



CienciaAcierta

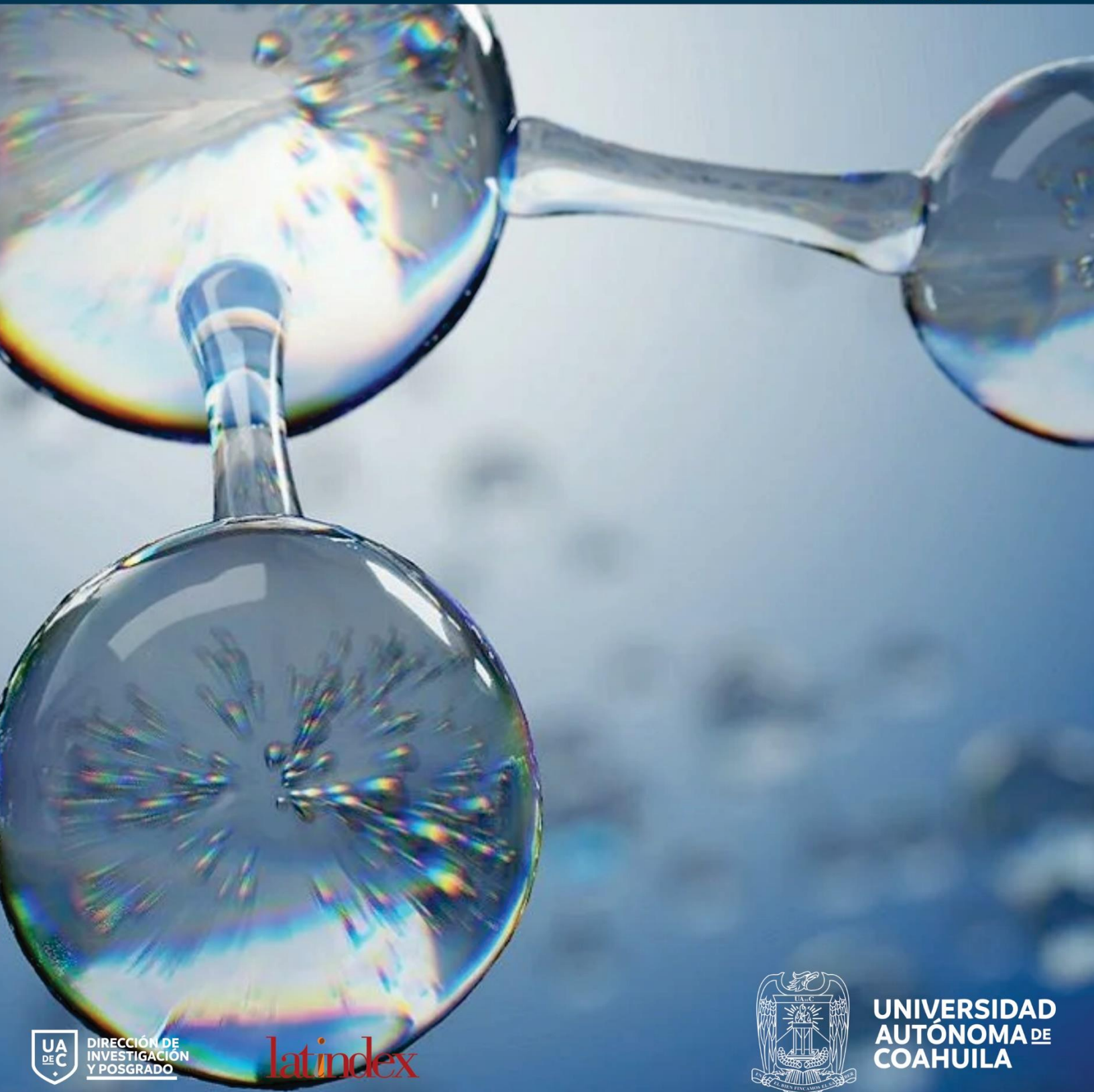
CIENCIA TECNOLOGÍA HUMANIDADES

AÑO 21, NÚMERO 81

ENERO-MARZO 2025

ISSN: 2683-1848

Latindex: 30518





PUBLICADA DESDE 2005

ISSN 2683-1848

CIENCIACIERTA, AÑO 21, NO. 81 ENERO-MARZO 2025, ES UNA PUBLICACIÓN TRIMESTRAL EDITADA POR LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA, BOULEVARD VENUSTIANO CARRANZA S/N, COLONIA REPÚBLICA ORIENTE, C.P. 25380, SALTILLO, COAHUILA. EDITOR RESPONSABLE: DRA. ANNA ILINA. RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO No. 04-2019-010914143600-203, ISSN: 2683-1848, AMBOS OTORGADOS POR EL INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR. RESPONSABLE DE LA ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN DE ESTE NÚMERO, DEPARTAMENTO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA DE LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO UADEC, LIC. LOYDA ESTHER GIL NORIEGA, EDIFICIO D, PLANTA ALTA, UNIDAD CAMPORREDONDO, SALTILLO, COAHUILA, C.P. 25280, FECHA DE ÚLTIMA ACTUALIZACIÓN 01 DE ENERO DE 2025.

CIENCIACIERTA ES UNA PUBLICACIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y HUMANÍSTICA, MULTIDISCIPLINARIA CUYO OBJETIVO ES DIVULGAR EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO Y SE ENFOCA EN LAS SIGUIENTES ÁREAS: FÍSICA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA TIERRA; BIOLOGÍA Y QUÍMICA; MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD; HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA CONDUCTA (ARQUITECTURA Y URBANISMO, ARTE Y CULTURA, DIDÁCTICA Y DOCENCIA, EDUCACIÓN, HISTORIA, LINGÜÍSTICA Y LITERATURA Y FILOLOGÍA Y PSICOLOGÍA); CIENCIAS SOCIALES (ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN EMPRESARIAL, CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS JURÍDICAS Y DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS); BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS, E INGENIERÍA E INDUSTRIA.

TODO MATERIAL PUBLICADO CUENTA CON UN REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD FAVORABLE Y HA SIDO SOMETIDO A UN PROCESO DE EVALUACIÓN DE DOBLE CIEGO POR PARES ACEDÉMICOS EXTERNOS A LA UADEC.

CONSEJO EJECUTIVO EDITORIAL

Dra. Anna Ilina

EDITOR

annailina@uadec.edu.mx

Dr. Luis Gutiérrez Flores

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y
POSGRADO

luis.gutierrez@uadec.edu.mx

Dr. David Castro Lugo

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN-DIP

david.castro@uadec.edu.mx

Lic. Loyda E. Gil Noriega

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA-DIP

logiln@uadec.edu.mx

COMITÉ TÉCNICO EDITORIAL NACIONAL E INTERNACIONAL

Dra. Elda Patricia Segura C.
QUÍMICAS
Fac. de Ciencias Químicas-UAdeC
psegura@uadec.edu.mx

Dra. Gabriela de la Peña Astorga
COMUNICACIÓN
Fac. C. de la Comunicación-UAdeC
gabriela.pena@uadec.edu.mx

Dr. Gustavo Félix Verduzco
ECONOMÍA
CISE-UAdeC
gustavo.felix@uadec.edu.mx

Dra. Irma Delia García Calvillo
MATEMÁTICAS
CIMA-UAdeC
irma.garcia@uadec.edu.mx

Dr. Pablo Ruiz Flores
CIENCIAS DE LA SALUD
CIB-UAdeC
pablorig@uadec.edu.mx

Dr. José González Tovar
PSICOLOGÍA
Fac. de Psicología-UAdeC
josegonzaleztovar@uadec.edu.mx

Dr. Manuel Gil Antón
EDUCACIÓN
El Colegio de México
mgil@colmex.mx

Dr. Juan Carlos Centeno
Maldonado
JURISPRUDENCIA
Fac. de Jurisprudencia UAdeC
centenojuan@uadec.edu.mx

Dra. Virginia Nevares Moorillón
MICROBIOLOGÍA Y C. AMBIENTALES
Fac. Ciencias Químicas UACH
vnevare@uach.mx

Dra. Arely Prado Barragán
BIOTECNOLOGÍA Y ALIMENTOS
Universidad Autónoma
Metropolitana
lapb@xanum.uam.mx

Dr. Gerardo Gutiérrez Sánchez
CIENCIAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS
CCRC-University of Georgia, USA
gerardo@ccrc.uga.edu

Dr. Guillermo Picó
C. BIOQUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS
Universidad Nacional de Rosario,
Argentina
gpico@fbioyf.unr.edu.ar

Dr. Luis Huesca Reynoso
ECONOMÍA
Centro de Investigación
Alimentación y Desarrollo, México
lhuesca@ciad.mx

ÍNDICE

**EL FUTURO NOS ALCANZA, LA META: LA TRANSICIÓN DE LOS POLÍMEROS
SINTÉTICOS A LOS BIODEGRADABLES PARA UN FUTURO SOSTENIBLE** **1**

Amilcar Gómez Alonzo-Martínez, Lorena Farías Cepeda, Rosa I.
Narro Céspedes y Francisco J. Enríquez Medrano

**MATERIALES QUE PIENSAN: ESTUDIO SOBRE EL CUO COMO MATERIAL
INTELIGENTE** **22**

Yulissa Castellón Piña, Sergio E. Flores Villaseñor, Alma Esmeralda
Gómez y Miguel Angel De León Zapata

EL INVENTARIO DE LA BOTICA DEL HOSPITAL "PORFIRIO DÍAZ" EN CHIHUAHUA **41**

Martín Caldera Villalobos

**REMOCIÓN DE DICLOFENACO DE SOLUCIONES ACUOSAS POR
ADSORCIÓN: UNA REVISIÓN** **72**

Rosario Espinoza Meléndez, Sofía Estrada Flores y Antonia Martínez
Luévanos

**PERMANENCIA DE LACTOBACILOS AISLADOS DE LECHE HUMANA Y FÓRMULAS
INFANTILES DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN INGREDIENTE
FERMENTADO** **93**

Daniel De la Peña Aguirre, Ruth Elizabeth Belmares Cerda, Miriam
Desiree Dávila Medina, Mayela Govea Salas, Roda María Rodríguez
Jasso y Araceli Loredó Treviño

LOS DIEZMOS EN EL OBISPADO DE LINARES, 1810-1821 **105**

José Gabino Castillo Flores y Román Alexander Jaramillo Salazar

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS CON NANOPARTÍCULAS CERÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA **126**

Marlene Lariza Andrade Guel, Gregorio Cárdenas Pliego, Diego Martínez Carrillo, Christian Javier Cabello Alvarado y Marissa Pérez Álvarez

EL FUTURO NOS ALCANZA, LA META: LA TRANSICIÓN DE LOS POLÍMEROS SINTÉTICOS A LOS BIODEGRADABLES PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

THE FUTURE CATCHES UP WITH US, AND THE GOAL: THE TRANSITION FROM SYNTHETIC TO BIODEGRADABLE POLYMERS FOR A SUSTAINABLE FUTURE

AMILCAR GÓMEZ ALONZO
MARTÍNEZ ¹,

LORENA FARÍAS CEPEDA ¹

ROSA I. NARRO CÉSPEDES ¹

FRANCISCO J. ENRÍQUEZ
MEDRANO ²

1. Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

2. Centro de Investigación
en Química Aplicada,
Saltillo, Coah.

Correspondencia
lorenafarias@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
4 de marzo de 2024.

Artículo aceptado
16 octubre de 2024.

RESUMEN

Los polímeros sintéticos son esenciales en diversas actividades cotidianas debido a su durabilidad, resistencia a la degradación y bajo costo. No obstante, estas mismas propiedades han contribuido a un problema creciente de contaminación ambiental, especialmente cuando se trata de plásticos de un solo uso que persisten en el entorno durante largos períodos, afectando tanto los ecosistemas como la salud humana. Por otro lado, los polímeros biodegradables son macromoléculas que se descomponen fácilmente mediante la acción de agentes biológicos (enzimas, bacterias y microorganismos). Sin embargo, los polímeros biodegradables presentan propiedades mecánicas y de resistencia química mucho menores que sus contrapartes sintéticas. La ciencia de los materiales actualmente está enfocando sus esfuerzos en lograr que los polímeros biodegradables mejoren sus propiedades mecánicas, ya sea mezclándolos con otros polímeros o materiales pero que sigan conservando su biodegradabilidad. Por ello, en este artículo se proporciona una visión general sobre los problemas actuales que enfrentan los materiales en el camino hacia un futuro sostenible, y se presenta un panorama general de los polímeros biodegradables, desde su clasificación hasta sus principales usos en biomedicina y aplicaciones industriales en general.

Palabras clave: polímeros biodegradables; biopolímeros; aplicaciones de biopolímeros.

ABSTRACT

Synthetic polymers are essential in various everyday activities due to their durability, resistance to degradation, and low cost. However, these same properties have contributed to a growing environmental pollution problem, especially with single-use plastics that persist in the environment for extended periods, affecting both ecosystems and human health. On the other hand, biodegradable polymers are macromolecules that easily break down through the action of biological agents (enzymes, bacteria, and microorganisms). Nevertheless, biodegradable polymers have much lower mechanical and chemical resistance properties compared to their synthetic counterparts. Material science is currently focusing its efforts on improving the mechanical properties of biodegradable polymers, either by blending them with other polymers or materials, while still maintaining their biodegradability. Therefore, this article provides an overview of the current challenges materials face on the path toward a sustainable future and presents a general outlook on biodegradable polymers, from their classification to their main uses in biomedicine and general industrial applications.

Keywords: *biodegradable polymers; biopolymers; biopolymers applications.*

INTRODUCCIÓN

La producción de los plásticos a nivel mundial ha aumentado drásticamente desde su descubrimiento, gracias a sus propiedades mecánicas, peso ligero, estabilidad, durabilidad e inercia, además, de que día a día son utilizados en un amplio rango de aplicaciones. Esto ha provocado cantidades masivas de residuos plásticos que han generado una gran contaminación en, prácticamente, todos los ecosistemas del mundo. Un ejemplo de ello es el descubrimiento de los microplásticos (es decir, partículas de plástico con un tamaño entre 1 y



1000 μm) que han invadido, principalmente, todos los mares del planeta, por lo que han tenido una atención importante por parte de los investigadores. Por otro lado, otra fuente de contaminación grave pasada por alto, son los polímeros solubles en agua, que son materiales orgánicos que se usan para aplicaciones como pintura, revestimientos, adhesivos, agentes de lavado, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y cosméticos. Falta mucha investigación en esta área ya que se desconocen su ecotoxicidad, biodegradabilidad y su impacto general en el medio ambiente, como informan y analizan Rozmán y col. (2021), quienes dejan claro que existe una necesidad urgente de investigar sus efectos a largo plazo ya que pueden traer consigo consecuencias ambientales críticas igual que los residuos sólidos (Rozman y Kalčíková, 2021). Actualmente casi todos los productos comerciales están hechos, envasados y/o transportados en componentes plásticos. Además, a causa de la pandemia del COVID-19 el número de residuos plásticos se incrementó debido a las restricciones de salud, que provocaron un aumento considerable en el uso de cubrebocas desechables, envases de gel antibacterial, guantes, etc.

La Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO, 2021) ofrece datos sobre la producción y residuos que generan los polímeros de un solo uso, como:

- Los plásticos de un solo uso representan el 50% de los polímeros que se producen cada año.
- El 40% de los plásticos que se fabrican, son utilizados en envases que se desechan tras un solo uso.
- La contaminación de los mares por plásticos ha provocado que mueran anualmente 100 000 tortugas y mamíferos marinos y un millón de aves marinas.
- Se proyecta que en el 2050 habrá más plásticos que peces en el océano.
- Se estima que 8 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año (PROFECO, 2021).

