparación con otros productos cosméticos (Couteau et al., 2020a).

Además de los posibles riesgos para la salud humana, los compuestos tóxicos presentes en los champús también pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente. En un estudio realizado en China, se encontró que los champús pueden ser una fuente importante de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, debido a la liberación de compuestos tóxicos durante el uso y el lavado (En Farmacia

& Joan D'alacant, s/f).

En resumen, la presencia de compuestos tóxicos en los champús es un tema de preocupación creciente debido a los posibles efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente. Los estudios recientes muestran que los champús contienen una variedad de compuestos tóxicos, incluyendo los parabenos, los ftalatos y las fragancias, y que estos compuestos pueden tener efectos negativos en la salud. Además, se ha demostrado que los champús pueden ser una fuente importante de contaminación del agua. Por lo tanto, es importante investigar y evaluar los compuestos tóxicos presentes en los champús para comprender mejor los riesgos asociados con su uso.

El problema de esta investigación es identificar y evaluar los compuestos tóxicos presentes en los champús y determinar su impacto en la salud humana y en el medio ambiente. A pesar de que existen regulaciones sobre los ingredientes permitidos en los productos de cuidado personal, hay ciertos compuestos tóxicos que todavía se utilizan comúnmente en los champús, como los parabenos, los ftalatos y los sulfatos. Es importante conocer la concentración y la frecuencia de exposición a estos compuestos tóxicos para comprender mejor los riesgos para la salud.

La investigación de los compuestos tóxicos presentes en los champús es importante por varias razones. En primer lugar, puede ayudar a informar a los consumidores sobre los riesgos asociados con el uso de ciertos champús y a fomentar una mayor conciencia acerca de los productos que utilizamos en nuestro cuerpo. En segundo lugar, puede presionar a la industria para que produzca productos más seguros y sostenibles. Finalmente, puede ayudar a mejorar las regulaciones existentes sobre los ingredientes permitidos en los productos de cuidado personal. El propósito de la investigación es identificar los compuestos tóxicos más

comunes presentes en las maracas de champús antes mencionadas; evaluar la toxicidad de estos compuestos (Trüeb, 2007).

Desarrollo

Un champú no tiene como propósito únicamente limpiar el cabello y el cuero cabelludo. En su mayoría, como consumidores buscamos algo más cosmético, que se adapte al uso personal y las necesidades individuales, en general, está poniendo énfasis en el desarrollo de acondicionadores que mejoren la apariencia del cabello y en mantener un cuero cabelludo saludable, además, se invierte mucho esfuerzo en el desarrollo de agentes acondicionadores que proporcionan brillo, suavidad y volumen. La relación entre la tecnología cosmética y la terapia médica ha llevado a la creación de champús que combinan los beneficios cosméticos con la eficacia de los medicamentos, esto ha permitido una evolución constante, se han convertido en productos de alta tecnología con formulaciones precisas que contienen entre 10 y 30 ingredientes, como detergentes, ingredientes acondicionadores y aditivos (Trüeb, 2007). Los champús anticasca se elaboran con detergentes a los que se añaden agentes anti-descamación, y aunque estos pueden aliviar el picor y reducir la descamación, ninguno puede controlar la caspa por completo; en cambio, todos pueden tener efectos secundarios como la irritación de la piel y los ojos (Thomas, 2008).

Ingredientes:

De entre todos hay 4 componentes principales en la formulación de un champú:

Surfactante:

Es un componente clave en la formulación de champús debido a sus diversas funciones. Actúa como agente de limpieza, eliminando la suciedad y las impurezas del cabello. También ayuda a generar espuma, disolver otros ingredientes y mantener la viscosidad adecuada del champú. Además, el

surfactante puede formar estructuras autoensambladas llamadas micelas, que contribuyen a la estabilidad del producto. La elección del surfactante es importante para garantizar un champú eficaz y suave para la piel. Algunos surfactantes pueden causar irritación y sequedad cutánea, por lo que se busca encontrar aquellos que limpian eficazmente sin causar efectos adversos (Ramírez-Cardona et al., 2022). Los surfactantes aniónicos son buenos para limpiar, pero pueden irritar la piel. Los surfactantes catiónicos tienen propiedades adicionales, pero son más costosos. Los surfactantes zwitteriónicos mejoran la formación de espuma y la viscosidad, pero pueden causar sensibilización. Los surfactantes no iónicos son suaves para la piel, pero tienen menos capacidad de limpieza (Thompson et al., 2023).

Los champús anticasca se elaboran con detergentes a los que se añaden agentes anti-descamación, y aunque estos pueden aliviar el picor y reducir la descamación, ninguno puede controlar la caspa por completo; en cambio, todos pueden tener efectos secundarios como la irritación de la piel y los ojos.

Polímeros de deposición:

Los polímeros de deposición son utilizados en los champús para ayudar a que los agentes beneficiosos se depositen en el cabello, también conocidos como polímeros acondicionadores. Estos polímeros, que suelen derivarse de biopolímeros como la celulosa o la goma guar, desempeñan un papel crucial en la formulación del champú. Su función principal es interactuar electrostáticamente con las micelas de surfactante presentes en el champú y depositarse en el cabello (Trüeb, 2007).

A medida que el champú se diluye, se rompen los complejos formados y se precipitan, creando un nuevo complejo con una carga equilibrada. Este complejo se adhiere al cabello debido a su naturaleza hidrofóbica, que es

compartida con la superficie del cabello. Durante el enjuague, el complejo se disocia y el polímero se deposita en el cabello a través de interacciones electrostáticas con los filamentos capilares. Además de su papel en la deposición en el cabello, el polímero de deposición también facilita la deposición de otros agentes beneficiosos, como partículas sólidas de silicona o gotas de aceite de silicona, gracias a su capacidad de recubrimiento. La estructura química específica del polímero no afecta significativamente su función, siempre y cuando sea soluble en agua y tenga carga catiónica para maximizar las interacciones electrostáticas con las moléculas de surfactante (Thompson et al., 2023).

Polímeros estructurales:

Los polímeros estructurantes generan un aumento en la viscosidad al formar estructuras alargadas de micelas, conocidas como "micelas en forma de gusano". Estas estructuras se entrelazan y dan lugar a propiedades reológicas similares a las de un fluido newtoniano, lo cual puede presentar inconvenientes permitiendo que el champú fluya cuando se somete a una fuerza de corte determinada.

El aumento en la viscosidad causado por el polímero estructurante se logra mediante la formación de redes de polímero-micela y entrelazamientos poliméricos. Este proceso ocurre de diferentes maneras según el tipo de polímero estructurante utilizado. Los polímeros inflamables alcalinos (ASE) se emplean en un mecanismo no asociativo, mientras que los polímeros inflamables alcalinos modificados hidrofólicamente (HASE) se utilizan en un mecanismo asociativo.

Además de ajustar la viscosidad, los polímeros estructurantes también actúan como agentes de suspensión, evitando la separación de fases en el champú. Esto se logra mediante la formación de una fase continua mediante la creación de una red y entrelazamientos poliméricos. Los polímeros

estructurantes asociativos tienen la capacidad de interactuar tanto con componentes hidrofóbicos como hidrofílicos en la formulación, lo que mejora aún más sus propiedades de suspensión (Thompson et al., 2023).

Modificadores de viscosidad:

Estos desempeñan un papel fundamental en la formulación de champús, afectando las propiedades viscoelásticas del producto. Estos modifican las interacciones de los polímeros, algunas de las características que influyen en estas propiedades son el pH de la formulación, al igual que el aumento de salinidad, pero esta tiene un comportamiento específico, inicialmente aumenta la viscosidad, luego se estabiliza y finalmente disminuye. El exceso de sal interfiere con la estructura del sistema y reduce la capacidad de formar entrelazamientos viscosos. El conocimiento y la selección adecuada de modificadores de viscosidad son clave para obtener las propiedades viscoelásticas óptimas en los champús, un ejemplo de esto es el cloruro de sodio, que es comúnmente utilizado para ajustar la viscosidad de los champús. Su incorporación en diferentes concentraciones permite lograr la consistencia deseada (Thompson et al., 2023).

El ácido salicílico, en particular, es un ingrediente de la aspirina y puede llegar a ser muy irritante y es venenoso si se ingiere. El alquitrán de hulla es un carcinógeno conocido y también puede ser irritante si se inhala o entra en contacto con la piel (Thomas, 2008).

Químicos dañinos presentes en los champús

Muchos de los ingredientes de los champús que están en el mercado tienen un potencial tóxico e hipersensibilizante (algunos ejemplos son irritación, alergias, urticaria, genotoxicidad, alteraciones hormonales, entre otros). Es por esto la importancia de revisar las etiquetas e investigar los posibles daños que nos puedan causar a nosotros y al ambiente, siendo un producto que usamos diariamente hay que darles la atención que merecen.

Químico	Potencial Comportamiento Tóxico en Champús	Impacto Ambiental
Parabenos	Se ha relacionado con alteraciones hormonales y posibles efectos en la salud reproductiva.	Persisten en el medio ambiente y se han encontrado en muestras de agua y organismos acuáticos. Pueden tener efectos negativos en la vida marina.
Sulfatos	Pueden causar irritación y reacciones alérgicas en la piel y el cuero cabelludo.	Algunos sulfatos son biodegradables, pero otros pueden persistir en el medio ambiente y contribuir a la contaminación del agua.
Ftalatos	Se ha asociado con posibles efectos adversos en la salud hormonal y reproductiva.	Son tóxicos para los organismos acuáticos y pueden contaminar cuerpos de agua y suelos.
Formaldehídos	Pueden causar irritación y sensibilización de la piel y el cuero cabelludo. Además, se consideran carcinógenos y pueden estar relacionados con efectos negativos para la salud.	El formaldehído se evapora rápidamente en el aire, pero su liberación puede contribuir a la contaminación del aire. También puede contaminar el agua y el suelo.

Tabla 1 Químicos más comunes presentes en los champús y sus efectos en la salud y el medio ambiente (En Farmacia & Joan D'alacant, s/f)

En general, es importante tener en cuenta los posibles riesgos asociados con el uso de estos químicos en champús y considerar alternativas más seguras. Además, es esencial tomar medidas para reducir la liberación de estos químicos al medio ambiente, ya que pueden tener un impacto negativo en la vida acuática y contribuir a la contaminación ambiental.

La elección de champús y otros productos de cuidado personal que sean libres de estos químicos o que contengan concentraciones bajas puede ser una opción más segura tanto para nuestra salud como para el medio ambiente. Además, es fundamental apoyar regulaciones y prácticas sostenibles que promuevan el uso responsable de químicos en la industria cosmética para proteger nuestra salud y el entorno natural (Trüeb, 2007).

Metodología

Se analizaron once artículos relacionados con estudios realizados a productos capilares y a componentes presentes en ellos como los sulfatos, formaldehídos, ftalatos, parabenos y agentes antidesmacación como el alquitrán de hulla, piritizona de zinc, ácido salicílico y sulfuro de selenio. De entre estos artículos se seleccionó la información de mayor relevancia para su comparación

Resultados

Los champús y acondicionadores provocan irritaciones cutáneas y reacciones alérgicas entre los profesionales del cuidado del cabello que trabajan a diario con estas sustancias químicas. Reinhard Reibsch, secretario general de la Federación Europea de Trabajadores de la Minería, la Química y la Energía (EMCEF). (Walter, s/f)

Los estudios en que se realizaron pruebas de alergia en humanos muestran diversos hallazgos según el químico que se evaluó y los pacientes supervisados. A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas a dos de las investigaciones.

Allergic contact dermatitis by shampoo components: a descriptive analysis of 20 cases

Este estudio tuvo como objetivo evaluar los principales alérgenos que causan DCA por champús y las características epidemiológicas de la población afectada por esta condición en un servicio de dermatología especializada de un hospital cuaternario. (Lazzarini et al., 2020). Se realizaron 654 pruebas de parche y se diagnosticó DCA por champú en 20 pacientes (3%). De estos, 19 (95%) eran mujeres y solo un hombre. La edad media fue de 52,2 años, con mayor frecuencia de pacientes del sexo femenino. Las regiones más afectadas en los pacientes fueron: cuero cabelludo en 12 casos (60%), cara y miembros superiores en diez (50%) cada una, cervical en siete (35%), espalda en cuatro (20%), orejas en tres (15%), pecho y axilas en dos (10%) cada uno, y abdomen y hombros en uno (5%) cada uno. (Lazzarini et al., 2020a)

En ocho de los pacientes (40%), no hubo lesiones evidentes en el cuero cabelludo debido a las características anatómicas de esta región, que dificultan la penetración de los alérgenos y la detección de eccemas^{1,2}. Las lesiones afectaron a las zonas que entran en contacto con el champú cuando se enjuaga: frente, párpados, región auricular, cervical lateral y dorso (Figs. 2 y 3).



Figura 2. Paciente con eczema crónico (liquenificación intensa en la frente) por dermatitis alérgica de contacto por la metilisotiazolinona presente en los champús utilizados (Lazzarini et al., 2020b)

Alérgenos relevantes	Número de pruebas positivas	%
Kathon CG®	12	26,0
Formaldehído	8	17,0
Cocamidopropil betaina	5	11,0
Capta®	5	11,0
Lauril poliglucósido	4	8,5
Decil glucósido	4	8,5
Metildibromo glutaronitrilo 3		6,0
FM1c 2		4,0
FM2d	2	4,0
diazolinidil urea	1	2,0
Bálsamo del Perú	1	2,0
Total	47a	100,0

alérgeno	Predominio (%)
limoneno	29,55
Linalol	26,30
Alcohol de bencilo	15,90
citronelol	14,25
Geraniol	12,90
hexil cinamal	9,65
Salicilato de bencilo	7,95
citral	7,85
cumarina	7,50
Alfa-isometil ionona	7,40
Butilfenil metilpropional	5,55
eugenol	4,55
Benzoato de bencilo	4,30
hidroxicitronelal	2,75
Hidroxisisohexil 3-ciclohexeno carboxaldehído	1,90
Farnesol	1,45
amilo cinamal	1,20
alcohol cinámico	0,75
isoeugenol	0,75
Cinnamal	0,50
cinamato de bencilo	0,20
2-octiloato de metilo	0,20
alcohol de anís	0,05
Extracto de Evertia prunestrin (musgo de roble)	0,05
alcohol amil cinamal	0,05
Evertia furfuracea	0,00

En todos los casos, el diagnóstico se confirmó mediante una prueba de actualidad, verificada con la lectura de las etiquetas de los champús utilizados, acreditando la exposición a los alérgenos detectados.

Influence of Cosmetic Type and Distribution Channel on the Presence of Regulated Fragrance Allergens: Study of 2044 Commercial Products

En esta investigación se analizaron 2044 productos y la prevalencia de alérgenos de fragancias en los productos para el cuidado del cabello, según el canal de distribución se encontró en mayor número en productos para el cuidado del cabello vendidos en tiendas especializadas. En la tabla 3 se puede observar el contenido de alérgenos hallados en los diversos productos estudiados (Couteau et al., 2020b).

Conclusiones

Los estudios compilados sobre los champús más vendidos, como Head and Shoulders, Pantene y Herbal Essences, y respaldados por la investigación científica, han revelado la presencia de compuestos tóxicos que pueden tener efectos adversos en la salud. Estos compuestos incluyen conservantes como los parabenos, sulfatos, ftalatos y formaldehídos, los cuales han sido asociados con posibles alteraciones hormonales, irritación de la piel y otros efectos negativos.

Además, se ha evidenciado la existencia de casos de dermatitis de contacto alérgica causados por componentes de champús. Esto refuerza la importancia de ser conscientes de los ingredientes que utilizamos en nuestros productos de cuidado personal y considerar las repercusiones ambientales de estos compuestos, ya que pueden persistir en el medio ambiente, contaminar cuerpos de agua y suelos, y afectar la vida que los habita.

Es recomendable buscar alternativas más naturales y libres de compuestos tóxicos en nuestros productos de cuidado personal. Existen en el mercado opciones que utilizan ingredientes naturales y orgánicos, evitando el uso de conservantes y otros aditivos químicos dañinos mencionados en este artículo. Optar por estos productos puede ser beneficioso tanto para nuestra salud como para el medio ambiente.

Como consumidores, debemos informarnos y leer las etiquetas de los productos, buscando aquellos que sean más seguros y respetuosos con nuestro cuerpo y el entorno. Al elegir champús y otros productos de cuidado personal, podemos tomar decisiones conscientes que promuevan la salud y la sostenibilidad. Además, es importante apoyar regulaciones más estrictas y prácticas sostenibles en la industria cosmética para garantizar la seguridad y la protección del medio ambiente a largo plazo.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a las personas que contribuyeron a la realización de este artículo de divulgación. En primer lugar, agradecemos a la PhDs. Beatriz Espinosa Aquino por su orientación y apoyo en el desarrollo de este trabajo, al igual que a los investigadores y científicos cuyo trabajo previo ha sentado las bases para el tema que se abordó en este artículo, sus contribuciones fueron fundamentales para la comprensión y divulgación del tema.

Además, expresamos nuestro agradecimiento a los lectores y a aquellos interesados en el tema por su atención e interés. Esperamos que este artículo pueda transmitir de manera clara y amena el conocimiento científico, fomentando la curiosidad y el entendimiento en la audiencia. El trabajo de divulgación científica es un esfuerzo colaborativo y este artículo no hubiera sido posible sin la valiosa contribución de las personas mencionadas antes. Agradezco sinceramente a cada uno de ustedes por hacer realidad este proyecto, que es nuestro primer trabajo formal como divulgadores de la ciencia, y por ayudar a difundir la ciencia de una manera accesible y comprensible para todos.

Referencias

Couteau, C., Morin, T., Diarra, H., & Coiffard, L. (2020a). Influence of Cosmetic Type and Distribution Channel on the Presence of Regulated Fragrance Allergens: Study of 2044 Commercial Products. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 59(1), 101–108. <https://doi.org/10.1007/s12016-020-08790-w>

En Farmacia, G., & Joan D'alacant, S. (s/f). FACULTAD DE FARMACIA.

Lazzarini, R., Costa, L. L., Suzuki, N. M., & Hafner, M. de F. S. (2020b). Allergic contact dermatitis by shampoo components: a descriptive analysis of 20 cases. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 95(5), 658–660. <https://doi.org/10.1016/j.abd.2019.12.009>

Ramirez-Cardona, M., Esquivel-Macías, C., Cruz-Quijano, M., León-Olvera, R. G., Flores-Castro, K., & Cruz-Sánchez, M. (2022). Sulfatos. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 9(Especial), 214–232. <https://doi.org/10.29057/aactm.vg9iespecial.7828>

Thomas, P. (2008). Some shampoos waging chemical warfare on your scalp. www.auravita.com

Thompson, C. J., Ainger, N., Starck, P., Mykhaylyk, O. O., & Ryan, A. J. (2023). Shampoo Science: A Review of the Physicochemical Processes behind the Function of a Shampoo. En *Macromolecular Chemistry and Physics* (Vol. 224, Número 3). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/macp.202200420>

Trüeb, R. M. (2007). Shampoos: Ingredients, efficacy and adverse effects. En *JDDG - Journal of the German Society of Dermatology* (Vol. 5, Número 5, pp. 356–365). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1111/j.1610-0387.2007.06304.x>

Walter, P. (s/f). Shampoo chemicals under the spotlight.

Latorre, N., Silvestre, J. F., & Monteagudo, A. F. (2011). Dermatitis de contacto alérgica por formaldehído y liberadores de formaldehído. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 102(2), 86–97. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2010.09.004>

Peinado, F. M., Iribarne-Durán, L. M., & Artacho-Cordón, F. (2023). Human Exposure to Bisphenols, Parabens, and Benzophenones, and Its Relationship with the Inflammatory Response: A Systematic Review. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms24087325>

RAE, & RAE. (2023, April 16). Diccionario panhispánico de dudas RAE - ASALE. "Diccionario Panhispánico de Dudas." <https://www.rae.es/dpd/champ%C3%BA>

Xu, X., Wu, H., Terry, P. D., Zhao, L., & Chen, J. (2022). Impact of Paraben Exposure on Adiposity-Related Measures: An Updated Literature Review of Population-Based Studies. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 23). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijerph192316268>

Glosario

[1] champú. Adaptación gráfica de la voz inglesa shampoo, 'jabón líquido para lavar el cabello': «Separó sin problemas el aroma del champú del olor suave del jabón de tocador» (Gamboa Páginas [Col. 1998]). Su plural es *champús* (PLURAL, 1c). Es inadmisibile la forma híbrida *shampú*, que no es ni inglesa ni española.



EL GRAN ROMPECABEZAS QUÍMICO DE NUESTRO UNIVERSO: LA NUBE OSCURA TMC-1

THE GREAT CHEMICAL PUZZLE ACROSS THE OUR UNIVERSE: THE DARK CLOUD TMC-1

Rafael Flores Larrañaga¹
María Eugenia Castro²
Gabriel Merino³
Francisco J. Melendez⁴

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 161-170

<https://orcid.org/0000-0003-1084-9748>
<https://orcid.org/0000-0003-1716-7707>
<https://orcid.org/0000-0003-1961-8321>
<https://orcid.org/0000-0002-5796-0649>

Año 10 No. 28

Recibido: 4/noviembre/2023

Aprobado: 30/noviembre/2023

Publicado: 07/enero/2024

- ¹Estudiante de doctorado en Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 72570, Puebla, México
²Centro de Química del Instituto de Ciencias, ICUAP, BUAP, 72570, Puebla, México
³Departamento de Física Aplicada, CINVESTAV, Unidad Mérida, 97310, Mérida, Yucatán, México
⁴Laboratorio de Química Teórica, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 72570, Puebla, México
rafael.floresl@alumno.buap.mx*
mareug.castro@correo.buap.mx
gabriel.merino2@gmail.com
francisco.melendez@correo.buap.mx*

Resumen

Una nube molecular es un tipo de nube interestelar caracterizada por tener una densidad alta ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) y temperaturas variables entre 10 a 300 K. En las nubes moleculares los procesos de fotoionización y fotodisociación causados por la radiación UV son ineficientes. En este tipo de nubes los procesos químicos juegan un papel importante en la formación estelar, ocurriendo procesos en fase gas e interacciones entre granos de hielo y gas. La nube molecular de Tauro 1 (TMC-1) es un tipo de nube oscura y es la región formadora de estrellas más cercana al Sistema Solar. Se han detectado numerosas moléculas en TMC-1 con átomos de C, N, O y S, siendo de gran importancia las cadenas de carbono y los cianopolinos. Por ende, comprender las condiciones físicas y químicas en TMC-1 ayudaría a armar el rompecabezas químico acerca de la formación de moléculas grandes en el medio interestelar.

Palabras clave: Astroquímica, nube molecular, cadenas de carbono, cianopolinos, TMC-1.

ABSTRACT

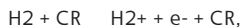
A molecular cloud is a type of interstellar cloud characterized by a high density ($\sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$) and variable temperatures that range between 10 and 300 K. In molecular clouds, the photoionization, and photodissociation processes caused by UV radiation are inefficient. In this type of clouds, chemical processes play an important role in star formation, with gas phase processes and interactions between ice grains and gas occurring. The Taurus Molecular Cloud 1 (TMC-1) is a type of dark cloud and is the closest star-forming region to the Solar System. Numerous molecules have been detected in TMC-1 with atoms of C, N, O and S, with carbon chains and cyanopolynes being of great importance. Therefore, understanding the physical and chemical conditions in TMC-1 would help piece together the chemical puzzle about the formation of large molecules in the interstellar medium.

Keywords: Astrochemistry, molecular cloud, carbon chains, cyanopolynes, TMC-1.

¿Qué es una nube molecular?

Una **nube molecular** es un tipo de nube interestelar, con condiciones especialmente importantes para la formación de estrellas. Son nubes esencialmente densas, generalmente con densidades de 104 cm^{-3} (10,000 moléculas por centímetro cúbico) y se encuentran en intervalos de temperatura muy amplios, que varían desde 10 a 300 K (-263.15 a 26.85°C) (Lindon et al., 2017). Su composición química es muy diversa y contiene desde moléculas pequeñas diatómicas hasta moléculas grandes poliatómicas, con más de 7 átomos (Ceccarelli et al., 2018). La materia está en fase gas o en forma de granos de polvo interestelar que pueden estar cubiertos de hielo dependiendo de la temperatura. Si la nube molecular posee zonas capaces de formar estrellas, entonces se denomina **vivero estelar**.

La química que ocurre en las nubes moleculares está íntimamente relacionada con las condiciones físicas, en especial con la radiación (UV y rayos cósmicos). Como una nube molecular es densa, los rayos UV no pueden penetrar con tanta facilidad y la radiación en el centro de una nube molecular es ineficiente para llevar a cabo procesos fotoquímicos a comparación de otras regiones del medio interestelar, en donde la mayoría del hidrógeno, el átomo más abundante del espacio se encuentra en la forma molecular H_2 (Yamamoto, 2014). En cambio, en las nubes moleculares, los rayos cósmicos son responsables de ser la principal fuente de ionización de las moléculas y la especie fundamental es H_3^+ , la cual es precursora de otras moléculas. Su formación está dada por la ionización de H_2 por los rayos cósmicos (CR):



donde mediante una reacción exotérmica (1.73 eV) y sin barrera de energía (Savić et al., 2020) reacciona rápidamente el H_2^+ con H_2 produciendo H_3^+ (Indriolo, 2006) de acuerdo con la siguiente reacción:



Estructura de la nube molecular Tauro 1 (TMC-1)

La **nube molecular Tauro 1 (TMC-1)** es un vivero estelar situado en la constelación de Tauro y Auriga, inmerso en el cúmulo frío galáctico de Planck (Planck Galactic Cold Clumps, PGCCs) llamado Heiles 2 (HCL2). TMC-1 es uno de los 14 cúmulos fríos de los que está compuesto HCL2. Diversos estudios han mostrado que TMC-1 no es un cúmulo con una estructura uniforme (Hirara et al., 1992; Pratap, et al., 1997; Peng et al., 1998), sino que es una estructura filamentosa (Fehér et al., 2016). Está localizada a 140 pc (parsecs) (equivalente a 457 ly, años luz) de nuestro Sol (Elias, 1978; Oishi y Kaifu, 1998), convirtiéndola en la región de formación de estrellas más cercana a nuestro Sistema Solar (von Procházka y Millar, 2021) (Figura 1). Además, se estima que TMC-1 es una nube molecular joven con ~ 106 años (Suzuki et al., 1992; Hartquist et al., 2001).



Figura 1. Ilustración esquemática de la distancia de la nube molecular Tauro 1 (TMC-1) respecto a nuestro Sol. Las nubes moleculares aparecen como regiones oscuras en el espacio debido a que la alta densidad de materia absorbe gran parte de la luz.

TMC-1 tiene una densidad de $\sim 6 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ (Pratap et al., 1997) y una temperatura aproximada de 10 K, donde se pueden encontrar granos de hielo. Su estructura es compleja y tiene un tamaño aproximado de $0.2 \times 0.6 \text{ pc}$ ($\sim 0.65 \times 1.95 \text{ ly}$) (Hirahara et al., 1992). Su

forma es elongada con una cresta an-gosta (Figura 2). La masa total estima-da de TMC-1 es de ~ 30 masas solares (M_{\odot}) (5.96×10^{31} kg) (Schloerb et al., 1983), pero se estima que puede ser aún mayor, pues TMC-1 está compuesta por 4 sub-filamentos (I, II, III y IV) de 20-40 M cada uno (Fehér et al., 2016; Dobashi et al., 2019) y 6 aglomeraciones densas o núcleos (A, B, C, D, E y X) (Hirahara et al., 1992) (Figura 2a). Además, tiene tres regiones caracte-rizadas por la abundancia de especies químicas: la región de cianopolinos (CP) al suroeste, la región de amonia-co (NH_3) al noroeste y la región de monóxido de azufre (SO) cercano al pico NH_3 (Hirahara et al., 1992; Pratap et al., 1997) (Figura 2b). En estas re-giones, la temperatura promedio es de 8.2 – 10 K en la región CP, de 8.6 – 10 K en la región NH_3 y de 9.8 K en la región SO, concordando con la temperatura promedio estimada para TMC-1 de 10 K (Pratap et al., 1997). Asimismo, localizada cerca de la región NH_3 y del núcleo X, se encuentra la protoestrella clase I IRAS 04381 +2540, la cual está relacionada con la evolución temporal y química de los núcleos en TMC-1 (Figura 2a).

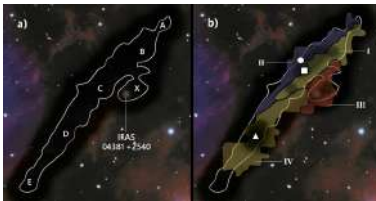


Figura 2. Ilustración esquemática de la nube molecular Tauro 1 (TMC-1). Se muestran: a) los seis núcleos (A, B, C, D, E y X) que componen a TMC-1 y la protoestrella clase I IRAS 04381 +2540 y b) los 4 sub-filamentos de TMC-1 (I, II, III y IV) y las regiones de abundancia de CP (triángulo), NH_3 (cuadrado) y SO (círculo). Imagen modificada de (Hirahara et al., 1992) y (Fehér et al., 2016).