Debido al desastre ecológico que se está ocasionando con tanta contaminación, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó



la agenda 2030, la cual establece 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) encaminados a construir una sociedad saludable y sostenible (Figura 1). La adopción de materiales sostenibles no solo mejora la calidad de vida de los consumidores, sino que también genera beneficios para toda la comunidad al reducir los costos operativos, así como el consumo de energía y la gestión de residuos. La ciencia de los materiales es una herramienta invaluable que puede ayudar a cumplir los objetivos de ODS 2: hambre cero, ODS 3: buena salud y bienestar, ODS 6: agua limpia y saneamiento, ODS 7: energía limpia y asequible, ODS 9: industria, innovación e infraestructura, ODS 11: ciudades sostenibles y comunidades, ODS 12: producción y consumo responsables, ODS 13: acción climática y ODS 14: vida submarina, se encuentran entre los 17 ODS (Samir y col., 2022).



Figura 1. Objetivos OSD.

Fuente <https://es.unesco.org/sdgs>

Gilani y col. (2023) proponen que, para cumplir con las ODS, la comunidad necesita aprender más sobre los riesgos de los plásticos y cómo reciclarlos, además, las leyes deben ser más rigurosas en temas de producción de plástico nuevo. Existen varios países, por ejemplo, Canadá, que están desarrollando políticas nuevas y haciendo planes para dejar de usar plásticos derivados del petróleo como alternativa para eliminar por completo los residuos plásticos antes del año 2030. Para resolver esta problemática es necesaria una solución viable para el embalaje como la utilización de los desechos de alimentos. Ya que

además de que el desperdicio de los alimentos crece junto con el incremento de la población y estos son desechados en vertederos o se queman lo cual agrava los problemas ambientales (Gilani y col., 2023).

La solución a la contaminación por plásticos que se ha implementado actualmente (incineración, reciclaje y vertederos) es parcial y no ha puesto fin a la grave problemática. Esto debido a la enorme cantidad de desechos plásticos que genera la sociedad, aunado a la incapacidad que tienen estos materiales para degradarse en cortos períodos de tiempo: es de crucial importancia buscar materiales alternativos que se degraden en tiempos cortos o que sean afectados por microorganismos o factores ambientales que les ayuden a disminuir su tiempo de degradación. Una alternativa a la que están apostando muchos investigadores es el uso de materiales biodegradables, que principalmente sean producidos por fuentes renovables (Rodríguez y col., 2022).

En este artículo se presentan algunas de las principales características, ventajas y aplicaciones de los polímeros biodegradables en diversas áreas de las ciencias, haciendo énfasis en los tipos de polímeros biodegradables que se producen a partir de fuentes naturales, que los hacen materiales idóneos ya que no contaminan ni producen residuos tóxicos.

CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS BIODEGRADABLES

Un polímero biodegradable se define como un polímero que se descompone fácilmente en el medio ambiente con la ayuda de enzimas (catalizadores biológicos que se encuentran en el medio ambiente). Estas enzimas ayudan a acelerar su descomposición logrando que se vuelvan biomasa, dióxido de carbono y agua, sin generar sustancias químicas peligrosas o contaminantes en el medio ambiente (Luyt y Malik, 2018). Esto convierte a los polímeros biodegradables en materiales muy prometedores, ya que una vez que concluyen su vida útil, se degradan, por lo que ayuda a la preservación del medio ambiente y la reducción de la contaminación. A continuación, se presenta la clasificación de los polímeros biodegradables.

Los polímeros biodegradables se pueden clasificar en tres tipos según su origen: naturales, sintéticos y semisintéticos. Los naturales, como su nombre lo indica, provienen completamente de fuentes de este tipo, los sintéticos se producen a partir de procesos químicos y los semi sintéticos son un híbrido de los dos anteriores. En la Figura 2 se muestra un diagrama de la clasificación de los polímeros biodegradables y algunos ejemplos.

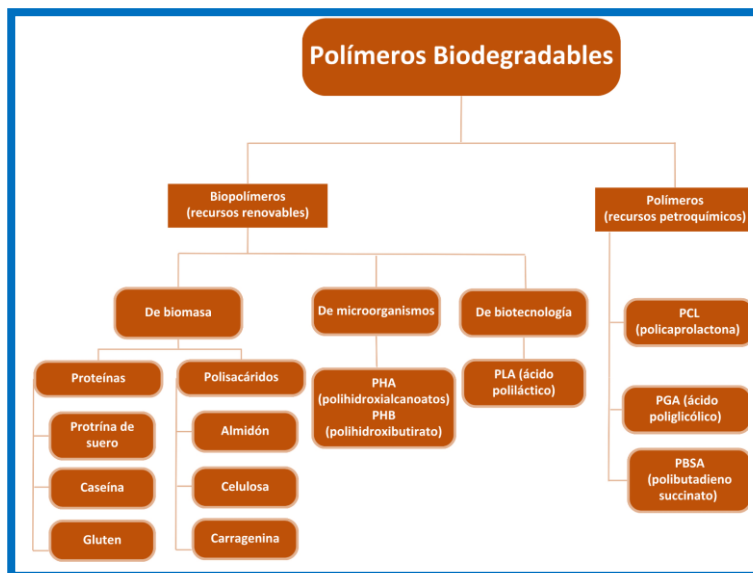


Figura 2. Clasificación de los polímeros biodegradables.
Fuente (Zhong y col., 2020).

Actualmente los polímeros de base biológica se sintetizan a partir de recursos renovables mediante procesos químicos, físicos y/o bioquímicos. Las materias primas más utilizadas para su fabricación son agrícolas y forestales, tales como como fibra de maíz, subproductos del trigo, desechos del procesamiento de alimentos, lodos de fábricas de papel, desechos forestales, entre otros. Esto les otorga una gran ventaja respecto a los polímeros sintéticos, por su responsabilidad ambiental, biocompatibilidad y biodegradabilidad. Xie y col. (2023) presentan una revisión sobre biopolímeros sintetizados a partir de recursos renovables, donde proponen que los desafíos a vencer son la fabricación amigable con el medio ambiente, además de requerir una alta proporción de materia prima de origen biológico y la reducción de costos de

producción; así como mejorar las propiedades mecánicas de los biopolímeros para que sean comparables a las de sus homólogos derivados del petróleo, y se les podrían agregar funciones adicionales. Con un aumento de inversión y de la mano de obra con avances tecnológicos se espera que terminen ocupando un amplio mercado en el futuro (Xie y col., 2023).

Los polímeros biodegradables ya tienen aplicaciones importantes en nuestra vida, por ejemplo, en el área industrial, los plásticos biodegradables ayudan a reducir la basura y, por ende, la contaminación. Esto significa que los envases y los productos hechos con estos plásticos se descomponen en la naturaleza sin causar daño, lo que es bueno para el medio ambiente. La degradación enzimática descompone a los biopolímeros en moléculas más pequeñas, sin embargo, los oligómeros (polímeros de muy bajo peso molecular), materiales resultantes de la descomposición de los biopolímeros, pueden persistir en el ambiente y afectar los organismos, por lo que es importante asegurarse que los subproductos intermedios durante la descomposición en el ciclo de vida, derivados de los biopolímeros, no afecten al medio ambiente. Yoshinaga y col. (2023) concluyeron que aparte de verificar la seguridad del producto y su degradación, también se debe evaluar cómo los productos intermedios afectan al medio ambiente en su descomposición durante el ciclo de vida (Yoshinaga y col., 2023). Por otro lado, en el área médica, los plásticos biodegradables son útiles para hacer suturas que se deshacen en el cuerpo sin necesidad de quitarlas después de una cirugía. También se usan para transportar medicamentos en el cuerpo de manera segura y controlada. Asimismo, los plásticos biodegradables se utilizan en productos como bolsas de compras y utensilios desechables. Esto significa que estos objetos que se utilizan todos los días pueden descomponerse naturalmente, y no contribuyen a la contaminación.

BIOPOLÍMEROS PARA USO COTIDIANO

Actualmente el 50% de los desechos plásticos se debe a los polímeros de un solo uso (envases). En este sentido Wu y col. (2021) presentan



los retos y las nuevas oportunidades para generar envases biodegradables, entre ellos la de mejorar las propiedades de barrera contra vapor de agua de los biopolímeros para que se puedan utilizar estos envases en la vida diaria, reduciendo drásticamente la producción de basura (Wu y col., 2021).

Zhong y col. (2020) proponen usar mezclas de polímeros sintéticos y naturales como el almidón. El almidón es una buena opción ya que es muy barato y totalmente biodegradable, sin embargo, es muy sensible a la humedad, y sus bajas propiedades mecánicas son dependientes de la humedad. El almidón se ha mezclado con polímeros que son resistentes al agua para ser utilizados como empaques, presentando buenas propiedades mecánicas además de biodegradables y económicos. Los polímeros que se han utilizado para hacer este tipo de mezclas con poliolefinas, polihidroxialcanoatos (PHA), ácido poliláctico (PLA) y policaprolactonas (PCL), los cuales los han procesado por soplado de película, extrusión, inyección y espumados. Algunos autores proponen que los nanocompuestos y la mezcla de poliméricos sintéticos y naturales, serían las mejores herramientas para generar envases biodegradables o con actividad antimicrobiana (Zhong y col., 2020). A continuación, se presenta una breve descripción de los biopolímeros más usados en la actualidad.

- Ácido poliláctico (PLA)

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero biodegradable que se obtiene a partir del ácido láctico, el cual se produce durante la fermentación de cultivos renovables, como la remolacha azucarera y el maíz. Este material puede sintetizarse mediante fermentación bacteriana o a partir de productos petroquímicos, lo que lo hace accesible y económico. El PLA ha ganado popularidad como un polímero biodegradable para envases debido a sus propiedades de rigidez, transparencia, facilidad de procesamiento y biocompatibilidad. En comparación con otros biopolímeros como polihidroxialcanoatos (PHA) y policaprolactonas (PCL), también destaca por su mejor capacidad de procesamiento térmico. Esto significa que se puede utilizar en una variedad de métodos de fabricación, como moldeo por inyección, soplado de película,



fundición de película, hilado de fibras, termoformado, impresión 3D, entre otros. Sin embargo, el PLA tiene una baja resistencia a la permeación de oxígeno y también es frágil con menos del 10% de deformación a la rotura. Estas propiedades limitan sus aplicaciones, que requieren deformación plástica a niveles de tensión más altos (Zhong y col., 2020).

- Polihidroxicanoato (PHA)

Los polihidroxicanoatos (PHA) se producen donde hay una limitación de nutrientes y un exceso de fuentes de carbono, que pueden incluir glucosa, sacarosa, triglicéridos, almidones, celulosa, suero, melaza, glicerol, salvado de cereales, aguas residuales, residuos municipales y ácidos orgánicos, entre otros. Se generan por diversas cepas bacterianas, como *Prieta megaterium* (anteriormente conocido como *Bacillus megaterium*), *Wautersia eutropha* y *Aeromonas hydrophila*, que se encuentran principalmente como almacenamiento de carbono y energía. Actualmente son ampliamente utilizados en diversas industrias, para envasado de alimentos, biocombustibles y purificación de proteínas. Se están explorando en campos como la ingeniería de tejidos y la medicina regenerativa debido a sus propiedades beneficiosas. Son considerados seguros, ya que normalmente no son cancerígenos ni pirógenos (no inducen fiebre cuando entran en contacto con el cuerpo), tampoco genotóxicos (que no causa daño al material genético como ADN y ARN de las células) ni alérgicos y no hemolíticos (no causa la destrucción de glóbulos rojos). Presentan propiedades fisicoquímicas destacadas, como alta resistencia a la tracción, porosidad, termoplasticidad, flexibilidad superficial, resistencia a la exposición a los rayos UV y piezoelectricidad. La aplicación de PHA está limitada a causa de sus deficientes propiedades mecánicas, su incompatibilidad con las técnicas de procesamiento térmico convencionales debido a su susceptibilidad a la degradación térmica (Žur-Pińska y col., 2023; Zhong y col., 2020).

- Policaprolactona (PCL)

La policaprolactona (PCL) es un poliéster alifático que se compone de monómeros de hexanoato, la cual se puede sintetizar por diferentes rutas como la policondensación de monómeros, a partir del monómero ϵ -caprolactona. Comparada con otros plásticos que se descomponen naturalmente, la PCL tiene características únicas. Se mezcla y combina fácilmente con otros plásticos, lo que la hace muy versátil. La PCL se descompone lentamente, por lo que es útil cuando se necesita una aplicación de largo plazo. Diversos experimentos han demostrado que es poco tóxica, compatible con tejidos humanos y económica de producir. Por estas razones, su uso está en aumento, especialmente en campos como la ingeniería biomédica, la farmacia (liberación controlada de medicamentos) y el diseño de envases, entre muchas otras aplicaciones. No obstante, el uso de la PCL en empaques ha estado limitado debido a su elevado costo y su punto de fusión bajo. Sin embargo, su importancia como material de empaque ha vuelto a resurgir gracias a su capacidad para mezclarse y ser compatible con otros plásticos biodegradables (celulosa, hemicelulosa y lignina). Esto ha permitido reducir el costo, además de mejorar sus propiedades tales como aumentar el grado de cristalinidad, punto de fusión del material, mejorando así su aplicabilidad en la fabricación de envases (Camila y Hurtado, 2020).

POLÍMEROS BIODEGRADABLES PARA USO BIOMÉDICO

Los polímeros biodegradables están revolucionando la forma en que se enfrentan diversos desafíos médicos, ya que ofrecen soluciones innovadoras para la administración de fármacos, dispositivos médicos y terapias regenerativas, al tiempo que reducen el impacto ambiental de los residuos plásticos. A continuación, se exponen algunas de las aplicaciones más prometedoras de los polímeros biodegradables en la medicina moderna y cómo están, no solo reemplazando los sintéticos no biodegradables, sino además superándolos.



Los biopolímeros, actualmente, son materiales esenciales para administrar fármacos y diversos compuestos bioactivos. Para que un biopolímero pueda ser aplicado en la medicina necesita cumplir con varios requerimientos, entre ellos ser biocompatible, biodegradable, farmacocinética y además poder circular en la sangre, ser excretado vía renal. Por lo anterior, Hrochová y col. (2023) proponen utilizar la polimerización radicalica controlada como una herramienta para la síntesis de polímeros en bloque que sean biodegradables y sensibles a diferentes estímulos y lenta degradación, los cuales pueden servir en un futuro como biomateriales para la administración de fármacos (Hrochová y col., 2023). La impresión 3D ofrece ventajas sobre los métodos de fabricación tradicionales, como alta eficiencia de fabricación, bajo costo de material y la capacidad de diseñar estructuras más complejas y personalizables. La impresión 3D se utiliza para fabricar stents vasculares de polímeros biodegradables (BPVS) utilizando materiales como ácido poliláctico (PLA) y policaprolactona (PCL), así como aleaciones de magnesio y zinc. Actualmente estos cuentan con peso ligero, resistencia radial, mejor biocompatibilidad, buena maquinabilidad y biodegradabilidad. A pesar de esto, algunas de estas características aún se buscan optimizar para diseñar nuevos materiales, innovar procesos de impresión 3D que sean versátiles y caracterizar con precisión el rendimiento de los *stents* vasculares de polímeros biodegradables (BPVS) después de la impresión. Se busca que los BPVS de la siguiente generación posean excelentes propiedades mecánicas, morfológicas y biológicas, sin embargo, a pesar de los avances, se necesita mayor optimización para diseñar nuevos materiales, innovar procesos de impresión 3D versátiles y caracterizar con precisión el rendimiento de los BPVS después de la impresión (Hua y col., 2022).