Otras observaciones astronómicas indican que TMC-1 está compuesta por 13 núcleos (Pineda et al., 2010) y 45 aglomeraciones (Peng et al., 1998). De acuerdo a las observaciones realizadas por Peng et al. (1998),

TMC-1 tiene 45 aglomeraciones solo en la región aledeña al núcleo D y parte del núcleo E (Figura 2a), donde sólo 5 de estas aglomeraciones colapsarán por inestabilidad gravitacional. En otras palabras, TMC-1 tiene regiones capaces de formar estrellas, de ahí el nombre de vivero estelar. Sin embargo, la mayoría de los núcleos no formarán estrellas, pero en ellos se llevarán a cabo reacciones químicas importantes tanto en fase gas como en la superfi-cie grano-hielo.

El proceso por el cual TMC-1 puede formar estrellas se explica por la teoría del colapso gravitacional. De acuerdo con esta teoría, los núcleos son regiones donde el polvo interes-telar y el gas se aglomeran debido a la atracción gravitatoria. La densidad de materia en estos núcleos conlleva a una mayor fuerza gravitatoria, y si es lo suficientemente fuerte para que el gas y el polvo colapsen, entonces iniciará la formación estelar (Krumholz et al., 2005) (Figura 3).

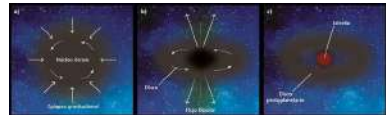


Figura 3. Ilustración esquemática de la formación de una estrella por la teoría del colapso gravitacional de un núcleo denso. a) El núcleo denso comienza a colapsar por la fuerza gravitacional mientras rota lentamente. b) La gravedad provoca un aumento de la velocidad de rotación formando un disco alrededor de un núcleo central, mientras que el flujo bipolar lo estabiliza liberando la acumulación de momento angular y materia. c) Finalmente, se forma un disco proto-planetario alrededor de una estrella.

La protoestrella IRAS 04381 +2540 y su relación con la evolución química de TMC-1

La presencia de moléculas de composi-ción orgánica en la región CP se debe al cambio de abundancias en la con-centración de C/O a lo largo de TMC-1 (Bergin et al., 1996). De acuerdo a los modelos químicos de superficie de los granos de hielo (Charnley 1997), la composición orgánica del manto de hielo en TMC-1 incluye una variedad de

cadena de carbono insaturadas, cuya hidrogenación produce alcoholes. Pero en la región CP no son comunes las especies químicas con oxígeno que se forman en los granos de hielo, siendo las especies químicas orgánicas dominantes: CH_4 , C_2H_2 y C_2H_4 . Lo anterior sugiere una anomalía en la química de la superficie de los granos de hielo en la región CP provocada por las ondas magnetohidrodinámicas (MHD) de Alfvén provenientes del campo magnético de la protoestrella IRAS 04381 +2540 (Markwick et al., 2000). Las ondas de Alfvén colisionan primero en la región NH_3 aumentando la velocidad de las reacciones químicas en la superficie de los granos de hielo influenciando su evolución. En menor medida, estas ondas también interactúan en la región de CP, pero la química en esta región es evolutivamente menos avanzada debido a que las ondas de Alfvén tardan en llegar $\sim 15,000$ años.

Ondas de Alfvén

Las estrellas, como nuestro Sol, producen erupciones violentas llamadas viento solar. Estas erupciones producen variaciones en el gas de iones y de electrones en estado plasma. En la Tierra, este viento solar es el que provoca las auroras boreales en los hemisferios, colisionando con los átomos en las capas superiores de la atmósfera, los cuales ganan energía y emiten fotones. Las ondas de Alfvén durante 40 años se consideraron como posibles responsables de las auroras boreales. Estas ondas son oscilaciones de baja frecuencia que se propagan en dirección de un campo magnético de un plasma a través de un proceso conocido como amortiguamiento de Landau (Landau, 1946) (Figura 4).

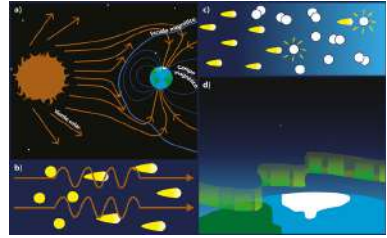


Figura 4. Ilustración esquemática del proceso en que las ondas de Alfvén propician la aparición de las auroras boreales. a) El viento solar, compuesto por hidrógeno ionizado y helio como plasma, interactúa con el campo magnético de la Tierra, b) la interacción entre el viento solar y el campo magnético de la Tierra produce las ondas de Alfvén que, por medio del amortiguamiento de Landau, son capaces de transferir su energía a los electrones del plasma, acelerándolos. c) Los electrones acelerados interactúan con el N y O presentes en la atmósfera terrestre, d) como resultado de estas colisiones, los átomos emiten luz roja en las altitudes más altas y luz verde en las más bajas, provocando las auroras boreales en los hemisferios.

El plasma, conocido como cuarto estado de la materia, consiste en materia muy caliente, tan caliente que los electrones son arrancados de los átomos formando un gas ionizado. Así como al hervir un líquido se convierte en gas, al calentar un gas formará un plasma, que consiste en partículas cargadas positivamente (iones) y negativamente (electrones). Los plasmas comprenden alrededor del 99% del Universo visible y están presentes en nebulosas, estrellas e incluso en las auroras boreales (PSFC, 2023). Sin embargo, los plasmas también se pueden crear artificialmente en laboratorios.

Los electrones del plasma absorben la energía de las ondas de Alfvén y los aceleran ocasionando su precipitación en nuestra atmósfera. Recientemente, se ha demostrado que la interacción de las ondas de Alfvén con la materia son las causantes de las auroras boreales (Schroeder et al., 2021).

se identificó al buckminsterfullereno (C_{60}^+), una de las moléculas más grandes detectadas en el medio interestelar, como responsable de una de las DIBs (Figura 7).

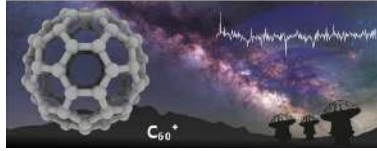


Figura 7. Ilustración del buckminsterfullereno C_{60}^+ , una molécula detectada en el medio interestelar y responsable de las DIB's

Esperemos que con las nuevas investigaciones teóricas y experimentales, y los avances tecnológicos, como el lanzamiento del telescopio espacial James Webb en 2021; o la construcción del telescopio de treinta metros (TMT), el telescopio extremadamente grande (ELT), el telescopio gigante de Magallanes (GMT) o el observatorio Vera C. Rubin (LSST), que entrarán en operación en esta década y poseen una resolución nunca antes vista, el ser humano sea capaz de resolver paulatinamente el misterio de las DIBs. Así como también encontrar más moléculas que vayan llenando el enorme rompecabezas químico de nuestro Universo.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAH-CYT) por la beca de posgrado con número 794073, a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP) de la BUAP, al Cuerpo Académico BUAP-CA-263 (SEP, PRODEP) y al Laboratorio Nacional de Supercómputo del Sureste de México (LNS-BUAP) por los recursos computacionales otorgados.

REFERENCIAS

- Bergin, E.A., Snell, R.L., Goldsmith, P.F. (1996). Density Structure in Giant Molecular Cloud Cores. *ApJ*, 460, 343.
- Cabezas, C., Tercero, B., Agúndez, M., Marcelino, N., Pardo, J.R., de Vicente, P., Cernicharo, J. (2021). Cumulene Carbenes in TMC-1: Astronomical Discovery of I-H₂C₅. *A&A*, 650, L9.
- Ceccarelli, C., Viti, S., Balucani, N., Taquet, V. (2018). The Evolution of Grain Mantles and Silicate Dust Growth at High Redshift. *MNRAS*, 476, 1371-1383.
- Cernicharo, J., Marcelino, N., Agúndez, M., Bermúdez, C., Cabezas, C., Tercero, B., Pardo, J.R. (2021). Discovery of HC₄NC in TMC-1: A Study of the Isomers of HC₃N, HC₅N, and HC₇N. *A&A*, 642, L8.
- Charnley, S.B. (1997). *Astronomical and Biochemical Origins and Search for Life in the Universe* (1era ed.). Editrice Compositori, Bologna, Italia.
- Dobashi, K., Shimoikura, T., Ochiai, T., Nakamura, F., Kameno, S., Mizuno, I., Taniguchi, K. (2019). Discovery of CCS Velocity-coherent Substructures in the Taurus Molecular Cloud 1. *ApJ*, 879, 88-96.
- Elias, J.H. (1978) A Study of the Taurus Dark Cloud Complex. *ApJ*, 224, 857-872.
- Fehper, O., Tóth, L.V., Ward-Thompson, D., Kirk, J., Kraus, A., Pelkonen, V.M., Pintér, S., Zahorecz, S. (2016). Structure and Stability in TMC-1: Analysis of NH₃ Molecular Line and Herschel Continuum Data. *A&A*, 590, A75.
- Harju, J., Winnberg, A., Wouterloot, J.G.A. (2000). The Distribution of OH in Taurus Molecular Cloud-1. *Astron. Astrophys.*, 353, 1065-1073.
- Hartquis, T.W., Williams, D.A., Viti, S. (2001). Chemical Constrains and Microstructure in TMC-1 Core D. *A&A*, 369, 605-610.
- Indriolo, N. (2006). The Distribution of Cosmic-Ray Ionization Rates in Diffuse Molecular Clouds as Probed by H₃⁺. *Phyl. Trans. R. Soc. A*, 370, 5142-5150.
- Krumholz, M.R., McKee, C.F., Klein, R.I. (2005). The Formation of Stars by Gravitational Collapse rather than Competitive Accretion. *Nature*, 438, 332-334.
- Landau, L. (1946). On the Vibrations of the Electronic Plasma. *J. Phys.*, 10, 25-34.
- Lindon, J., Tranter, G.E., Koopenaal, D. (2017). *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3ra ed.), en: *Interstellar Molecules, Spectroscopy of*. Elsevier Ltd. Academic Press.
- Markwick, A.J., Millar, T.J., Charnley, S.B. (2000). On the Abundance Gradients of Organic Molecules along the TMC-1 Ridge. *ApJ*, 535, 256-265.
- Millar, T.J., Farquhar, P.R.A. Willacy, K. (1996). The UMIST Database for Astrochemistry 1995*. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 121, 139-185.
- Müller, H.S.P. (2023). The Cologne Database for Molecular Spectroscopy: Molecules in Space. CDMS. Recuperado de: <https://cdms.astro.uni-koeln.de/classic/molecules>
- Oishi, M., Kaifu, N. (1998). Chemical and Physical Evolution of Dark Clouds. *Molecular Spectral Line Survey Toward TMC-1. Faraday Discuss.*, 109, 205-216.
- Pratap, P., Dickens, J.E., Snell, R.L., Miralles, M.P., Bergin, E.A., Irvine, W.M., Schloerb, F.P. (1997). A Study of the Physics and Chemistry of TMC-1. *ApJ*, 486, 862-885.

Peng, R., Langer, W.D., Veluzamy, T., Kuiper, B.H., Levin, S. (1998). Low-Mass Clumps in TMC-1: Scaling Laws in the Small-Scale Regime. *ApJ*, 497, 842-849.

Pineda, J.L., Goldsmith, P.F., Chapman, N., Snell, R.L., Li, D., Cambrésy, L., Brunt, C. (2010). The Relation Between Gas and Dust in the Taurus Molecular Cloud. *ApJ*, 721, 686-708.

PSFC. (2023). Plasma Science and Fusion Center Massachusetts Institute of Technology. PSFC. Recuperado de: https://www.psfc.mit.edu/vision/what_is_plasma

Von Procházka, A.A., Millar, T.J. (2021). Species Cycling and the Enhancement of Ammonia in Prestellar Cores. *MNRAS*, 501,1228-1242.

Savić, I., Schlemmer, S., Gerlich, D. (2020). Formation of H₃⁺ in Collisions of H₂⁺ Studied in a Guided Ion Beam Instrument. *ChemPhysChem*, 21, 1429-1435.

Schroeder, J.W.R., Howes, G.G., Kletzing, C.A., Skiff, F., Carter, T.A., Vincena, S., Dorfman, S. (2021). Laboratory Measurements of the Physics of Auroral Electron Acceleration by Alfvén Waves. *Nat. Commun.*, 12, 3103.

Suzuki, H., Yamamoto, S., Ohishi, M., Kaifu, N., Ishikawa, S., Hirahara, Y., Takano, S. (1992). A Survey of CCS, HC₃N, HC₅N, and NH₃ toward Dark Cloud Cores and Their Production Chemistry. *ApJ*, 392, 551.

Yamamoto, S. (2014). Introduction to Astrochemistry: Chemical Evolution from Interstellar Clouds to Star and Planet Formation (1era ed.), en: 3. Basic Concepts for Gas-Phase Chemical Reactions. Springer Nature, Tokio, Japón.

FOTOSÍNTESIS: UN MARAVILLOSO, SORPRENDENTE Y DESAFIANTE PROCESO

PHOTOSYNTHESIS: A WONDERFUL, AMAZING AND CHALLENGING BIOPROCESS

Yamil Hernández Urquieta¹
María Eugenia Castro²
Norma A. Caballero³
Francisco J. Melendez⁴

<https://orcid.org/0009-0007-9755-6564>
<https://orcid.org/0000-0003-1716-7707>
<https://orcid.org/0000-0002-9410-5852>
<https://orcid.org/0000-0002-5796-0649>

Recibido: 17. julio. 2023
Aprobado: 30 /noviembre/ 2023
Publicado: 07/ enero / 2024

¹Estudiante de Maestría en Ciencias Químicas, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP
²Centro de Química del Instituto de Ciencias, ICUAP, BUAP, 72570, Puebla, México
³Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP, 72570, México
⁴Laboratorio de Química Teórica, Facultad de Ciencias Químicas, BUAP, 72570, Puebla, México

(222) 2295500 ext. 2830 y 2819
yamil.hernandezu@alumno.buap.mx*
mareug.castro@correo.buap.mx
norma.caballero@correo.buap.mx
francisco.melendez@correo.buap.mx*

Resumen

La fotosíntesis es el fenómeno fisicoquímico más sorprendente de nuestro planeta, ha maravillado a los humanos desde hace miles de años. Es el proceso biológico más importante de la naturaleza, del cual se piensa que se conoce mucho, sin embargo, desconocemos más de lo que sabemos. El proceso se realiza a través de unas asociaciones masivas de pigmentos con proteínas localizadas en organelos de plantas o algas y también en ciertas bacterias. Algunas de estas agrupaciones son conocidas y otras se siguen estudiando. Desde el punto de vista teórico las investigaciones se centran en diferentes vertientes; por un lado, se estudian las estabildades estructurales, espectros y excitación de los pigmentos, y por el otro, las interacciones, acoplamientos y transferencia energética de los pigmentos con los residuos proteicos y los complejos proteicos con otros complejos proteicos. En este manuscrito se explica la localización y estructura de algunos sistemas fotosintéticos de diferentes organismos y los estudios químico-cuánticos que se realizan en la actualidad.

Palabras clave: Fotosíntesis, organismos fotosintéticos, clorofila, luz solar, estudios químico-cuánticos.

Abstract

Photosynthesis is the physical-chemistry phenomenon most amazing on our planet. It has marveled at humans since thousands of years ago. It is the most important biological process in nature, about which a lot is thought to be known; however, we do not know enough. Photosynthesis is made through big pigment-protein associations located in plant and algae organelles and some bacteria. Some of these complexes are known, but others are still under investigation. From a theoretical point of view, the investigations focus on different paths; some study the structural stability, spectra, and excitation of the different pigments. Other ones study the interactions, couplings, and electronic transfer from pigments to protein residues and from some super-complex protein to another super-complex protein. In this manuscript, the localization and structure of some photosynthetic systems of different organisms are explained, as are the quantum-chemistry studies that are being performed now.

Keywords: Photosynthesis, photosynthetic organism, chlorophyll, solar light, quantum-chemistry studies.

Fotosíntesis

La fotosíntesis es el fenómeno físico-químico más sorprendente de nuestro planeta, ha maravillado a los humanos desde hace miles de años y el humano se ha empeñado en resolver sus incógnitas sin un éxito total. Es el proceso biológico más importante de la naturaleza, del cual nos explican desde niños que por medio de la fotosíntesis las plantas respiran y liberan oxígeno, el cual consumimos. La fotosíntesis se realiza a cada fracción de segundo en todo el mundo, donde hay pasto, árboles, hierbas, algas e incluso donde hay ciertas bacterias; a estos organismos se les conoce como organismos fotosintéticos. Todo el mundo sabe que la fotosíntesis se realiza a través de una molécula de alta importancia llamada clorofila, pero surgen ciertas preguntas: ¿Dónde y, cómo está?, ¿quiénes la contienen?, ¿solo es una?, ¿está sola o en una proteína?, y ¿qué estudios se están llevando a cabo actualmente? Para responder estas preguntas se debe conocer la localización y organización celular de los organismos fotosintéticos.

Localización celular de la clorofila

Plantas superiores

Las plantas superiores en su mayoría utilizan su sistema caulinar (aéreo), en específico las hojas, para realizar la fotosíntesis, por eso su color verde. Dentro de la célula vegetal hay diversos compartimentos a los que se les llama organelos, que son los sitios donde se almacenan las maquinarias para realizar todas sus funciones biológicas (ver Figura 1). Los plastos son unos organelos que usan las plantas para realizar diversas funciones como almacenaje, destrucción de moléculas e incluso para captar luz. A los plastos que contienen clorofila se les denomina cloroplastos y son de suma

importancia debido a que es ahí donde se realiza la fotosíntesis.

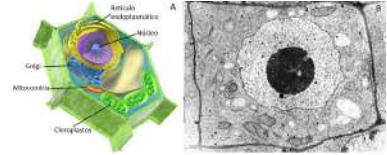


Figura 1. Imágenes de una célula vegetal. A) Imagen representativa de la célula eucariota vegetal (McLaughlin, 2021). B) Micrografía electrónica de una célula vegetal joven, en donde se pueden observar los diferentes organelos (Clayton, 2010).

En las plantas superiores, los cloroplastos tienen una forma oval delimitada por una membrana interna y una externa. Dentro de la membrana interna se encuentran unas estructuras en forma de discos abombados dispuestos unos sobre otros, llamados tilacoides. Al conjunto de tilacoides se les denomina grana y a la unión entre las granas se les denomina tilacoides del estroma o lamela (ver Figura 2). La maquinaria fotosintética se encuentra atravesando las membranas de la grana, tilacoides y lamela; y está constituida por los fotosistemas I y II, el citocromo b6f y la ATP sintetasa (Gruber et al., 2018).

Algas

Los organismos más pequeños, como las algas unicelulares, no presentan un orden estructural tan complejo como las plantas superiores. En muchas algas unicelulares como los géneros *Chlorella* y *Chlamidomonas* sus células contienen organelos parecidos a los de plantas superiores, pero con la gran diferencia que presentan un solo cloroplasto, el cual abarca alrededor del 40% del volumen total y alrededor del 1 al 2% de su biomasa seca está compuesta de clorofilas (ver Figura 2) (Hu et al., 2002).

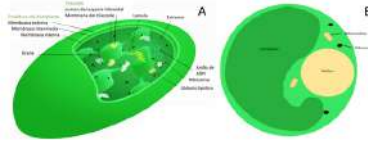


Figura 2. A) Imagen representativa del cloroplasto, su estructura y organización (cdadmin, 2019). B) Representación gráfica de la microalga *Chlorella vulgaris*; su cloroplasto abarca gran parte del espacio celular.

Bacterias

En el caso de las bacterias fotosintéticas, existen dos tipos según el tipo de fotosíntesis que realizan: las cianobacterias, las cuales realizan fotosíntesis oxigénica (como las plantas), es decir, con la liberación de oxígeno, reducción del dióxido de carbono y formación de carbohidratos, como la bacteria azul-verde. El otro tipo son las proteobacterias, las cuales realizan fotosíntesis no oxigénica, es decir, no involucran al oxígeno, como la bacteria púrpura de azufre que utiliza compuestos inorgánicos de azufre para la fotosíntesis (ver Figura 3) (Gros et al., 2018; Mirkovic et al., 2017). Las bacterias fotosintéticas, al igual que las plantas, presentan tilacoides, pero estos tilacoides no se encuentran dentro de los cloroplastos, tampoco en forma de discos, sino que son sacos aplanados que se encuentran en la periferia, formando un laberinto alrededor de la circunferencia celular. Los arreglos de los tilacoides son diversos según la especie de la bacteria (ver Figura 3) (Drews & Golecki, 1995).

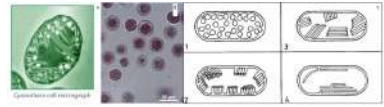


Figura 3. A) Microfotografía de una cianobacteria del género *Cyanothece* (Sherman's, 2022). B) Microfotografía de campo claro de sulfobacterias del género *Chromatiaceae* (Gros et al., 2018). C) Tipos de membranas intracitoplasmáticas (MIC) que contienen maquinaria fotosintética: 1) En forma de vesículas. 2) Formadas de tubulina. 3) Membranas planas parecidas a tilacoides organizados de manera regular. 4) Tilacoides largos arreglados de manera Irregular (Drews & Golecki, 1995)

Organización de los sistemas fotosintéticos

Plantas superiores

La fotosíntesis no se podría llevar a cabo sin la sorprendente función del conjunto de proteínas asociadas a una gran cantidad de pigmentos (Croce & van Amerongen, 2020; Lokstein et al., 2021; Pan et al., 2011; Standfuss et al., 2005).

En la membrana externa de los tilacoides de las plantas se localizan unos súper complejos proteicos conocidos como complejos **PSI-LHCI y PSII-LHCII**, los cuales están formados por los **fotosistemas I y II (PSI & PSII)**, constituidos por el **centro de reacción (RC)** y el **sistema de antenas internas (CP43 y CP47)**; además de los **complejos de captación de luz I y II (LHCI & LHCII)** (Croce & van Amerongen, 2020; Lokstein et al., 2021; Mirkovic et al., 2017; Pan et al., 2018).

Una vez capturada la energía solar por los complejos LHCI y LCHII, ésta se transfiere rápidamente al fotosistema, donde las reacciones fotoquímicas culminan en el RC. Aparte de las antenas LHCI y LHCII, también se pueden encontrar otras antenas más pequeñas de la familia CP (Pan et al., 2011). La antena LHCI está formada por dos heterodímeros, los cuales se acomodan en forma específica, intercambiable y consecutiva para alojarse

alrededor del PSI en forma de cinturón anclado a varios sitios (Ben-Shem et al., 2003; Busch & Hippler, 2011; Jansson, 2013). La antena LHCI está constituida por alrededor de 56 clorofilas de tipo a y b (Ben-Shem et al., 2003), por lo tanto, cada monómero se forma de 14 clorofilas, 1 o 2 luteínas, algunas violaxantinas, betacarotenos y un carotenoide (Jansson, 2013). Por otra parte, la antena LHCII es el complejo proteico más abundante en la Tierra (Lokstein et al., 2021; Standfuss et al., 2005). Esta antena se conforma tanto de homotrímeros como de heterotrímeros de componentes polipeptídicos (Jansson, 2013; Lokstein et al., 2021; Pan et al., 2018; Standfuss et al., 2005). Cada unidad de esta antena contiene entre 13 y 15 clorofilas de tipo a y b, y 3 o 4 carotenoides, dependiendo la especie de la planta, unidos a través de enlaces no covalentes (Ver Figura 4) (Lokstein et al., 2021; Mirkovic et al., 2017).

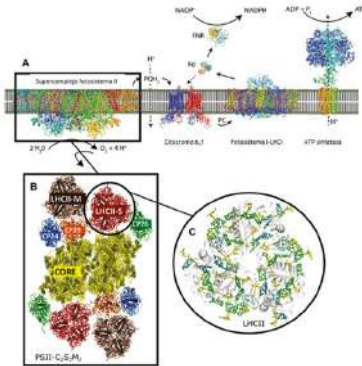


Figura 4. Aparato fotosintético de las plantas superiores. Estructuras obtenidas por cristalografía de rayos X: (A) Membrana del tilacoide. (B) Súper complejo PSII-C2-S2-M2. (C) Vista de cerca de la antena LHCII (Gruber et al., 2018).

Algas y bacterias

Además de los microorganismos anteriores, existen algas unicelulares verdes y algas rojas, las cuales se cree que son intermediarios evolutivos entre plantas y bacterias.

En las algas verdes unicelulares, la antena LHCI se encuentra constituida por 9 subunidades, siendo casi 1.5 veces mayor de tamaño en comparación con las plantas superiores (Busch & Hippler, 2011). Esta antena también se encuentra formando una especie de cinturón alrededor del PSI (Ben-Shem et al., 2003). La antena LHCII se organiza en trímeros, se asocian 3 trímeros a un PSII formando un complejo aún más grande (Shenn et al., 2019).

En las algas rojas se encuentran estructuras parecidas a las encontradas en las algas verdes o plantas superiores, como son los fotosistemas (PSI y PSII), pero además presentan un ficobilisoma, que es también encontrado en cianobacterias (ver Figura 5) (Croce & van Amerongen, 2020; Gantt et al., 2003). Los ficobilisomas son los súper complejos más grandes encontrados en la naturaleza (16.8 megadaltons), donde se ordena perfectamente un conjunto de complejos proteicos llamados ficobiliproteínas (Gantt et al., 2003; Lokstein et al., 2021).

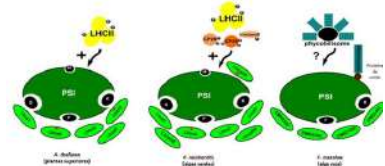


Figura 5. Diferencias entre las antenas de captación de luz y las proteínas que se encuentran rodeando al fotosistema de plantas superiores, algas verdes y rojas (Busch & Hippler, 2011).

Las ficobiliproteínas son complejos proteicos donde se encuentran los pigmentos llamados **bilinas**, que son estructuras tetrapirrólicas lineales enlazadas

a la proteína (ver Figura 6 A y B) (Gantt et al., 2003; Lokstein et al., 2021; Mirkovic et al., 2017). Las algas rojas aparte de los ficobilisomas también presentan LHCII, mientras que las cianobacterias solo presentan ficobilisomas (Lokstein et al., 2021; Mirkovic et al., 2017). Las bacterias que producen fotosíntesis no oxigénica contienen como antenas a los complejos LH1, que se encuentran asociados al centro de reacción (RC) (ver Figura 6 C y D); y LH2 que se encuentra sin asociación a otro complejo siendo la principal y mayoritaria antena (Hu et al., 1998; Lokstein et al., 2021; Mirkovic et al., 2017; Yu et al., 2018). El RC asociado al LH1 tiene una similitud considerable con el RC del PSII encontrado en cianobacterias y plantas superiores (Gros et al., 2018). Estas bacterias no oxigénicas presentan en todas sus fotoestructuras bacterioclorofilas (**Bchl**) (la más frecuente es la Bchl a) y carotenoides (Hu et al., 2002; Mirkovic et al., 2017). La antena LH1 está formada por 16 heterodímeros posicionándose alrededor del RC, formando un anillo compuesto aproximadamente de 32 Bchl y 16 carotenoides, dependiendo de la especie (Tani et al., 2022; Yu et al., 2018).

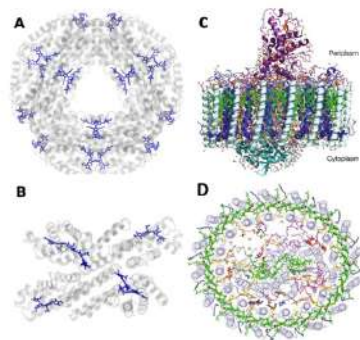


Figura 6. Súper complejos captadores de luz: A) Ficobiliproteína, vista desde arriba. B) Vista paralela a la membrana de la unidad proteica formada de 4 bilinas Lokstein et al., 2021). C) Estructura del complejo LH1-RC, vista horizontal. D) Orden de cofactores y pigmentos, vista desde arriba en forma perpendicular a la membrana (Yu et al., 2018).

La antena LH2 se compone por 24-26 moléculas de Bchl ordenadas en dos anillos y 8 licopenos (Hu et al., 1998). Los licopenos son pigmentos de tipo carotenoide conformados por 11 dobles enlaces conjugados.

Cabe destacar que existen diferencias marcadas entre las diferentes familias de bacterias, por ejemplo, la familia de bacterias verdes, que incluye a las bacterias verdes de azufre (filo Chlorobi), los fotótrofos filamentosos (filo Chloroflexi) y la ácido bacteria *Candidatus chloracidobacterium* (Bryant, 2013; Orf & Blankenship, 2013), presentan clorosoma, que es una aglomeración perfectamente ordenada de entre 10,000 y 25,000 Bchl, quinonas, carotenoides y lípidos, delimitada por una membrana lipídica (Bryant, 2013; Lokstein et al., 2021; Olson, 2013; Orf & Blankenship, 2013). El clorosoma se encuentra sobre una base proteica que tiene la función de conectar al clorosoma y permitir la transferencia

de energía hacia el siguiente complejo conocido como **complejo Fenna-Matthews-Olson (FMO)**, que es un trímero compuesto de 7 Bchl por monómero. Este complejo fue el primer complejo con pigmentos que fue cristalizado (Bryant, 2013; Lokstein et al., 2021; Olson, 2004; Orf & Blankenship, 2013). La energía proveniente del complejo FMO se transfiere al RC, el cual se conforma por 16 BChl a, 4 Chl a y carotenoides (Bryant, 2013; Olson, 2004).

Todas estas estructuras, complejos y organizaciones proteína-pigmento, son algunas de las utilizadas por los diferentes organismos fotosintéticos, habiéndose adaptado a los diferentes ambientes donde viven. Estos aglomerados proteicos son únicos en la naturaleza, ya que no se han encontrado otras estructuras que tengan tantos pigmentos diferentes y ordenados alrededor de proteínas que funcionen de manera tan eficiente y precisa como dichos sistemas.

Investigaciones teóricas actuales

El estudio teórico de la fotosíntesis se centra en diferentes aspectos. El primero es el estudio de las conformaciones moleculares espaciales y los estados de excitación de cada pigmento por separado (Sirohiwal et al., 2020). Otro es el análisis de los acoplamientos electrónicos y transferencia de energía entre los pigmentos adyacentes (Park et al., 2019). También se han realizado estudios de las interacciones, excitaciones y acoplamientos electrónicos entre los complejos proteicos (Maity et al., 2019), y hasta la fecha, se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva de moléculas sintéticas que ayuden a mimetizar este magnífico proceso para la captura y aprovechamiento de energía solar (Gibbons et al., 2019).



Perspectivas

Aún nos falta mucho por investigar y por descubrir, para poder mimetizar e interpretar el proceso completo de la fotosíntesis llevada a cabo por alguno de estos organismos fotosintéticos. Actualmente, existen muchos grupos de investigación de física y química teórica enfocados en el estudio de la fotosíntesis con el objetivo de ir construyendo un rompecabezas de todo el proceso, tomando en cuenta los diferentes pigmentos, organización y estructura molecular de las diferentes maquinarias de los diversos organismos fotosintéticos. Gracias a la infraestructura computacional actual en cuanto a hardware y software se refiere, será posible comprender y dilucidar cómo se realiza el proceso de fotosíntesis en diferentes organismos y microorganismos, sobre todo con la finalidad de poder aprovechar la energía solar de la mejor manera posible.

Agradecimientos

Y.H.U. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Maestría (número 1226339). Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado (VIEP-BUAP), al Laboratorio Nacional de Supercómputo del Sureste de México (LNS-BUAP) por los recursos computacionales y al Cuerpo Académico BUAP-CA-263 de PRODEP (SEP, México).

Referencias

Ben-Shem, A., Frolow, F., & Nelson, N. (2003). Crystal structure of plant photosystem I. *Nature*, 630-635. doi:10.1038/nature02200

Bryant, D. A. (2013). Green Bacteria: Chlorophyll Biosynthesis, Light-Harvesting, Reaction Centers, and Electron Transport. *Encyclopedia of Biological Chemistry: Second Edition*, 501-509. doi:10.1016/B978-0-12-378630-2.00159-6

Busch, A., & Hippler, M. (2011). The structure and function of eukaryotic photosystem I. *Biochimica et Biophysica Acta- Bioenergetics*, 1807, 864-877. doi:10.1016/j.bbabi.2010.09.009

cdadmin. (2019). Cd genomics blog. Obtenido de Chloroplast Fact Sheet: Definition, Structure, Genome, and Function: <https://www.cd-genomics.com/blog/chloroplast-fact-sheet-definition-structure-genome-and-function/#::~:~:text=Structure%20of%20Chloroplasts&text=Chloroplasts%20are%20oval%2Dshaped%20and,dense%20fluid%20within%20the%20chloroplast.>

Clayton, M. (2010). University of Wisconsin. Obtenido de Plant Teaching Collection: <https://botit.botany.wisc.edu/>

Croce, R., & van Amerongen, H. (2020). Light harvesting in oxygenic photosynthesis: Structural biology meets spectroscopy. *Science*, 369-379. doi:10.1126/science.aay2058

Drews, G., & Golecki, J. R. (1995). Structure, Molecular Organization, and Biosynthesis of Membranes of Purple Bacteria. Kluwer Academic Publishers, 231-257. doi:10.1007/0-306-47954-0_12

Gantt, E., Grabowski, B., & Cunningham Jr., F. X. (2003). Antenna Systems of Red Algae: Phycobilisomes with Photosystem II and Chlorophyll Complexes with Photosystem I. Kluwer Academic Publishers, 307-322. doi:10.1007/978-94-017-2087-8_10

Gibbons, D., Flanagan, K. J., Pounot, L., & Senge, M. O. (2019). Structure and conformation of photosynthetic pigments and related compounds. 15. Conformational analysis of chlorophyll derivatives—implications for hydrophorphyrins in vivo. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 18(6), 1479-1494.

Gros, O., Bisqué, L., Sadjan, M., Azede, C., Jean-Louis, P., & Guidi-Rontani, C. (2018). First description of a new uncultured purple sulfur bacterium colonizing marine mangrove sediment in the Caribbean: Halochromatium-like PSB from Guadeloupe. *Comptes Rendus - Biologies*, 341, 387-397. doi:10.1016/j.crvi.2018.07.001

Gruber, J. M., Malý, P., Krüger, T. P., & Grondelle, R. V. (2018). From isolated light-harvesting complexes to the thylakoid membrane: A single-molecule perspective. *Nanophotonics*, 7, 81-92. doi:10.1515/nanoph-2017-0014

Hu, X., Damjanović, A. D., Ritz, T., & Schulten, K. (1998). Architecture and mechanism of the light-harvesting apparatus of purple bacteria. *Computational Biomolecular Science*, 95, 5935-5941. doi:10.1073/pnas.95.11.5935

Hu, X., Ritz, T., Damjanović, A., Autenrieth, F., & Schulten, K. (2002). Photosynthetic apparatus of purple bacteria. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 35, 1-62. doi:10.1017/S0033583501003754

Jansson, S. (2013). Light-Harvesting Complex I and II: Pigments and Proteins The Higher Plant Light-Harvesting Antenna. *Encyclopedia of Biological Chemistry*, 726-728. doi:10.1016/B978-0-12-378630-2.00290-5

Lokstein, H., Renger, G., & Götze, J. P. (2021). Photosynthetic light-harvesting (antenna) complexes-structures and functions. *Molecules*, 26, 1-24. doi:10.3390/molecules26113378

Maity, S., Gelessus, A., Daskalakis, V., & Kleinekathöfer, U. (2019). On a chlorophyll-carotenoid coupling in LHCII. *Chemical Physics*, 526, 110439.

McLaughlin, K. (2021). *Plant Cell*. (BD, Editor) Recuperado el 28 de Marzo de 2023, de Biology Dictionary: <https://biologydictionary.net/plant-cell/>

Mirkovic, T., Ostroumov, E. E., Anna, J. M., Van Grondelle, R., Govindjee, & Scholes, G. D. (2017). Light absorption and energy transfer in the antenna complexes of photosynthetic organisms. *Chemical Reviews*, 117, 249-293. doi:10.1021/acs.chemrev.6b00002

Olson, J. (2004). The FMO protein. *Photosynthesis Research*, 80, 181-187.

Olson, J. M. (2013). Green Bacteria: The Light-Harvesting Chlorosome. *Encyclopedia of Biological Chemistry: Second Edition*, 513-516. doi:10.1016/B978-0-12-378630-2.00300-5

Orf, G. S., & Blankenship, R. E. (2013). Chlorosome antenna complexes from green photosynthetic bacteria. *Photosynthesis Research*, 116, 315-331. doi:10.1007/s11120-013-9869-3

Pan, X., Li, M., Wan, T., Wang, L., Jia, C., Hou, Z., Zhao, X., Zhang, J., Chang, W. (2011). Structural insights into energy regulation of light-harvesting complex CP29 from spinach. *Nature Structural and Molecular Biology*, 18, 309-315. doi:10.1038/nsmb.2008

Pan, X., Ma, J., Su, X., Cao, P., Chang, W., Liu, Z., Zhang, X., Li, M. (2018). Structure of the maize photosystem I supercomplex with light-harvesting complexes I and II. *Science*, 360, 1109-1113. doi:10.1126/science.aat1156

Park, S., Steen, C. J., Lyska, D., Fischer, A. L., Endelman, B., Iwai, M., Niyogi, K. K. & Fleming, G. R. (2019). Chlorophyll-carotenoid excitation energy transfer and charge transfer in *Nannochloropsis oceanica* for the regulation of photosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(9), 3385-3390. Shen, L., Huang, Z., Chang, S., Wang, W., Wang, J., Kuang, T., Han, G., Shen, J. R.,

Zhang, X. (2019). Structure of a C2S2M2N2-type PSII-LHCII supercomplex from the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116, 21246-21255. doi:10.1073/pnas.1912462116

Sherman's, A. L. (2022). PURDUE UNIVERSITY. Obtenido de B. Why Study Cyanobacteria? https://www.bio.purdue.edu/lab/sherman/grand_challenge/why_study-Cyanobacteria.html

Sirohiwal, A., Berraud-Pache, R., Neese, F., Izsák, R., & Pantazis, D. A. (2020). Accurate computation of the absorption spectrum of chlorophyll a with pair natural orbital coupled cluster methods. *The Journal of Physical Chemistry B*, 124(40), 8761-8771.

Standfuss, J., Van Scheltinga, A. C., Lamborghini, M., & Kühlbrandt, W. (2005). Mechanisms of photoprotection and nonphotochemical quenching in pea light-harvesting complex at 2.5 Å resolution. *EMBO Journal*, 24, 919-928. doi:10.1038/sj.emboj.7600585

Tani, K., Kanno, R., Kurosawa, K., Takaichi, S., Nagashima, K. V., Hall, M., Yu, L. J., Kimura, Y., Madigan, M. T., Mizoguchi, A., Humbel, B. M., Wang-Otomo, Z. Y. (2022). An LH1-RC photocomplex from an extremophilic phototroph provides insight into origins of two photosynthesis proteins. *Communications Biology*, 5, 1-11. doi:10.1038/s42003-022-04174-2

Yu, L. J., Suga, M., Wang-Otomo, Z. Y., & Shen, J. R. (2018). Structure of photosynthetic LH1-RC supercomplex at 1.9 Å resolution. *Nature*, 556, 209-213. doi:10.1038/s41586-018-0002-9

A LA VANGUARDIA DE IURE, A LA RETAGUARDIA DE FACTO. INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS EN LA EDUCACIÓN. MÉXICO

TO THE VANGUARD OF IURE, TO THE REAR GUARD OF FACTO. INTEGRATION OF TECHNOLOGIES IN EDUCATION. MEXICO

Jaime Sabines-Córdova (1*)

Alfonso Cano-Robles (2*)

Yadira Navarro-Rangel (3)

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 182-191

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0000-0002-2380-6571>
<https://orcid.org/0000-0002-9496-2301>
<https://orcid.org/0000-0001-8553-6303>

Recibido: 17. octubre 2023
Aprobado: 30 /diciembre/ 2023
Publicado: 07/ enero / 2024

1 Doctorante en DSAE Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 22 Sur, Ciudad Universitaria, Puebla, México

bve2308100@viep.com.mx
alfonso.canorobles@viep.com.mx
yadira.navarro@viep.com.mx

Resumen

La integración de las tecnologías a los procesos educativos emerge como un elemento crucial a nivel global, desempeñando un papel fundamental en el desarrollo profesional de los individuos. Este fenómeno se manifiesta, en el enriquecimiento de los procesos formativos, el fortalecimiento de los medios de divulgación y el respaldo constante a la investigación científica. La observación de cómo los organismos internacionales promueven la inclusión y aplicación de avances tecnológicos en las políticas educativas nacionales se erige como un componente esencial y coadyuvante del progreso educativo tanto a nivel nacional como internacional. México se ha destacado desde la década de los años 80 por su participación activa en el diseño de políticas y programas que incorporan las tecnologías, consolidándose como uno de los países de avanzada que incorporan, a sus ordenamientos jurídicos y legales, los proyectos techno educativos. Sin embargo, es lamentable constatar que todos estos esfuerzos han experimentado limitaciones significativas debido a la falta de una visión integral en la implementación y uso de las tecnologías en el ámbito educativo. Así, esta carencia se evidencia no solo en la ausencia de un seguimiento presupuestal e institucional adecuado. Por ello, la afirmación discrepante de que los proyectos educativos que usan tecnologías en México se encuentren a la vanguardia de iure, pero a la retaguardia de facto, a decir, en los hechos se evidencian numerosas circunstancias que impactan negativamente en la materialización de estos nobles propósitos.

Palabras clave: Integración tecnológica, tecnología educativa, desarrollo profesional, discrepancia entre iure y facto.

ABSTRACT

The integration of technologies into educational processes emerges as a crucial element at a global level, playing a fundamental role in the professional development of individuals. This phenomenon is manifested in the enrichment of training processes, the strengthening of the means of dissemination and the constant support for scientific research. The observation of how international organizations promote the inclusion and application of technological advances in national educational policies stands as an essential component and contributor to educational progress both nationally and internationally. Since the 1980s, Mexico has stood out for its active participation in the design of policies and programs that incorporate technologies, consolidating itself as one of the advanced countries that incorporate techno-educational projects into its legal and legal systems. However, it is unfortunate to note that all these efforts have experienced significant limitations due to the lack of an integrated vision in the implementation and use of technologies in the educational field. Thus, this lack is evident not only in the absence of adequate budgetary and institutional monitoring. For this reason, the discrepant statement that educational projects that use technologies in Mexico are at the forefront de iure, but at the rear de facto; that is to say, in reality numerous circumstances are evident that negatively impact the materialization of these noble purposes.

Keywords: Technological integration, educational technology, professional development, discrepancy between iure and facto.

Introducción

Revelar la importancia y los resultados de su aplicación en México a lo largo de cuarenta años, no solo testimonian que la integración de TIC en educación ha estado a la vanguardia de iure y a la retaguardia de facto; sino que posibilitará mejorar los procesos y coadyuvar con una integración exitosa al considerar los componentes que -en los hechos- la harían posible, a decir, claridad en los objetivos, voluntad y honestidad político-administrativa.

La Organización de Naciones Unidas (ONU), señala que existen 195 países en el mundo, de estos, muchos comparten perspectivas y visiones como la promoción de una educación de calidad o la cooperación para el uso de tecnologías en la educación; actos reflejados en programas y planes de acción que solucionen las problemáticas detectadas en el sector educativo de su interés.

En México, se reconocen las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y su integración a la educación, como un componente de oportunidad para mejorar la calidad de la educación y facilitar los procesos de enseñanza-aprendizaje, mediante el uso deliberado y efectivo de las TIC; y si bien los esfuerzos gubernamentales, evidenciados desde hace más de cuatro décadas en México, son vastos y colocan el tema a la vanguardia en el escenario nacional, estos son insuficientes en los hechos. El dilema entre vasto e insuficiente radica en la aplicación práctica, pero deficiente, de la integración de las TIC a la educación; por ello, el título del presente escrito refleja la posición del escritor, quien pretende, a través de un recorrido histórico lineal, mostrar tanto esfuerzos de integración como resultados.



La integración tecnológica dinámica y vigente, reviste relevancia en las agendas internacionales y nacionales (SEP, 2023a) puesto que impacta en las sociedades al disminuir la brecha digital, incrementar el acceso global al conocimiento y entre otros objetivos, beneficiar “en temas como la cobertura, el desempeño académico, la gestión institucional, y en general, en el mejoramiento de la calidad educativa” (Nolasco, 2016, p.2).

El abordaje central del tema tendrá un enfoque de lo general a lo particular, es decir, a través de la presentación se partirá con una acometida temporal de esfuerzos realizados en México, que van desde planteamientos en las políticas, planes y legislación nacionales, hasta los proyectos y operaciones más destacadas de integración tecnológica a la educación; etapa seguida de algunos de los resultados y de las conclusiones que ayudarán al lector a visualizar los puntos clave de la temática.

La coyuntura legal

Como parte de las políticas educativas en México, se exterioriza el deseo y la necesidad de formar docentes de manera inter y multidisciplinaria, haciendo uso de las tecnologías para la educación en todos los niveles educativos. Aspiración que se fundamenta en los artículos tercero y décimo cuarto transitorio de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Cámara de Diputados, 2023); en los ejes del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2024 (DOF, 2019); y en la aplicación del Objetivo 4 de la Agenda 2030

para el desarrollo sustentable, mismo que señala la necesidad de “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (ONU, 2018).



Los deseos y necesidades por integrar las tecnologías en la educación y capacitar a la población estudiantil y docente no son nuevos, ya que, por más de cuatro décadas (ver Tabla 1), las pasadas administraciones gubernamentales han realizado labores para lograr dichos propósitos; sin embargo, no se debe olvidar que aunque han sido esfuerzos extensos, se han mostrado insuficientes y deficientes en su aplicación y resultados, respectivamente.

Por lo anterior, es preciso señalar algunos de los programas que, de acuerdo con la SEP (2023a, pp.41-51), marcaron la evolución de este deseo. No sin antes señalar que para el año 2020, la exigencia-deseo se agudiza y las instituciones educativas y centros formativos mexicanos, que con fundamento en el artículo 31 de la Ley General de Educación (Cámara de Diputados, 2019), configuran -acorde con SEP (2023b)- el Sistema Educativo Nacional (SEN); reflexionan sobre las experiencias pasadas, observan las deficiencias, plantean objetivos y desarrollan nuevas estrategias, de las que surge la Agenda Digital Educativa que a través de cinco ejes rectores, pretende favorecer la gestión de las Tecnologías de la Información, Comunicación, Conocimiento y Aprendizaje Digitales (TICCAD) en el SEN.



Los esfuerzos locales

En respuesta al auge mundial sobre el uso de computadoras personales (PCs), el gobierno mexicano cerró en 1984 la frontera al comercio de PCs y ejecutó, a través de la ya extinta, Subsecretaría de Educación e Investigación Tecnológica (SEIT) el proyecto MicroSEP; que tuvo como objetivo la formación del profesorado, el suministro de ordenadores en las aulas y mantenimiento de computadoras para apoyar la investigación e industria nacional; se proyectó la inserción de más de 100 mil computadoras en nivel básico encargando el diseño a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV).



Le siguió el proyecto COEEBA-SEP de 1985-1992, que tuvo como objetivo la introducción de la disciplina de Computación Electrónica en la Educación Básica, de ahí sus siglas, con un éxito relativo, pues abarcó gran extensión de las secundarias del país. Para 1994 y como iniciativa del Instituto

Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE) y de la Secretaría de Educación Pública, surge la Red Edusat de telesecundaria satelital, y un año más tarde, la Red Escolar; ambos proyectos buscaban ampliar la cobertura educativa y equipar a planteles educativos con tecnologías, objetivos logrados por su constante reinversión, situación que permite que sigan operativos en la actualidad.

Continuando con los esfuerzos, se crea el programa Enciclomedia en 2003, establecido como un sistema educativo en línea que interactuaba con contenidos educativos digitales a nivel primaria; prosiguió el programa de Educación Superior Abierta y a Distancia (ESAD) que fue concebido en el año 2009 como un modelo educativo que operó con la plataforma tecnológica denominada SEP@prender y el Sistema de Gestión Escolar (SIGE), mismo que albergaría en primera convocatoria a más de 34 mil candidatos: empero, para el año 2011 el programa Enciclomedia que había mostrado inconsistencias, fue reconvertido al programa Habilidades digitales para todos, último que volvió a dotar las aulas con hardware, software, materiales y herramientas educativas, permitiendo el acceso exitoso a las aulas telemáticas.



En el 2012 se crea la Universidad Abierta y a Distancia de México (UNADM) para respaldar, asentar y consolidar al programa ESAD que, para 2019 ya había acrecentado la matrícula a más de 62 mil estudiantes, 1,325 docentes y 20 licenciaturas; un año después, se realiza la entrega de Laptops y tablets

a estudiantes de 5° y 6° de primaria a través del programa Mi Compu.Mx; mismo que, bajo el programa Piloto de Inclusión y Alfabetización Digital (PIAD), dotó con más de 240 mil equipos (con contenidos educativos precargados) a niños, docentes, supervisores y directivos, de escuelas públicas de tres estados de la república. El mismo año se estableció en comunidades remotas el modelo de Telebachillerato Comunitario que aprovechó las instalaciones de las telesecundarias y albergó, para 2017, a 139 mil estudiantes en 3,310 planteles.

La Prepa en Línea-SEP surge en 2014 y brinda un servicio educativo a nivel nacional en modalidad no escolarizada; pasados siete años registró en su numeralía, 3,151 asesores virtuales y una matrícula de 192 mil estudiantes, de los cuales un 10% han recibido certificado terminal de estudios. En 2015, continuó el desarrollo de la plataforma de cursos abiertos masivos en línea (MOOC) denominada MéxicoX que permite acreditar cursos de alto nivel y exigencia académica, avalados por instituciones educativas de prestigio de manera gratuita y con un precio mínimo por certificación, este último aspecto, opcional para el usuario.

Finalmente, la integración de TIC a los procesos educativos se ve abanderada en la actualidad con la Agenda Digital Educativa, que establece los siguientes ejes de acción y los destaca como asuntos relevantes, a decir:

- 1) Formación docente, actualización y certificación profesional en habilidades, saberes y competencias digitales;
2. Construcción de una cultura digital en el SEN: alfabetización, inclusión y ciudadanía digitales;
3. Producción, difusión, acceso y uso social de recursos educativos digitales, de enseñanza y de aprendizaje;
4. Conectividad, modernización y ampliación de la infraestructura TICCAD; y
5. Investigación, desarrollo, innovación y creatividad digital educativa. (SEP, 2023, pp.59-64).



Los resultados y problemáticas detectadas

Cabe destacar que la revisión de la aplicación de los programas y proyectos que integran tecnología a los procesos educativos; reportados desde los años 80 del siglo pasado hasta nuestros tiempos; registra una clara tendencia para dotar a las instituciones educativas, desde el aula hasta los entornos virtuales y plataformas educativas. Así como de equipamiento tecnológico y materiales educativos que permita lograr sus fines. Esto ha evidenciado que el abastecimiento de computadoras o tecnologías educativas a los actores del proceso educativo, a decir, instituciones, docentes y estudiantes, no significa el alcance de los objetivos. Ya que obviar el potencial educativo de las TIC en dichos procesos y no capacitar a los individuos que intervienen en la educación mediada tecnológicamente, conduce a cualquier proyecto de este tipo, en términos de implementación y eficacia, al fracaso. (ver Tabla 1).

Visible es el deseo de mejorar la calidad educativa, abatir rezagos sobre el alfabetismo y acortar la brecha digital. Así como responder internacionalmente a los objetivos de desarrollo sostenible a nivel educativo, construir aprendizajes significativos, impulsar la utilización de tecnologías educativas y muchos más propósitos en pro del sector educativo. No obstante, y a pesar de contar con una legislación y políticas educativas de avanzada, es

la planificación inadecuada, la falta de voluntad política, la desatención o falta de consideración de las opiniones de expertos para el correcto uso de las TIC en la educación. La prevalencia de intereses políticos o económicos antes que educativos, o la falta de orientación pedagógica, seguimiento y supervisión a los proyectos, los componentes que hacen que esa vanguardia de iure se configure como la retaguardia de facto.

Por lo anterior y a manera de compendio, se podrá observar en la Tabla 1, el esquema de las acciones gubernamentales para la integración tecnológica a los procesos educativos a lo largo del tiempo: los objetivos planteados para cada uno de estos proyectos, los resultados obtenidos y las problemáticas de cada una de estas, acotando que, los dos componentes últimos fueron escasamente reportados por las autoridades.



Conclusiones

Se ha observado que las acciones en materia de integración tecnológica a los procesos educativos por parte de los gobiernos en México, desde hace más de cuatro décadas, son muy vastas en pretensiones, a decir, cada administración pública se muestra con gran apetito para diseñar iniciativas legales, planes y proyectos que permitan cumplir los objetivos educativos establecidos para el sector; empero, dichas acciones evidencian múltiples factores que impiden alcanzar dichos propósitos.

De manera sintética, se advierten como factores obstaculizantes las carentes o disminuidas visiones estratégicas en la planeación e implementación de cada proyecto; no se otorga la debida importancia al desarrollo adecuado de software, hardware o de tecnologías educativas ni a los conocimientos y habilidades necesarios para el dominio de estos elementos; se desconocen las necesidades técnicas, de infraestructura y educativas de los lugares destino de los proyectos. Es notorio y urgente que, las acciones de integración tecnológica a los procesos educativos, considere los componentes de infraestructura, de servicios básicos y de conectividad; el acoplamiento de contenidos acordes y relevantes para cada comunidad; que no obvie la capacitación docente; el soporte y mantenimiento de la infraestructura instalada; el monitoreo y seguimiento continuo del programa o proyecto. Es preciso atender la pretensión para que cada proyecto sea sostenible y autogestionable con el tiempo, y que este no dependa de una inyección constante de capital; reparar sobre la seguridad en la protección de datos personales de los usuarios, y entre otros factores, evaluar y garantizar la accesibilidad para todas las personas.

Resultados de los programas de integración de TIC a los procesos educativos				
No.	Programa / Referencia	Año(s) de Operación	Objetivos	Resultados y problemáticas detectadas
1	MicroSEP (I.LCE, 2023a)	1984	Formación del profesorado; suministro de ordenadores en las aulas; y mantenimiento de computadoras.	Desconocimiento sobre la importancia del desarrollo de software; desatención de requerimientos de equipos para la educación; simulación, no se diseñaron y construyeron las PCs, se amaron a partir de patentes extranjeras; y se cubrió solo el 4% de los objetivos.
2	COEBA-SEP (I.LCE, 2023b)	1985-1992	Introducir la disciplina de Computación Electrónica en la Educación Básica.	Cambios de planes y programas de estudio; y modelo conductista no adecuado a las necesidades.
3	Red Educat (Gobierno de México, 2023)	1994 - actualidad	Mejorar la calidad educativa; y abatir el rezago educativo con programas que sirvan de apoyo didáctico a los docentes en servicio, así como programas curriculares que se transfieren para niveles educativos de educación básica, media superior y superior.	Planteles de telesecundaria ascendente que ha pasado del 8% en 1980 a más del 54% en el año 2000.
4	Red Escobar (I.LCE, 2023c)	1995 - actualidad	Impulsar el intercambio de información y el uso de nuevos canales de comunicación.	80 mil planteles equipados y con internet; y más de 100 centros de tecnología educativa.
5	Enciclopedia (SEP, 2023c; p.11)	2003 - 2011	Contribuir a mejorar la calidad de la educación; ofrecer a alumnos y maestros fuentes de información diversas y actualizadas, así como herramientas para construir un aprendizaje más significativo en salón de clases; y fomentar conocimientos, habilidades, aptitudes y valores que permitan la integración armónica y respetuosa entre alumnos de comunidades urbanas, rurales, indígenas y niños con capacidades especiales.	Instalación en más de 134 mil aulas; no se consideró la inclusión para el acceso a todos los estudiantes; capacitación docente escasa; y carencias básicas de servicios, como la electricidad en los salones.
6	Educación Superior Abierta y Distancia (ESAD) (SES, 2023)	2009	Impulso de la educación abierta y a distancia con criterios y estándares de calidad e innovación permanentes y con especial énfasis en la atención de regiones y grupos que carecen de acceso a servicios educativos.	Fallas técnicas en aulas virtuales; maltrato a trabajadores; problemas de acceso; procesos administrativos burocráticos; y deficiencias en contenidos programáticos.
7	Habilidades digitales para todos (SEP, 2009; p.8)	2011	Contribuir a mejorar el aprendizaje de los estudiantes de educación básica promoviendo el manejo de TIC en el sistema educativo mediante el acceso a las aulas telemáticas.	Escasidad en las reglas de operación; mala administración; y descontinuación del programa con su entorno.
8	Universidad Abierta y a Distancia de México (UNADM) (UNADM, 2023)	2012	Prestar servicios educativos de tipo superior, en la modalidad no escolarizada de manera abierta y a distancia, mediante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, respaldados en redes de conocimiento, tecnológicas y administrativas, y cuyas características sean la flexibilidad, la calidad y la pertinencia.	Alta deserción; fallas técnicas en aulas virtuales; maltrato y violación derechos laborales; problemas de acceso; procesos administrativos burocráticos; y deficiencias en contenidos programáticos.
9	Mi ComputaMe (Gobierno de México, 2013)	2013 - 2014	Dotar de una computadora portátil a todos los niños de quinto y sexto grados de primaria de escuelas públicas en los estados de Colima, Sonora y Tabasco.	Falta de formación docente; desvinculación de los contenidos (enciclopédicos) con los programas de asignatura y libros de texto; falta de apoyo técnico; carencia de internet en las instalaciones educativas; y venimiento lógico.
10	Telebachillerato Comunitario (DGB, 2013)	2013 - actualidad	Ofrecer servicios de Educación Media Superior a comunidades rurales más apartadas del país que cuenten con menos de 2,000 habitantes, y que no dispongan de servicio de bachillerato en un radio de 5 kilómetros.	Poca focalización en temas académicos; y debilidades en la formación de sus profesores.
11	Prepa en Línea-SEP (SEP, 2014)	2014 - actualidad	Abrir las oportunidades educativas con calidad y equidad.	Problemas administrativos y laborales; acceso, equidad, igualdad e inclusión; y aprendizaje autónomo falta de adaptación.
12	MéxicoX (SEP, 2015)	2015 - actualidad	Entender la oferta educativa de calidad en México a nivel nacional e internacional que sea complementaria a la educación formal, sin importar la condición social, género o nivel de estado, y fomentar en planes la investigación en temas específicos con la finalidad de afianzar el autoaprendizaje.	Adaptación digital; certificación de estudio condicional por obtener del curso; delimitada mayormente con poca interacción; y foros de discusión con participaciones irrelevantes por el número de participantes.
13	Agenda Digital Educativa (SEP, 2023a)	2020 - actualidad	Integrar y planificar las políticas públicas relacionadas con las tecnologías de la información, comunicación, conocimiento y aprendizaje digitales en el Sistema Educativo Nacional.	Aún sin registro

Tabla 1. Resultados de los programas de integración de TIC a los procesos educativos.