Existe un interés en aumento en el tratamiento de diversas enfermedades y trastornos relacionados con los huesos utilizando compuestos cerámicos y polímeros biodegradables. Estos materiales desempeñan un papel clave en la medicina moderna y pueden utilizarse en cuidado de heridas, dispositivos ortopédicos, aplicaciones dentales, cardiovas-

culares, administración de fármacos e ingeniería de tejidos (Alizadeh-Osgouei y col., 2019).

El desarrollo de materiales piezoeléctricos biodegradables, que generen cargas eléctricas en respuesta al estrés mecánico y viceversa, tiene un gran potencial para diagnóstico médico y dispositivos terapéuticos. Varios materiales orgánicos presentes en organismos vivos tienen piezoelectricidad, tales como aminoácidos, colágeno, celulosa de madera, huesos, materiales genéticos, ácido desoxirribonucleico (ADN), ácido ribonucleico (ARN) y córneas humanas. Estos materiales pueden descomponerse naturalmente y se están investigando biopolímeros, polímeros sintéticos y materiales inorgánicos para su fabricación. El mercado global de dispositivos médicos implantables ha crecido significativamente y se espera que supere los 179 mil millones de dólares en 2030, con dispositivos que utilizan material piezoeléctrico desempeñando un papel importante en este crecimiento (Liu y col., 2023).

Los hidrogeles superabsorbentes (SAH) se refieren a redes de polímeros hidrófilos (orgánicos o inorgánicos) que pueden absorber y retener enormes cantidades de agua en sus redes tridimensionales, hasta 500-1500 g/g. Se han creado muchos materiales superabsorbentes (SAH) a partir de polímeros, ya sean sintéticos o naturales. Sin embargo, en la última década, ha habido un aumento significativo en el uso de biopolímeros como una opción interesante en lugar de los polímeros sintéticos para desarrollar estos materiales. Esto se debe a que los biopolímeros son biodegradables, biocompatibles, no tóxicos y tienen una alta capacidad de absorción y resistencia a la sal; lo que los hace eficientes para aplicaciones, como administración de fármacos, acondicionamiento del suelo, biodetección, encapsulación de alimentos, liberación sostenida de fertilizantes, etc. La reticulación de los polisacáridos es una ruta eficiente para lograr nuevos SAH. Además, se han sintetizado con éxito y explorado SAH derivados de la modificación o reticulación de materiales como celulosa, quitosano, goma guar, pectina, quitina, colágeno, goma xantana, dextrano y alginato en diversas aplicaciones. Rather y col. (2022) en su artículo sobre hidrogeles super absorbentes basados en polímeros investigaron y concluyeron que los polímeros naturales son altamente valorados debido



a sus numerosas ventajas, como su sostenibilidad y biocompatibilidad, en comparación con los polímeros sintéticos. Tienen una amplia gama de propiedades útiles y pueden adaptarse para diversas aplicaciones, lo que abre oportunidades significativas en tecnología de polímeros superabsorbentes en el futuro (Rather y col., 2022).

POLÍMEROS BIODEGRADABLES EN LA INDUSTRIA

Con su capacidad para ofrecer alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, los polímeros biodegradables están encontrando aplicaciones innovadoras en una variedad de sectores industriales. Desde el embalaje hasta la construcción, estos materiales están ganando terreno como soluciones viables para reducir la huella ambiental y promover la economía circular. Ahora se darán a conocer algunas de las aplicaciones más destacadas de los polímeros biodegradables en la industria moderna y cómo están guiando el camino hacia un futuro más sostenible y consciente del medio ambiente.

Las fibras naturales están ganando popularidad en la industria automotriz, aeroespacial y de la construcción, ya que son fáciles de trabajar, reducen las emisiones de CO₂ y son biodegradables y reciclables. Los principales componentes son celulosa, hemicelulosa y lignina. Las fibras naturales utilizadas como refuerzo son capaces de fortalecer los materiales compuestos a base de matrices poliméricas, impartiendo sus propiedades a la matriz. Algunas de estas propiedades son la alta resistencia, rigidez específica, ligereza, baja peligrosidad, son renovables y biodegradables, además son poco abrasivas y capaces de reducir el desgaste en los equipos de procesamiento. A pesar de las ventajas de las fibras vegetales, enfrentan desafíos como la pérdida de resistencia al estar al aire libre, menor durabilidad y la capacidad de absorber humedad, por lo que la necesidad se centra en más investigación para usar estos compuestos de fibras vegetales en aplicaciones que requieren alta carga y basadas en temperatura (Parameswaranpillai y col., 2023; Martínez y col., 2021).



Dua y col. (2023), en su artículo sobre el potencial de los compuestos poliméricos a base de fibras naturales para una producción más limpia de componentes automotrices, afirman que el uso de fibras naturales en la industria automotriz está intentando cambiar hacia compuestos de base celulósica debido a sus propiedades como alto modulo, alta resistencia, facilidad de modificación, peso ligero y claramente menor contaminación, sin embargo por el momento solo es adecuado principalmente para partes internas y para insonorización debido a su capacidad para absorber sonido. Su uso en comparación con los materiales tradicionales, las fibras puras tienen limitaciones que superan sus ventajas. La alternativa de reforzarlas con materiales sintéticos también tiene sus limitaciones, incluida la falta de rigidez en áreas de alto rendimiento y problemas de no apoyar completamente al reciclaje y degradación. Por lo cual se necesita una investigación exhaustiva para evaluar el uso de fibras puras tanto en áreas de alto como bajo rendimiento en la industria automotriz (Dua y col., 2023).

Otro ejemplo del potencial de las fibras naturales lo reportan Pantaloni y col. (2021) en su artículo sobre las fibras de lino, donde mencionaron que utilizar dichas fibras para reemplazar las de vidrio es el primer paso para reducir el impacto ecológico ocasionado por los materiales compuestos termoestables, y el empleo de una matriz termoplástica biodegradable permite el reciclaje y compostaje, una vez terminada su vida útil. Concluyen en su análisis que gracias a la adherencia entre fibras de lino y los polímeros biodegradables (PHA), poli-(succinato de butileno) (PBS) y (PLA) estos deben explotarse ya que cuentan con interesantes propiedades mecánicas y conducen a materiales reciclables y compostables de rendimiento medio (Pantaloni y col., 2021).

Como se mencionó anteriormente, los desechos de alimentos aumentan a la par de la población, lo que ocasiona mayor contaminación al eliminar los residuos, sin embargo, algunos residuos pueden utilizarse como rellenos, tales como las cáscaras de nuez. Estos residuos tienen una composición que las hace adecuadas como relleno natural en compuestos debido a su alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa. Además, son fáciles de conseguir, renovables, no

tóxicas y económicas. Esto se debe a que los rellenos naturales tienen características positivas como fluidez adecuada, propiedades mecánicas y térmicas necesarias, biodegradabilidad, sostenibilidad y bajo costo, lo que los convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente. Son un relleno natural ideal que se puede agregar a polímeros o almidón para crear un biocompuesto. McNeill y col. (2023) hicieron pruebas para determinar que el moldeo por inyección de una matriz de mezcla de PBSA/PBAT (polibutirato adipato tereftalato) con un alto nivel de carga natural de polvo de cáscara de nuez mostró resultados positivos. Por lo cual los compuestos se pueden utilizar para envases rígidos y al mismo tiempo, reducir los costos y reutilizar los desechos de alimentos (McNeill y col., 2023).

Otro caso de aplicación es el bambú con un gran potencial ya que existen alrededor de 1250 especies de bambú en todo el mundo, y su cultivo extenso en países asiáticos podría satisfacer la creciente demanda global de materiales lignocelulósicos (materiales que contienen lignina y celulosa). La investigación sobre el uso de compuestos poliméricos reforzados con fibras de bambú, como alternativa a los compuestos convencionales a base de petróleo, ha aumentado considerablemente debido a la creciente necesidad de materiales respetuosos con el medio ambiente en diversas industrias. Se puede aprovechar como relleno para reforzar polímeros, además de que es un recurso natural con un crecimiento acelerado, es una opción ecológica y prometedora en diferentes aplicaciones gracias a sus buenas propiedades mecánicas, térmicas y ecológicas. Aunque el bambú posee propiedades mecánicas y físicas excepcionales y es un recurso renovable, su uso en compuestos poliméricos no es tan popular como los compuestos reforzados con fibras sintéticas. Por lo cual se promueve el desarrollo de biocompuestos reforzados con fibra de bambú para diferentes aplicaciones estructurales. Actualmente estos estudios permiten su incorporación en una amplia gama de campos, incluidos el transporte, la aviación, la construcción y los productos de consumo. Hasan y col. (2023) hicieron una revisión de literatura del uso del Bambú como fibra para reforzar polímeros y concluyen que esperan que estos materiales se utilicen ampliamente en varios sectores

industrias: automotrices, de construcción y aeroespacial (Hasan y col., 2023).

En resumen, los polímeros biodegradables son una fuerza transformadora en la industria, ofrecen soluciones innovadoras que no solo abordan los desafíos actuales, sino que también promueven un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Con su capacidad para reducir la contaminación plástica y ofrecer alternativas renovables, estos materiales están desempeñando un papel crucial en la transición hacia una economía circular y una sociedad más consciente del impacto ambiental.

PERSPECTIVAS A FUTURO SOBRE LOS POLÍMEROS BIODEGRADABLES

El mercado de polímeros biodegradables, valuado en alrededor de USD 7,9 mil millones en 2023, se espera que experimente un crecimiento anual compuesto (CAGR) de más del 21,6% entre 2024 y 2032. Como se muestra en la Figura 2. Estos polímeros, obtenidos de fuentes renovables como el almidón de maíz, la caña de azúcar y la celulosa, representan una solución prometedora para la crisis global de contaminación plástica. Se anticipa que con el apoyo de los países antes mencionados, así como de la ODS, el crecimiento de la industria alcanzará un valor de mercado de más de USD 45 mil millones en 2032. En base a su tipo los polímeros biodegradables se pueden dividir en PLA, PHA, poliésteres, derivados de la celulosa y base Starch (almidón) estos últimos son los líderes de este mercado con USD 1.5 millones en 2023 y con una proyección de USD 8.600 millones en 2032, como se muestra en la Figura 3.

A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones más destacadas de los polímeros biodegradables en diferentes industrias.

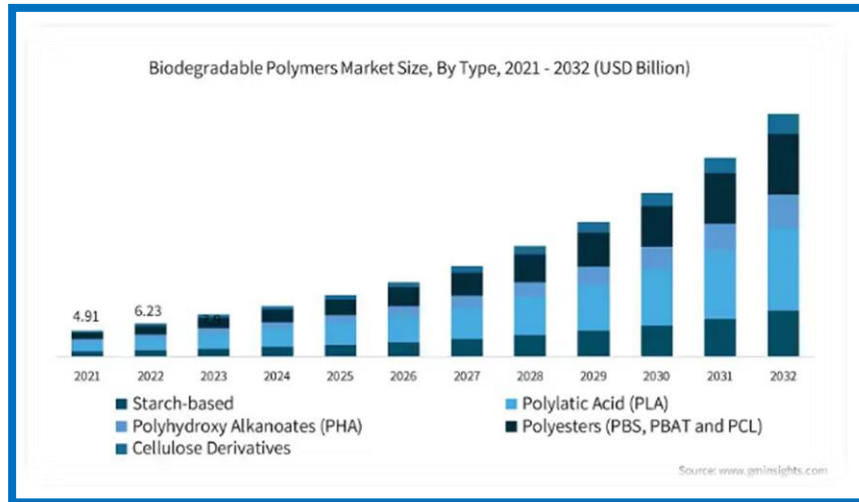


Figura 3. Proyección del mercado de los polímeros biodegradables.

Fuente <https://www.gminsights.com/es/industry-analysis/biodegradable-polymers-market>.

Los polímeros biodegradables se perfilan como la base del futuro. Actualmente, los polímeros sintéticos no biodegradables son parte integral de nuestra vida diaria, pero su impacto ambiental es alarmante debido a su toxicidad y su resistencia a la degradación, lo que resulta en una seria amenaza para el entorno. Sin embargo, los polímeros biodegradables ofrecen una solución viable para satisfacer nuestras necesidades actuales. Si bien es cierto que los polímeros biodegradables aún presentan algunas desventajas en términos de rendimiento en comparación con los polímeros sintéticos no biodegradables, estas limitaciones se ven contrarrestadas por sus notables ventajas, como la biocompatibilidad y la capacidad de degradarse naturalmente, además de la posibilidad de reciclaje. Es importante destacar que, aunque los costos de producción de polímeros biodegradables pueden ser una de sus principales desventajas, no obstante, se pueden mitigar mediante estrategias de reutilización, la cual se mencionó debe tomarse en cuenta a la hora de hacer los presupuestos o diseños de producción y el apoyo de instituciones, es decir, países comprometidos con la reducción de residuos plásticos, como Canadá, que está implementando prohibiciones y multas para abordar este problema.

CONCLUSIONES

Se encontró que los polímeros biodegradables están revolucionando múltiples áreas de la medicina, gracias a su capacidad de ser respetuosos con el medio ambiente, biocompatibles y versátiles. Esto está dando lugar a avances significativos y prometedores por lo que se promueve a seguir investigando la sinterización de nuevos materiales y aplicaciones.

A pesar del creciente uso de polímeros biodegradables en diversas industrias como la automotriz, construcción y aeroespacial, aún existen limitaciones en cuanto a sus propiedades y costos de producción. Es fundamental continuar con la investigación para superar estos retos y garantizar una transición eficaz.

Los polímeros biodegradables están experimentando un significativo crecimiento en las áreas industriales y biomédica. Aún existen en las dos áreas incógnitas en las que hace falta investigar más para conocer todos los impactos de algunos productos en el medio ambiente. Además, existen problemas para los que ya se plantean soluciones, sin embargo, estas únicamente son la base o es una zona aun sin explorar.

Por lo tanto, con el apoyo de las instituciones, se debe fomentar la educación sobre el tema para reducir la basura que se genera, así como apoyar la investigación para buscar soluciones y optimizar los resultados actuales para ser más viables económicamente y eficientes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por el apoyo brindado para llevar a cabo esta revisión de literatura, además, al CONAHCYT por la beca de maestría otorgada.