Fuente: Elaboración propia con base en fuentes indicadas en tabla.

Conflicto de intereses

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

Declaración de privacidad

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

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

Agradecimientos

Este proyecto es posible gracias al apoyo del CONAHCYT y al Doctorado en Sistemas y Ambientes Educativos de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, particularmente a los doctores Yadira Navarro Rangel y Alfonso Cano Robles.

REFERENCIAS

- Cámara de Diputados. (2019). Ley General de Educación. Nueva Ley DOF 30-09-2019. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGE.pdf>
- Cámara de Diputados. (2023). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Última Reforma DOF 06-06-2023. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- DGB. (2013). Telebachillerato Comunitario. Dirección General de Bachillerato, Gobierno de México. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/4a2fuf0>
- DOF. (2019). PLAN Nacional de Desarrollo 2019-2024. Diario Oficial de la Federación de México: 12/07/2019. Recuperado 23 de septiembre de 2023, de <https://qrcd.org/3gxa>
- DOF. (2020). ACUERDO por el que se expide el Programa Institucional 2020-2024 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Diario Oficial de la Federación de México: 23/06/2020. Recuperado 23 de septiembre de 2023, de: <https://qrcd.org/3gxX>
- DOF. (2023). DECRETO por el que se expide la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, y se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales y de la Ley de Planeación. Recuperado 23 de septiembre de 2023, de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019&print=true
- Gobierno de México. (2013). ¿En qué consiste el programa Mi Compu.Mx?. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3Gwi4wc>
- Gobierno de México. (2023). Red EduSAT. Dirección General @prende.mx. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://aprende.gob.mx/red-edusat/>
- ILCE. (2023a). MicroSEP México. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <http://investigacion.ilce.edu.mx/st.asp?id=2356>
- ILCE. (2023b). PROYECTO COEEBA SEP. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: http://tyce.ilce.edu.mx/tyce/6/TecyComEduNo06_A03.pdf
- ILCE. (2023c). Red Escolar. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://redescolar.ilce.edu.mx/>
- ONU. (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago. Recuperado el 9 de septiembre de 2023, de: <https://qrcd.org/3gxb>
- SEP. (2009). Programa: Habilidades digitales para todos. SEP. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3T8qHVr>
- SEP. (2014). Prepa en línea-SEP. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3sZvnlY>
- SEP. (2015). MéxicoX. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://mexicox.gob.mx/>
- SEP. (2023a). Agenda Digital Educativa. Recuperado el 19 de septiembre de 2023, de: <https://bit.ly/47DAZ4s>
- SEP. (2023b). Conoce el Sistema Educativo Nacional. gob.mx. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3N78jll>
- SEP. (2023c). Enciclomedia. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3t0ldkZ>

SES. (2023). Programa de Educación Superior Abierta y a Distancia. SEP. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/3N9nGAq>

UNADM. (2023). Objetivos. Universidad Abierta y a Distancia de México. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de: <https://bit.ly/413HGKo>

USO DE UNA RED NEURONAL EN LA DETECCIÓN DE TRANSACCIONES FRAUDULENTAS REALIZADAS SOBRE UNA PLATAFORMA EN LÍNEA

USE OF A NEURAL NETWORK IN THE DETECTION OF FRAUDULENT TRANSACTIONS CARRIED OUT ON AN ONLINE PLATFORM

Guillermo De Ita Luna
Diego Saldaña Ulloa*

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 192-203

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0009-0004-1428-6625>
<https://orcid.org/0000-0001-7948-8253>

Año 10 No. 28

Recibido: 31/mayo/2023

Aprobado: 30/noviembre/2023

Publicado: 30/enero/2024

Facultad de Ciencias de la Computación, Edif. CCO1 – 14 Sur y
Av. Sn. Claudio, C.U.
Doctorado en Ingeniería del lenguaje y del conocimiento
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
guillermo.deita@correo.buap.mx
diego.ulloa13@hotmail.com

Resumen

El problema de los fraudes cibernéticos ha ido en aumento y es ya una problemática económica para las empresas que usan pagos electrónicos. Se han propuesto modelos y algoritmos dentro del área del aprendizaje automático con la finalidad de detectar patrones en las transacciones digitales que pudiesen exhibir las transacciones fraudulentas. Explicamos aquí una propuesta del uso de redes neuronales que usan estructuras de grafos para modelar y realizar la clasificación de usuarios fraudulentos.

Palabras clave: Aprendizaje automático, red neuronal de grafos, detección de fraude, transacciones en línea.

ABSTRACT

The problem of cyber fraud has been increasing and is already an economic problem for companies that use electronic payments. Models and algorithms have been proposed within machine learning to detect patterns in digital transactions that could exhibit fraudulent transactions. Here, we suggest using neural networks that use graph structures to model and classify fraudulent users

Keywords: Machine learning, Graph neural network, Fraud detection, Transactions on line.

Introducción

En un proceso antagónico, los defraudadores continúan buscando diferentes formas de allegarse de recursos mal habidos, mientras que el sistema legal intenta reconocer y proteger al público de las transacciones fraudulentas.

Con el advenimiento de las compras por internet, surgió todo un sistema de defraudación digital donde se aplican diferentes mecanismos. Desde el engaño vía páginas web falsas, suplantaciones de identidad donde se espera que el usuario digital sea quien realiza las primeras transacciones vía el engaño. Hasta los fraudes donde el usuario ya no es el que realiza las primeras transacciones que llevan al fraude, dado que, más bien, sufrió del robo de su información personal sin que participara de forma directa en el proceso de robo de su información.

En este último caso, existe una red oscura donde se comercializan datos para aquellos cibercriminales que buscan acceder a datos confidenciales del usuario digital. O bien, grupos de cibercriminales, o hackers solitarios, que se quieren allegar de aquella información crítica de usuarios para realizar fraudes cibernéticos.

En este artículo trataremos solo de uno de este tipo de sistemas fraudulentos, y comentaremos algunas de las estrategias digitales que se están usando en busca de reconocer y detener los movimientos digitales fraudulentos. Habremos de comentar, que la propuesta presentada es parte de los trabajos en la aplicación de algoritmos de aprendizaje que se están realizando recientemente en la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Trataremos en este artículo de las

llamadas transacciones monetarias digitales fraudulentas. Las transacciones digitales que se realizan a través de la banca en línea, las compras por internet y las transferencias monetarias vía sistemas de pago digitales son las principales fuentes del intento de cibercriminales por realizar transacciones falsas que les reditué en ganancia monetaria.

Con el acceso a las apps proporcionadas por las principales instituciones bancarias, las apps de la nueva industria llamada Fintech (empresas relativamente nuevas que utilizan la tecnología digital para brindar servicios financieros), o incluso cualquier plataforma digital en línea, se ha incrementado la industria de los fraudes en las transacciones digitales. El fraude transaccional en las plataformas digitales puede resultar del uso no autorizado de tarjetas bancarias y del acceso a cuentas de usuarios para realizar transacciones no autorizadas. Estos procesos generalmente se originan fuera de las plataformas digitales, mediante la venta de información bancaria (producto de hackeos a estas entidades) o en foros ilegales como en la red oscura.

Otro sector que también participa en este tipo de transacciones es el comercio online, es decir, empresas dedicadas a prestar un servicio no financiero que utiliza métodos de pago digitales. Este fenómeno afecta no solo a comercios o entidades financieras, sino también a usuarios de plataformas digitales debido a la vulnerabilidad de la información o situaciones en las que el dinero robado tiene que ser reintegrado por el mismo usuario. Las pérdidas económicas globales acumuladas por esta situación fueron de 38 mil millones de dólares americanos para el cierre de 2023. Además, las tendencias indican que para 2028, la cantidad aumentará a

362 mil millones de dólares americanos (Malone, 2023).

En el caso de fraude debido al acceso no autorizado a cuentas de usuarios, las causas pueden ser diversas. Desde vulnerabilidades informáticas en el lado comercial que se aprovechan para extraer información de acceso a cuentas, robo de dispositivos de usuario (que contienen acceso a cuentas digitales), hasta programas maliciosos que infectan los dispositivos de los usuarios para extraer información personal. Una vez que el acceso a una cuenta se ha visto comprometido, existe el riesgo de que se realicen transacciones fraudulentas.

Actualmente, las empresas absorben la mayor parte de las pérdidas monetarias a medida que los bancos les transfieren esta deuda. Si no se aborda el problema, la empresa puede adquirir una gran cantidad de deuda debido a este tipo de transacciones. Además, la reputación empresarial se ve afectada en diferentes niveles, desde la perspectiva social hasta los mecanismos implementados por los bancos que perjudican la tasa de aceptación de las transacciones comerciales.

El fenómeno de las transacciones fraudulentas ha provocado que las entidades que utilizan pagos online establezcan medidas para combatir este comportamiento. Entre las herramientas digitales que han permitido tener resultados sobresalientes en la detección y prevención de transacciones fraudulentas, ha sido el modelado matemático de las transacciones digitales, por ejemplo, usando grafos, y el uso de algoritmos de aprendizaje automático para reconocer patrones en los modelos gráficos que caracterizan transacciones fraudulentas.

Grafos

El origen de la palabra grafo es griego y su significado etimológico es 'trazar'. Un grafo se refiere a un conjunto de entidades (aristas y vértices) que puede ser utilizado para modelar relaciones entre ellos. Los grafos tienen utilidad al analizar problemas de diversa índole (ciencias sociales, química, física, biología, etc.), en donde aristas y vértices adquieren diferentes significados dependiendo del área de estudio. Un grafo puede considerarse como un objeto geométrico, aunque en realidad es un objeto combinatorio, es decir, se conforma por un conjunto de puntos (vértices) y un conjunto de líneas (aristas) que conectan a esos puntos.

Formalmente, un grafo se define como un par ordenado formado de vértices y aristas, en donde ambos son un conjunto de elementos numerables. El tamaño del grafo se determina de acuerdo al número de vértices. Las aristas expresan relaciones entre vértices.

Un grafo puede ser dirigido si las aristas poseen una dirección (las aristas conectan un vértice fuente con un vértice destino). Un grafo no dirigido corresponde al caso donde no existe distinción en el orden de conexión. Por otro lado, se pueden obtener particiones de los vértices y aristas que forman un grafo de tal forma que estos elementos forman una representación más pequeña del grafo original. Esto es llamado un subgrafo y es un concepto útil, ya que en ocasiones se necesita operar solo sobre subgrafos de un grafo principal.

Los grafos tienen dos tipos de representación tomando en cuenta la información para construir el grafo, esto es, mediante una matriz de adyacencia o una lista de adyacencia. La Figura 1 muestra

un ejemplo de ambos tipos de representación. La matriz de adyacencia es una tabla en donde las filas y columnas dan como referencia la conexión entre vértices de un grafo. Por otro lado, las listas de adyacencia, como su nombre lo indica, son listas que almacenan los vértices adyacentes unos de otros. Ambos tipos de representación pueden ser útiles al momento de implementar algoritmos basados en grafos.

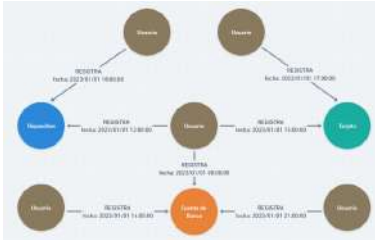


Figura 1. Ejemplo esquemático de un grafo temporal (TG) con la información que consideramos. Para este trabajo, siete diferentes tipos de grafos se construyeron. Aquellos con solo un tipo de evento de interacción (por ejemplo registro de tarjeta) contienen como tipos de vértices a Usuarios y Tarjetas. En esta figura el grafo corresponde a un registro de tarjeta-dispositivo-cuenta de banco.

Los grafos permiten representar objetos matemáticos y sus relaciones, por ejemplo, representar relaciones binarias, la topología de redes de carreteras o de enlaces ferroviarios, redes aéreas, o la red eléctrica de una localidad. Los grafos han permitido modelar, visualizar y analizar problemas de diferentes índoles. En nuestro caso, hemos utilizado la estructura de grafos para representar transacciones digitales que se realizan a través de una plataforma online. Por ejemplo, en nuestro modelo de grafos, los vértices representan; usuarios, dispositivos, direcciones de IP, tarjetas y cuentas bancarias.

Normalmente se asocian etiquetas para identificar cada uno de los vértices y aristas en un grafo. Pero además, de-

pendiendo de la aplicación, es posible asociar a cada uno de los vértices del grafo un vector de características que representa el estado actual de ese vértice. Similarmente, para cada una de las aristas del grafo se le puede asociar también un vector de características. Por ejemplo, asociar a cada arista información estructural sobre la transacción representada por la arista. Así, los grafos son estructuras de datos no lineales que tienen una naturaleza generalmente dinámica.

En la Figura 2 se ilustra una vista parcial del grafo que modela las transacciones digitales que pueden realizarse en una plataforma de pago en línea.

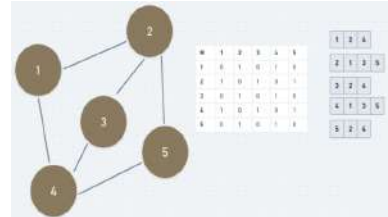


Figura 2. Matriz de adyacencia (izquierda en blanco) y lista de adyacencia (derecha en gris) de un grafo.

En nuestra aplicación, se desea estudiar la topología de cada una de las transacciones fraudulentas. Es por esto que necesitamos usar el concepto de vecindad de un vértice v que se define, para grafos dirigidos, como todos los vértices adyacentes al vértice v . Diremos que un grafo es bipartito si puede dividirse en dos subconjuntos de forma que cada arista tiene a sus vértices extremos en un subconjunto distinto.

Además de lo anterior, los grafos pueden dividirse dependiendo de las características que los definen. Por ejemplo, si el grafo posee un conjunto de diferentes tipos de vértices y diferentes tipos de aristas, es llamado un grafo heterogéneo. En contraposición,

grafos con un único tipo de vértice y arista se definen como grafos homogéneos. Dentro de los grafos heterogéneos podemos encontrar a los grafos bipartitos mencionados anteriormente. En general los grafos heterogéneos tienen un gran número de aplicaciones en la vida cotidiana, desde interacciones sociales para modelar fenómenos económicos, sistemas de recomendación de compras en línea, hasta el mismo proceso de detección de fraude tratado en este trabajo.

De manera adicional a la clasificación anterior, los grafos también pueden ser del tipo cuyos elementos están asociados a marcas temporales, es decir, existe una secuencia temporal sobre la forma en que vértices y aristas se conectan entre sí. Este tipo de grafos son llamados grafos dinámicos. Corresponden a un tipo más general de grafos, a su vez, los grafos dinámicos pueden ser homogéneos o heterogéneos.

Redes Neuronales

Las redes neuronales son un conjunto de algoritmos que tienen como finalidad el aproximar alguna función, tomando en consideración una serie de datos de entrada, de tal modo que con base a esa información se identifique que función podría generalarlos. Esta es una forma sencilla de entender a una red neuronal, sin embargo, de manera histórica el término se concibió como una analogía al funcionamiento de las neuronas, formando redes y conexiones entre sí para el intercambio de información.

De manera típica, una red neuronal está formada por el encadenamiento de múltiples funciones, de ahí el por qué recibe el nombre de red. Cada una de estas funciones es llamada capa de la red y son comúnmente conocidas como

redes neuronales multicapas. El término “neuronal”, en analogía a las neuronas del cerebro, se debe a que cada uno de los datos de entrada se asocia al concepto de neurona. De esta forma, las neuronas intercambian esta información mediante las diferentes capas (funciones) de esta red.

Para poder obtener la aproximación de esta función, las redes neuronales necesitan de un conjunto de datos de los cuales aprender o extraer información. El método mediante el cual una red neuronal lleva a cabo este proceso se denomina entrenamiento. Durante el entrenamiento, los parámetros de las funciones que forman parte de la red se inicializan y los datos de entrada se procesan por cada una de estas funciones hasta obtener un resultado. Este resultado es comparado con el resultado real, de tal modo que se puede obtener un error o diferencia entre ambos. El algoritmo continúa mediante el método llamado propagación hacia atrás, en donde los parámetros de cada función se modifican tomando en consideración la retroalimentación debida a los resultados predichos y los resultados reales. Esta retroalimentación hace que durante la siguiente iteración del algoritmo, los resultados predichos se vayan acercando cada vez más a los resultados reales.

La forma específica en que están organizadas la secuencia de operaciones en una red neuronal se denomina arquitectura. Existen diferentes tipos de arquitecturas de redes neuronales, sin embargo, existen algunas que están plenamente identificadas y que se ha probado que funcionan para procesar la información de diferentes fuentes (por ejemplo texto, imágenes o datos estructurados como tablas).

Se pueden clasificar las redes neuronales de acuerdo a su arquitectura. Por ejemplo, las redes neuronales convolucionales (LeCun, Bengio, Hinton, 2015) generalmente se utilizan en tareas que implican imágenes. Esto es debido a que las convoluciones (operaciones de transformación) ayudan a hacer más eficiente el procesamiento y a su vez generalizan conceptos como la dependencia de los datos sobre su vecindario. En el caso de las imágenes los datos de entrada corresponden a los valores de los píxeles, entonces existe una dependencia de unos píxeles respecto de la información de sus píxeles vecinos). También se tienen las redes neuronales formadas por más de una capa, estas son llamadas redes neuronales profundas. Este tipo de redes son las de interés para el área de aprendizaje profundo.

Otro tipo de arquitectura de red neuronal son las llamadas redes neuronales recurrentes (Jordan, 1986; Rumelhart, Hinton, Ronald, 1985; Hochreiter, Schmidhuber, 1997) que están enfocadas en el procesamiento de datos secuenciales, por ejemplo, texto o información estructurada de manera histórica (clima, información económica, etc.). Las redes neuronales recurrentes son llamadas de esta manera porque aplican operaciones de manera recursiva sobre sí misma, de esta manera también son útiles para tener un tipo de contexto sobre los datos de entrada. Por ejemplo, en tareas de texto donde el contexto de una frase u oración son de suma importancia, de igual manera en tareas de pronósticos temporales. Los transformadores son otro tipo de arquitectura basada en mecanismos de atención (Vaswani, et al, 2017). Generalmente este tipo de arquitecturas trabajan sobre datos de texto. Los mecanismos de atención ayudan a mejorar el proceso del contexto de

la información ya que otorgan mayor o menor importancia a las secuencias de información.

De esta forma, las redes neuronales se pueden aplicar para diferentes propósitos que van desde la clasificación de imágenes, detección de rostros, sistemas de recomendación, generación o clasificación de texto, entre otras aplicaciones. En nuestro caso, nos interesa aplicar las redes neuronales para realizar un proceso de clasificación automática de transacciones fraudulentas, esto mediante el uso de información relacionada al comportamiento de un usuario.

Por ejemplo, un enfoque sencillo consiste en utilizar algoritmos de machine learning convencionales (como árboles de decisión o redes neuronales), obtener características extraídas de un grafo y combinarlas con otro tipo de características relacionadas a transacciones. Sin embargo, a pesar de utilizar información extraída directamente del grafo, este enfoque falla en considerar la información estructural del contexto del vecindario de vértices y aristas, es decir, a qué tipos de vértices o aristas están conectados unos con otros.

Para la detección de transacciones fraudulentas, entre las técnicas del área de aprendizaje automático que han obtenido mejores resultados, se encuentran las redes neuronales que usan estructuras de grafos (Zhao, Fu, Wu, Li, & Li, 2019) para la detección de transacciones fraudulentas dentro de un sistema de grafos que modele transacciones digitales.

El aplicar algoritmos de aprendizaje tiene la intención de detectar particularidades, que en el área de aprendizaje automático se le llama: 'reconocer patrones'. La idea es identificar qué pa-

trones pueden exhibir las transacciones fraudulentas. Así, por ejemplo, a través del análisis de todo tipo de transacciones, se quiere características como: tipos de cuentas, tipos de compras, tipos de usuarios, etc. Que son los que pueden llegar a tener relación como parte de un proceso fraudulento. El análisis incluye comparar transacciones válidas versus fraudulentas e identificar los patrones más comunes que tienen estas últimas. Este análisis no es sólo de tipo estadístico, sino precisamente los algoritmos de aprendizaje permiten correlacionar diferentes atributos asociados a las transacciones con la clase de fraudulentas, en búsqueda de los patrones subyacentes en este tipo de transacciones.

Al considerar un enfoque de aprendizaje automático con estructuras de grafos para la detección de la clase fraude, se deben tomar en cuenta consideraciones específicas relacionadas con la heterogeneidad del grafo y su evolución en el tiempo. El enmascaramiento del comportamiento fraudulento como comportamiento a reconocer, el método de entrenamiento (ya que en aplicaciones reales los grafos son masivos) y el considerar el problema de la baja disponibilidad de observaciones fraudulentas en comparación con las observaciones normales (clases no balanceadas)

Redes Neuronales de Grafos

Los tipos de vértices que se pueden utilizar para un proceso de detección de fraude, dependen de la plataforma, pero generalmente corresponden a usuarios, tarjetas, dispositivos o direcciones de IP. Los tipos de aristas pueden ser aquellas que representen una interacción con alguna tarjeta, dispositivo, dirección IP o inclusive transacciones monetarias. De manera

adicional, cada vértice y arista puede ser representado por vectores de características relacionados con el comportamiento transaccional de las entidades involucradas (como los usuarios) dentro de la plataforma.

La intención de combinar grafos con redes neuronales es encontrar los patrones que los estafadores pudiesen exhibir (entre estos patrones, las semejanzas que se pudiesen dar de acuerdo a la topología del grafo que modela las transacciones), con el propósito de hacer identificable las transacciones fraudulentas. A pesar de esto, el comportamiento fraudulento cambia con el tiempo y hay situaciones en las que los estafadores logran mimetizarse como buenos usuarios (camuflaje) (Zexuan, Guodong, Yang, Wei, Bailing, 2022).

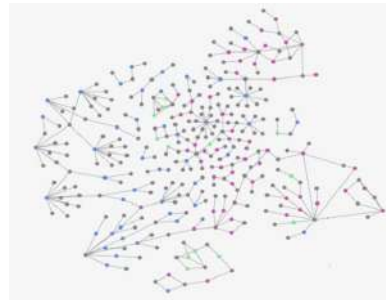


Figura 3. Subgrafo que contiene Tarjetas-Dispositivos-Cuentas de Banco. Los vértices grises representan a Usuarios, los vértices azules representan Dispositivos, los vértices verdes representan Tarjetas y los vértices púrpuras corresponden a Cuentas de Banco.

Para identificar transacciones fraudulentas se puede utilizar las denominadas Redes Neuronales de Grafos (Graph Neural Networks - GNN), utilizando la información de la topología del grafo y combinándola con redes neuronales para obtener una herramienta de detección de fraude (transacciones y usuarios). Esta tarea se puede realizar teniendo en cuenta algunas consideraciones importantes como la estructura dinámica del grafo, el problema del

camuflaje del fraude, la baja disponibilidad de eventos fraudulentos (en comparación con los eventos regulares), la perspectiva heterogénea del grafo y la estrategia de muestreo a seguir durante el entrenamiento del algoritmo (debido al uso de datos reales, es decir, un grafo masivo), así como a la dependencia temporal existente.

Por otro lado, un grafo puede modelarse mediante un enfoque estático o dinámico. Si los datos contienen marcas de tiempo que representan el momento en que una arista conecta dos vértices, y esto se encuentra asociado a un evento de interacción (por ejemplo, en una plataforma en línea; un evento puede ser el momento en que un usuario se hace amigo de otro usuario o un usuario realiza un pago a otro usuario) entonces la información puede modelarse mediante un Grafo Temporal Basado en Eventos (ETG por sus siglas en inglés). Este tipo de representación tiene la ventaja de incorporar el parámetro temporal como un parámetro adicional que puede resultar útil en un proceso de detección, como es el fraude.

El uso de una red neuronal de grafos temporales (Temporal Graph Neural Network - TGNN) con datos de un ETG enfocado a prevención de fraude, puede realizarse de manera directa mediante la clasificación de cuentas de usuarios fraudulentos. En este caso, el algoritmo se alimenta de todos los tipos de eventos de interacción disponibles. Las marcas de tiempo de múltiples eventos, incluidos los mencionados anteriormente son almacenadas por las plataformas en línea en diferentes bases de datos. Una forma típica al trabajar con los algoritmos de aprendizaje, en este caso con una ETG, es dividir el conjunto de transacciones en subconjuntos para realizar el entrenamiento, la validación y el conjunto de pruebas. Por ejem-

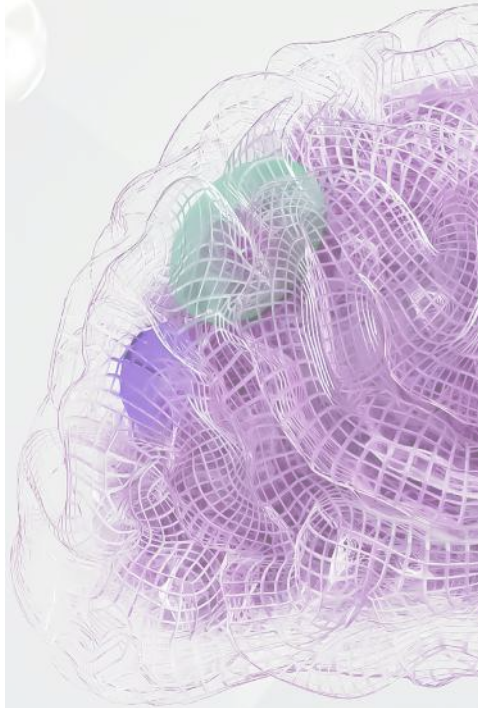
plo, se puede dividir el conjunto de transacciones mediante una partición cronológica; 70%, 15%, 15%, esto es, el conjunto de entrenamiento corresponde al 70% inicial de los datos en orden cronológico, el siguiente 15% corresponde al conjunto de validación de igual forma en orden cronológico y el 15% restante al conjunto de prueba. Durante cada iteración del proceso de entrenamiento, el algoritmo toma una muestra de los datos para realizar el proceso de manera más óptima, tal y como se propone en (Hamilton, Ying, Leskovec, 2017).

La forma más común para construir un ETG es mediante listas de adyacencia ya que mediante este tipo de estructura es más óptimo realizar el proceso de entrenamiento de una TGNN. De manera adicional, la estructura debe incluir las marcas de tiempo de cada evento de interacción en las duplas que representan los vértices adyacentes. El proceso para la construcción del algoritmo TGNN puede realizarse en cualquier lenguaje de programación, sin embargo, en la actualidad el área de redes neuronales en su mayoría se aborda con el lenguaje Python e implementaciones que permiten el trabajo sobre operaciones matriciales, tal como torch o tensor flow.

En general, los algoritmos de GNN hacen uso de la información de la red local mediante el 'paso de mensaje', que es un tipo de implementación que permite compartir información hacia vértices y aristas vecinas respecto de un vértice objetivo. En una TGNN este procesamiento se combina con una serie de módulos (memoria, agregación y actualización) que permiten obtener información del contexto temporal de un vértice. La memoria es una lista en donde se guarda la información del contexto temporal local de un vértice.

Durante cada iteración del algoritmo, se agrega información del vecindario local de un vértice tomando en consideración la memoria. Esta información es agregada y sintetizada de manera conjunta y posteriormente actualizada de manera recursiva en la memoria. De esta forma el entrenamiento de una TGNN toma en consideración siempre la información temporal del grafo.

Con estas consideraciones se tomaron los datos provenientes de una plataforma de pagos en línea y se construyeron diferentes ETG para eventos como el registro de tarjetas, dispositivos y cuentas de banco. Adicionalmente, se formaron diferentes combinaciones de los eventos anteriores con la finalidad de procesar un algoritmo TGNN en cada uno de estos grafos. La idea se centró en averiguar si la incorporación de diferentes eventos ayudaba al proceso de clasificación de usuarios fraudulentos. Los resultados corroboraron esta información debido a que la incorporación de más eventos ayuda a tener más información estructural que ayuda a diferenciar entre usuarios fraudulentos y usuarios normales.