REFERENCIAS

- Alizadeh-Osgouei, M., Li, Y., & Wen, C. (2019). A comprehensive review of biodegradable synthetic polymer-ceramic composites and their manufacture for biomedical applications. *Bioactive Materials*, 4 (1): 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2018.11.003>
- Dua, S., Khatri, H., Naveen, J., Jawaid, M., Jayakrishna, K., Norrrahim, M. N. F., & Rashedi, A. (2023). Potential of natural fiber based polymeric composites for cleaner automotive component production -a comprehensive review. *Journal of Materials Research and Technology*, 25: 1086–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.019>
- Gilani, I. E., Sayadi, S., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2023). Plastic waste impact and biotechnology: Exploring polymer degradation, microbial role, and sustainable development implications. *Bioresource Technology Reports*, 24: 101606. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101606>
- Hasan, K. M. F., Hasan, K. N. Al, Ahmed, T., György, S. T., Pervez, M. N., Bejő, L., Sándor, B., & Alpár, T. (2023). Sustainable bamboo fiber reinforced polymeric composites for structural applications: A mini review of recent advances and future prospects. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8: 100362. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100362>
- Hrochová, M., Kotrchová, L., Frejtková, M., Konefał, R., Gao, S., Fang, J., Kostka, L., & Etrych, T. (2023). Adaptable polymerization platform for therapeutics with tunable biodegradability. *Acta Biomaterialia* 171: 417-427. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2023.09.004>
- Hua, W., Shi, W., Mitchell, K., Raymond, L., Coulter, R., Zhao, D., & Jin, Y. (2022). 3D Printing of Biodegradable Polymer Vascular Stents: A Review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 1(2): 100020. <https://doi.org/10.1016/j.cjmeam.2022.100020>
- Kibirskītis, E., Mayik, V., Zatserkovna, R., Vaitasius, K., Stepanenko, A., Kandrotaitė-Janutienė, R., Venytė, I., & Danilovas, P. P. (2022). Study of physical and mechanical properties of partially biodegradable LDPE polymeric films and their application for printing and packaging. *Polymer Testing*, 112: 107646. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107646>
- Liu, T., Wang, Y., Hong, M., Venezuela, J., Shi, W., & Dargusch, M. (2023). Advances in biodegradable piezoelectrics for medical implants. *Nano Today*, 52: 101945. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2023.101945>



- Marturano, V., Marotta, A., Salazar, S. A., Ambrogi, V., & Cerruti, P. (2023). Recent advances in bio-based functional additives for polymers. *Progress in Materials Science*, 139: 101186. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101186>
- Mazur, F., Pham, A.-H., & Chandrawati, R. (2023). Polymer materials as catalysts for medical, environmental, and energy applications. *Applied Materials Today*, 35: 101937. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2023.101937>
- McNeill, D. C., Pal, A. K., Mohanty, A. K., & Misra, M. (2023). High biomass filled biodegradable plastic in engineering sustainable composites. *Composites Part C: Open Access*, 12: 100388. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2023.100388>
- Pantaloni, D., Rudolph, A. L., Shah, D. U., Baley, C., & Bourmaud, A. (2021). Interfacial and mechanical characterisation of biodegradable polymer-flax fibre composites. *Composites Science and Technology*, 201:108529. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108529>
- Parameswaranpillai, J., Gopi, J. A., Radoor, S., C. D., M. D., Krishnasamy, S., Deshmukh, K., Hameed, N., Salim, N. V., & Sienkiewicz, N. (2023). Turning waste plant fibers into advanced plant fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review. *Composites Part C: Open Access*, 10: 100333. <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100333>
- PROFECO, Procuraduría Federal del Consumidor (2021). *Contaminación por plástico*, en www.gob.mx. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es>. Fecha de consulta: 22 de noviembre 2023.
- Rather, R. A., Bhat, M. A., & Shalla, A. H. (2022). An insight into synthetic and physiological aspects of superabsorbent hydrogels based on carbohydrate type polymers for various applications: A review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3:100202. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100202>
- Rozman, U., & Kalčíková, G. (2021). The first comprehensive study evaluating the ecotoxicity and biodegradability of water-soluble polymers used in personal care products and cosmetics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 228: 113016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113016>
- Samir, A., Ashour, F. H., Hakim, A. A. A., & Bassyouni, M. (2022). Recent advances in biodegradable polymers for sustainable applications. *npj Materials Degradation*, 6 (68): 1-28. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41529-022-00277-7>

- Wu, F., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2021). Challenges and new opportunities on barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. *Progress in Polymer Science*, 117: 101395. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2021.101395>
- Xie, Y., Gao, S., Zhang, D., Wang, C., & Chu, F. (2023). Bio-based polymeric materials synthesized from renewable resources: A mini-review. *Resources Chemicals and Materials*, 2 (3): 223-230. <https://doi.org/10.1016/j.recmm.2023.05.001>
- Yoshinaga, N., Tateishi, A., Kobayashi, Y., Kubo, T., Miyakawa, H., Satoh, K., & Numata, K. (2023). Effect of Oligomers Derived from Biodegradable Polyesters on Eco- and Neurotoxicity. *Biomacromolecules*, 24(6): 2721–2729. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.3c00160>
- Zhong, Y., Godwin, P., Jin, Y., & Xiao, H. (2020). Biodegradable polymers and green-based antimicrobial packaging materials: A mini-review. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3 (1): 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>

MATERIALES QUE PIENSAN: ESTUDIO SOBRE EL CUO COMO MATERIAL INTELIGENTE

THINKING MATERIALS: A STUDY ON CUO AS A SMART MATERIAL

RESUMEN

En esta investigación, se explora el óxido de cobre (CuO) como un material inteligente con propiedades únicas que lo posicionan en la vanguardia de la innovación tecnológica. Mediante un enfoque integral que combina análisis teóricos y experimentales, se investigan las propiedades termocrómicas, piezoeléctricas y catalíticas del CuO. Los métodos de estudio incluyen técnicas avanzadas de caracterización, como microscopía electrónica. Los resultados revelan el potencial del CuO en diversas aplicaciones, desde sensores de temperatura hasta dispositivos de memoria no volátil y celdas solares. Además, se destacan las estrategias para aprovechar eficientemente estas propiedades en dispositivos inteligentes. Las conclusiones subrayan la relevancia del CuO como un material versátil y prometedor en las próximas generaciones de las tecnologías inteligentes, destacando su capacidad para responder y adaptarse a estímulos externos de manera eficaz y sostenible.

Palabras clave: CuO; materiales inteligentes; piezoelectricidad; materiales termocrómicos.

YULISSA CASTILLÓN PIÑA ¹,

SERGIO E. FLORES
VILLASEÑOR ¹

ALMA ESMERALDA GÓMEZ ²

MIGUEL ANGEL DE LEÓN
ZAPATA ³

1. Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.

2. Facultad de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica, Unidad
Laguna, UAdeC.

3. Centro de Investigación
para la Conservación de la
Biodiversidad y Ecología de
Coahuila, UAdeC.

Correspondencia
sergio.villasenor@uadec.edu.mx

ABSTRACT

This research explores copper oxide (CuO) as a smart material with unique properties that position it at the forefront of technological innovation. Using a comprehensive approach that combines theoretical and experimental analyses, CuO's thermochromic, piezoelectric and catalytic properties are investigated. Study methods include advanced

Recepción de artículo
24 de junio de 2024.

Artículo aceptado
17 de septiembre de 2024.

characterization techniques such as electron microscopy. The results reveal the potential of CuO in diverse applications, from temperature sensors to non-volatile memory devices and solar cells. In addition, strategies to efficiently exploit these properties in smart devices are highlighted. The conclusions underline the relevance of CuO as a versatile and promising material in the next generations of smart technologies, highlighting its ability to efficiently and sustainably respond and adapt to external stimuli.

Keywords: *CuO; smart materials; piezoelectricity; thermochromic materials.*

INTRODUCCIÓN

En el mundo, los avances de la ciencia y tecnología van de la mano, con la mejora de los materiales porque sus propiedades han permitido dar soluciones eficientes a las necesidades presentes, en la actualidad los materiales que se usan comúnmente dentro de la industria presentan propiedades que no se pueden alterar de manera específica, motivo por el cual se da gran importancia al desarrollo de nuevos materiales los cuales sean capaces de responder a estímulos externos. El CuO ha emergido como un componente de interés significativo gracias a sus propiedades únicas y su capacidad para desempeñar roles clave en diversas aplicaciones tecnológicas. Este compuesto presenta características intrínsecas que lo categorizan como un material inteligente, exhibiendo propiedades termocrómicas, piezoeléctricas y memoria de forma, entre otras. La convergencia de estas propiedades ha generado un gran interés en comprender y aprovechar sus capacidades en la creación de dispositivos avanzados y soluciones tecnológicas.

No obstante las prometedoras propiedades del CuO, existen algunos desafíos en nuestra comprensión actual de su comportamiento y aplicación práctica, tales como la necesidad de optimizar procesos de síntesis, comprender mejor las interacciones a nivel nanométrico y



abordar cuestiones relativas a la estabilidad y durabilidad en entornos específicos de aplicación. La importancia de investigar el CuO como material inteligente radica en su potencial para revolucionar diversas áreas, desde la electrónica hasta la energía y la elaboración de sensores. Su capacidad para responder a estímulos externos, cambiar de fase y catalizar reacciones químicas abre un camino de posibilidades para el desarrollo de dispositivos más eficientes y sostenibles.

Dicho lo anterior, se plantea la hipótesis de que una comprensión más profunda de las propiedades y comportamientos del CuO permitirá optimizar su aplicación en dispositivos específicos, mejorando su rendimiento y funcionalidad. Los objetivos de esta investigación incluyen analizar las propiedades estructurales y funcionales del CuO, así como explorar aplicaciones prácticas en dispositivos inteligentes. Los alcances de este trabajo se centran en una investigación a nivel teórico, proponiendo métodos de síntesis mejorados y explorando aplicaciones potenciales en dispositivos específicos. Sin embargo, se reconoce que, debido a la complejidad del material y la gran diversidad de aplicaciones, este estudio puede tener limitaciones en términos de la generalización de los resultados obtenidos y la extrapolación directa a todas las áreas de aplicación. En resumen, se busca contribuir al entendimiento y aprovechamiento del CuO como material inteligente, abordando desafíos actuales y explorando nuevas fronteras en la aplicación de este material en dispositivos avanzados.

CONCEPTOS BÁSICOS

A lo largo de la historia de la humanidad, el uso de materiales ha sido fundamental en el desarrollo tecnológico. Desde la edad del cobre hasta la era digital, la evolución de los materiales ha sido un factor clave en el progreso humano.

Un material inteligente, también conocido como material avanzado o funcional, es un tipo de material que posee propiedades que pueden cambiar de manera reversible en respuesta a estímulos externos: cambios en temperatura, presión, luz, electricidad, campos magnéticos, pH o, incluso, estímulos mecánicos (Tamayo, 2022). Estas propiedades

cambiantes pueden ser diseñadas y controladas para cumplir con funciones específicas, entre ellas se contemplan la dureza, el color, la textura, la conductividad térmica y/o eléctrica y la resistencia al impacto, entre otras. El procedimiento que sigue un material inteligente consiste primeramente en colocar el material, aplicarle el estímulo y medir su respuesta, tal y como se observa en la Figura 1.

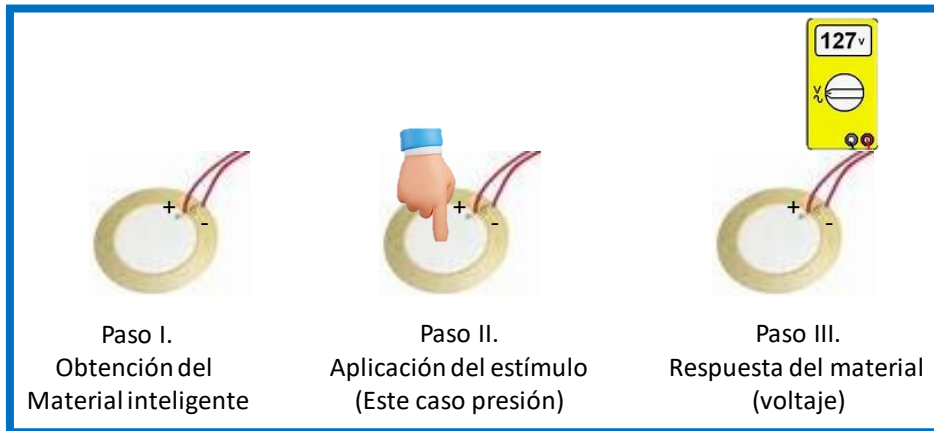


Figura 1. Esquema de acción de un material inteligente.

Existen distintos tipos de materiales inteligentes, entre estos se reconoce al óxido de cobre como un material altamente inteligente gracias a las distintas propiedades únicas que presenta y a las aplicaciones que pueden resultar al procesarlo.

El óxido de cobre es un compuesto inorgánico formado por un átomo de cobre y otro de oxígeno (Bhavyasree y Xavier, 2022). Se presenta en forma de un polvo color negro a rojo oscuro, dependiendo de las condiciones de síntesis y de la estructura cristalina (Figura 2).



Figura 2. Óxido de cobre.

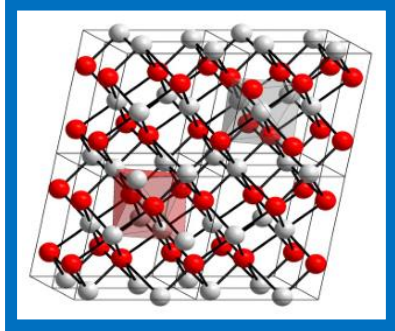


Figura 3. Estructura cristalina del óxido de cobre.

El óxido de cobre (II) pertenece al sistema monoclinico, con un grupo cristalográfico de $2m$ o $C2h$ (Ighalo y col., 2021). El grupo espacial de su celda unidad es $C2/c$, y sus parámetros de red se muestran en la Tabla 1 y la figura 4.

Tabla 1. Datos cristalográficos del cobre puro (Hermawan y col., 2020).

Grupo espacial	Sistema cristalino	Parámetros de celda
$C2/C$	Monoclinico	$a = 4.683$, $b = 3.4226$, $c = 5.1288$, $\alpha = \gamma = 90^\circ$, $\beta = 99.54^\circ$

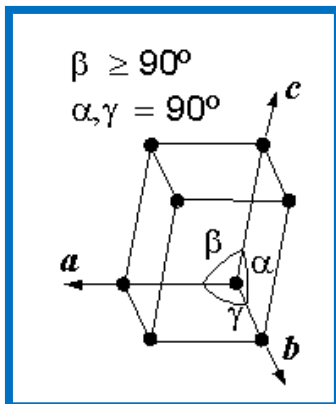


Figura 4. Estructura cristalográfica del óxido de cobre.

La tenorita es un óxido mineral de cobre (Figura 5), tiene un color gris opaco y se produce en la intemperie que se forma del sublimado volcánico (Moakhar y col., 2021).



Figura 5. Óxido mineral de cobre, tenorita.

El óxido de cobre tiene distintas características como, por ejemplo, su densidad es alta, alrededor de 6.3 g/cm^3 , punto de fusión de $1326 \text{ }^\circ\text{C}$ aproximadamente, lo que indica su estabilidad térmica (Dulta y col., 2022). Es un semiconductor, lo cual significa que tiene una conductividad eléctrica intermedia entre un conductor y un aislante, exhibe una buena conductividad térmica, lo que lo hace relevante en aplicaciones donde se requiere transferencia de calor eficiente (Figura 6).

DESCRIPCIÓN DE PROPIEDADES

Es conocido que la propiedad de un material inteligente depende básicamente de su estructura cristalina, ésta es fundamental porque determina cómo se disponen y se relacionan entre sí los átomos en el sólido. En el óxido de cobre influye en sus propiedades y comportamientos debido a las interacciones específicas y establece la disposición regular y repetitiva de los átomos en el material.



Figura 6. Aplicación del óxido de cobre como intercambiador de calor.

Ya que la estructura del CuO es monoclinica, significa que los átomos de cobre y oxígeno están organizados de una manera específica en el espacio, lo que afecta directamente sus propiedades físicas y químicas (Naz y col., 2019). La forma en que los átomos están dispuestos en su estructura cristalina determina los enlaces químicos que son iónicos y covalentes, y su fuerza y naturaleza afectan las propiedades del material, además, puede experimentar transiciones de fase en respuesta a cambios de temperatura, presión u otros factores ambientales. Estas

transiciones afectan directamente las propiedades del material y es lo que lo hace inteligente (Figura 7).

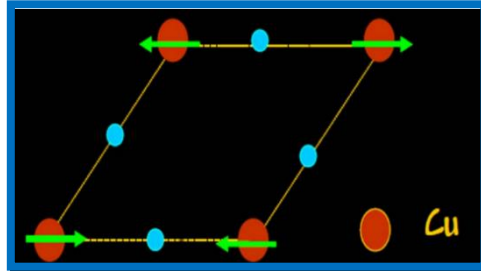


Figura 7. Movimiento de los átomos en la estructura.