Conclusiones

En este artículo se aborda cómo modelar las transacciones digitales de una plataforma de pagos en línea mediante una Red Neuronal de Grafos Temporal (Temporal Graph Network - TGN). La TGN considera un conjunto de eventos de interacción que representan el registro de tarjetas, dispositivos y cuentas de banco por parte de los usuarios, es decir, tres tipos de aristas fueron tomadas en cuenta.

Mediante el uso de la TGN se utilizó un algoritmo de TGNN, tomando como base el algoritmo propuesto en (Rossi, et al, 2020), para realizar un proceso de clasificación de usuarios fraudulentos en una plataforma de pagos en línea. Con los eventos mencionados anteriormente, se pudo formar diferentes combinaciones de TGN que incorporan eventos y sus tiempos de acción, esto con la finalidad de determinar si la cantidad de eventos era determinante para los resultados de la clasificación.

Debido a que las clases no se encontraban balanceadas (usuarios fraudulentos y usuarios normales) se incorporó una ponderación sobre cada una de las clases con el objetivo de otorgar mayor importancia sobre la clase con menor número de observaciones. Los resultados arrojaron que la información estructural y temporal de la combinación de diferentes tipos de eventos logra mejorar el proceso de clasificación.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno

Agradecimientos

Agradecemos a Moneypool por los datos proporcionados para la realización de este artículo.

REFERENCIAS

Hamilton WL, Ying R, Leskovec J (2017) Inductive representation learning on large graphs. In: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, NIPS 17, p 1025–1035

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997) Long Short-Term Memory. *Neural Comput.* 9, 8, 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>

Jordan, Michael I. (May 1986). Serial order: a parallel distributed processing approach. Tech. rep. ICS 8604. San Diego, California: Institute for Cognitive Science, University of California.

LeCun, Y., Bengio, Y. & Hinton, G. (2015) Deep learning. *Nature* 521, 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Malone, C. (2023). Online payment fraud: Market forecasts, emerging threats and segment analysis 2023-2028. Accessed: 2023-06-08 12:00 CST. Retrieved from <https://www.juniperresearch.com/researchstore/fintechpayments/online%5C%5C-payment-fraudresearch-report>

Rossi E, Chamberlain B, Frasca F, et al (2020) Temporal graph networks for deep learning on dynamic graphs. CoRR abs/2006.10637. URL <https://arxiv.org/abs/2006.10637>, 2006.10637

Rumelhart, David E; Hinton, Geoffrey E, & Williams, Ronald J (Sept. 1985). Learning internal representations by error propagation. Tech. rep. ICS 8504. San Diego, California: Institute for Cognitive Science, University of California.

Zexuan, D., Guodong, X., Yang, L., Wei, W., & Bailing, W. (2022). Contrastive graph neural network-based camouflaged fraud detector. *Information Sciences*, 618, 39–52. doi:10.1016/j.ins.2022.10.072

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017) Attention is all you need. In Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17). Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 6000–6010.

Zhao, P., Fu, X., Wu, W., Li, D., & Li, J. (2019). Network-based feature extraction method for fraud detection via label propagation. 2019 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp), 1–6.

LA EDUCACIÓN EN DIABETES: EL PILAR PARA EL CONTROL DE LA ENFERMEDAD.

DIABETES EDUCATION: THE PILLAR FOR DISEASE CONTROL.

Erika Colinas Cal y Mayor*
Jorge Alejandro Fernández Pérez

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 204-224

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0000-0001-9658-9726>
<https://orcid.org/0000-0002-5275-3309>

Año 10 No. 28
Recibido: 4/septiembre/2023
Aprobado: 23/diciembre/2023
Publicado: 5/enero/2024

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de filosofía y letras
Doctorado en Investigación e Innovación educativa
Email. erika_003@hotmail.com*
jafp58@prodigy.net.mx

Resumen

La educación en diabetes fomenta el autocuidado y el auto manejo del paciente, esta es un pilar y un aspecto básico del tratamiento, ya que esto le permitirá al paciente tener el autocontrol de su padecimiento. La importancia de esta ha sido investigada en numerosos estudios y proyectos, encontrando como resultado siempre un efecto benéfico. Los programas de educación en diabetes están diseñados para brindar a los pacientes los conocimientos y habilidades necesarios para el autocontrol exitoso de la diabetes. En este artículo se habla acerca de la importancia de esta, así como de los contenidos que llevan algunos de los programas educativos en diabetes, ciertos pasos a seguir para la elaboración de los programas de educación en salud, así como también algunos de los modelos que son ocupados para realizar dichos programas.

ABSTRACT

Diabetes education promotes self-care and self-management of the patient, this is a pillar and a basic aspect of the treatment, since this allows the patient to have self-control of their condition. The importance of this has been investigated in numerous studies and projects, always finding a beneficial effect as a result. Diabetes education programs are designed to provide patients with the knowledge and skills necessary for successful diabetes self-management. This article talks about the importance of the diabetes education, and the contents of some educational programs in diabetes. As well as certain steps to follow for the elaboration of health education programs and some of the models that are used to do programs.

Keywords: Education, diabetes, society, health, nutrition, treatment

INTRODUCCIÓN

La educación no es una parte del tratamiento de la diabetes, es el tratamiento

La educación en diabetes es un pilar fundamental para el tratamiento de la diabetes. Existen diversos programas en México y en el mundo donde se pretenden ayudar al paciente a poder tener un control de su enfermedad y así mejor y calidad de vida. En dichos programas se debe desarrollar un enfoque de equipo y una relación entre el paciente, el educador en diabetes y el médico del paciente, así como involucrar a la familia de este. Pero si la educación en la diabetes es tan eficaz, ¿por qué no todos los pacientes con diabetes la reciben? Algunos creen erróneamente que tal educación no es importante porque “se sienten bien ahora” o porque están tomando una pastilla o insulina, su diabetes está bajo control. Muchas personas subestiman, o simplemente desconocen, la gravedad de la diabetes. Demasiadas personas han esperado hasta experimentar algún tipo de complicación antes de empezar a tomarse en serio su diabetes. Y uno de los puntos en contra de esta enfermedad es que a pesar de tener un descontrol el paciente carece de síntomas graves (es una enfermedad silenciosa) hasta que debido a la falta de control surgen complicaciones irreversibles. La diabetes es más fácil de ignorar si no tiene datos e información de primera mano. Por lo cual es de suma importancia poder ayudar al paciente a comprender su enfermedad y cuidar de su salud, haciéndoles entender que si cuidan de su salud hoy tendrán grandes beneficios en el futuro y podrán evitar las complicaciones.



Imagen de Paul Hunt en Pixabay.

Los Programas de educación (en) para la salud

Primero es importante hablar acerca de la educación para la salud. Es fundamental entender que esta es un curso a través del cual el conocimiento producido científicamente “intermediado por profesionales de la salud, llega a la vida de las personas para la adopción de nuevos hábitos y conductas de salud” (Alves, 2005, p. 43). La educación para la salud adquiere una perspectiva conceptual ampliada cuando se asocia con la promoción de la salud propuesta. Weare (2002) ubicó la educación en salud como elemento imprescindible para la realización personal y de la enfermedad, pero hay quienes discrepan de la propiedad de la educación como estrategia de promoción de la salud. Es por esto que se propone que la aproximación entre conceptos no debe ser educación con promoción de la salud, sino información en salud con promoción de la salud. Como se observa, se entrelazan la dimensión socializadora de la promoción de la salud con la noción de conciencia, es decir, el fortalecimiento de las personas mediante la transmisión de información significativa para conferir autonomía en la toma de decisiones. Por lo que la educación para la salud, en cambio, con la propuesta conductora, normativa y autorizada, deberá ser reemplazada por una informativa, basada en el diálogo y la autonomía de decisión de las personas (Lefevre, 2003).

Todos los programas de educación en diabetes deben de considerar un proceso que sea continuo para poder tomar en cuenta lo que cada paciente requiere y sus propias necesidades, por lo cual la educación en diabetes debe de ser individual y grupal, y combinar ambas. La educación individual es la más adecuada para un inicio de diagnóstico, ya que se conocen las necesidades individuales de cada paciente (Weare, 2002). Los profesionales de la salud que están en contacto directo con los pacientes y sus familiares tienen la oportunidad de dar la educación sanitaria individual adecuada, y el tema seleccionado debe ser relevante para la situación, por ejemplo, a una persona que llega por diabetes se le debe informar sobre la enfermedad y sus vertientes, no sobre otros temas. La mayor ventaja de la enseñanza de la salud individual es que se puede discutir, discutir y persuadir al individuo para que cambie su comportamiento, la desventaja es que los números que alcanzamos son pequeños (Bartholomew, 1998).

De otra manera, la educación grupal son sesiones educativas, deben ser planteadas en grupos pequeños, de preferencia debían estar incluidas las familias o las personas más cercanas al paciente para poder crear con estos una red de apoyo para el paciente en su vida diaria (Ünsal- Avdal, 2014). Algunas de las ventajas de las actividades en grupo se establecen en el hecho de que estos intercambian conocimientos y experiencias entre pacientes, y esto puede ayudarlos a tener más información y sentirse apoyados por las personas que son como ellos y sus experiencias de éxito en cuanto a la enfermedad (Bartholomew, 1998).

La técnica grupal brinda educación simultáneamente a un mayor número de personas con diabetes mellitus, de acuerdo con los criterios establecidos por el International Health Care Finance Group, el número de participantes en la educación grupal se define como

no menos de dos pacientes y 20 como máximo (Schieber, et al., (2007). También dice que una sesión de educación grupal equivale a diez sesiones de educación individual, por esta razón, la educación grupal es más rentable, pero el poder combinar ambos tipos de educación sería la mejor manera de abordar los programas de educación en diabetes para que esta pueda ser más efectiva (Ünsal-Avdal, 2014). Para que un programa de educación en diabetes sea efectivo se deben de combinar los dos tipos de educación (individual y grupal), ya que cada uno tiene grandes ventajas que pueden contribuir al diferente aprendizaje del paciente.

Ahora bien, es recomendable tomar en cuenta las necesidades de cada paciente, según Hevia (2016) el siguiente proceso que puede ayudarnos a evaluar las necesidades de cada individuo, y este sigue los siguientes pasos:

1. Valoración: La valoración es el inicio del proceso y esta es donde se le realizan ciertas preguntas al paciente para que este pueda dar la información más relevante para que se puedan evaluar sus necesidades. Normalmente, se le da un cuestionario al paciente que le permita conocer al profesional de la salud, los datos demográficos (sexo, edad, lugar de residencia), estado físico, otras enfermedades (si es que padece), la información previa que tiene de la enfermedad, si posee capacidades de autocuidado, limitaciones físicas y cognitivas, cultura, religión, entre otras. Por otra parte, es importante conocer la rutina de trabajo o estudio del paciente. Por otro lado, es de suma importancia poder evaluar el contexto donde se desenvuelve el paciente (trabajo, familia, comunidad, etc.) por lo cual también sería de utilidad poder interrogar a la familia y hacer que esta sea parte del proceso de valoración. En esta etapa el educador en diabetes debe hacer sentir al individuo con diabetes que su opinión y lo que este necesita es tomado en cuenta, es necesario que este se sienta escuchado y valorado por el educador que para esto el educador debe practicar la escucha activa. Al mismo tiempo, es vital que

ponga en práctica habilidades para poder observar a los pacientes y así llevar el ambiente hacia lo que este necesita. Cuando el registro de la información se termina (tal cual como el paciente lo refiere, es posible que se realice el diagnóstico educativo del paciente.

2. Planificación: La segunda etapa es donde se establecen los objetivos entre el educador y el paciente, se plantean metas concretas, sencillas y que puedan ser medibles, estas deben ser bajo un acuerdo mutuo. Existen metodologías diversas de aprendizaje que se pueden dar en diferentes sesiones, como lo pueden ser charlas individuales, resolución de problemas y juegos de rol, pero estas metodologías siempre deben de ser adaptadas a cada paciente y sus necesidades.

3. Implementación de la educación: En esta etapa las actividades educativas que se realizaran deben de ser explicadas con material didáctico adecuado y tiene empezar de lo más elemental y simple (asegurarse que el paciente comprenda todo). Para después pasar a los temas más complejos, usando un lenguaje que el paciente pueda entender y que sea directo y claro, con esto reforzar la información entregada y corroborando que el paciente haya entendido dicha información. El lugar donde se realicen las actividades educativas debe ser un entorno en el que no haya distracciones y el paciente pueda concentrarse.

4. Evaluación: Por último, en la etapa de evaluación se recomienda realizar una evaluación planificada que se lleve a cabo primero a los 3 meses y después otra evaluación a los 6 meses (esto depende de la duración de cada estudio o proyecto). En esta revisión se evaluarán aspectos como mejoras de parámetros biomédicos (HbA_{1c}, glucosa en ayuno y posprandial, valores de presión arterial, peso, triglicéridos, colesterol, entre otros.). Junto con esto se evaluarán también ciertos aspectos psicosociales como lo son calidad de vida y el autocuidado, así mismo es importante poder evaluar sus emociones. De igual modo, es fundamental que el paciente se sienta

reconfortado por las metas logradas, y así mismo que se le dé una retroalimentación positiva de sus errores y como poder cambiar estos. Por otra parte, es relevante mencionar que el realizar una evaluación que realice el propio educador para saber cómo se sintió él dentro de las sesiones y que siente que puede mejorar puede ser un parte-aguas para mejorar cada una de las sesiones. Al seguir estos pasos se puede llegar a una evaluación certera de que es lo que el paciente requiere para poder crear los contenidos necesarios para cada uno de estos y que este sea adecuado para el paciente y sus intereses.

El conocimiento investigado acerca de los programas de educación para la salud nos deja muy en claro la importancia de esta. Sin embargo, esta cuentan con pasos ya identificados en investigaciones actuales que han funcionado correctamente en los programas, y si estos no son llevados a cabo correctamente, el proyecto puede llegar a ser erróneo o no lograr los objetivos planteados. Por lo cual es indispensable para poder atacar de manera fructífera los problemas relacionados con la diabetes, poder llevar un protocolo correcto de los programas para el correcto diseño de estos y que dichos proyectos puedan impactar positivamente en la vida de los pacientes. El sentido de estas investigaciones nos lleva a comprender que se deben realizar diferentes tipos de sesiones en los programas como lo son las individuales y grupales, ya que con esto se pueden abordar en sus diferentes vertientes todos los problemas relacionados con la enfermedad del paciente.

Por otro lado, la tendencia de los conocimientos planteados en relación con los programas de educación nos habla acerca de la importancia de la evaluación por parte, no solo de los participantes, sino también por parte de los mismos elaboradores del programa (Educadores en salud), ya que con esto se puede evaluar los aspectos positivos y negativos que tuvo el programa, por lo cual para las futuras

investigaciones se requiere implementar un diagnóstico y una evaluación final para que puedan tener un mejor control de los resultados obtenidos de este. Por otra parte, los efectos metodológicos que se esbozan en este núcleo nos dan un punto de partida y una línea ordenada a seguir al elaborar programas de educación, siendo la valoración, elaboración, implementación y evaluación, los pasos a seguir para poder tener éxito en un programa. Empero esto no significa que no se pueda innovar en la metodología de la elaboración y diseño de los programas de educación para la salud, más bien para futuros desarrollos metodológicos esto puede ser un punto de partida y referencia para la innovación de nuevos métodos y técnicas.

Contenidos de los de los programas de educación en diabetes

Teniendo en cuenta que la diabetes mellitus es una enfermedad crónica, con evolución silenciosa, difícil diagnóstico precoz y dificultad de adherencia al tratamiento por parte de sus titulares. Es por esto que los profesionales sanitarios se encuentran ante un gran reto porque les toca encontrar soluciones para reducir estas barreras, solo con una visión holística del paciente con diabetes será posible promover la adherencia al tratamiento por parte de estos pacientes, haciéndoles comprender los beneficios de la adherencia al tratamiento (Jansà, 2015). Entendiendo la adherencia terapéutica como el grado en que el comportamiento de una persona puede seguir todas las recomendaciones acordadas por el profesional de la salud como lo son el tomar el medicamento, seguir un régimen alimentario y ejecutar cambios del modo de vida (Organización mundial de la salud, 2011). Esta definición nos hace entender que la información no solo proviene del médico, más bien de cualquier profesional de la salud (método interdisciplinario); y este abarca numerosos comportamientos, no solamente las recetas farmacológicas prescritas por el médico, la adherencia al tratamiento

va mucho más allá de ellos, más bien es un cambio en el estilo de vida para tener hábitos saludables que contribuyan a la mejora de la enfermedad.

Dado que la adherencia al tratamiento está directamente ligada al abordaje técnico del paciente, la transmisión de conocimientos, la confianza en dicha información y consecuentemente la formación de vínculo entre los profesionales, es necesario aclarar aspectos de este manejo del paciente (Viniestra, 2006). Para que la educación de las personas con diabetes mellitus sea efectiva, se precisa que los profesionales en salud a cargo de la educación en diabetes no solo se enfoquen en replicar información; sino más bien que obtengan la información y las ideas para poder abordar los aspectos psicosociales, psicológicos y patológicos de la enfermedad. Así como también deben de desarrollar ciertas habilidades pedagógicas, para poder contar con aptitud la comunicación y escucha asertiva, para que con esto puedan comprender a los pacientes y tener negociaciones con estos y a su vez con el equipo multidisciplinario con el que se trabajara (Rodríguez, 2009, pág. 430). Estudios han mostrado que los pacientes, cuando son acompañados por un equipo multidisciplinario de profesionales de la salud, pudieron prevenir o postergar las complicaciones crónicas de la Diabetes Mellitus (Otero, 2008).

Los objetivos de la prevención de la diabetes son retrasar la aparición de la enfermedad, preservar la función de las células beta y prevenir o retrasar las complicaciones micro y macro vasculares (American Diabetes Association, 2018). La diabetes afecta comúnmente a la población mexicana de manera tan silenciosa y, alrededor del 30% de la población afectada por la enfermedad no sabe que la tiene o no hace el tratamiento adecuado por falta de motivación o recursos. Se sabe que cuando el tratamiento se realiza para forma correcta, menores serán las complicaciones y mayor será

la calidad de vida del paciente (Instituto Nacional de Salud Pública, 2012). El tratamiento de la diabetes tiene reglas complejas, a menudo difícil de ser seguido, sin embargo, no es la literatura que cuando el paciente tiene un conocimiento sustancial sobre la enfermedad y todos los aspectos que implican la probabilidad de adherirse a recomendaciones de tratamiento aumenta (Romo, 2021).

Educar al paciente es prepararlo y facultarlo con la información y los conocimientos necesarios para poder tener las aptitudes adecuadas para llevar a cabo en su día a día todas las obligaciones y requerimientos que una enfermedad conlleva (sobre todo una enfermedad crónica). De igual forma, se debe fomentar en el individuo la motivación y seguridad para llevar su control diariamente sin caer en el estrés, depresión y/o perder su autoestima y autonomía; en ese sentido, los objetivos de la educación para el paciente son, en sentido amplio, ayudar y asegurarse de fomentarles al paciente y a sus familiares los conocimientos y motivación adecuados como parte de su tratamiento (García, 2007). De igual modo, un objetivo de la educación al paciente es ayudarlo a desarrollar autonomía para el seguimiento apropiado de su tratamiento y con esto alcanzar una mejor calidad de vida, ya que la adherencia al tratamiento le ayudara a prevenir o retrasar complicaciones (Jansà, 2015).

Ahora bien, los objetivos básicos del educador en diabetes son: desarrollar la aceptación de la enfermedad y sus problemas asociados por el paciente y su familia; educar al paciente sobre la enfermedad, causa, su curso y los posibles problemas que conlleva; darse cuenta de la importancia de la regulación de la dieta, ejercicio regular, tratamiento con pastillas o insulina inyecciones; seguimiento del control de la diabetes con orina o análisis de sangre; hacer que los pacientes sean cada vez más independientes al tomar su propia decisión con respecto al tra-

tamiento (Goswami, 2021). Educar e impartir conocimientos a los pacientes es un proceso complicado. Depende del estado de receptividad del paciente, los métodos de educación, los medios de impartir conocimientos, técnicas de evaluación y seguimiento, valoración de los resultados de la educación y la continuidad y flexibilidad (Soundarya, 2004).

Algunos de los contenidos esenciales de un programa educativo de autocontrol para pacientes deben ser: Información sobre la enfermedad (como por ejemplo la definición de diabetes, tipos de esta, factores de riesgo, como poder controlarla), alimentación, ejercicio, complicaciones agudas y crónicas. Así como también como puede afectar el tabaquismo a la diabetes, pie diabético y sus cuidados, medicamentos orales, adherencia al tratamiento, hipoglucemia, insulina y sus tipos. También efectos adversos de los medicamentos o de la insulina, dosis de medicamentos, aplicación de la insulina, automonitoreo, festejos, viajes, que hacer durante una enfermedad como la gripe, por ejemplo, toma de decisiones, entre otros temas de importancia (Otero, 2008). Es mucha información la que el paciente con diabetes debe de recibir, por lo cual, se debe de dividir en diferentes sesiones, como ya se mencionó anteriormente, individuales y grupales, en las que se divida la información y sea explicada de una manera didáctica, con el fin de que el paciente pueda aprender y poder no solo memorizar, sino comprender todos los aspectos importantes sobre su enfermedad y el tratamiento de esta.

La Asociación de Especialistas en Educación y Cuidado de la Diabetes (ADCES) propone 7 comportamientos que debe tener el paciente debe tener para el autocuidado de la diabetes, los cuales son los siguientes

1. Alimentación saludable (Comer saludable)
2. Ejercicio (Mantenerse activo)
3. Automonitoreo

- (Monitoreo de glucosa capilar)
4. Seguir tratamiento médico (Medicamentos e insulina)
 5. Aprender a enfrentar retos cotidianos (Mejorar calidad de vida)
 6. Reducir riesgos (Cómo prevenir complicaciones)
 7. Tomar actitud positiva (Acompañamiento psicológico)

Alimentación saludable (Comer saludable)

La alimentación es uno de los pilares fundamentales para el manejo de la diabetes, incluso muchas veces puede ser utilizado como único tratamiento para poder manejar correctamente la diabetes (American Diabetes Association, 2018). Ningún medicamento puede ayudar adecuadamente si no está apoyado por una correcta alimentación. El comer saludable incluye comportamientos y decisiones que el paciente debe de tomar como lo son que comer (qué alimentos elegirá en su dieta habitual), cuanto comer (la cantidad de alimentos) y cuando comer (el horario de alimentos y cada cuanto se comerá). Estas decisiones pueden ser influenciadas por diversos factores, entre los cuales incluyen los hábitos alimentarios, las emociones de los pacientes, sus preferencias en cuanto a alimentación y alimentos de su agrado, la disponibilidad de alimentos puede ser por economía o por ubicación geográfica, los patrones culturales del paciente y los patrones familiares de este (Pérez-Pastén, 2015). La alimentación es uno de los principales retos que el educador en diabetes tiene que lidiar y pretende ayudar a los pacientes a promover los cambios en sus hábitos alimenticios, el poder llegar a ser que un paciente tenga una correcta alimentación es uno de los pilares en el manejo efectivo de la diabetes (Romo, 2021).

La diabetes es un padecimiento crónico, que, para poder controlarlo, necesita cambios en el estilo de vida, principalmente en la alimentación y en la adhesión del ejercicio a la vida diaria. La mayoría de la comida que

se consume se degrada en glucosa (azúcar), está por medio de la digestión pasa del intestino a la glucosa sanguínea. Para que nuestro cuerpo pueda utilizar la glucosa como energía, esta debe de pasar de la sangre a la célula, y como se explicó anteriormente, esta es la función de la insulina. El comportamiento de alimentación tiene como objetivo que el paciente primeramente sepa tomar decisiones informadas acerca de los alimentos (¿Qué, cuándo y cuánto comer?).

Otro de sus objetivos es que la paciente pueda establecer metas realistas y objetivos en cuanto a su alimentación, que le permitirán disminuir el riesgo de complicaciones, ya que la ayudaran a un mayor control metabólico. Por medio del desarrollo de habilidades, la paciente, mejorará su alimentación y por consiguiente un control en su cuerpo de grasas, colesterol, triglicéridos, azúcar, presión arterial. Por lo antes ya mencionado, comprendemos que la alimentación es básica en la diabetes para lograr un buen control. Las metas de una alimentación adecuada son: prevenir las complicaciones de la diabetes. Para esto es importante comprender los diferentes grupos de alimentos, los cuales son:

- Hidratos de carbono. Constituyen la principal fuente de energía, necesaria para la realización de todas las funciones que desempeña el organismo. Son las sustancias que tienen efecto en su glucosa sanguínea.
- Proteínas. Formación y mantenimiento de tejidos y células, anticuerpos, transporte de nutrientes y oxígeno en la sangre.
- Lípidos (grasas). Estas sirven en el cuerpo como un almacén donde se guarda la energía.

Los alimentos que contienen hidratos de carbono suben la glucosa sanguínea. Estos son: Frutas (15 g de HCO por cada equivalente), leche (12 g de HCO por cada equivalente), cereales (15 g de HCO por equivalente) y leguminosas (20 g de HCO por cada equivalente), azúcares (10 g de HCO

por cada equivalente). Por lo tanto, es importante que el paciente aprenda lo siguiente: las porciones, plan de alimentación, horarios de comida, relación de los alimentos con la glucosa sanguínea, consumo de agua natural, consumo de sodio, importancia del ejercicio, control de peso y los diferentes grupos de alimentos (Álvarez Martínez, 2012).

Ejercicio (Mantenerse activo)

Estar activo incluye todos los tipos, duraciones e intensidades del movimiento físico diario, lo que equivale a episodios de entrenamiento con ejercicios aeróbicos o de resistencia (ejercicio estructurado o planificado), los beneficios de la actividad física regular sobre la salud cardio-metabólica son ampliamente conocidos (Dubbert, 2002). La mayoría de las personas con diabetes pueden comenzar de manera segura actividad física que no sea más vigorosa que la habitual, cuando una persona con diabetes no está acostumbrada a la actividad física vigorosa, las pautas sugieren obtener autorización médica y comenzar el ejercicio paulatinamente (Zarco, 2012). La actividad física en la diabetes es de suma importancia para el control de la enfermedad, ya que mejora la efectividad de la insulina en el cuerpo, disminuye la glucosa, puesto que al realizar alguna actividad física los músculos del cuerpo consumen más glucosa de lo habitual, esto con ayuda de la insulina, también ayuda a disminuir el peso y, por lo tanto, el sobre peso y la obesidad (debido a que quema las grasas que se encuentran almacenadas en el cuerpo), y ayuda a reducir la presión arterial, al mismo tiempo contribuye al bienestar psicológico, ya que reduce el estrés, la ansiedad, la depresión, entre otras cosas (Molina, 1998).

Automonitoreo (Monitoreo de glucosa capilar)

El automonitoreo es un método para determinar las cifras de glucosa (azúcar) que una persona tiene en la sangre, esto se realiza con un monitor de la glucosa capilar llamado glucó-

metro, el resultado refleja las cifras de glucosa del momento en el que se toma la muestra (Descalzo, 2017). Para poder disminuir el riesgo de padecer complicaciones de la diabetes, se requiere realizar un control intensivo de la glucosa, así como de acciones para el control de la presión arterial (Paz y Zoram, 2017). El control de la glucosa en sangre es una parte importante de cuidado de la diabetes, el propósito es proporcionar una oportuna y confiable evaluación de las concentraciones de glucosa en sangre en un individuo para poder tomar decisiones adecuadas en relación con dieta, ejercicio y medicación (Hortensius, 2011).

El monitoreo de la glucosa posibilita al paciente observar el efecto de ciertos alimentos sobre su glucosa, ver qué impacto tiene la cantidad y el tipo de alimento que se eligió para comer (para poder analizar qué tipo de alimento comer o no para un mejor control). A su vez ayuda a analizar el resultado que tiene el ejercicio sobre la glucosa en sangre, además contribuye a determinar si la glucosa en sangre está controlada y con esto el médico puede tomar decisiones referentes al tratamiento (medicamentos, ejercicio) y con esto a llevar el control y poder evitar complicaciones (Descalzo, 2017).

El monitoreo es esencial para un buen control metabólico y es además una oportunidad para tomar el control la enfermedad; ya que ayuda a prevenir o corregir una hipoglucemia o hiperglucemia, y así mismo evaluar la respuesta de los medicamentos en el cuerpo. Para poder iniciar este, es necesario que la paciente adquiera conocimientos sobre los valores normales de glucosa en sangre, en ayuno y después de 2 horas de consumir alimento. Por lo tanto, es necesario medir la glucosa en diferentes momentos del día para tener la información de control y el efecto de la medicación, comida y ejercicio en las cifras de glucosa. Este tiene varios beneficios como los son los siguientes:

- Permite lograr y mantener objetivos glucémicos.
- Tomar decisiones inmediatas de medicación y alimentación.
- Evaluar la respuesta a la medicación, alimentación y al ejercicio.
- Ajustes racionales en el manejo de insulina (correcciones)
- Identificar hipo e hiperglucemia.
- Guía en el manejo en días de enfermedad.
- Identificar hipoglucemia Asintomática.