La estructura cristalina también determina cómo el material interactúa con la luz. En el caso del CuO , su sensibilidad a la luz está relacionada con la forma en que los electrones en la estructura responden a la radiación electromagnética. También afecta la simetría del material, lo que es crucial para todo tipo de propiedades, tales como, termocrómicas, piezoeléctricas, catalíticas, su sensibilidad a la luz y la capacidad que tiene de cambiar su estructura cristalina.

PROPIEDADES TERMOCRÓMICAS

El termocromismo es un fenómeno óptico en el cual un material cambia de color en respuesta a cambios en la temperatura (Cao y col., 2021). Este cambio de color puede ser reversible,



Figura 8. Termocromismo del óxido de cobre.

y la intensidad y la velocidad del cambio dependen de las propiedades específicas del material y de las condiciones de temperatura. En el caso específico del CuO , este fenómeno se debe a cambios en su estructura cristalina y propiedades ópticas a medida que se modifica la temperatura. Cuando el CuO experimenta un aumento de temperatura, presenta una transformación en su estructura cristalina que afecta su absorbancia y reflectancia de la luz en diferentes longitudes de onda,

esta transformación puede resultar en un cambio observable en el color del material. A temperatura ambiente, se sabe que el CuO generalmente tiene un color negro a rojo oscuro. A medida que la temperatura aumenta, puede experimentar un cambio en su tonalidad, pudiendo llegar a mostrar colores más claros (Figura 8). Este cambio termocrómico puede ser reversible, lo que significa que el color original se restaura cuando el material vuelve a enfriarse. Se han explorado diversas aplicaciones, tal es el caso de Zoolfakar y colaboradores, quienes en 2013 reportaron la aplicación de dispositivos a base de óxido de cobre para sensor el vapor de etanol, detectando a este vapor por debajo de las 12.5 partes por millón (ppm) a temperaturas de entre 180 y 260 °C, (Zoolfakar y col., 2013). Además de actuar como sensores de vapores, también se puede destacar el trabajo de Zhou y colaboradores, quienes en 2022 reportaron el uso de óxido de cobre en compañía de zirconia para la elaboración de un material termocrómico, señalan los autores que este efecto termocrómico es derivado del cambio de oxidación que sufre el cobre al estar frente a un estímulo específico, por lo que al estar mezclado con zirconia se estabiliza la estructura y permite que el CuO pueda mantener su estructura cristalina por arriba de los 1000 ciclos, lo cual favorecería la aplicación, incrementando así su tiempo de vida (Zhou y col., 2022). Este comportamiento termocrómico específico lo convierte en un material interesante para aplicaciones donde se requiere la detección visual de cambios de temperatura.

PROPIEDADES PIEZOELÉCTRICAS

La piezoelectricidad es la capacidad de ciertos materiales para generar una carga eléctrica en respuesta a una deformación mecánica (Kim y col., 2021). En el caso del CuO este puede exhibir propiedades piezoeléctricas en formas específicas y bajo ciertas condiciones. En sistemas cristalinos no centrados, la asimetría en la dispo-



Figura 9. Sensores piezoeléctricos con óxido de cobre.

sición de los átomos puede dar lugar a la generación de una carga eléctrica cuando se aplica una presión mecánica o se produce una deformación en el material. El óxido de cobre, en ciertas configuraciones y formas, puede mostrar este comportamiento haciéndolo útil en la fabricación de sensores de presión (Figura 9) y dispositivos generadores de energía (Bairagi y col., 2022). Es importante destacar que no todas las formas y configuraciones del óxido de cobre exhiben propiedades piezoeléctricas. La presencia de ciertas estructuras cristalinas y la orientación específica de los cristales son factores cruciales que influyen en esta propiedad tan importante.

PROPIEDADES CATALÍTICAS

La capacidad que tiene el CuO para acelerar ciertas reacciones lo hace valioso en aplicaciones electroquímicas y en el desarrollo de celdas (Cao y col., 2021). Su acción catalítica se debe a su capacidad para interactuar con otras sustancias, facilitando y acelerando las reacciones sin sufrir cambios químicos permanentes durante el proceso. Algunas de sus aplicaciones catalíticas incluyen las reacciones de descomposición térmica de compuestos, las reacciones redox donde hay transferencia de electrones entre especies químicas, la síntesis orgánica para la oxidación de alcoholes o la síntesis de compuestos orgánicos, en los procesos industriales interactúa en la fabricación de dióxido de azufre, los procesos de hidrogenación y las celdas de combustible convirtiendo la energía química en energía eléctrica. La eficacia del CuO como catalizador depende de factores como su forma, tamaño de partícula (Figura 10) y la naturaleza específica de la reacción química.

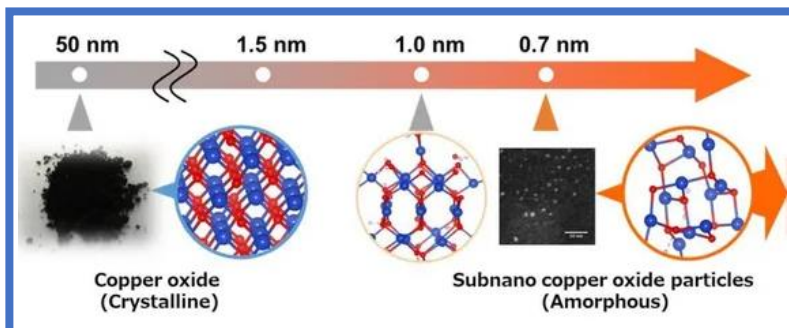


Figura 10. Escala nanométrica del óxido de cobre como catalizador.

PROPIEDADES FOTOSENSIBLES

La sensibilidad a la luz del CuO puede contribuir a su aplicación como material inteligente destacando algunas aplicaciones como la fotocatalisis, donde la luz, especialmente en el rango ultravioleta, activa las propiedades catalíticas del material, también puede utilizarse como material fotosensible para convertir la luz solar en electricidad mediante procesos fotovoltaicos, el CuO modificado puede emplearse en la fabricación de sensores de luz. Al tener la propiedad de cambio de fase, se puede permitir su uso en dispositivos de memoria no volátil (González y col., 2018) (Figura 11), estos dispositivos retienen la información incluso cuando se corta la energía.



Figura 11. Memoria RAM no volátil.

SENSIBILIDAD A LOS GASES

Este compuesto ha demostrado ser sensible a la presencia de gases específicos, como el dióxido de azufre (SO_2) y el monóxido de carbono (CO). Cuando estos gases interactúan, provocan cambios en las propiedades eléctricas del material como la resistencia eléctrica. Esta sensibilidad se basa en la adsorción y desorción de los gases presentes en el entorno. También se utiliza en la fabricación de sensores de gas (Figura 12), donde la variación en sus propiedades se traduce en una señal detectable. Estos sensores son cruciales en aplicaciones como la detección de emisiones industriales, la monitorización de la calidad del aire y la seguridad en entornos donde la presencia de ciertos gases puede representar un



riesgo (Siddiqi y Husen, 2020). Se aplica en la industria petroquímica, automotriz y seguridad ambiental.

NANOTECNOLOGÍA

La investigación a nivel nanotecnológico ha permitido la síntesis de nano-estructuras de CuO , lo que ha mejorado sus propiedades y su rendimiento en diversas aplicaciones. La nanotecnología permite la síntesis controlada de nano-estructuras de CuO , como nanotubos, nano-hilos, nano-partículas y nano-placas.

Estas nano-estructuras exhiben propiedades mejoradas en comparación con las formas a mayor escala, lo que las hace ideales para aplicaciones específicas y exhibe propiedades únicas en términos de conductividad eléctrica, actividad catalítica, sensibilidad a los gases y respuesta a la luz. Al presentar alta relación superficie-volumen mejora la interacción con el entorno, lo que resulta en una mayor sensibilidad y selectividad (Sonobe y col., 2020). Adquiriendo propiedades más avanzadas y utilizándolo en la fabricación de transistores y en aplicaciones médicas como la liberación controlada de fármacos (Figura 13), la detección temprana de enfermedades, celdas solares, dispositivos de almacenamiento y para la remediación de contaminantes mediante la catálisis nano-tecnológica.

Figura 12. Detector de dióxido de azufre.



Figura 13. Cápsula de óxido de cobre para la liberación de fármacos

SÍNTESIS DE ÓXIDO DE COBRE

Su síntesis puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas, y la elección de un método particular dependerá de la aplicación específica, el tamaño de partícula deseado y otros factores. Algunos métodos comunes son:

- Síntesis térmica o calcinación, es un método convencional que implica calentar sales de cobre, como el nitrato de cobre, a altas temperaturas (por encima de 400 °C).
- Precipitación química: involucra la adición de un reactivo precipitante, como hidróxido de sodio (NaOH), a una solución de una sal de cobre soluble. Figura 14.
- Hidrólisis: consiste en la reacción de un precursor de cobre (generalmente una sal) con agua a altas temperaturas.
- Método sol-gel: Implica la formación de un gel a partir de precursores de cobre y un agente gelificante, el gel se seca y se calcina para obtener el óxido de cobre. Las ventajas de este método permiten un control preciso del tamaño de partícula y una gran pureza en el producto final.
- El método de reducción térmica: se basa en la reducción de sales de cobre utilizando agentes reductores a altas temperaturas y después el cobre metálico formado se oxida.
- Microemulsión: se utiliza para la síntesis de nanoestructuras de CuO, involucra la formación de microemulsiones de precursores de cobre, que se someten a reacciones químicas para producir partículas pequeñas de CuO (Waris y col., 2021).

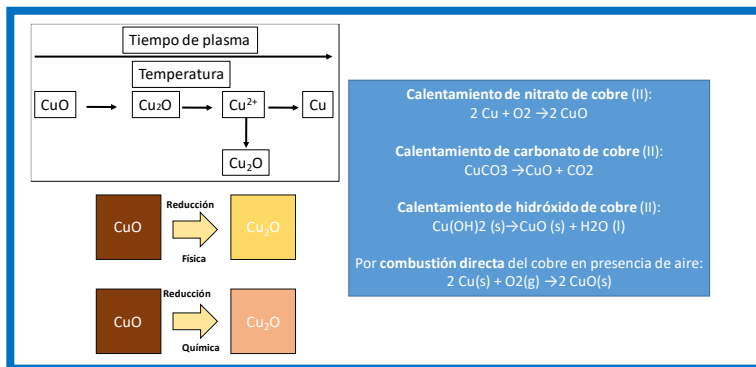


Figura 14. Rutas físicas y químicas para la obtención de óxido de cobre.

PROPIEDAD ANTIBACTERIANA

La propiedad antibacteriana del óxido de cobre es una característica destacada que contribuye a su papel como material inteligente en diversas aplicaciones, especialmente en entornos donde el control de la proliferación bacteriana es crucial. Al presentar propiedades bactericidas quiere decir que puede matar bacterias. El mecanismo de acción involucra la liberación de iones de cobre, que pueden dañar las membranas celulares bacterianas y afectar procesos metabólicos esenciales. Esta propiedad se extiende a una variedad de microorganismos, incluyendo bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Román y col., 2020). El CuO también se incorpora comúnmente en recubrimientos y materiales para conferir propiedades antibacterianas. Esta propiedad se extiende a una variedad de microorganismos, incluyendo bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Román y col., 2020). El CuO también se incorpora comúnmente en recubrimientos y materiales para



Figura 15.

Esponja de limpieza con nanopartículas de óxido de cobre.

conferir propiedades antibacterianas. Esto se aplica en entornos como hospitales, donde la prevención de la propagación de infecciones es crítica, así como en la fabricación de implantes biomédicos, donde la prevención de infecciones es esencial. Los implantes recubiertos con CuO pueden ayudar a reducir el riesgo de infecciones asociadas con dispositivos médicos. También se utiliza en la prevención del biofouling, que es la acumulación de microorganismos en superficies sumergidas, como cascos de barcos y estructuras marinas. El CuO se ha utilizado en el desarrollo de textiles con propiedades antibacterianas (Figura 15), los cuales son especialmente útiles en la fabricación de ropa deportiva y otros productos donde la proliferación bacteriana puede ser problemática. Todo lo anterior quiere decir que esto no solo es una característica valiosa para aplicaciones biomédicas, sino que también

tiene implicaciones importantes en la prevención de enfermedades y la mejora de la higiene.

APLICACIONES

A continuación, se observan las distintas aplicaciones de los estudios más recientes donde el óxido de cobre aparece como material inteligente (Tabla 2).

Tabla 2. Aplicaciones del óxido de cobre.

Año	Aplicación	Descripción
2022 (Dulta y colaboradores)	Actividad antimicrobiana	Se empleó un extracto de rizoma de <i>Bergenia ciliata</i> como agente reductor biofuncional en la síntesis ecológica de nanopartículas de óxido de cobre.
2021 (Tamayo y colaboradores)	Semiconductores	Se evaluó la influencia del tratamiento térmico con las propiedades estructurales y ópticas de las nanoestructuras de óxido de cobre.
2021 (Steinhauer y colaboradores)	Sensores de gas	Se evaluó el uso del óxido de cobre para el uso en sensores detectores de gas.
2021 (Waris y colaboradores)	Aplicaciones biomédicas	Realizaron una revisión del óxido de cobre obtenido por síntesis verde y las diversas aplicaciones biomédicas.
2021 (Letchumanan y colaboradores)	Aplicaciones biomédicas	presentación de una biosíntesis de nanopartículas de cobre/óxido de cobre a base de plantas para aplicación en biomedicina y toxicidad.
2021 (Ighalo y colaboradores)	Tratamiento de agua	Se utilizaron nanopartículas de óxido de cobre para su uso como adsorbente de diversos contaminantes en el agua
2021 (Siavash y colaboradores)	Fotocatalizadores	Se estudiaron las aplicaciones del óxido de cobre como fotocatalizador y una división fotoelectroquímica de agua mediante electrodos a base de CuO.
2021 (Yan Cao y colaboradores)	Citotoxicidad	Se realizó una síntesis verde de nanopartículas de ZnO-CuO para obtener propiedades de citotoxicidad.
2020 (Hermawan y colaboradores)	Sensores de gas	Se demostró que el CuO obtuvo un rendimiento como material prometedor para la detección de gases COV.
2020 (Salahuddin y colaboradores)	Descontaminante	Se sintetizaron nanopartículas de cobre y óxido de cobre a partir de varias especies de plantas para evaluar su uso en la degradación de colorantes orgánicos.



CONCLUSIONES

La investigación exhaustiva sobre el óxido de cobre ha revelado su versatilidad como material inteligente, destacando propiedades únicas que abarcan desde la sensibilidad a los gases hasta su capacidad para funcionar como fotocatalizador.

Los estudios han demostrado que el óxido de cobre no solo es capaz de responder a estímulos externos, como la luz y los cambios de temperatura, sino que también exhibe propiedades piezoeléctricas y de nanotecnología que amplían su aplicación en diversos campos tecnológicos.

Los métodos de síntesis, como la síntesis térmica, la precipitación y la nanotecnología, han permitido la manipulación precisa de las propiedades del óxido de cobre, generando nanoestructuras con características mejoradas y tamaños de partícula controlados.

La importancia del óxido de cobre como sensor de gases destaca su contribución significativa a la monitorización ambiental y la seguridad en la detección temprana de sustancias tóxicas, respaldando la gestión ambiental y la protección de la salud pública.

Su papel como fotocatalizador ha llevado a avances en la degradación de contaminantes, señalando su importancia en la búsqueda de soluciones sostenibles para la purificación del aire y el agua.

La capacidad del óxido de cobre para ser modificado a nivel nanométrico a través de métodos como el sol-gel ofrece nuevas perspectivas para aplicaciones en dispositivos nanoelectrónicos y nanomédicos, anticipando avances tecnológicos significativos.

La sensibilidad a la luz del CuO , aunque no fotocromática por naturaleza, se ha explotado en aplicaciones fotocatalíticas y en celdas solares, destacando su contribución a la generación de energía sostenible.

La continuación de la investigación se orienta hacia la comprensión más profunda de las propiedades piezoeléctricas y la mejora de la eficiencia en la síntesis de nanoestructuras de CuO , buscando impulsar aún más su aplicación en dispositivos avanzados.

La importancia estratégica del óxido de cobre en la tecnología moderna sugiere un futuro prometedor, donde la combinación de sus propiedades únicas y la continua innovación en métodos de síntesis pueden abrir nuevas posibilidades en electrónica, medicina y tecnologías medioambientales.

En resumen, la investigación exhaustiva sobre el óxido de cobre revela su destacada versatilidad como material inteligente con propiedades únicas. A lo largo del estudio se exploraron diversas aplicaciones, desde su sensibilidad a los gases y su capacidad como fotocatalizador hasta su respuesta a estímulos externos como la luz y los cambios de temperatura.

Los métodos de síntesis, como la nanotecnología y la síntesis térmica, permiten la manipulación precisa de sus propiedades, generando nanoestructuras con características mejoradas. La importancia del óxido de cobre como sensor de gases en la monitorización ambiental, su papel en aplicaciones nanoelectrónicas y nanomédicas, así como su contribución a la generación de energía sostenible, resaltan su papel crucial en la innovación tecnológica.

El estudio sugiere un futuro prometedor para el óxido de cobre, con la continua investigación enfocada en comprender más profundamente sus propiedades y mejorar la eficiencia en su síntesis, abriendo nuevas posibilidades en áreas como la electrónica, la medicina y las tecnologías ambientales.

REFERENCIAS

- Bairagi, S., Chowdhury, A., Banerjee, S., Thakre, A., Saini, A., Wazed-Ali, S. (2022). Investigating the role of copper oxide (CuO) nanorods in designing flexible piezoelectric nanogenerator composed of polyacrylonitrile (PAN) electrospun web-based fibrous material. *J Mater Sci: Mater Electron*. 33: 13152–13165. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-08254-1>
- Bhavyasree, P., & Xavier, T. (2022). Green Synthesised copper and copper oxide based nanomaterials using plant extracts and their application in antimicrobial

- activity: review. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*. 5: 100249. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100249>
- Cao, Y., Dhahad, H. A., El-Shorbagy, M. A., Alijani, H. Q., Zakeri, M., Heydari, A., Bahonar, E., Šlouf, M., Khatami, M., Naderifar, M., Iravani, S., Khatami, S., & Dehkordi, F. F. (2021). *Green synthesis of bimetallic ZNO–CUO nanoparticles and their cytotoxicity properties*. *Scientific Reports*, 11(1): 23479 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02937-1>
- Dulta, K., Ağçeli, G. K., Chauhan, P. K., Jasrotia, R., Chauhan, P. K., & Ighalo, J. O. (2022). Multifunctional CUO nanoparticles with enhanced photocatalytic dye degradation and antibacterial activity. *Sustainable Environment Research*, 32: 2 (2022). <https://doi.org/10.1186/s42834-021-00111-w>
- González V., O. F., Mutiz, J. J., & Urresta A., J. (2018). Síntesis y caracterización de catalizadores tipo Cu soportado en MgO, SiO₂, ZnO y Al₂O₃ aplicados a la hidrogenólisis del glicerol. *Revista ION*, 30(2): 31–41. <https://doi.org/10.18273/revion.v30n2-2017003>
- Hermawan, A., Zhang, B., Taufik, A., Asakura, Y., Hasegawa, T., Zhu, J., Shi, P., & Yin, S. (2020). CUO Nanoparticles/Ti₃C₂TX MXENE Hybrid Nanocomposites for detection of toluene gas. *ACS applied nanomaterials*, 3(5): 4755-4766. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c00749>
- Ighalo, J. O., Sagboye, P. A., Umenweke, G. C., Ajala, O. J., Omoarukhe, F. O., Adeyanju, C. A., Ogunniyi, S., & Adeniyi, A. G. (2021). CUO nanoparticles (CUO NPs) for water treatment: A review of recent advances. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. 15: 100443. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100443>
- Kim, S. J., Kim, S., Lee, J., Jo, Y., Seo, Y., Lee, M., Lee, Y., Cho, C. R., Kim, J., Cheon, M., Hwang, J., Kim, Y. I., Soon, A., Choi, M., Choi, W. S., Jeong, S., & Lee, Y. H. (2021). Color of Copper/Copper oxide. *Advanced Materials*, 33(15): 2007345. <https://doi.org/10.1002/adma.202007345>
- Letchumanan, D., Sok, S. P. M., Ibrahim, S., Siddik, Z. H., & Arshad, N. M. (2021). Plant-Based biosynthesis of Copper/Copper oxide nanoparticles: An update on their applications in biomedicine, mechanisms, and toxicity. *Biomolecules*, 11(4): 564. <https://doi.org/10.3390/biom11040564>
- Moakhar, R. S., Hosseini-Hosseiniabad, S. M., Masudy-Panah, S., Seza, A., Jalali, M., Fallah-Arani, H., Dabir, F., Gholipour, S., Abdi, Y., Hariri, M. B., Riahi-Noori, N., Lim, Y., Hagfeldt, A., & Saliba, M. (2021). Photoelectrochemical Water-Splitting using CUO-Based electrodes for hydrogen production: a review. *Advanced Materials*, 33: 2007285. <https://doi.org/10.1002/adma.202007285>

- Naz, S., Gul, A., & Zia, M. (2019). Toxicity of Copper Oxide nanoparticles: A review study. *Iet Nanobiotechnology*, 14(1): 1-13. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2019.0176>
- O'Mahony S.M., Ren, W., Chen, W., Chong, Y. X., Liu, X., Eisaki, H., Uchida, S., Hamidian, M. H. Séamus, J.C.D. (2022). On the electron pairing mechanism of copper-oxide high-temperature superconductivity. *PNAS Physics*. 119(37): e2207449119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2207449119>.
- Resende, S.D.M. (2023). Nanopartículas de sílica mesoporosas SBA16 funcionalizadas com óxido de cobre: um potencial sistema para remoção de agrotóxicos em meio aquoso. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – UNIFEI INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA. https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3469/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2023009.pdf
- Román, L. E., Gomez, E. D., Solís, J., & Gómez, M. (2020). Antibacterial cotton fabric functionalized with copper oxide nanoparticles. *Molecules*, 25(24): 5802. <https://doi.org/10.3390/molecules25245802>
- Rydosz, A. (2018). The use of Copper oxide thin films in Gas-Sensing applications. *Coatings*, 8(12): 425. <https://doi.org/10.3390/coatings8120425>
- Schio, A.L. (2020). Síntese Mecanoquímica Nanopartículas de óxido de cobre (II) para a redução catalítica de nitroarenos em meio aquoso. Mestrado Acadêmico em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade de Caxias do Sul <https://repositorio.ucs.br/11338/6724>
- Siddiqi, K. S., & Husen, A. (2020). Current status of plant metabolite-based fabrication of copper/copper oxide nanoparticles and their applications: a review. *Biomaterials Research*, 24(1): s40824-020-00188-1. <https://doi.org/10.1186/s40824-020-00188-1>
- Solomon, E. I., Jones, P. M., & May, J. A. (1993). Electronic structures of active sites on metal oxide surfaces: Definition of the copper-zinc oxide methanol synthesis catalyst by photoelectron spectroscopy. *Chemical Reviews*, 93(8): 2623-2644. <https://doi.org/10.1021/cr00024a003>
- Sonobe, K., Tanabe, M., and Yamamoto, K. (2020). Enhanced Catalytic Performance of Subnano Copper Oxide Particles. *ACS Nano*. 14 (2): 1804-1810. <https://doi: 10.1021/acsnano.9b07582>
- Spin L.S.M y Urbina M.L.A (2015). Estudio de la aleación inteligente con memoria de forma CU-ZN para determinar su aplicación industrial. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26234>
- Steinhauer, S. (2021). Gas sensors Based on Copper Oxide Nanomaterials: A review. *Chemosensors*, 9(3): 51. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9030051>

- Tamayo, K., Marín, L., Gross, K., Amaya, C., Reyes, D., Lopera, W., & Gómez, M. (2022). Influencia del tratamiento térmico en las propiedades estructurales y ópticas de nanoestructuras basadas en óxidos de cobre. *Ingeniería Y Competitividad*, 24(1): e21611349. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i1.11349>
- Verma, N., & Kumar, N. (2019). Synthesis and biomedical applications of Copper oxide nanoparticles: an expanding horizon. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 5(3): 1170-1188. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.8b01092>
- Waris, A., Din, M., Ali, A., Ali, M., Afridi, S., Baset, A., & Khan, A. U. (2021). A comprehensive review of green synthesis of copper oxide nanoparticles and their diverse biomedical applications. *Inorganic Chemistry Communications*, 123: 108369. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.108369>

EL INVENTARIO DE LA BOTICA DEL HOSPITAL "PORFIRIO DÍAZ" EN CHIHUAHUA (1910)

THE INVENTORY OF THE DRUGSTORE OF THE "PORFIRIO DÍAZ" HOSPITAL IN CHIHUAHUA (1910)

RESUMEN

El Hospital Porfirio Díaz, ubicado en la ciudad de Chihuahua, se inauguró en 1897 como parte de un proyecto integral que buscaba favorecer a la población a través de la salubridad y la beneficencia. Dado que, en México existe una relación estrecha entre el desarrollo de las profesiones sanitarias y la química, el estudio de los centros hospitalarios es relevante para comprender la historia de esta ciencia. En este trabajo se investigó la botica del Hospital "Porfirio Díaz" a través de un inventario presentado por su director en el año de 1910. Este documento nos revela la variedad de sustancias y productos que disponían para el tratamiento de los enfermos, entre los que se incluyen: plantas medicinales, alcaloides, compuestos inorgánicos y medicamentos industriales. También, se indagó en la cultura material de este establecimiento a través de la lista de objetos e instrumentos, los cuales permitieron inferir las preparaciones elaboradas por el farmacéutico dentro de la botica. Con lo anterior, este trabajo busca hacer nuevas aportaciones a la historia de la farmacia y de la ciencia, reflejando un momento particular donde se gestaba la transición de boticas a farmacias.

Palabras clave: historia de la farmacia; historia de la química; siglo XX; farmacia mexicana; alcaloides.

ABSTRACT

The Porfirio Díaz Hospital, located in the city of Chihuahua, was inaugurated in 1897 as part of a comprehensive project that sought to

MARTÍN CALDERA
VILLALOBOS

Universidad Vizcaya de las
Américas, Campus Saltillo.

Correspondencia
caldera_martin@hotmail.com

Recepción de artículo
10 de octubre de 2023.

Artículo aceptado
17 de septiembre de 2024.

favor the population through health and charity. Since, in Mexico, there is a close relationship between the development of the health professions and chemistry, the study of hospitals is relevant to understand the history of chemistry. In this work, the pharmacy of the Hospital Porfirio Díaz was investigated through an inventory presented by its director in the year 1910. This document reveals the variety of substances and products available for the treatment of patients, among which are: medicinal plants, alkaloids, inorganic compounds, and industrial medicines. Also, the material culture of this establishment was investigated through the list of objects and instruments, which allowed us to infer the preparations made by the pharmacist inside the apothecary. With the above, this work seeks to make new contributions to the history of pharmacy and science, reflecting a particular moment where the transition from pharmacies to pharmacies was taking place.

Keywords: *history of pharmacy; history of chemistry; 20th century; Mexican pharmacy; alkaloids.*

INTRODUCCIÓN

En México, la química se desarrolló de la mano de otras disciplinas como la minería, la medicina y la farmacia. Antonio Iriarte, en su estudio "Evolución de la farmacia en México durante el primer siglo de nuestra independencia," señaló que durante el virreinato y las primeras décadas de vida independiente del país, la farmacia había permanecido casi en completo abandono, y que durante esas épocas había persistido con un gran número de los atributos que implantó la dominación española. También, apuntó que tras la Guerra de la Independencia hubo mayor desarrollo de los conocimientos nacionales y que otros elementos de adelanto fueron los inmigrantes llegados de otras naciones y la introducción de literaturas científicas, principalmente de Francia. Este proceso culminó con la publicación de la *Farmacopea Mexicana* (realizada primeramente por la Academia de Farmacia y posteriormente por la Sociedad Farmacéutica Mexicana), que fue clave



para sistematizar el conocimiento farmacéutico del país en el siglo XIX (Iriarte y Rico, 1911).

El inicio de la enseñanza moderna de la medicina en México se remonta a 1833 con la apertura del Establecimiento de Ciencias Médicas que sucedió a la Facultad de Medicina de origen virreinal. Su plan de estudios se inspiró en la Escuela de Medicina de París y en 1843 introdujo el curso de Química Médica impartido por el doctor Leopoldo Río de la Loza. Por su parte, la carrera de Farmacia nació en 1833 y los estudios comprendieron dos años de enseñanza teórica y dos de práctica. En 1867 su duración aumentó a tres años, incluyendo las materias de Farmacia teórico-práctica, Historia natural de las drogas y Análisis químico (Rodríguez, 2011).

A finales del siglo XIX se inició el estudio analítico de la flora nacional en el cual destacaron personajes como Alfonso Herrera (1838-1901), Lazo de la Vega, Fernando Altamirano (1848-1908) y una gran parte de los estudiantes de Farmacia en la Escuela Nacional de Medicina. Con la fundación del Instituto Médico Nacional se inició una nueva era para este campo estudio, pues se aislaron y caracterizaron los principios constitutivos de las plantas medicinales y se enriqueció con valiosísimos datos el dominio de los productos naturales (Castañares, 1911).

El estudio de establecimientos como hospitales y boticas resulta necesario para comprender la historia de la química en México. A la fecha, se han realizado muchos estudios sobre los procesos de profesionalización e institucionalización de las carreras sanitarias en México y su contribución a la consolidación de la química como disciplina científica. Sin embargo, los estudios dedicados a las entidades federativas de provincia son más escasos. No obstante, es posible encontrar textos referentes a diferentes pasajes de la historia de la Química y la Farmacia en entidades como Puebla, Nuevo León, Sinaloa y Zacatecas, entre otros.

Al estudiar el desarrollo de la Química en Puebla, Eugenia Mendoza y col., mostraron que entre los siglos XVIII y XIX predominaron los estudios de Farmacia en la entidad y que fue hasta el siglo XX cuando se amplió la formación de los químicos, lo cual condujo a la creación de nuevas



profesiones y a la integración de los primeros grupos de investigación (Mendoza, 2001). Por su parte, Ana Huerta realizó una investigación centrada en los despachos farmacéuticos y el suministro de medicamentos en la ciudad de Puebla en 1845 y 1897. Este estudio repasa el marco regulatorio de la profesión en la entidad, pero también abarcó los planes de estudio implementados en ambos momentos y lo referente a la administración de medicamentos. En este aspecto nos señala los formularios reglamentarios, la mayoría de ellos de origen extranjero, los instrumentos usados para pesos y medidas y la dosificación de las inyecciones hipodérmicas (Huerta, 2007).