Para la medición de glucosa es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos: Conocer el manejo de nuestro medidor de glucosa, tener un cuidado especial con las tiras reactivas y conocer su caducidad, no reutilizar las lancetas y desechar estas adecuadamente, tener una buena higiene en las manos antes de la punción, seleccionar el sitio a puncionar (de preferencia los dedos meñique, anular, índice), tener un registro de nuestros datos. Es de suma importancia que el paciente deseche apropiadamente la lanceta y la tira reactiva, de preferencia tener un contenedor de desechos tóxicos. Otra cosa de suma importancia es el registro de los datos de cada punción. Esto nos ayudará a tener un control sobre nuestra glucosa en sangre. Y así mismo si la cantidad de medicamento y alimentos que estamos tomando es el adecuado.

La hipoglucemia es una complicación frecuente en las personas con diabetes, particularmente en las personas que utilizan insulina o hipoglucemiantes orales que estimulan la secreción por el páncreas de insulina. En personas con diabetes, hipoglucemia se define como un valor de glucosa sanguínea menor a 70 mg/dl, acompañado o no de síntomas (Álvarez Martínez, 2012). Cuando esta se da con síntomas, estos suelen ser: hambre repentina, palpitaciones, taquicardia, sudoración, temblor, ansiedad, insomnio, sensaciones de ardor o adormecimiento, hormigueo por la boca, nerviosismo, dificultad para concentrarse,

lapsos de memoria, dolor de cabeza, náuseas. Existen maneras de corregir la hipoglucemia y esas son: consumir 15 gramos de hidratos de carbono (ej: 3 caramelos), una cucharada de miel, 150 mililitros de jugo o bebida azucarada; y esperar 15 minutos para revisar la glucosa sanguínea.

Seguir tratamiento médico (Medicamentos e insulina)

Los medicamentos siguen siendo un componente esencial en la prevención y el tratamiento de las enfermedades crónicas, el que un paciente no tome su medicamento, se salte u omite una dosis, es una barrera para poder alcanzar los objetivos terapéuticos y el control de su enfermedad (Flores, et al., 2009). Las conductas de toma de medicamentos incluyen seguir el tratamiento prescrito día a día con respecto al momento, la dosis y frecuencia, así como continuar el tratamiento durante la duración prescrita. Las razones para no tomar los medicamentos según lo prescrito son multifactoriales, dado que la diabetes ha sido reconocida como un trastorno multisistémico con varias comorbilidades asociadas, el tratamiento sigue un enfoque multifacético e individualizado. Esto incluye la mitigación del riesgo cardiovascular y el control de las complicaciones de la enfermedad (Association of Diabetes Care and Education Specialists, 2021), por lo que es fundamental que los pacientes puedan seguir el tratamiento médico al pie de la letra, ya que esto ayudara al control de la diabetes.

Es importante decir que los medicamentos no funcionaran en pacientes que no las toman, se puede culpar al médico por un tratamiento erróneo, pero si es el enfermo quien no toma el medicamento, este no funcionara por más acertado que sea. Todo el esfuerzo tanto de los profesionales de la salud como del paciente, el tiempo y los gastos necesarios para diagnosticar la enfermedad y prescribir medicamentos se desperdician si el paciente no se adhiere al tratamiento prescrito. Por eso es de vital importancia al prescri-

bir un medicamento, tomar en cuenta los deseos y necesidades del paciente, así como su economía y si podrá pagar estos medicamentos a lo largo de su vida, mes con mes.

Uno de los problemas que generan falta de adherencia al tratamiento es el tema económico, ya que son medicamentos que deben tomarse de por vida y en algunos casos no se prescriben medicamentos tan accesibles para todas las clases sociales. En este caso, el médico debe de prescribir medicamentos de acuerdo con el nivel socioeconómico que puede captar durante la valoración del paciente. Por otro lado, la adherencia se puede mejorar mediante la educación del paciente, estrategias motivacionales, mejorando relación médico-paciente, y también considerando el costo de fármacos hipoglucemiantes orales, y simplificando la dosificación.

Aprender a enfrentar retos cotidianos (Mejorar calidad de vida)

En el día a día de la vida de una persona existen diferentes situaciones como alguna enfermedad (como por ejemplo gripa, infección estomacal, entre otras), existen reuniones familiares o fiestas, se vive el estrés laboral o algunos momentos de crisis, así como también existen viajes o días en los que no se regresa a casa a comer; esto es muy normal en la vida cotidiana de cualquier persona, pero para una persona con diabetes este día a día se puede convertir en un reto, por lo cual lo importante aquí es saber actuar ante estas situaciones y esto solo lo logramos con experiencia y educación en diabetes (Vázquez, 2018). Para las personas con diabetes existen situaciones en su día a día como la hiperglucemia (azúcar alta), hipoglucemia (azúcar baja), que pueden ser desencadenas por una enfermedad, mala alimentación, ayunos prolongados, ejercicio, estrés, omitir algún medicamento, etc. (Pérez-Pastén, 2005).

Todas estas situaciones deben de saber ser manejadas por el paciente con

diabetes. Para esto se necesita que en la educación en diabetes se anexe este tema, por ejemplo, es importante enseñar a los pacientes a crear estrategias para cuando tienen un festejo. Entre las cuales se les debe recomendar que durante el día del festejo es primordial mantener orden durante todo el día en su régimen de alimentación. Es decir, desayunar y comer de manera saludable, a su vez se sugiere no olvidar tomar el medicamento, si es posible hacer ejercicio físico y antes de ir al cumpleaños o fiesta, será fundamental medir la glucosa y es recomendable comer una buena ensalada de verduras antes de salir de casa para no comer de más durante la celebración (Descalzo, 2017). El aprender a enfrentar estos retos cotidianos haran que el paciente sienta que lleva una vida más normal y parecida a la de sus familiares y amigos sin diabetes, lo que ayudara a su autoestima y mejorara sus emociones, mismas que son de gran importancia para el control de la diabetes.

Reducir riesgos (Cómo prevenir complicaciones)

El miedo a las complicaciones de la diabetes es universal, por lo cual existen maneras de prevenirlos. Los picos de glucosa, particularmente los que se presentan después de las comidas, tienen un efecto dañino en las paredes de los vasos sanguíneos, en particular de la capa interna de este, tanto los vasos pequeños como los grandes, dicho aspecto da lugar a complicaciones microvasculares y macro vasculares, respectivamente. Las complicaciones microvasculares: retinopatía, nefropatía y neuropatía. Las complicaciones macro vasculares: infarto, angina, accidente cerebro vascular, embolias, aterosclerosis o trastornos de circulación en las piernas (gangrenas). Un adecuado control de la glucemia (azúcar en la sangre) puede retrasar y prevenir las complicaciones de la diabetes. El que los pacientes logren mantener los niveles adecuados y recomendados de glucosa en la sangre, les permitirá prevenir la aparición de las complicaciones que se derivan de

la diabetes (Nagelkerk, 2006). Otra de las maneras que ayudara a poder reducir riesgos y complicaciones de la diabetes es llevar un estricto control y la realización de exámenes periódicos, los cuales se pueden ver en la siguiente tabla:

Exámenes de control	Frecuencia en la que se deben realizar
Prueba de hemoglobina glicosilada (A1c) Mide el nivel promedio de glucosa o azúcar en la sangre durante los últimos tres meses	Cada tres meses
Glucosa capilar	Contar con un glucómetro y medir la glucosa capilar como el médico lo indique
Presión arterial	En cada visita médica o si se cuenta con un batimanómetro, en cada realización 1 vez a la semana
Perfil de lípidos	Al momento del diagnóstico de la diabetes y 1 vez al año
Riñón	Cada año
Ojos	Al momento del diagnóstico de la diabetes, si hay daño 1 vez al año, si no hay daño cada 2 años
Pies	Revisión diaria en el momento del baño o de vestirse para las actividades diarias, revisión medicada cada año, si hay antecedentes de daño, revisión cada consulta
Neuropatía	Al momento del diagnóstico de la diabetes y 1 vez al año

Tabla 1. Frecuencia de los exámenes para prevención de complicaciones
Fuente: Colinas, 2021 a partir de Descalzo (2017)

Además de realizar el debido control con la frecuencia que se indica, es importante para evitar las complicaciones, tener la azúcar controlada y en los niveles adecuados en sangre, esto se puede lograr manteniendo un estilo de vida saludable y siguiendo las indicaciones del médico (Lakhtakia, 2013). Los rangos de glucosa capilar en sangre son de 70 a 130 mg/dL en ayuno (normalmente por las mañanas o sin haber ingerido alimento alguno durante al menos 8 horas) o hasta 180 mg/dL dos horas después de haber ingerido alimentos (postprandial). Así como también mantenerse dentro de las metas de peso, colesterol, triglicéridos, entre otras. Todo esto retrasa o evita la aparición de complicaciones, por otro lado, el mantener la hemoglobina glicosilada (HbA1c) debajo del 6%, esta prueba es un examen de sangre para la diabetes tipo 2 y pre-diabetes y esta mide el nivel promedio de glucosa o azúcar en la sangre durante los últimos tres meses (Bravo, 2001, pág. 135).

Tomar actitud positiva (Acompañamiento psicológico)

Una actitud positiva hacia diabetes y su auto-cuidado, relaciones positivas con otros, y la calidad de vida, es fundamental para el dominio de los otros 6 comportamientos; los factores psicosociales interfieren con la capacidad de una persona para autocontrolar la enfermedad y lograr los resultados metabólicos deseados (Rivera-Hernández, 2014). La atención centrada en la persona contribuye a resultados positivos de salud y bienestar psicológico, por el contrario, la angustia relacionada con la diabetes de manera negativa afecta el bienestar físico y emocional de la persona viviendo con diabetes. La angustia relacionada con la diabetes, descrita como carga emocional de la diabetes, demandas constantes del autocontrol de la diabetes, posibilidad de desarrollar complicaciones y falta de apoyo y acceso a la atención, dificulta el autocuidado (Association of Diabetes Care and Education Specialists, 2021).

Las personas que viven con diabetes son más propensas a la depresión y la ansiedad, así como a los trastornos de alimentación y deterioro cognitivo, estos psicosociales factores reducen la capacidad de autogestión (Carter, 2004). Una persona que vive con diabetes no debería pensar que se encuentra limitada para poder llevar su vida de una manera lo más normal posible y así tener una excelente calidad de vida. Esto puede darse al adquirir hábitos saludables dentro de su vida (alimentación, ejercicio, dejar de fumar, no tomar bebidas alcohólicas) y también con la adherencia al tratamiento médico. Así se puede lograr un control adecuado de la glucosa y, por tanto, de la enfermedad. Por otro lado, el aspecto emocional y psicológico es fundamental, la aceptación y el auto manejo de un paciente con diabetes hacia su padecimiento puede generar una transformación personal, social y familiar (Descalzo, 2017). E acompañamiento psicológico es uno de los pilares que pueden ayudar al pacien-

te a poder vencer los sentimientos negativos hacia la enfermedad y tomar control sobre, ella. Aunque no todos los pacientes le dan la importancia adecuada a sus emociones, es un tema de vital importancia a tratar durante las sesiones de educación.

Los 7 comportamientos son un marco sólido para el autocontrol de la diabetes y otras afecciones relacionadas, como pre-diabetes y enfermedades cardio-metabólicas, estos son primordiales para lograr un cambio de comportamiento que conduzca a una autogestión eficaz a través de una mejora del comportamiento y medidas de resultado (Romo, 2021). En las sesiones educativas deben abordarse ciertos temas que son de suma relevancia para que el paciente pueda tomar el control de su enfermedad y realizar el autocuidado de manera efectiva. Primero se tiene que ayudar al paciente a superar la negación y comenzar la aceptación de la enfermedad, entender esta y obtener información acerca de los aspectos fundamentales de la diabetes y su tratamiento, con base en eso establecer metas personales para la mejora de la enfermedad (Association of Diabetes Care and Education Specialists, 2021). A su vez también es necesario el desarrollo de habilidades de modificación de los estilos de vida y negociación de diferentes tipos de apoyo, auto reforzamiento y auto motivación, aprender acerca de los medicamentos que se requieren, aprendizaje de técnicas de auto monitoreo (glucosa capilar, presión arterial), nutrición, actividad física, conductas a seguir en diferentes circunstancias: viajes, días de enfermedad, festividades, manejo de estrés, entre otras (Dussailant, 2016).

Dentro de los contenidos del proceso educativo de la diabetes, es necesario que el paciente comprenda bien su enfermedad por lo cual se tocan temas como lo son: tipos de diabetes, características clínicas y terapéuticas de la diabetes, control metabólico y su definición e importancia. Así como

poder mantener un perfecto control de la glucosa y los otros parámetros, técnicas de autocontrol emocional. También como llevar una buena alimentación, como insertar la actividad física a la vida diaria, medicamentos orales o insulina y la importancia de la adherencia al este, el cuidado del pie diabético, las complicaciones agudas y crónicas y como evitarlas, entre otros temas que se deben de abordar con profundidad (García, 2007). Los métodos más practicados en la educación en diabetes son: la educación uno a uno, educación grupal, debates entre grupos, conferencias, carteles, cuadros y pinturas, folletos de literatura impresa, panfletos, revistas y libros, cintas de audio, cintas de video, campamentos, programas de sensibilización pública (Soundarya, 2004).

El contenido del programa de educación debe ser sencillo y fácil de comprender, así como involucrar a la familia del paciente. El contenido se debe dirigir a las necesidades del grupo y sus objetivos establecidos, los cuales seguramente no estarán pre-estructurados, pero se puede ir viendo las necesidades del grupo según se avanza en los talleres, por otro lado, durante las consultas y contacto individuales se debe persuadir al paciente para poder resolver las necesidades específicas de este (García, 2007, pág 5). En el estudio *Assessing the Value of Diabetes Education*, encuentra que la educación en diabetes se asocia con un mayor uso de la educación primaria y servicios preventivos, y debido al control de la enfermedad, a un menor uso de servicios hospitalarios para pacientes hospitalizados agudos (Ducan, 2009). En 1978, el Centro de Investigación y Capacitación en Diabetes (DRTC) en la Escuela de Medicina de la Universidad de Indiana comenzó su Estudio de Educación en Diabetes (DIABEDS). El cual es un ensayo controlado y aleatorizado de educación de pacientes y médicos en el manejo de la diabetes mellitus, desde la perspectiva del paciente, el objetivo era determinar si didáctica y los métodos

conductuales podrían combinarse en un programa de educación integral sistemático para pacientes con diabetes (Mazucca, 1986). Por otro lado, se han realizado diversos estudios en el campo de la educación en la salud, como, por ejemplo, Díaz et al. (2006) nos resume las principales aportaciones al campo de esta, y a continuación se presentan los resultados que estos estudios tuvieron en el cambio de comportamiento en los pacientes y en la mejora de su calidad de vida. En el Programa de Evaluación de una intervención nutricional en personas mayores: el proyecto Edumay, se descubrió que la educación beneficia el conocimiento de los alimentos y la dieta mediterránea (lo que ayudó a los pacientes a poderla llevar a cabo), así mismo se encontraron resultados favorables para la adherencia a la dieta (Bujanda, 2014). La dieta mediterránea es considerada una de las dietas con mayor evidencia científica que avala que al realizar este tipo de dieta existen grandes beneficios para la salud de los pacientes y de la sociedad en general. Esta dieta está siendo cada vez más estudiada de manera científica en cuanto al estudio de su rol preventivo y como tratamiento en diversas enfermedades no transmisibles, como síndrome metabólico (SM), diabetes, enfermedad cardiovascular (ECV), enfermedades neurodegenerativas y cáncer, entre otras (Dussaillant, 2016). Este programa se dio en sesiones grupales y una entrevista motivacional que se realizaba de manera mensual y era personalizada.

Por otra parte en el en la investigación acerca de la Influencia de los grupos de ayuda mutua entre diabéticos tipo 2: efectos en la glucemia y peso corporal, el objetivo era comparar el nivel de glucosa e índice de masa corporal entre personas diabéticas tipo 2 que asisten o no asisten a grupos de ayuda mutua en los que comparten experiencias y sentimientos, en los resultados no se encontraron cambios significativos en el índice de masa corporal entre los pacientes que si asistían al

grupo de auto ayuda y entre los que no (Muñoz, 2007). Esto nos da a entender que un esfuerzo no es suficiente, ya que el paciente aparte de ayuda mutua (que es una herramienta fundamental), requiere apoyo de otros lados como por ejemplo, su familia, el médico, el educador en diabetes, esto debe de ser un tratamiento integral para poder lograr resultados visibles. Por lo cual los programas de educación interdisciplinar e integral son la mejor opción para poder lograr un pequeño cambio en los estilos de vida.

En otra de las investigaciones llamada Grupos de Ayuda Mutua: Estrategia para el control de diabetes e hipertensión arterial, el objetivo consistía en evaluar si los pacientes que acuden a los grupos de ayuda mutua cumplen con las metas de tratamiento como lo son la glucosa controlada, índice de masa corporal dentro de lo normal y la tensión arterial en los niveles óptimos, se dio en sesiones en grupo mensuales en las que se les daba la información conveniente para poder evaluar su cumplimiento; los resultados fueron favorables ya que se encontró que los pacientes que acuden a los grupos si tienen un mejor control en comparación de los que no asisten (Esqueda, 2004).

Los grupos de ayuda mutua /autoayuda tienen un papel importante que desempeñar para abordar los problemas relacionados con la salud, estos son una estrategia para las personas con enfermedades crónicas (como lo es la diabetes) para ayudar al control de la enfermedad y el cumplimiento del tratamiento; ya que al escuchar experiencias y sentirse apoyados por sus familiares y las personas que acuden a estos grupos, tienen a tener más motivación de seguir su tratamiento con este acompañamiento (Kyrouz, 1997). En los grupos de ayuda mutua el paciente puede tener un gran progreso al escuchar las historias de otros pacientes que sufren el padecimiento como ellos y que experimentan las mismas situaciones difíciles, al escu-

char ciertas historias de éxito pueden identificarse y saber que ellos de la misma forma pueden salir victoriosos del problema que los está afectando. Por otro lado, se sienten identificados y apoyados al escuchar ciertas historias y esto ayuda a su motivación para la adherencia al tratamiento.

En el programa de Intervención educativa para prevenir enfermedades crónico- degenerativas en mujeres con pareja migrante en el Lampotal, Zacatecas, el objetivo consistió en dar información a las mujeres de esta comunidad para poder mejorar los conocimientos sobre las enfermedades crónico-degenerativas a través de sesiones en las que se les daba orientación en nutrición y algunas sesiones de actividad física, los resultados que se obtuvieron fueron favorables ya que se encontró que las mujeres tenían más información sobre los padecimientos y redujeron su peso y por lo tanto su índice de masa corporal (Murillo, 2013). Las estrategias de manejo no farmacológico son recomendadas para pacientes con enfermedades crónico-degenerativas para mantener estabilidad, evitar el ingreso hospitalario, disminuir la mortalidad. Dentro de estos tratamientos no farmacólogos esta la orientación en nutrición, la cual es un proceso en el cual un profesional de la salud con conocimientos sobre nutrición ayuda y orienta al paciente sobre los alimentos y la nutrición adecuada para que requiera su cuerpo según tu antropometría y sus necesidades específicas (Alves, 2012). La orientación en nutrición es un arma fundamental para los programas de educación en diabetes y que esta proporciona la información adecuada para que los pacientes con diabetes puedan tomar decisiones informadas en su día a día sobre que alimentos son los mejores para ellos y sobrellevar su enfermedad.

En el estudio Manejo de la hipertensión arterial desde los servicios de atención primaria, el objetivo fue ratificar un modelo de educación con sesiones informativas y grupales con

información acerca de la hipertensión arterial, con el fin de: identificar los factores de riesgo, aplicar un programa de intervención educativa, evaluar la adherencia al tratamiento y los conocimientos, actitudes y práctica; en este estudio se encontraron resultados favorables encontrando una disminución notable en la tensión arterial de los pacientes y evaluando una mejora en la adherencia al tratamiento debido a los conocimientos generados en el programa de educación (Segarra, 2011). La importancia de la adherencia al tratamiento es fundamental en los pacientes con enfermedades crónico-degenerativas, ya que en este radica el control y la prevención de complicaciones de los pacientes, puesto que, al llevar una correcta adherencia al tratamiento, se llega a un mejor control del padecimiento. Por lo cual las sesiones informativas y la educación para la salud primordial como base en los tratamientos para la prevención y el control de enfermedades. Barrón (1998) en su estudio Efecto de una intervención educativa en la calidad de vida del paciente hipertenso, realizó una intervención sobre alimentación y actividad física, con sesiones individuales y con el establecimiento de metas, así mismo individuales, para la mejora de la calidad de vida del paciente. Se dividieron en dos grupos, uno con educación y otro sin la intervención educativa con el fin de poder comprar amos, y en los resultados se encontró que la estrategia educativa es positiva para la adherencia al tratamiento (Barrón, 1998).

El estado de salud y la calidad de vida, son conceptos que a menudo se utilizan indistintamente para referirse al mismo dominio de salud, el dominio de la salud abarca desde aspectos de la vida valorados negativamente, incluyendo muerte, así como los aspectos más valorados positivamente como función de rol o felicidad, los límites de la definición generalmente dependen de por qué uno también está evaluando la salud, como las preocupaciones particulares de los pacientes,

médicos e investigadores (Guyatt, 1993). Se utiliza el término calidad de vida y está relacionada con la salud de porque cuando un paciente está enfermo, casi todos los aspectos de la vida pueden volverse relacionados con la salud. Si el paciente pierde el cuidado de su enfermedad, la mayoría de los aspectos de su vida pierden calidad, ya que la enfermedad puede afectar aspectos biológicos, psicológicos y sociales de un individuo.

Por último, el estudio Efectos de una intervención educativa sobre los niveles plasmáticos de LDL-colesterol en diabéticos tipo 2, es un estudio en el que se realizó una intervención educativa en donde los individuos tomaban un rol participativo para la creación de un nuevo estilo de vida saludable. Este se llevó a cabo mediante sesiones grupales con procesos de reflexión y la técnica de participación de los individuos que asistieron, encontrando que estas intervenciones educativas contribuyen a mejorar el control y manejo de la diabetes y el colesterol (Cabrera, 2001). Con base en esto, podemos observar que las intervenciones educativas sí tienen una repercusión en los cambios del estilo de vida, lo que ayudaran al paciente a tener un mejor control sobre su enfermedad. Entendiendo el estilo de vida como la opinión y percepción que tiene cada individuo sobre su salud y su bienestar físico y emocional (Montoya, 2010). Como se puede observar, los resultados de la aplicación de los diferentes modelos de educación en la salud fueron favorables y ayudaron a un mejor estilo de vida. Por lo que con esto se realza la importancia de la educación en la salud. Con base en lo anterior, se puede concluir que la educación para la salud es un componente clave para la mejora de la calidad de vida y la mejora de la salud de los individuos. Ya que, tomando en cuenta su combinación en las diferentes áreas de la vida social, puede tener un efecto sinérgico, contribuyendo a un aumento de la eficacia de las acciones sanitarias. Los conocimientos dados en

este núcleo nos hablan de que el éxito en el proceso de la educación en la salud requiere la activa participación de los educadores de la salud (ya sea enfermeros, nutriólogos, psicólogos, etc.) con los conocimientos y habilidades adecuados. La educación para la salud, entendida así, busca mejorar y proteger la salud, estimulando el proceso de aprendizaje, que conduce a cambios en el comportamiento de los individuos. Las actividades englobadas en campo de educación sanitaria incluyen elevar el nivel de conocimientos sobre salud, informándoles sobre las amenazas para la salud, construyendo su alta autoestima, su independencia y dando forma a su responsabilidad por su propia salud.

Prácticas educativas de los programas de educación en diabetes

El objetivo de un programa de educación es dotar al paciente de las herramientas necesarias para su labor asistencial, proporcionando información y material que facilite el trabajo con las personas diagnosticadas de Diabetes, para que sean capaces de desarrollar los autocuidados necesarios y gestionar su enfermedad. Para la implementación de los programas educativos deben utilizar los siguientes modelos educativos:

Modelo de la activación, Empowerment: El cual establece que la persona con diabetes es totalmente responsable de su autocuidado. Este se apoya en tres condiciones: Elecciones, control y consecuencias. Con este modelo educativo se piensa promover que cada uno de nosotros, somos responsables de nosotros mismos y de nuestras acciones. Las cuales tienen consecuencias, por lo tanto, somos responsables de estas. La diabetes es una enfermedad en la cual la importancia radica en el control y el auto manejo, por lo cual los programas educativos es necesario enseñarles a los pacientes que pueden tomar decisiones informadas. Y que estas decisiones tienen consecuencias, ya sean buenas o malas. Así mismo identificarán los principales problemas

físicos, emocionales, sociales, con las cuales se trabajará para establecer metas y un plan de trabajo, que después nos dará resultados y estos serán evaluados.

Autoeficacia: Este programa consiste en la confianza que se tiene para llevar a cabo ciertas tareas. La necesidad de autoconfianza de la paciente me llevo a elegir este programa, que está basado en el sentido de seguridad que tiene una persona para llevar a cabo una serie de habilidades (Pérez-Pasten, 2005, pág. 70). Ayuda a desarrollar lo que es el talento personal, se le enseña una tarea a la paciente para que después ella pueda realizarla. Así mismo aprender de la experiencia indirecta al observar a otros hacer la tarea y después ella intentarla.

Modelo del locus control: La definición de locus de control fue establecida por Rotter (1966) este considera que los individuos o pacientes que perciben que tienen mejor control sobre su vida y su enfermedad resulta ser más benéfico para el control de estas. Así mismo, se sugiere que este modelo es entendido mediante recompensas y castigos, que cada acción que se realiza tiene una consecuencia, ya sea buena o mala, y que aquellas personas que tienen un locus de control interno suelen tener mayor sentido de la toma de responsabilidad de sus acciones (Visdómine, 2006). Esto traducido al área de la salud con respecto a la diabetes, se entiende como que los pacientes saben que sus decisiones repercuten en su salud. Por ejemplo, si un paciente está consiente de las consecuencias, sabe que si tiene un control metabólico inadecuado (azúcar alta en sangre), su castigo será no comer alimentos dulces por un tiempo en lo que su glucosa se controla, en el sentido opuesto si tiene un control óptimo de su glucosa puede premiarse con algo que le guste consumir.

Con la utilización de estos programas educativos se garantiza que los pacientes tendrán las herramientas

necesarias para tomar decisiones informadas acerca de su enfermedad, tener el autocuidado necesarios para esta y entender que su enfermedad y control dependen de ella misma y no de segundas personas. No obstante, como ya se ha mencionado anteriormente, los modelos y técnicas que se utilizan dependen de las necesidades de cada paciente, su nivel educativo, los objetivos que desee lograr, entre otros factores que intervienen en la decisión del tipo de programa educativo que se le proporcionara a cada paciente. Los educadores en diabetes deben de poner mucho esfuerzo definiendo lo que es mejor para el o los pacientes. Sin embargo, es difícil definir qué es efectivo en una variedad de situaciones. Por lo cual es indispensable probar nuevas técnicas de enseñanza, métodos y enfoques. Por otro lado, se requiere aumentar las habilidades personales y examinar alternativas para la mejora de los programas de educación.

Conclusión

El valor de la educación del paciente es evidente a partir de las investigaciones abordadas en este artículo, ya que se demuestra que la educación le agrega valor al manejo de la diabetes y que las intervenciones específicas destinadas a mejorar el conocimiento del paciente pueden mejorar el autocuidado y el control de la diabetes. Durante el artículo se abordaron los contenidos, estrategias didácticas y prácticas educativas de los programas de educación en diabetes, y en resumen se destaca que se requiere una educación integral del paciente para con esto proporcionarle las habilidades de autogestión, que son necesarias para lograr un buen control glucémico. Se ha demostrado que la educación del paciente agrega valor para el manejo de la diabetes y las intervenciones destinadas a mejorar el conocimiento del paciente mejoraran el control de la diabetes.

Las tendencias más utilizadas en los programas de educación en diabetes en la actualidad son las de los 7 comportamientos, que es donde se resume toda la información que una persona con diabetes debe saber. Sin embargo, en algunos programas, a pesar de estar brindado toda la información necesaria al paciente mediante estos 7 comportamientos, los programas de educación no generan gran impacto en los pacientes. Por lo anterior, se debe de poner mayor énfasis en las prácticas pedagógicas y didácticas para que la información dada a los pacientes pueda ser comprendida y adquirida por las comunidades o individuos. Por lo que para futuras investigaciones se debe estudiar en profundidad la comunidad o sujeto a tratar, para realizar un diagnóstico certero de este y poder diseñar un programa de educación que se ajuste completamente a las necesidades de este. Por otro lado, el aumentar la parte social, de trabajo y económica dentro de los 7 comportamientos sería de utilidad para enseñar al paciente a poder abordar la diabetes desde estos ámbitos.