Respecto a las entidades norteñas, Roberto Reboloso en su estudio sobre los orígenes de la ciencia en Nuevo León, esbozó de forma breve el panorama de la farmacia en el siglo XIX en esta entidad, mencionando la creación de una cátedra hacia 1866 por el doctor. Eleuterio González, así como el establecimiento de doce boticas reconocidas por el Estado de Nuevo León (Reboloso, 2005). En el plano académico, Dina Beltrán ahondó en el plan de estudios de la carrera de Farmacia a finales del siglo XIX en el Liceo Rosales de Sinaloa, encontrando un plan de estudios de tres años donde se enseñaba Farmacia galénica, Química analítica cualitativa, Farmacia química, Química analítica cuantitativa, Farmacología, Toxicología e Historia de las drogas, y que exigía dos años de práctica en las boticas bajo dirección de un farmacéutico recibido (Beltrán, 2023). Lo anterior muestra que las boticas también funcionaron como un espacio para la enseñanza profesional. Por su parte, Juan Fernández estudió el rol que jugaron las boticas y dispensarios en el tráfico de enervantes tras la imposición de las regulaciones sanitarias en la época posrevolucionaria (Fernández, 2016). Por último, Norma Gutiérrez abordó en su estudio sobre educación y condición femenina, a la farmacia como una de las pocas profesiones a las que pudieron acceder las mujeres en Zacatecas a principios del siglo XX (Gutiérrez, 2011). Lo anterior nos muestra que, aun tratándose de una misma profesión, ésta se desarrolla con particularidades propias en cada región, las cuales merecen ser objeto de estudio.



El Hospital “Porfirio Díaz” de la ciudad de Chihuahua se inauguró en el año de 1899. Su construcción comenzó el 16 de septiembre de 1894, durante el gobierno del General Miguel Ahumada (1845-1916) (Centro INAH Chihuahua, 2020). El diseño de sus instalaciones contempló un sistema de pabellones aislados que, según el *higienismo*, ayudaba a prevenir la propagación de las enfermedades y la mortalidad (Guerrero, 2023). En la Figura 1, se muestra una fotografía de la fachada de este centro médico.



Figura 1. Fachada del Hospital “Porfirio Díaz”
Tomado de Guerrero, 2023

Los primeros médicos que laboraron en él fueron egresados de la Escuela Nacional de Medicina y de la Escuela Práctica Médico Militar, mientras que las primeras enfermeras fueron de origen estadounidense (Hospital Central Universitario, 2021). El doctor Miguel Márquez fue nombrado director de este centro en 1899 (Nuevo Director, 1899) y dispuso la creación de una escuela de enfermeras dentro del hospital (El Hospital Central, 2020). Durante la Revolución Mexicana, el Gral. Francisco Villa cambió el nombre de la institución por “Hospital Constitucionalista Gustavo A. Madero” y más tarde se le nombró “Hospital Constitucionalista” (Llevará Hospital Universitario, 2020).

Respecto al número de pacientes atendidos, en 1910 ingresaron a este centro hospitalario 553 enfermos que se sumaron a 50 que perma-

nećían del año anterior, dando un total de 603. De estos, se curaron 420 (326 hombres y 94 mujeres), fallecieron 64 (49 hombres y 15 mujeres) y permanecieron en el hospital para el año siguiente 119 (109 hombres y 10 mujeres). En ese año, se practicaron 55 cirugías que incluyeron: amputaciones, desarticulaciones, resecciones, debridaciones, paracentesis, extirpaciones y circuncisiones (Informe del director, 1911d).

El personal de este centro estaba formado por 19 personas: Dr. Miguel Márquez (director), Dr. Francisco Valdés (subdirector), Dr. Luis de la Garza Cárdenas, Profesor Evaristo Ordaz (farmacéutico), Sr. Santos Acosta (administrador), Srita. Josefina Unzueta (ayudante de la Dirección), Sra. Juana M. de Acosta (ecónoma), Sra. Tomasa S. A. V. de Parada (costurera), Sr. Ángel M. Ochoa (enfermero mayor), Sr. Makio (cocinero), Sra. Antonia Lares (planchadora), Sr. Esteban Campos (enfermero de cirugía), Sra. Rebeca H. de Rivas (galopina), Sr. José Ángel Chávez (enfermero, distinción hombres), Sra. Alberta Alvarado (enfermera, medicina de mujeres), Sra. Adela B. de Ochoa (enfermera de cirugía de mujeres), Sr. José Ma. García (mozo), Sr. Amado Alvarado (cargo desconocido) y el Sr. Ireneo Cabral (encargado del comedor de hombres) (Informe Del Director, 1911d).

Con base en los antecedentes expuestos, el objetivo de esta investigación es profundizar en el conocimiento sobre el arsenal de sustancias y medicamentos empleados en el Hospital "Porfirio Díaz", así como en la cultura material de su botica a través del análisis de su lista de inventario del año 1910. La relevancia de este trabajo radica en que es una contribución a la historia de la Farmacia y a la historia de la ciencia en nuestro país. Además de ser un trabajo de historia local que ayuda a comprender algunas particularidades de la ciudad de Chihuahua, en un momento histórico.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se utilizó como fuente primaria el "Informe del Director del Hospital Porfirio Díaz" al Supremo Gobierno del Estado,



correspondiente al año de 1910, el cual se publicó en el Periódico Oficial del Estado de Chihuahua en 1911. Dicha fuente se encuentra en el acervo de la Hemeroteca Nacional Digital de México (HNDM).

El análisis consistió en revisar el inventario del departamento de botica, del cual se extrajo una lista completa de medicamentos, sustancias y objetos. Se registró el valor de cada producto (expresado en pesos) y las cantidades en inventario de cada una (expresadas en gramos, piezas, cajas, tubos, frascos, etc.). Respecto a los objetos e instrumentos, se extrajo la lista de inventario incluyendo descripciones.

La interpretación de los resultados se realizó con apoyo de fuentes hemerográficas de carácter científico de la época como: *Anales de Higiene Escolar*, *Anales de la Sociedad Humboldt*, *Gaceta Médica de México*, *La Farmacia* y *La Medicina Científica*. Éstas también constituyen fuentes primarias y se localizan en la HNDM. Por último, la investigación se complementó con otros recursos disponibles en la historiografía de la farmacia mexicana de finales del siglo XIX y principios del siglo XX.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EL INVENTARIO DE DROGAS

En el inventario de la botica se contabilizaron 612 productos que incluyen diversas sustancias orgánicas e inorgánicas; productos vegetales como hojas, raíces, semillas, flores y aceites. Así como productos derivados de plantas como alcaloides, extractos, tinturas, esencias y elixires. Además, se hallaron productos de origen animal como el aceite de bacalao y una variedad de medicamentos de patente o industrializados, así como preparaciones en formas farmacéuticas sencillas. Este inventario, muestra la riqueza del arsenal terapéutico con que contaba el Hospital "Porfirio Díaz". En la Figura 2, se muestran algunas páginas del inventario publicado en el Periódico Oficial del Estado de Chihuahua.



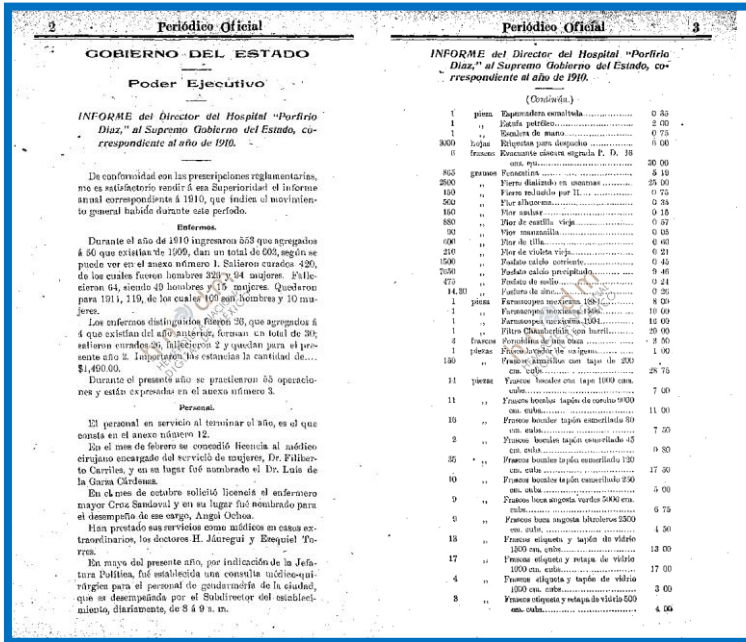


Figura 2. Fotografías de algunas páginas del informe del director del hospital donde se encuentra el inventario. Tomado de Informe del director, 1911d.

Durante el siglo XIX, los profesionales de la farmacia elaboraban los medicamentos en las boticas y consistían principalmente en fórmulas magistrales u oficinales, las cuales elaboraban a partir de plantas medicinales y diversos productos químicos simples (Ortiz Reynoso, 2016).

La botica de este hospital contaba con un ejemplar de las farmacopeas mexicanas de 1884, 1896 y 1904, las cuales debieron ser usadas por el farmacéutico como una guía para la preparación de los medicamentos del hospital (Informe Del Director, 1911b). Recordemos que las farmacopeas son los textos de mayor jerarquía en cuanto a reglamentación de materias primas y productos farmacéuticos. También son un reflejo de los criterios terapéuticos de cada país y parte de la creación de una identidad nacional (Schifter Aceves, 2014). La publicación de las ediciones mencionadas corrió a cargo de la Sociedad Farmacéutica Mexicana y, en ellas, las plantas medicinales, la farmacia galénica y las preparaciones magistrales fueron protagonistas.



En la Tabla 1 se muestran las sustancias inorgánicas reportadas en el inventario, siendo principalmente sales de calcio, de hierro, de mercurio, de plomo, de potasio, de sodio y de zinc; así como ácidos minerales y algunos óxidos. Antes de 1940 no existían los antibióticos, por lo que los compuestos a base de mercurio se utilizaban para tratar las infecciones microbianas (Godínez, 2012). También los compuestos de plomo se utilizaban con el mismo propósito. Incluso Neira Barragán identificó el albayalde (carbonato de plomo), el azarcón (óxido de plomo) y la greta (protóxido de plomo) como elementos de la medicina tradicional del noreste mexicano (Neira, 1995).

Tabla 1. Lista de sustancias inorgánicas.

Clase de compuesto	Ejemplares
Ácidos	Arsenioso, bórico, clorhídrico corriente, clorhídrico puro, crómico cristalizado, nítrico puro, sulfúrico puro.
Elementos puros	Azufre en cilindros, azufre en flor, hierro dializado en escamas, hierro reducido por H, mercurio metálico.
Óxidos	Amarillo de mercurio, blanco de zinc, de litina, rojo de mercurio.
Amoniaco y derivados	Acetato amónico líquido, amoniaco a 22°, amoniaco aromático, bromuro de amonio, carbonato de amonio, cloruro de amonio.
Sales de calcio	Carbonato (corriente), carbonato (precipitado), cloruro (cristalizado), cloruro (fundido), cloruro (puro), fosfato (corriente), fosfato (precipitado), hipofosfito.
Sales de hierro	Arseniato, carbonato, percloruro, pirofosfato amoniacal, sulfato.
Sales de mercurio	Bicloruro, bisulfato, biyoduro, cianuro, nitrato ácido, yoduro.
Sales de plomo	Acetato (cristalizado), acetato (líquido), carbonato, yoduro.
Sales de potasio	Acetato, arseniato, bicarbonato, bicromato, bromuro, carbonato, cianuro, clorato, nitrato, permanganato, sulfato, yoduro.
Sales de sodio	Acetato, arseniato, arseniato (granulado), biborato, bicarbonato, bromuro, carbonato, clorato, cloruro, fosfato, hipofosfito, sulfato (corriente), sulfato (puro), yoduro.
Sales de zinc	Acetato, cloruro, fosfuro, fosfuro (granulado), sulfato.
Otros	Alumbre calcinado, alumbre cristalizado, bromuro de estroncio, carbonato de magnesia (panes), cloruro de bario, magnesia calcinada, nitrato de níquel amoniacal, nitrato de plata cristalizado, nitrato de plata fundido, peróxido de manganeso, sal de Carlsbad, Sal de Vichy, subnitrato de bismuto, sulfato de aluminio, sulfato de magnesio, talco de Venecia, yeso calcinado.

Antes de abordar la lista de sustancias orgánicas, conviene abordar los productos vegetales, pues éstos son una fuente de gran variedad de

compuestos, algunos de los cuales tienen propiedades terapéuticas. La Tabla 2 presenta una lista de productos vegetales encontrados en el inventario, los cuales pudieron haberse utilizado en la preparación de formas farmacéuticas sencillas como: jarabes, tinturas y otros extractos. Como podrá notarse, la gran mayoría de las plantas son de origen extranjero y pocas de ellas son nativas de nuestro país. Durante el porfiriato, se realizaron grandes esfuerzos en centros como el Instituto Médico Nacional y la Escuela Nacional de Medicina, por investigar y comprobar las propiedades medicinales de las plantas autóctonas y así generar una terapéutica nacional (Sánchez, 2012). Los resultados de estos trabajos terminaron por enriquecer a la *Farmacopea Mexicana* (Schifter, 2014). Sin embargo, como podemos notar, el uso de las plantas autóctonas no permeó al interior de este centro hospitalario en gran medida.

Tabla 2. Productos vegetales y otros productos semi-elaborados.

Clasificación	Ejemplares
Raíces	Altea, colombo, genciana, ipecacuana, jalapa, jengibre, lirio de Florencia, ruibarbo, suelda, turbit, zarzaparrilla.
Hojas	Belladona, buchú, coca, digital, eucalipto, gayuba, hojasén oriental, jaborandi, salvia real.
Flores	Alhucema, azahar, castilla vieja, manzanilla, tilia, violeta.
Amoniaco y derivados	Acetato amónico líquido, amoniaco a 22°, amoniaco aromático, bromuro de amonio, carbonato de amonio, cloruro de amonio.
Sales de calcio	Carbonato (corriente), carbonato (precipitado), cloruro (cristalizado), cloruro (fundido), cloruro (puro), fosfato (corriente), fosfato (precipitado), hipofosfito.
Sales de fierro	Arseniato, carbonato, percloruro, pirofosfato amoniacal, sulfato.
Semillas	Almendras amargas, cáñamo, cebada, mostaza, nuez vómica.
Espicias	Anís estrella, azafrán, clavos, cubeba, nuez moscada.
Cortezas	Quina, simarruba.
Otros (no se especifica de qué porción de la planta se trata)	Adormidera, aloe socotrina, cuernecillo de centeno, escamonea, escila marítima, lactucario, liquidámbar, opio, palo orozuz.
Harinas	Almidón de trigo, dextrina amarilla, linaza, mostaza, sagú.
Gomas	Arábica, benjuí, Guti, mirra, quino.
Aceites y grasas	Ajonjolí, alcanforado, cade, castor, chalmigra, crotón, verde, manteca de cacao.

En la Tabla 3, se muestra la lista de compuestos orgánicos disponibles en la botica del Hospital "Porfirio Díaz". En ella se encuentran algunos ácidos y sus sales, colorantes, compuestos halogenados como los haloformos, compuestos sintéticos con propiedades terapéuticas y una vasta variedad de productos naturales, principalmente alcaloides.

Tabla 3. Lista de compuestos orgánicos.