En conclusión, a partir de las diversas investigaciones acerca de los programas de educación, se encontró que en algunas ocasiones este es de gran impacto, así como en algunas otras no se encuentra gran diferencia entre los pacientes que han sido educados acerca de los conocimientos de su enfermedad contra los que no se les dio la educación. Esto nos deja un marco de referencia para estudiar aquellos proyectos que tuvieron éxito y tomar sus aspectos positivos, así como en aquellas investigaciones que no fueron fructíferas, tomar los errores y evitar repetirlos en las futuras investigaciones.

REFERENCIAS

- Álvarez Martínez, E. M. (2012). Manual de nutrición en diabetes para profesionales de la salud/Edith Milena Álvarez Martínez. Editorial Alfíl
- Alves, F. D., Souza, G. C., Brunetto, S., Perry, I. S., y Biolo, A. (2012). Nutritional orientation, knowledge and quality of diet in heart failure; randomized clinical trial. *Revista Nutricion hospitalaria*, 27(2), 441-448.
- American Diabetes Association (2018). Standards of Medical Care in Diabetes. The journal of clinical and applied research and education, 41 (1), 12-50.
- Association of Diabetes Care and Education Specialists, y Kolb, L. (2021). An Effective Model of Diabetes Care and Education: The ADCES7 Self-Care Behaviors™. The Science of Diabetes Self-Management and Care Journal, 47(1), 30-53.
- Bartholomew, L. K., Parcel, G. S., y Kok, G. (1998). Intervention mapping: a process for developing theory and evidence-based health education programs. *Health education y behavior journal*, 25(5), 545-563.
- Barrón-Rivera, A. J., Torreblanca-Roldán, F. L., Sánchez-Casanova, L. I., y Martínez-Beltrán, M. (1998). Efecto de una intervención educativa en la calidad de vida del paciente hipertenso. *Revista Salud pública de México*, 40, 503-509.
- Bravo, J. J. M. (2001). Complicaciones de la diabetes mellitus. Diagnóstico y tratamiento. *Revista SEMERGEN-Medicina de familia*, 27(3), 132-145.
- Bujanda Sainz de Murieta, E., Beitia Berrotaran, G., Zazpe, I., Lasheras, B., y Bes-Rastrollo, M. (2014). Evaluación de una intervención nutricional en personas mayores: el proyecto Edumay. *Revista de Nutrición Hospitalaria*, 30(1), 132-139.
- Cabrera-Pivaral, C. E., González-Pérez, G., Vega-López, M. G., y Centeno-López, M. (2001). Efectos de una intervención educativa sobre los niveles plasmáticos de LDL- colesterol en diabéticos tipo 2. *Revista Salud pública de México*, 43(6), 556-562.
- Carter-Edwards, L., Skelly, A. H., Cagle, C. S., y Appel, S. J. (2004). "They care but don't understand": family support of African American women with type 2 diabetes. *The Diabetes Educator journal*, 30(3), 493-501.
- Descalzo, C., Aldrete V. J. (2017). Manual para pacientes con diabetes tipo 2. México: Mc Graw Hill.
- Dubbert, P. M. (2002). Physical activity and exercise: Recent advances and current challenges. *Journal of consulting and clinical psychology*, 70(3), 526-536.
- Dussailant, C., Echeverría, G., Urquiaga, I., Velasco, N., & Rigotti, A. (2016). Evidencia actual sobre los beneficios de la dieta mediterránea en salud. *Revista médica de Chile*, 144(8), 1044-1052.
- Flores, J. C., Alvo, M., Borja, H., Morales, J., Vega, J., Zúñiga, C., ... & Münzenmayer, J. (2009). Enfermedad renal crónica: Clasificación, identificación, manejo y complicaciones. *Revista médica de Chile*, 137(1), 137-177.
- García, R., y Suárez, R. (2007). La educación a personas con diabetes mellitus en la atención primaria de salud. *Revista Cubana de Endocrinología*, 18(1), 1-5.
- Goswami, M. (2021). Diabetes Educator: The Role and Experience in a Tertiary Government Hospital. *International Journal of Nursing Education*, 13(3), 85-89.
- Guyatt, G. H., Feeny, D. H., y Patrick, D. L. (1993). Measuring health-related quality of life. *Annals of internal medicine journal*, 118(8), 622-629.
- Hévia, E. P. (2016). Educación en diabetes. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(2), 271-276.

Hortensius, J., Slingerland, R. J., Kleefstra, N., Logtenberg, S. J., Groenier, K. H., Houweling, S. T., y Bilo, H. J. (2011). Self-monitoring of blood glucose: the use of the first or the second drop of blood. *Diabetes Care journal*, 34(3), 556-560.

Instituto Nacional de Salud Pública (2012). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Recuperado el 26 de septiembre de 2021 en: <http://ensanut.insp.mx/informes.php#.vEaHccnzg6k>.

Jansà, M., y Vidal, M. (2015). Educación terapéutica en la cronicidad: el modelo de la diabetes. *Diabetes*, 9 (10), 53-55.

Kyrouz, E. M., Humphreys, K., y Loomis, C. (1997). A review of research on the effectiveness of self-help mutual aid groups. *British Journal of Clinical Psychology*, 33 (8), 198-200.

Lakhtakia, R. (2013). The history of diabetes mellitus. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, 13(3), 368.

Lefevre, A. M. C., Crestana, M. F., y Cornetta, V. K. (2003). A utilização da metodologia do discurso do sujeito coletivo na avaliação qualitativa dos cursos de especialização "Capacitação e Desenvolvimento de Recursos Humanos em Saúde-CADRHU", São Paulo- 2002. *Saúde e Sociedade*, 12, 68-75.

Mazucca, S. A., Moorman, N. H., Wheeler, M. L., Norton, J. A., Fineberg, N. S., Vinicor, F., ... y Clark, C. M. (1986). The diabetes education study: a controlled trial of the effects of diabetes patient education. *Diabetes care journal*, 9(1), 1-10.

Molina Zúñiga, R. (1998). El ejercicio y la salud," la caminata": beneficios y recomendaciones. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 7(12), 65-72.

Montoya, L. R. G., y Salazar, A. L. (2010). Estilo de vida y salud: un problema socioeducativo. Antecedentes. *Revista Educere*, 14(49), 287-295.

Murillo-Haro, L., Ruiz de Chávez-Ramírez, D., Almeida-Perales, C. y García-Zamora, P. (2013). Intervención educativa para prevenir enfermedades crónico-degenerativas en mujeres con pareja migrante en el Lampotal, Zacatecas. *Revista de Educación y Desarrollo*, 24, 37-44

Muñoz-Reyna, A. P., Ocampo-Barrio, P., y Quiroz-Pérez, J. R. (2007). Influencia de los grupos de ayuda mutua entre diabéticos tipo 2: efectos en la glucemia y peso corporal. *Archivos en medicina familiar*, 9(2), 87-91.

Nagelkerk, J., Reick, K., y Meengs, L. (2006). Perceived barriers and effective strategies to diabetes self management. *Journal of advanced nursing*, 54(2), 151-158.

Organización Mundial de la Salud. (2011). Un reporte sobre la salud. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/diabetes>.

Otero, L. M., Zanetti, M. L., y Ogrizio, M. D. (2008). El conocimiento del paciente diabético, antes y después de la implementación de un programa de educación en diabetes. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 16, 231-237.

Paz y Zoram (2017). Educación en diabetes; estrategias del profesional de salud en el cuidado del paciente con diabetes. *Revista enfermería Herediana*, 10 (2):73-77

Pérez-Pastén, E. (2005). Manual del educador y del paciente con diabetes. México, Johnson y Johnson.

Rivera-Hernandez, M. (2014). Depression, self-esteem, diabetes care and self-care behaviors among middle-aged and older Mexicans. *Diabetes research and clinical practice journal*, 105(1), 70-78.

Rodrigues, F. F. L., Zanetti, M. L., Santos, M. A. D., Martins, T. A., Sousa, V. D., y Teixeira, C. R. D. S. (2009). Conocimiento y actitudes: componentes para la educación en diabetes. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 17, 468-473.

Romo-Romo, A., Gómez-Velasco, D. V., Galán-Ramírez, G. A., Janka-Zires, M., Brito-Córdova, G. X., Gómez-Munguía, L., ... y Almeda-Valdes, P. (2021). Diabetes education and self-care behaviors in patients with diabetes in Mexico. *Revista Mexicana de Endocrinología, metabolismo y nutrición*, 8(9), 183-91.

Schieber, G. J., Gottret, P., Fleisher, L. K., & Leive, A. A. (2007). Financing global health: mission unaccomplished. *Health affairs*, 26(4), 921-934.

Segarra, E., Encalada, L. E., y García, J. L. (2011). Manejo de la hipertensión arterial desde los servicios de atención primaria. *Revista Maskana*, 2(2), 57-69.

Soundarya, M., Asha, A., y Mohan, V. (2004). Role of a diabetes educator in the management of diabetes. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 24(7), 65-8.

Ünsal-Avdal, E., y Arkan, B. (2014). Individual and Group education in diabetes and outcomes. *Aquichan*, 14(2), 138-147.

Vázquez, F. N. (2018). Diabetes un estilo de vida. Retos cotidianos. *Revista Diabetes Hoy*. Recuperado de: [Visdómine-Lozano, J. C., y Luciano, C. \(2006\). Locus de control y autorregulación conductual: revisiones conceptual y experimental. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 6\(3\), 729-751.](https://revistadiabetes hoy.org/blog/retos-cotidianos/Viniegra-Velázquez, L. (2006). Las enfermedades crónicas y la educación. Diabetes mellitus como paradigma. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social, 44(1), 47-59.</p></div><div data-bbox=)

Weare, K. (2002). Work with young people is leading the way in the new paradigm for mental health. *International Journal of Mental Health Promotion*, 4(4), 55-58.

Zarco, L. E. M., de la Cruz Casas, A. M., Santaella, M. E. S., & Avilés, A. G. P. (2012). Nivel de conocimientos del personal de salud sobre cuidados paliativos. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(2), 109-114.

UTILIZACIÓN DE MORINGA OLEÍFERA COMO UN COAGULANTE-FLOCULANTE NATURAL PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE AGUA

USE OF MORINGA OLEÍFERA AS A NATURAL COAGULANT-FLOCCULANT FOR WATER DECONTAMINATION

José J. Cedillo-Portillo(1)
Abigail Ponce-González(2)
Valeria J. González-Coronel(2)
Míriam Vega-Sánchez(2)
M. Teresa Zayas-Pérez(1)
Guillermo Soriano-Moro.

<https://orcid.org/0000-0003-0913-9394>
<https://orcid.org/0000-0002-1297-3497>
<https://orcid.org/0000-0002-9670-8876>
<https://orcid.org/0000-0003-1889-9600>

Año 10 No. 28

Recibido: 12/diciembre/2023

Aprobado: 28/diciembre/2023

Publicado: 5/enero/2024

(1)Centro de Química, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria.

Av. San Claudio, Jardines de San Manuel, Puebla, Pue. México.

(2)Facultad de ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria. Av. San Claudio, Jardines de San Manuel

Correo: jjcedillo92@hotmail.com
jesus.soriano@correo.buap.mx,

Resumen

La contaminación del agua hoy en día es un problema global, por tal motivo es de suma importancia la investigación y la innovación en diferentes técnicas para el saneamiento de este vital líquido. Las semillas de Moringa oleífera han sido objeto de estudio desde hace años, debido a la facilidad que tienen para la remoción y clarificación de diversos contaminantes en agua, además de tener un efecto antimicrobiano, lo cual le confiere una propiedad interesante a la hora de emplearla dentro del tratamiento de aguas residuales. Esta revisión presenta una descripción general del uso de la Moringa oleífera como un material adsorbente natural para ser implementado en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua contaminada.

Palabras clave: Adsorbente, Agua, Coagulante, Floculante, Moringa oleífera.

ABSTRACT

Water pollution today is a global problem, for this reason research and innovation in different techniques for the sanitation of this vital liquid is of the utmost importance. Moringa oleifera seeds have been studied for years, due to the ease they have for the removal and clarification of various contaminants in water. In addition to having an antimicrobial effect, which gives it an interesting property when using it in wastewater treatment. This review presents a general description of the use of Moringa oleifera as a natural adsorbent material to be implemented in the coagulation-flocculation process for the treatment of contaminated water.

Keywords: Adsorbent, Water, Coagulant, Flocculant, Moringa oleifera.

Introducción

El agua es un recurso vital para los seres humanos, diariamente se emplea para diversos aspectos de la vida diaria, así como para la producción y preservación de bienes y servicios. Según la organización mundial de la salud (OMS), una persona requiere en promedio de 100 L de agua por día para satisfacer necesidades básicas (consumo e higiene). La contaminación de los recursos hídricos (Figura 1) es un problema global, lo cual es debido al crecimiento exponencial de la población, así como, el incremento del desarrollo industrial (textiles, cosméticas, alimentarias y de productos farmacéuticos), esto ha causado un aumento en los niveles de contaminación de agua (Mishra et al., 2021); (Rahmatpour et al., 2022). Se han identificado diversos contaminantes perjudiciales tanto para los seres humanos como para el ambiente, entre los cuales destacan: colorantes sintéticos (Pang et al., 2020), metales pesados (Abu-Danso et al., 2018), contaminantes emergentes (Cheng et al., 2021) proviniendo estos materiales tóxicos de fuentes antropogénicas y naturales (Okpara et al., 2023): El agua contaminada y el saneamiento deficiente de esta se relaciona con la transmisión de enfermedades tales como: el colera, disentería, diarreas, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomieltitis (Masumoto et al., 2022).



Figura 1. Contaminación del agua (Denchak 2023).

De acuerdo con el informe de CONAGUA en México (emitido en 2015) el consumo promedio por persona de agua al día se estima que es de 380 L, mientras que dentro del sector industrial se llegan a utilizar hasta 10 L

de agua para la fabricación de una sola hoja de papel y 91 L para la obtención de 500 g de plásticos. Además, que hasta la fecha se considera como un problema global el suministro de agua potable en diversas comunidades de países en desarrollo. Según la UNESCO, la falta de agua se debe a diversos factores, entre los cuales destaca el rápido crecimiento de la mancha urbana, así como la eliminación inadecuada de desechos tóxicos, lo cual afecta la disponibilidad del agua dulce, tan solo en México se dispone del 0.1 % del agua dulce disponible a nivel mundial. Debido a esto, cada vez se buscan más técnicas alternativas para el tratamiento de aguas contaminadas y combatir el desabasto.

Tratamiento de agua

Se han utilizado diversas técnicas para la eliminación de contaminantes tóxicos del agua (Jing et al., 2013). Dentro de los métodos fisicoquímicos, la adsorción es un método económico y efectivo para la eliminación de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos, sin embargo, la eficiencia de la adsorción depende completamente del adsorbente utilizado (Malaviya & Singh, 2011); (Jing et al., 2013).

Floculación-coagulación

El proceso de floculación-coagulación es uno de los procedimientos más utilizados en el tratamiento de agua, dado que su bajo costo, la simplificación y la alta eficiencia en la eliminación de contaminantes. Esta técnica se basa en la eliminación de la turbidez o el color del agua, lo cual se fundamenta en la creación de un precipitado de partículas pequeñas en el agua, y al agitarse suavemente, las partículas se unen y se forman partículas más grandes (Figura 2). Así, al incorporarse forman partículas de mayor tamaño, las cuales se sedimentan y facilitan su remoción (Tie et al., 2015); (Vasu & Joshua, 2013).



Figura 2. Proceso de Floculación-coagulación. Realizada en laboratorio

El agente coagulante utilizado es el factor más relevante, ya que este es el responsable de desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran cargadas eléctricamente y se estabilizan por una doble capa eléctrica. Uno de los coagulantes sintéticos más utilizados es el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, que a pesar de su rentabilidad y eficacia ha tenido algunas dificultades y desventajas a causa de que se puede llevar a cabo una reacción de este con la alcalinidad natural presente en el agua. Esto conduce a una reducción del pH y una baja eficacia en la coagulación en aguas frías (Vasu & Joshua, 2013). Además, estudios recientes han señalado la relación de sales de aluminio con la enfermedad de Alzheimer y demencia pre-senil. Otra desventaja de los coagulantes químicos, como las sales minerales de hierro y aluminio, es que pueden llegar a ser arrastrados durante la sedimentación de los lodos, convirtiéndolos en un problema ambiental, pues en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. Por lo que, se ha recurrido a la búsqueda de alternativas más amigables y seguras para la salud, así surgen la idea de utilización de coagulantes naturales, los cuales son componentes que por lo regular son sintetizados por especies vegetales, los cuales no representan un peligro ambiental o para la salud humana, un ejemplo de este tipo de especies es la semilla de *Moringa oleífera*, la cual es una opción viable y eficaz para remover los coloides de aguas crudas y contaminadas debido a que su estudio demuestra la capacidad de estas semillas para reducir los sólidos totales suspendidos, turbidez y color, que además por su origen natural no

genera residuos tóxicos en el agua tratada y es biodegradable (Vivas Saltos et al., 2022); (Azad & Hassan, 2020).

Materiales adsorbentes

Algunos de los métodos para tratamientos de aguas son los materiales adsorbentes. Estos pueden ser de origen mineral, orgánico o biológico, entre los cuales encontramos zeolitas, subproductos industriales, biomasa y materiales poliméricos. En la actualidad el estudio de materiales que no representen un riesgo para la salud humana y el ambiente es un factor muy importante a la hora de llevar a cabo el diseño de un material. Existen experimentos en torno al campo de hidrogeles aplicados al tratamiento de aguas residuales, los hidrogeles son materiales que además se han utilizado en áreas como química, salud, medicina, materiales de construcción, desarrollo de campos de petróleo y gas, agricultura y silvicultura. Además, los adsorbentes a base de hidrogeles funcionalizados con grupos hidroxilo, amino, carboxilo, etc. Han demostrado altas capacidades para eliminar contaminantes de las soluciones (Pal & Banat, 2015).

La versatilidad de los hidrogeles permite su aplicación en el campo de remediación ambiental en el tratamiento de aguas residuales y desechos acuosos de la industria contaminados con metales tóxicos. Puesto que se ha estudiado su capacidad de recuperación selectiva de metales en su forma iónica, sobre todo a bajas concentraciones del ion, ha demostrado ser un material con ventajas sobre técnicas ya existentes que además son altamente costosas y con bajo rendimiento a estas condiciones (Ramírez et al., 2016).

Moringa oleífera

La planta de *Moringa oleífera*, también llamada árbol de la vida, es actualmente conocida por sus múltiples beneficios y propiedades. La planta es

originaria del norte de la India, donde se describió por primera vez alrededor del año 2000 a.C. como hierba medicinal, actualmente es cosechada a lo largo de todo el trópico (Vasu & Joshua, 2013). La *Moringa oleifera* es una planta tropical perteneciente a la familia Moringaceae syns, que es una sola familia de arbustos con 14 especies conocidas, clasificado en el orden de los Brassicales, la especie que actualmente está bien documentada es la de *Moringa oleifera*, de acuerdo con Ndabigengesere y Narasiah, es la especie más abundante (Bhatia et al., 2007) (Ndabigengesere & Subba Narasiah, 1998). Las hojas de *Moringa oleifera* tienen grandes cualidades nutritivas. Según un estudio de la Food and Agriculture Organisation (FAO), el contenido de proteínas es del 27 % (tanto como el huevo y el doble de la leche). También tiene cantidades significativas de calcio (cuatro veces más que la leche), hierro, fósforo y potasio (tres veces más que los plátanos), así como, vitamina A (cuatro veces más que las zanahorias) y C (siete veces más que las naranjas), además sus semillas (Figura 3) son empleadas para ayudar a limpiar el agua sucia eliminando la turbidez entre un 80-99 % (Benítez, 2012). Es por ello que resulta de suma importancia el estudio de esta planta en diversas aplicaciones como en el tratamiento de aguas debido a su propiedad ya reportada como clarificante y coagulante natural (Mataka et al., 2006).

Algunos de los compuestos encontrados en el material vegetal son saponinas, flavonoides, esteroides, terpenoides, fenoles y triterpenos, así mismo, se encuentra una gran cantidad de ácidos grasos como el omega 9 (76 %) y ácidos grasos saturados (ácido palmítico, esteárico y araquídico) (12 %), se ha reportado que estos ácidos grasos no presentan toxicidad, además de que no afecta la actividad coagulante de las semillas, así mismo, se ha informado que podría traer beneficios la presencia de estos ácidos debido a que previenen significativamente la

formación de biopelículas de *S. aureus* (Villaseñor et al., 2018).



Figura 3. Semilla de *Moringa oleifera*.

Uso de la *Moringa oleifera* como coagulante

Desde principios de la década de 70's se ha evaluado la eficacia de la moringa para el tratamiento del agua (Kansal & Kumari, 2014). Por lo que, al paso de los años se ha ido utilizando este coagulante en diferentes condiciones, los mecanismos predominantes para la eliminación de contaminantes mediante *Moringa oleifera* son la adsorción, la neutralización de carga y las partículas/coloides desestabilizados (Villaseñor et al., 2018), estos son representados en la (Figura 4). Algunos estudios relacionados sobre la coagulación usando semillas de *Moringa oleifera* sugieren que el aumento de los valores de pH dentro del sistema acuoso da como resultado la liberación de grupos hidroxilo, que cambian el pH de la solución a valores alcalinos y permiten la desestabilización de coloides en algunos casos. Algunos autores han propuesto que los sitios de unión en las proteínas *Moringa oleifera* podrían estar relacionados con cambios de pH debido a la competencia entre H^+ / H_3O^+ y OH^- . En el caso de valores de pH bajos, H_3O^+ o H^+ , dependiendo del pH competirá con iones catiónicos metálicos o sitios de unión en proteínas *Moringa oleifera* o cualquier otro sitio activo disponible. Además, el efecto hidrofóbico entre las emisiones de *Moringa oleifera* y los coloides hidro-

fóbicos en las aguas residuales podría desempeñar un papel importante en los procesos de coagulación-floculación (Villaseñor et al., 2018).

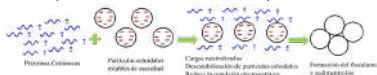


Figura 5. Ejemplos de cadenas de carbono y cianopolinos detectados en TMC-1.

La actividad de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante se debe a la presencia de proteínas catiónicas solubles en agua, dichas proteínas son dímeros catiónicos densamente cargados con un peso molecular de aproximado de 13 kDa y un valor de pH isoeléctrico de 10 y 11 (Bhatia et al., 2007). Por otra parte, Mataka et al., en 2006 sugiere que el mecanismo de coagulación puede ser mediante la adsorción y neutralización de cargas, o bien a través de la adsorción y el puente de partículas desestabilizadas entre las proteínas presentes (Camacho et al., 2017); (Mateus et al., 2018).

Efecto antimicrobiano de *Moringa oleifera*

Los beneficios del uso de la semilla de *Moringa oleifera* son múltiples, tanto que, se le ha atribuido propiedades antimicrobianas, esto debido a la presencia de la sustancia llamada "moringin" que es un isotiocianato de 4-(-L-ramnosiloxi)-bencilo (isotiocianato de glucomoringina; GMG-ITC) biológicamente activo, aunque no se puede concluir que la moringa sea el único mecanismo responsable de la actividad antimicrobiana, sin embargo, la propiedad antimicrobiana de esta planta es de suma importancia para aplicaciones en el tratamiento de agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el 80 % de enfermedades se trasmite principalmente por el agua (Van der Berg & Kuipers, 2022); (Zhang et al., 2023).

Un estudio recientemente (Kawabena et al., 2020) muestra la eficiencia del uso del polvo de las semillas de *Moringa oleifera* con filtración de arena

para el tratamiento de aguas grises; los resultados obtenidos mostraron un porcentaje de remoción de coliformes totales de 91 % y *E. coli* > 99 % , no obstante, el agua tratada se ha empleado en limpieza o en la descarga de inodoros (Kwabena Ntibrey et al., 2020).

Por otra parte, para algunas comunidades en desarrollo, los métodos convencionales de tratamiento de agua no son asequibles debido al alto costo y la falta de insumos, en 2019 Vunain et al., llevó a cabo el estudio de aguas residuales domésticas en la zona de Zomba en Malawi usando la semilla de *Moringa oleifera*, con la cual disminuyó la turbidez de 287 a 38.8 NTU (unidad nefelométrica de turbidez por sus siglas en inglés). De igual forma, se tuvo una reducción de la carga microbiana con especial potencial en especies tales como *Salmonella* y *Shigella* spp bacterias coliformes, hongos y diversas formas de microbios que se encuentran en las aguas residuales (Vunain et al., 2019).

Aplicaciones de la *Moringa oleifera* en el tratamiento de aguas

Mendoza et al., en 2000, reportaron el estudio comparativo de *Moringa oleifera* con respecto al uso de $Al_2(SO_4)_3$. Reportando que la dosis óptima para eliminar la turbidez de 49 NTU fue de 10 mg/L para la *Moringa oleifera*, mientras que para el $Al_2(SO_4)_3$ solo fueron necesarios 5 mg/L. Esta concentración si bien es mayor para dicha turbidez, el uso de *Moringa oleifera* es exitoso debido a que no genera residuos tóxicos que puedan presentar amenaza para el ser humano. Algunos autores atribuyen un mayor costo con el empleo de las semillas de *Moringa oleifera* debido a la utilización de éter de petróleo y alcohol isopropílico para la eliminación del aceite presente (Mendoza et al., 2000). Sin embargo, diferentes estudios demuestran que el contenido de proteínas es similar cuando se trabaja sin la extracción del aceite en comparación cuando se realiza dicho

procedimiento, es decir, el aceite no impide el proceso de floculación-coagulación (Camacho et al., 2017). La utilización de semillas de Moringa oleífera (Figura 5) dentro de los procesos de floculación-coagulación es eficaz, sin embargo, se puede dar la formación lenta de flóculos a tiempos de 60 a 90 min (Mateus et al., 2018).



Figura 5. Semilla de Moringa oleífera triturada.

Remoción de metales de aguas residuales

Otra de las aplicaciones en las que se ha involucrado el uso de la semilla de Moringa oleífera es en la remoción de metales pesados de aguas contaminadas. Uno de los metales normalmente encontrados en aguas residuales es el plomo (Pb), el cual es neurotóxico y una gran variedad de condiciones patológicas están asociadas con la intoxicación aguda por Pb, siendo la más característica el edema cerebral (Mataka et al., 2006). Si bien el uso de la semilla de Moringa oleífera presenta una eficaz utilización para la eliminación de Pb, existen otros metales pesados y metaloides peligrosos para la salud de los seres vivos, como por ejemplo: Cd, Cu, Fe, Mn y Zn. Al respecto, se ha reportado recientemente, un estudio en el que se compara el quitosano, Moringa oleífera y zeolita (coagulantes naturales) con sulfato de aluminio y cloruro férrico (FeCl₃) para la remoción de Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn de efluentes de extracción de aceite de palma (POME), mediante el proceso

de coagulación-floculación y sedimentación. En dicho estudio se empleó una concentración de 2000 mg/L de Moringa oleífera, con la cual se obtuvieron porcentajes de eliminación 86.87 % de Pb, 94.91 % de Cd y 91.31 % Mn (Jagaba et al., 2021).

Por otro lado, Hegazy et al., en 2021, realizaron un estudio para la eliminación de metales pesados presentes en agua contaminada mediante el empleo de semillas de Moringa oleífera y un subproducto de orujo de oliva, reportando la remoción de Fe²⁺ y Mn²⁺ en porcentajes de 80.5 % y 93 %, respectivamente (Hegazy et al., 2021). Remoción de colorantes de aguas residuales de la industria textil Aproximadamente entre el 10 % y el 15 % de los colorantes se liberan al ambiente durante el teñido de diferentes sustratos, tales como fibras textiles, sintéticas y naturales, plásticos, cuero, papel, aceites minerales, ceras e incluso (con tipos seleccionados) alimentos y cosméticos. Aun a concentraciones muy bajas del orden de 10 a 50 mg/L, los colorantes azoicos solubles en agua pueden hacer que las corrientes de desechos se vuelvan muy coloreadas, llegando a ser tóxicos, y en algunos casos, estos compuestos son cancerígenos y mutagénicos. Por ello, la importancia del tratamiento de aguas de la industria textil (Figura 6), ya que muchas de estas aguas desembocan en ríos o lagos locales y en algunos casos estas aguas son utilizadas como agua de riego en campos de siembra de productos de consumo humano. Uno de los tintes azoicos es el negro directo-19, en 2015, Tie et al., probaron la eficiencia de la coagulación y el rendimiento de la Moringa oleífera como coagulante y utilizó el coagulante comercial cloruro de polialuminio (PAC) con fines de comparación. Los resultados indicaron que un valor de pH más bajo en el intervalo de 5 a 9, es favorable para la eliminación. De negro directo-19 para los dos coagulantes, mientras que la temperatura óptima para los dos coagulantes es de 25 °C en el rango de temperatura de 10

a 55 °C. La eliminación de negro directo-19 aumentó con el aumento de las dosis de Moringa oleifera y PAC. Estos resultados muestran una clara eficacia de la semilla de Moringa oleifera sobre un coagulante químico comercial PAC, así mismo se destaca el uso de un coagulante natural y no tóxico como la Moringa oleifera (Tie et al., 2015).



Figura 6. Contaminación de agua por industria textil (Water Witness 2021).

Por su parte, Soliman et al., en 2019, realizaron un estudio en donde emplearon el residuo (cáscara) de semillas de Moringa oleifera como adsorbente verde, reportando que el residuo alcanzó una remoción del colorante rojo Congo del 85.3 %. Además, el residuo es viable para la remoción del colorante, considerándose como un adsorbente ecológico, económico y eficaz (Soliman et al., 2019).

Estos estudios han demostrado y brindado confianza respecto al uso de la semilla de Moringa oleifera como adsorbente natural de colorantes textiles y de otros sectores industriales, como el papel y plásticos. Esta constante búsqueda de adsorbentes más eficaces, pero sobre todo naturales o "verdes" se debe a que los efluentes coloreados de las aguas residuales de estas industrias llegan a mezclarse en los sistemas de aguas superficiales y subterráneas; pudiendo llegar a contaminar el agua potable, lo cual representa una amenaza para la salud humana, debido a que la mayoría de los tintes son tóxicos, mutagénicos y cancerígenos (Chen & Zhao, 2009), e incluso la liberación de aguas residuales en el ecosistema es una fuente alarmante de contaminación, eutrofi-

zación y de perturbaciones en la vida acuática (Lachheb et al., 2002).

Utilización de la Moringa oleifera en la BUAP

Actualmente, en el Laboratorio de Química Ambiental del Centro de Química del Instituto de Ciencias de la BUAP nos encontramos desarrollando diversos materiales del tipo hidrogel. Una vez obtenidos, añadimos el polvo de las semillas de Moringa oleifera para emplear este tipo de materiales dentro del tratamiento de aguas con diferentes contaminantes ambientales. Destacando los metales pesados y los colorantes, si bien ya se tiene conocimiento de materiales para la remoción de contaminantes, en el laboratorio de química ambiental, estamos comprometidos con el ambiente. Es por esto que trabajamos en busca de materiales que no representen un riesgo para los ecosistemas. Así mismo, estamos enfocados en la implementación de los principios de la química verde para la síntesis de nuevos materiales, además de la difusión y el impulso a la formación de vocaciones científicas, el pasado verano recibimos 3 estudiantes provenientes del Tecnológico de Matamoros, los cuales participaron en el verano de la investigación Científica y Tecnológica del Pacífico 2023, los estudiantes participaron en el desarrollo de hidrogeles a base de polímeros sintéticos y macromoléculas bio-basadas para la descontaminación de agua (Figura 7).



Figura 7. Hidrogeles a base de polímeros sintéticos y macromoléculas bio-basadas.

Conclusiones

El deterioro progresivo que se da en los mantos acuíferos y la contaminación del agua es un tema crítico, que los seres humanos deben afrontar. Para revertir esta amenaza es indispensable el desarrollo de materiales y metodologías eficientes, en los últimos años los métodos de coagulación-floculación, se han posicionado como técnicas fáciles de implementar, rentables y respetuosas con el medio ambiente siendo apreciados estos métodos como una forma para coadyuvar a la descontaminación del vital recurso. Se han utilizado diferentes adsorbentes, no obstante, se han destacado y preferido los obtenidos de forma natural, debido a que son ecológicos y tienen un menor costo, además de ser respetuosos con el ambiente, la Moringa oleífera es el candidato ideal en el momento de pensar en un adsorbente "verde" para el tratamiento de aguas debido a diversos aspectos como: ser biodegradable, reciclable, fácil manipulación y eficaz en la adsorción de diversos contaminantes, la semilla de Moringa oleífera ha demostrado ser un coagulante eficiente en el tratamiento de aguas residuales por el método de coagulación-floculación, acompañado de otras técnicas que ayudan en la limpieza y desinfección de las aguas, hasta llegar a un punto en que estás logran ser potables. En contraparte, su uso está limitado localmente, por lo que su potencial aplicación puede ser en países en desarrollo o zonas de alta marginación, que carecen de agua potable y que son susceptibles a enfermedades causadas por el consumo de agua, con patógenos dañinos. Lo que permite que el uso de esta semilla sea una eficiente alternativa en la eliminación de turbidez, además de llegar a hacer un agente antimicrobiano, siendo de gran ayuda en este tipo de comunidades, debido a que se trata de una planta accesible y un proceso de limpieza simple.

Declaración de privacidad

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

Declaración de no conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

Agradecimientos

Se agradece al Laboratorio de Química Ambiental del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por proporcionar las facilidades necesarias para la realización de la estancia posdoctoral, al CONAHCYT por la beca otorgada 863187.

Referencias

- Abu-Danso, E., Peräniemi, S., Leiviskä, T., & Bhatnagar, A. (2018). Synthesis of S-ligand tethered cellulose nanofibers for efficient removal of Pb(II) and Cd(II) ions from synthetic and industrial wastewater. *Environmental Pollution*, 242, 1988–1997. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.044>
- Azad, Md. S., & Hassan, M. S. (2020). Importance of Moringa Oleifera for Wastewater Treatment: A Review. *International Journal of Sustainable Energy Development*, 8(1), 415–420. <https://doi.org/10.20533/ijsted.2046.3707.2020.0049>
- Benítez, W. M. (2012). APROVECHAMIENTO POSCOSECHA DE LA MORINGA (Moringa oleifera). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(2), 171–174.
- Bhatia, S., Othman, Z., & Ahmad, A. L. (2007). Coagulation–flocculation process for POME treatment using Moringa oleifera seeds extract: Optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, 133, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.01.034>
- Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., & Ribau Teixeira, M. (2017). The use of Moringa oleifera as a natural coagulant in surface water treatment. *Chemical Engineering Journal*, 313, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.12.031>
- Chen, H., & Zhao, J. (2009). Adsorption study for removal of Congo red anionic dye using organo-attapulgite. *Adsorption*, 15(4), 381–389. <https://doi.org/10.1007/s10450-009-9155-z>
- Cheng, N., Wang, B., Wu, P., Lee, X., Xing, Y., Chen, M., & Gao, B. (2021). Adsorption of emerging contaminants from water and wastewater by modified biochar: A review. *Environmental Pollution*, 273, 116448. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116448>
- Denchak, Melissa., (2023). Water Pollution: Everything You Need to Know. [Figura] Recuperado de <https://www.nrcd.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know#whatis>
- Hegazy, I., Ali, M. E. A., Zaghlool, E. H., & Elsheikh, R. (2021). Heavy metals adsorption from contaminated water using moringa seeds/ olive pomace byproducts. *Applied Water Science*, 11(6), 95. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01421-5>
- Jagaba, A. H., Kutty, S. R. M., Hayder, G., Baloo, L., Ghaleb, A. A. S., Lawal, I. M., Abubakar, S., Al-dhawi, B. N. S., Almahbashi, N. M. Y., & Umaru, I. (2021). Degradation of Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn by Moringa-oleifera, zeolite, ferric-chloride, chitosan and alum in an industrial effluent. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.06.016>
- Jing, G., Wang, L., Yu, H., Amer, W. A., & Zhang, L. (2013). Recent progress on study of hybrid hydrogels for water treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 416, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.09.043>
- Kansal, S. K., & Kumari, A. (2014). Potential of M. oleifera for the treatment of water and wastewater. *Chemical Reviews*, 114(9), 4993–5010. <https://doi.org/10.1021/cr400093w>
- Kwabena Ntibrey, R. A., Kuranchie, F. A., & Gyasi, S. F. (2020). Antimicrobial and coagulation potential of Moringa oleifera seed powder coupled with sand filtration for treatment of bath wastewater from public senior high schools in Ghana. *Heliyon*, 6(8), e04627. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04627>
- Lachheb, H., Puzenat, E., Houas, A., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., & Herrmann, J.-M. (2002). Photocatalytic degradation of various types of dyes (Alizarin S, Cro-

cein Orange G, Methyl Red, Congo Red, Methylene Blue) in water by UV-irradiated titania. *Applied Catalysis B: Environmental*, 39(1), 75–90. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00078-4](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00078-4)

Malaviya, P., & Singh, A. (2011). Physicochemical Technologies for Remediation of Chromium-Containing Waters and Wastewaters. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(12), 1111–1172. <https://doi.org/10.1080/10643380903392817>

Masumoto, T., Amano, H., Otani, S., Kamijima, M., Yamazaki, S., Kobayashi, Y., & Kurozawa, Y. (2022). Association between prenatal cadmium exposure and child development: The Japan Environment and Children's study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 243, 113989. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113989>

Mataka, L. M., Henry, E. M. T., Masamba, W. R. L., & Sajidu, S. M. (2006). Lead remediation of contaminated water using *Moringa Stenopetala* and *Moringa oleifera* seed powder. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 3(2), 131–139. <https://doi.org/10.1007/BF03325916>

Mateus, G. A. P., Paludo, M. P., dos Santos, T. R. T., Silva, M. F., Nishi, L., Fagundes-Klen, M. R., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2018). Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with *Moringa oleifera* seed extract. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4084–4092. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.050>

Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (2000). Uso de la *Moringa Oleifera* como Coagulante en la Potabilización de las Aguas. *Ciencia*, 8(2), Article 2. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/articulo/view/9050>

Mishra, B., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water Security in a Changing Environment: Concept, Challenges and Solutions. *Water*, 13(4), 490. <https://doi.org/10.3390/w13040490>

Ndabigengesere, A., & Subba Narasiah, K. (1998). Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, 32(3), 781–791. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9)

Okpara, E. C., Olatunde, O. C., Wojuola, O. B., & Onwudiwe, D. C. (2023). Applications of Transition Metal Oxides and Chalcogenides and their Composites in Water Treatment: A review. *Environmental Advances*, 11, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100341>

Pal, P., & Banat, F. (2015). Removal of Contaminants from Industrial Lean Amine Solvent Using Polyacrylamide Hydrogels Optimized by Response Surface Methodology. *Adsorption Science & Technology*, 33(1), 9–24. <https://doi.org/10.1260/0263-6174.33.1.9>

Pang, X., Sellaoui, L., Franco, D., Netto, M. S., Georgin, J., Luiz Dotto, G., Abu Shayeb, M. K., Belmabrouk, H., Bonilla-Petriciolet, Adrian., & Li, Z. (2020). Preparation and characterization of a novel mountain soursop seeds powder adsorbent and its application for the removal of crystal violet and methylene blue from aqueous solutions. *Chemical Engineering Journal*, 391, 123617. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123617>

Rahmatpour, A., Soleimani, P., & Mirkani, A. (2022). Eco-friendly poly(vinyl alcohol)/partially hydrolyzed polyacrylamide/graphene oxide semi-IPN nanocomposite hydrogel as a reusable and efficient adsorbent of cationic dye methylene blue from water. *Reactive and Functional Polymers*, 175, 105290. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105290>

Ramirez, A., Benítez, J. L., Rojas de Astudillo, L., & Rojas de Gáscue, B. (2016). Ma-

teriales polimeros de tipo hidrogeles: Revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(2), 108–130.

Soliman, N. khamis, Moustafa, A. F., Aboud, A. A., & Halim, K. S. A. (2019). Effective utilization of Moringa seeds waste as a new green environmental adsorbent for removal of industrial toxic dyes. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 1798–1808. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.12.010>

Tie, J., Jiang, M., Li, H., Zhang, S., & Zhang, X. (2015). A comparison between Moringa oleifera seed presscake extract and polyaluminum chloride in the removal of direct black 19 from synthetic wastewater. *Industrial Crops and Products*, 74, 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.004>

van der Berg, Jorrita, & Kuipers, S. (2022). The antibacterial action of Moringa oleifera: A systematic review. *South African Journal of Botany*, 151, 224–233. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.09.034>

Vasu, V., & Joshua, R. (2013). Characteristics of stored rain water and its treatment technology using Moringa Seeds. *Intl. J. of Life Sciences Biotech. and Pharma Research*, 2, 155.

Villaseñor, D., Astudillo-Sanchez, P., Real, J., & Bandala, E. (2018). Wastewater treatment using Moringa oleifera Lam seeds: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 23, 151–164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.017>

Vivas Saltos, H. T., Calderón Pincay, J. M., Mendoza Cedeño, L. G., & Cedeño Zambrano, J. G. (2022). Remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el polielectrolito catiónico extraído de las semillas de Moringa oleifera. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(2), 84–96.

Vunain, E., Masoamphambe, E. F., Mpeketula, P. M. G., Monjerezi, M., & Etale, A. (2019). Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of Moringa oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103118. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103118>

Water witness. (2021). How Fair is Fashion's Water Footprint?. [Figura] Recuperado de <https://waterwitness.org/news-events/2021/7/12/how-fair-is-fashion-water-footprint>

Zhang, L., Li, X., Chen, S., Guana, J., Guoa, Y., & Yub, W. (2023). 3D chitosan/GO/ZnO hydrogel with enhanced photocorrosion-resistance and adsorption for efficient removal of typical water-soluble pollutants. *Catalysis Communications*, 176, 106627. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106627>

ENEMIGOS INVISIBLES: LOS METALES PESADOS EN EL POLVO DE LAS CALLES Y SUS RIESGOS A LA SALUD HUMANA

INVISIBLE ENEMIES: HEAVY METALS IN STREET DUST AND THEIR RISKS TO HUMAN HEALTH

1Miguel Santoyo Martínez*
 1María Guadalupe Tenorio Arvide
 2 Luis Ignacio Juárez Ruanova
 Autor de correspondencia *miguel.santoyom@correo.buap.mx
 tenorio.arvide@correo.buap.mx
 luis.juarezru@alumno.buap.mx

ISSN 2448-5829

Año 10, No. 28, 2024, pp. 236-242

RD-ICUAP

<https://orcid.org/0000-0002-8546-962X>
<https://orcid.org/0000-0001-6125-4782>
<https://orcid.org/0000-0003-2616-5180>

Año 10 No. 28

Recibido: 31/mayo/2023

Aprobado: 30/diciembre/2023

Publicado: 5/enero/2024

1Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. 14 sur 6301, Col. San Manuel, C. P. 72570, Puebla, Pue. México.
 2Estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. 14 sur 6301, Col. San Manuel, C. P. 72570, Puebla, Pue. México.

Echelle de 8 Pouces

Resumen

Los metales pesados presentes en el polvo de la calle son una fuente de contaminación ambiental en las ciudades, su incremento es una consecuencia de la urbanización y es motivo de gran preocupación debido a que genera serios problemas a la salud humana. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, a nivel mundial mueren 7 millones de personas al año derivado de enfermedades relacionadas con este tipo de contaminación, debido a su liberación principalmente por procesos industriales y flujo vehicular. Estos elementos, al ser liberados al ambiente, se adhieren a partículas de polvo presentes en las calles de las ciudades, estas partículas tienen diferentes tamaños, esto hace que puedan ingresar a las personas principalmente por dos vías: 1) ingesta e 2) inhalación, generando un elevado riesgo a la salud, principalmente por el tipo de elemento y tiempo de exposición, desencadenando diferentes tipos de enfermedades como por ejemplo, problemas cardiovasculares, hipertensión, daño en pulmones hasta desarrollar problemas severos como el cáncer. Conocer el contenido de metales pesados en las ciudades es de gran relevancia, ya que cada ciudad presenta diferentes actividades que emiten estos elementos, por ejemplo, la ciudad de México presenta altas concentraciones de Cromo, por su parte la ciudad de Gómez Palacio en Durango contiene elevadas concentraciones de manganeso, mientras que la ciudad de Puebla presenta altas concentraciones de antimonio, estos elementos antes mencionados tienen diferentes efectos a la salud humana, por lo que su exposición incrementa el riesgo de contraer enfermedades relacionadas con estos elementos.

Palabras clave: metales pesados, Contaminación, Polvo, vías de exposición, tamaño de partícula, riesgo a la salud.

Abstract

Heavy metals present in street dust are a source of environmental pollution in cities, their increase is a consequence of urbanization and is a cause of great concern because it generates serious problems for human health. According to the World Health Organization, 7 million people die worldwide each year from diseases related to this type of pollution, due to its release mainly by industrial processes and vehicular flow. These elements, when released into the environment, adhere to dust particles present on city streets. These particles have different sizes, this means that they can enter people mainly through two routes: 1) ingestion and 2) inhalation, generating a high risk to health, mainly due to the type of element and time of exposure, triggering different types of diseases such as cardiovascular issues, hypertension, lung damage, until developing severe problems such as cancer. Knowing the content of heavy metals in cities is of great relevance, since each city has different activities that emit these elements. For example, Mexico City has high concentrations of Chromium, while the city of Gómez Palacio in Durango contains high concentrations of manganese, while the city of Puebla has high concentrations of antimony. These aforementioned elements have different effects on human health, so their exposure increases the risk of contracting diseases related to these elements.

Keywords: heavy metals; Pollution; dust; exposure routes; different size particles; health risk

Introducción

El polvo está compuesto por partículas finas y gruesas que tienen un tamaño menor a 500 micrómetros, estas partículas son una mezcla de suelo natural, suelos provenientes de otros lugares por acción del viento y de actividades humanas en zonas urbanas (Hassanein et al., 2019). Uno de los problemas en las áreas urbanas es la liberación de sustancias nocivas al ambiente producto de las actividades como el tráfico vehicular y actividades industriales, como la minería, plantas de tratamiento, construcción, entre otras (Gupta 2020). En la actualidad las áreas urbanas están habitadas por el 55% de la población mundial, y se estima que para el 2050 esta cifra se incrementa a un 68%, por lo que la emisión de contaminantes aumentaría. Por ejemplo, la ciudad de Puebla es una de las diez ciudades urbanizadas en el centro de México y la quinta ciudad más poblada, presenta serios problemas de contaminación (Figura 1) (Hassanein et al., 2019).

Entre las sustancias tóxicas liberadas al ambiente está la emisión de metales pesados, los cuales representan un alto riesgo a la población, ya que algunos de estos en pequeñas cantidades resultan ser altamente tóxicos, como por ejemplo el plomo (Pb), cromo (Cr) y Cadmio (Cd) (Tchounwou et al., 2012).



Figura 1. Imágenes de una célula vegetal. A) Imagen representativa de la célula eucariota vegetal (McLaughlin, 2021). B) Micrografía electrónica de una célula vegetal joven, en donde se pueden observar los diferentes organelos (Clayton, 2010).

¿De dónde vienen los metales pesados?

A pesar de que los metales pesados son elementos naturales que se encuentran en la corteza terrestre, estos últimos se encuentran en bajas concentraciones, y su incremento se debe a actividades humanas, principalmente debido al crecimiento urbanizado en las ciudades.

Si bien, las fuentes de liberación de metales pesados son principalmente por diversas actividades presentes en las ciudades como: minera, lodos de aguas negras, quema de combustibles fósiles, el uso de fertilizantes, plaguicidas, incineradores de residuos, desgaste del asfalto y piezas automotrices, entre otros. Por otro lado, también pueden ser liberados estos elementos por fuentes naturales como la erosión del suelo, incendios forestales y emisiones volcánicas, sin embargo, estas fuentes suelen ser menos frecuentes (figura 2).

Los metales pesados, al ser liberados al ambiente en forma de gases, humos, aerosoles, partículas sólidas, se adhieren a partículas del suelo que tiene un tamaño menor a 10 micrómetros, como las PM₁₀, PM_{2.5} y PM_{0.1}, lo que facilita su ingreso a las personas principalmente por inhalación e ingesta generando afectaciones a la salud de

la población, esto dependerá principalmente de dos factores: 1) el tiempo de exposición a diferentes metales pesados y 2) al metabolismo que tiene cada persona (figura 2).

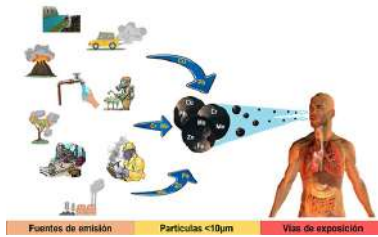


Figura 2. Fuentes de emisión de metales pesados y su ingreso a las personas. Elaboración propia.

¿Cuáles son sus consecuencias a la salud?

Los metales pesados adheridos a partículas en el polvo de las ciudades facilitan su ingreso al cuerpo humano, principalmente la ingesta e inhalación (Ferreira-Baptista et al., 2005). Mediante la ingesta, el polvo llega al tracto gastrointestinal, donde los metales pesados se disuelven parcialmente y son transportados por el sistema circulatorio, donde finalmente se acumulan en los tejidos y órganos del cuerpo humano, mientras que por la inhalación pueden llegar a pulmones y pasar al sistema circulatorio, llegando a diversos órganos (Figura 3).

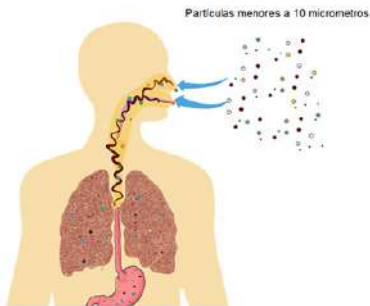


Figura 3. Ingreso de metales pesados adheridos al polvo por vía de inhalación e ingestión, transportándose a pulmones y estómago. Elaboración propia.

Elevadas concentraciones y una exposición prolongada a metales pesados tiene efectos perjudiciales en la salud de la población, sin embargo, esto dependerá de diversos factores, que de acuerdo a Jan et al., 2015, son: a) el tipo de elemento, ya que existen elementos que en bajas concentraciones suelen ser altamente tóxicos, como el mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cadmio (Cd), b) la ruta metabólica, c) la susceptibilidad presente en cada persona y d) la forma molecular del elemento, como el Cromo (Cr) que en su forma molecular Cr (III) no es tóxico, mientras que la forma molecular del Cr (VI) es altamente tóxico.

Existen elementos esenciales para el funcionamiento metabólico en los seres humanos, sin embargo, en concentraciones elevadas estos elementos pueden ser tóxicos, como el Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn) y el Hierro (Fe), sus efectos en la salud van desde náuseas, vómitos, irritación de nariz y garganta, hasta daño más severos donde se ven sus efectos en diversos órganos y sistemas como el cardiovascular, hepático, digestivo, y en casos más graves pueden provocar daño neurológico y tener efecto carcinogénico (Figura 3) (Son et al., 2018).

Por otro lado, hay elementos no esenciales como el Cd, Cr, Hg y Pb, que pueden ser letales en bajas concentraciones, ya que tienen la capacidad de bioacumularse en los tejidos de los organismos, pueden depositarse en el sistema circulatorio e interrumpir el funcionamiento normal de órganos internos, además de que contribuyen en el desarrollo temprano de enfermedades cardiovasculares, respiratorias, tienen la capacidad de causar daño al ADN, por lo que tiene efectos mutagénicos, teratogénicos y cancerígenos (Figura 4) (Rahman et al., 2019).

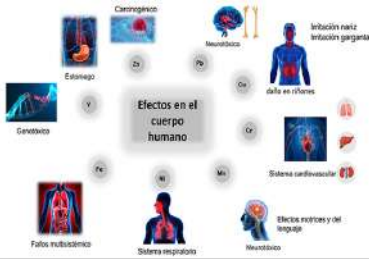


Figura 4. Efectos de la exposición de metales pesados a la salud en la población humana. Elaboración propia.

Población con alto riesgo.

Científicos en diversas partes del mundo han demostrado que la contaminación en el polvo de las calles es alarmante, excediendo valores internacionales establecidos para suelos, siendo de mayor a menor peligrosidad los siguientes: el Ni, Mn, Cu, Zn y en alto riesgo Cd, Hg, Cr, Pb, lo que contribuye a una mayor probabilidad de contraer algún tipo afectación en algún órgano o hasta llegar a desarrollar algún tipo de cáncer en adultos y niños, estos últimos presenta un elevado riesgo, ya que tiene una mayor interacción con el suelo y polvo urbano o de la calle, presente en superficies, llevándose objetos y manos impregnadas de polvo a la boca facilitando la ingesta (Figura 5) (Bolan et al., 2022).



Figura 5. Población infantil vulnerable a ingesta e inhalación de metales pesados presentes en el polvo urbano o de la calle. Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/vector/ni%C3%B1os-jugando-en-el-parque-gm1186567053-334832827>.

Estudios han evidenciado que los niños que están expuestos a plomo (Pb) por largos periodos de tiempo generan déficit de atención que se ve reflejada en el rendimiento escolar (Téllez-Rojo et al., 2017), las escuelas de nivel básico representan un riesgo a la exposición de este tipo de contaminantes porque la mayoría se sitúa cerca de las grandes avenidas; por ejemplo, Puebla que es una de las ciudades más pobladas del país y presenta problemas de contaminación, cuenta con un gran número de escuelas en su zona urbana, se ha evidenciado la presencia de niveles de contaminación principalmente considerable por metales pesados, representando un riesgo latente a la salud infantil en las escuelas (figura 6).

Por otro lado, el manganeso (Mn) a pesar de ser un elemento esencial para las funciones metabólicas del ser humano, encontrándose en altas concentraciones en el polvo urbano o de las calles, si su exposición es crónica, es decir, continua por largos período de tiempo (como permanecer en los centros educativos) desencadena diversas afectaciones, una de ellas la enfermedad llamada manganismo, esta es una enfermedad neurodegenerativa, esto quiere decir que afecta el sistema nervioso central, provocando afectos en el lenguaje y motrices muy parecidos a la enfermedad de Parkinson (Jadoon et al., 2018).

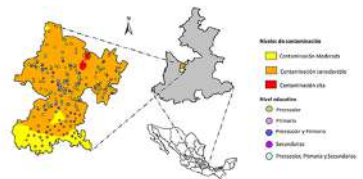


Figura 6. Distribución espacial de la contaminación de metales pesados y escuelas de nivel básico en la zona urbana de Puebla. Elaboración propia.

Conclusión.

La contaminación del aire, agua y suelos sigue siendo ampliamente estudiada, existiendo normas ambientales que las regulan, pero no así para el polvo de las calles, ya que no existen normas oficiales que regulen la presencia de contaminantes como los metales pesados en el polvo de las calles, a pesar de que este contiene partículas menores a 10 micrómetros, que son fácilmente inhalables y de alto riesgo para la salud humana porque albergan elementos como Pb, Cu y Zn. Por lo que es importante realizar estudios donde se evalúe la presencia y nivel de concentración de estos elementos tóxicos en las ciudades, ya que estos están en contacto directo con la población y pueden generar efectos en la salud de la población. Promover normas ambientales que regulen una concentración máxima permitida de metales pesados en el polvo de las calles en las ciudades, o bien promover la limpieza continua de las calles y avenidas, como sucede en otros países.

Conflicto de intereses.

Los autores de este manuscrito declaran no tener conflicto de interés alguno durante el desarrollo del escrito.

Declaración de privacidad

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

Agradecimientos.

Se agradece al CONACYT por el apoyo de una beca otorgada al estudiante de doctorado Juárez-Ruanova y estancia postdoctoral Santoyo-Martínez. Y al Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Referencias

- Bolan, N., Kumar, M., Singh, E., Kumar, A., Singh, L., Kumar, S., & Siddique, K. H. (2022). Antimony contamination and its risk management in complex environmental settings: a review. *Environment International*, 158, 106908. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106908>
- Ferreira-Baptista, L., & De Miguel, E. (2005). Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, 39(25), 4501-4512. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.03.026>
- Gupta, V. (2020). Vehicle-generated heavy metal pollution in an urban environment and its distribution into various environmental components. In *Environmental Concerns and Sustainable Development* (pp. 113-127). Springer, Singapore.
- Hassanein, H., Zorba, N., Han, S., Kanhere, S. S., & Shukair, M. (2019). Crowd management. *IEEE Communications Magazine*, 57(4), 18-19. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2019.8703458>
- Jan, A.T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., Haq, Q.M.R. (2015). Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *Int. J. Mol. Sci.* 2015, 16, 29592–29630. <https://doi.org/10.3390/ijms161226183>
- Jadoon, W. A., Khpalwak, W., Chidya, R. C. G., Abdel-Dayem, S. M. M. A., Takeda, K., Makhdoom, M. A., & Sakugawa, H. (2018). Evaluation of levels, sources and health hazards of road-dust associated toxic metals in Jalalabad and Kabul cities, Afghanistan. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 74(1), 32-45. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0475-9>
- Rahman, M. S., Khan, M. D. H., Jolly, Y. N., Kabir, J., Akter, S., & Salam, A. (2019). Assessing risk to human health for heavy metal contamination through street dust in the Southeast Asian Megacity: Dhaka, Bangladesh. *Science of the total environment*, 660, 1610-1622.
- Son, Y., Osornio-Vargas, Á. R., O'Neill, M. S., Hystad, P., Texcalac-Sangrador, J. L., Ohman-Strickland, P., ... & Schwander, S. (2018). Land use regression models to assess air pollution exposure in Mexico City using finer spatial and temporal input parameters. *Science of the Total Environment*, 639, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.144>
- Téllez-Rojo, M. M., Bautista-Arredondo, L. F., Richardson, V., Estrada-Sánchez, D., Ávila-Jiménez, L., Ríos, C., ... & Hernández-Ávila, M. (2017). Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. *salud pública de méxico*, 59, 218-226.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology*, 133-164.