Clase de compuesto	Ejemplares
Ácidos	Acético a 8°, benzoico, cítrico, fénico cristalizado, gálico, láctico, oxálico, pícrico, piroleñoso, salicílico, tártrico
Alcaloides	Aloína, apomorfina, atropina (pura y sulfato mercurial), cafeína (benzoato, citrato), cinconina (sulfato), cocaína (cloruro), codeína, conconidina (sulfato), cuasina, digitalina, dionina, esparteína (sulfato), estricnina (pura, arseniato, arseniato granulado, sulfato, sulfato granulado), euquinina, fisostigmina, morfina (acetato, cloruro, sulfato), pilocarpina, podofilina, quinina (bromhidrato, cloruro, sulfato, tanato, valerianato).
Colorantes	Añil corriente, azul de metileno, carmín añil fino.
Compuestos fenólicos	β -naftol, benzonaftol, guayacol (absoluto, carbonato), resorcina, salicilato de metilo, salicina, timol (cristalizado).
Compuestos halogenados	Bromoformo, bromuro de alcanfor, cloroformo corriente, yodoformo (polvo y granulado).
Compuestos sintéticos	Acetanilida, antipirina, Fenacetina, salipirina, salofeno, salol, uretano de etilo, urotropina,
Sales de ácidos orgánicos	Benzoato de litina, benzoato de sodio, salicilato de sodio.
Otros	Éter acético, éter sulfúrico, glicerina, mentol cristalizado, santonina, terpina hidratada, terpinol absoluto, urea pura.

El uso de los alcaloides aislados (entendidos en esa época como una molécula bioactiva capaz de reaccionar con los ácidos) representó un punto de inflexión en la práctica farmacéutica. El perfeccionamiento de las técnicas de análisis químico y la posibilidad de obtener principios activos relativamente puros incrementó la exactitud en la elaboración y dosificación de los fármacos, haciéndolos más seguros. A partir de las moléculas aisladas, los farmacéuticos desarrollaron fórmulas magistrales y formas farmacéuticas como las cápsulas y tabletas para dosificar adecuadamente (Ortiz Reynoso y col., 2017). En la Figura 3, se muestran las estructuras de algunos alcaloides de la lista. Sin embargo, conviene indicar que, pese a que estas fórmulas químicas son

actualmente aceptadas para estas moléculas, en aquel entonces no se conocía más que la fórmula condensada determinada por análisis elemental.

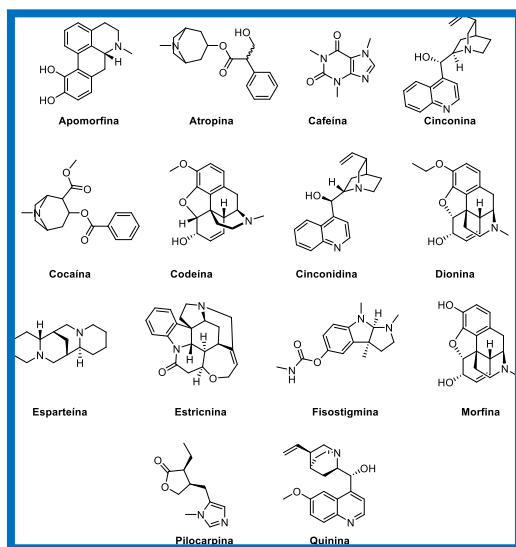


Figura 3. Estructuras de algunos alcaloides usados en la botica.

Para profundizar en las propiedades y usos de algunas de estas sustancias se consultaron algunas publicaciones de la época del rubro farmacéutico. La pilocarpina es un alcaloide aislado de las hojas del *Pilocarpus officinalis* y era usado por sus propiedades sudoríferas (Anónimo, 1893). La cotoína, extraída de la corteza de coto, un árbol del interior de Brasil, se usaba para el tratamiento de las diarreas colicuativas que habían resistido otros medicamentos (Anónimo, 1878). Sabemos que la dionina se empleó en combinación con el lactato de calcio para el tratamiento de la rinitis aguda (Merck, 1927) y la apomorfina se describió como “uno de los cuerpos venidos de la morfina, que con la paramorfina se encuentran en la morfina vulgar y que son la causa de los accidentes caquetizantes del morfinismo.” Se le utilizaba como un vomitivo enérgico y en el tratamiento de ciertos casos de asfixia (Rouski, 1894). Sobre la cuasina, se usaba para restaurar las funciones del tracto digestivo (Soler y Roig, 1894).

La estricnina y la brucina (Figura 4) son los principios activos de la nuez vómica (Graham y Ponz, 1894) cuyo extracto se caracteriza por su amargor excesivo (Extractos Medicinales, 1894). Se empleaba en la

preparación de remedios como el vino tónico en combinación con la solución de Fowles y los vinos de kola, quina, genciana y colombo (Anónimo, 1894). Además, el polvo de nuez vómica combinado con Salicilato de sosa y benzoato de sosa se empleaba para tratamiento de cólicos hepáticos (Anónimo, 1893a).

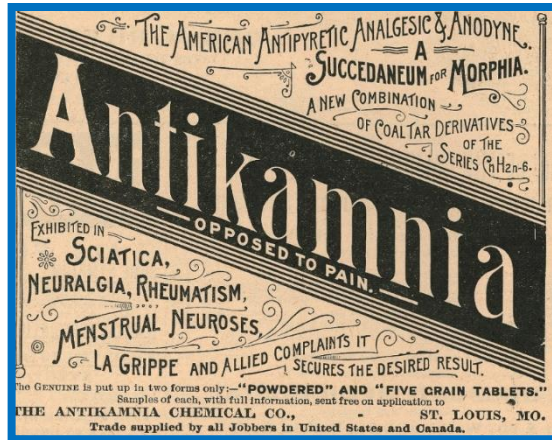


Figura 4.

Anuncio promocional de Antikamnia.
(Anónimo, 2022).

Muchas de estas sustancias se clasificaron como drogas heroicas, una categoría de medicamentos que se utilizaron para curar gran variedad de padecimientos durante el siglo XIX y las primeras décadas del XX. Recibieron este nombre por considerarse muy efectivos. En esta categoría se incluyeron el opio y la coca en todas sus preparaciones y derivados; también todos los alcaloides y sus sales, así como belladona, cicuta, estramonio, zoapatle y marihuana, entre otros (Ortiz Reynoso, 2016).

Con llegada del siglo XX se puso en duda la efectividad de los remedios heroicos y se impusieron medidas para restringir el uso medicinal y no medicinal de dichas sustancias consideradas peligrosas. En 1920 se restringió el cultivo, comercio e importación de sustancias peligrosas como opio, morfina, heroína y cocaína, y en 1926 se prohibió el paso de cualquiera de las drogas heroicas por el territorio nacional (Ortiz Reynoso, 2016).

Dentro del inventario también figuran productos con diferentes formas farmacéuticas como bálsamos, elixires, extractos, grajeas, licores, perlas, pastillas, píldoras, sinapismos, sueros, supositorios, tinturas y ungüentos. La Tabla 4 muestra la lista correspondiente donde encontramos medicamentos comerciales y otros que, por su simpleza, pudieron haber sido elaborados dentro de la botica por el farmacéutico a cargo.

Tabla 4. Formas farmacéuticas encontradas en la botica del Hospital “Porfirio Díaz”.

Forma farmacéutica	Tipos
Bálsamo	Anodino, copaiba, floraventi, negro, Opeldeldoc, tranquilo y tulú.
Elixir	Coca, garuz, peregórico, quina, quina y estriquina y simple.
Extractos	Acónito, beleño, belladona, cáñamo, cáscara sagrada, Casimira edulis, Coca, comelina, contrayerba, convalaria, crameria, cuasia, cuernecillo, digital, escila, estigmas de maíz, estramonio, genciana, guayacán, hammamelis, hidrastida, hojásén, ipecacuana, lactucario, nogal, nuez de cola, nuez vómica, opio, orozuz, polígala, quina, ruibarbo, rus aromático, valeriana, viburno y zarzaparrilla.
Grajeas	Dubouag y Gelineau
Licor	Amoniactal anisado, arseniactal Fowler, arseniactal Pearson, Pravás a 30 ° y Takasiastaza.
Perlas	Cloroformo, éter sulfúrico y eucaliptol
Pastillas	Adrenalina, chinisol, cloruro de potasio comp., bicloruro de mercurio, bromuro de potasio triples, formalina, formalina Esculapio, formalina Helios, oftálicas Sharp Dohme.
Píldoras	Catárticas, digestivas Defresne, Dupuyten, Meglin plateadas y Ricord,
Sinapismo	Rigollol
Suero	Antidiférico Behering, antiestreptocoxico, antiposotoso, antitetánico, antivenenoso
Supositorios	Adrenalina y Deval´s a la morfina
Tinturas	Asafétida, azafrán, beleño, belladona, benjuí, canela, clavo, coca del Perú, cólchico, colombo, cuasia, digital, escila marítima, eucalipto, genciana, ipecacuana, jaborandi, jengibre, lactucario y opio, menta, mirra, mostaza, naranja, nuez moscada, nuez vómica, opio, quina, ruibarbo, tolú, toronjil y valeriana.
Ungüento	Adrenalina, Napolitano

LOS MEDICAMENTOS DE PATENTE

La terapéutica de la época también hacía uso de algunos medicamentos industrializados, y varios de ellos eran utilizados en la botica de este hospital. La gran mayoría de ellos eran productos



importados que provenían de Europa y Estados Unidos. Por ejemplo, uno de los productos europeos usados en el hospital era la aspirina Bayer, un analgésico fabricado por la compañía alemana homónima (Braña y col., 2005). También de Alemania, se tenía el suero antidiftérico Behring distribuido inicialmente por la empresa Hoeschst (Yanes, 2020). La Creolina Pearson, usada como desinfectante, era fabricada por la compañía William Pearson Ltd., la cual estaba establecida en Inglaterra (Pearson, s.f.). De Francia se importó la Ergotina Bonjeau usada como hemostático (Bonjean, 1861). De las empresas españolas Yvon & Berlioz y Viladot se adquirieron la Ergotina Yvon y las píldoras Meglín, respectivamente. Siendo la primera un hemostático, en cuanto a las segundas se desconoce su uso (Ruiz, 2015, Pharmakoteka, s.f.). Por último, el Laúdano Sydenham era fabricado por la empresa italiana Carlo Erba S.A., y se usaba como sedante antitusivo, analgésico, tónico cardíaco y antidiarreico (Martínez, 2020). Entre los medicamentos de patente, encontramos tres productos de origen estadounidense. El primero, es la Antikamania (Figura 4), un analgésico fabricado por la Antikamnia Chemical Company of St. Louis,



Figura 5.
Cartel promocional de la cocaína de Merck. (Asprea, 2023).

Missouri (Fiedler, 1979). El segundo es el cloruro de cocaína Merck (Figura 5), producido por la compañía homónima y utilizado como anestésico (MSD, s.f.). El tercero, son las pastillas oftálmicas [sic] de la compañía Sharp & Dohme Manufacturing Chemist (Anónimo, s.f.).

Además de los medicamentos antes citados, el Hospital "Porfirio Díaz" adquirió un gran lote de productos de la compañía estadounidense Shape & Dome formado por 98 tipos de tabletas y 84 tipos de trituraciones (materiales granulados). Las listas de estos productos se muestran en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5. Tabletas comprimidas de Sharpe & Dohme adquiridas por el Hospital "Porfirio Díaz".

Absorbente [sic] dispáctico	Bórax	Diarrea Sullivan	Para la tos Goodwin
Acetanilida	Bórax y clorato de potasio	Digestivas No. 1	Para la voz
Acetanilida compuesta	Bromuro de potasio	Dipomania	Pepsina y bismuto No.2
Alcanfor beleño y valeriana	Bromuro de potasio triples	Dipsomania [sic]	Pepsina, bismuto y carbón 1
Aloína compuesta de Blaud	Bromuro de sodio	Diuréticas	Permanganato de potasio
Aloína y cascarina	Calomel 3 granos	Emenagogas	Rinitis
Anodina	Calomel y bicarbonato de sodio	Fenacetina	Ruibarbo y bicarbonato de sodio
Antálgicas laxantes	Calomel y ruibarbo	Gonorrrea	Ruibarbo y sodio aromático
Antiácidos	Calomel y sodio	Hepáticas Haskell	Salicilato de bismuto
Antiasmáticas	Carbón vegetal 5 granos	Hidrastide compuesta	Salicilato de sodio
Anticonstipación	Carbón y pepsina	Hierro, quina y arsénico	Salicina
Antifermentativas y tónicas	Cardiacas Weldstin	Hierro, quina y estrignina	Salol
Antilíficas	Cáscara sagrada	Hipnótica	Solol compuesto
Antineurálgicas Rodger	Cascarina compuesta	Laxativas	Sulfato de estircinina
Antipirina	Catarro	Leucorrea	Sulfato de quinina
Antirreumáticas	Catárticas especiales	Litina citrato	Sulfonal
Antirreumáticas No. 2	Catárticas vegetales	Masa Blaud 3	Sulfuro de calcio 3 granos
Antisépticas	Cistilis	Masa Blaud y nuez vómica	Terpina y codeína
Antisépticas Bernays azules	Cistilis No. 2	Mentoladas para la garganta	Terpina y heroína
Antisépticas Bernays blancas	Clorato de potasio	Nasales	Tratamiento mixto
Antisépticas Wilson	Cloruro de sodio	Náuseas	Trional
Astringentes	Coriza	Neurálgicas de Gross	Valer. quinina, fierro y zinc
Bicarbonato de potasio	Creosota	Nitroglicerina	Yoduro de potasio
Bicarbonato de sodio	Damiana compuesta	Nuez de kola	Zinc, fósforo y nuez vómica
Bicarbonato menta y pepsina	Diarrea infantil		



Tabla 6. Trituraciones de Sharpe & Dohme encontradas en la botica.

Acetanilida compuesta	Calomel y Dowe núm. 1	Extracto beleño sólido	Polvos de Dower
Ácido arsenioso	Calomel y Dower	Extracto cañamo	Sacarina
Aloína y belladona compuesta	Calomel y santonina	Extracto fluido ipeca	Salol
Anodinas	Cardiacas compuestas Kerr	Fierro y estriquina compuestos	Santonina y Calomel
Anodinas para infantes	Ciática de Metcaf	Foncilitis	Solución Fowler
Antimonio compuesto Plummer	Citrato de cafeína 1/2 grano	Fosfuro de zinc	Subnitrato bismuto
Arseniato de estriquina	Codeína 1/6 grano	Ipecacuana polvo	Subnitrato de bismuto 2 granos
Arsénico y estriquina	Codeína 1/8 grano	Leptandrina	Sulfato atropina
Arsénico y nuez Blaud	Cólera infantil	Mixtura Brown núm 1.	Sulfato de morfina 1/4 grano
Bicloruro de mercurio	Cólera infantil (frasco)	Mixtura expectorante Brown	Sulfato de morfina 1/6 grano
Bióxido de manganeso	Cólico infantil	Nitrato estriquina	Sulfuro calcio 1/4 grano
Bisulfato de quinina	Creosota	Nitroglicerina	Sulfuro de calcio 1/8 grano
Biyoduro de mercurio	Diarrea antidisentéricas	Nitroglicerina compuesta	Tártaro emético e ipeca
Bromuro de arsénico	Dispépticas Hawart	Nuez vómica	Tintura lobelia una mínima
Bronquitis De-lafield	Dispépticas Hotwath	Opio 1 1/8 grano	Tónico nervino Westbrook
Cafeína compuesta	Encontinencia	Opio en polvo	Tónico para el corazón
Calomel 1/12 de grano	Enteritis contra	Oxalato de cerio	Tónico para el corazón Hale
Calomel 1/20 de grano	Enteritis Haskel	Paregórico	Tos infantil Riggs
Calomel 2 granos	Ergotina 1/4 grano	Pepsina 1/4 grano	Yoduro bi
Calomel e ipeca	Ergotina purificada	Pepsina y nuez vómica	Yoduro de arsénico
Calomel e ipeca num. 1	Eroína	Podofilina 1/4 grano	Yoduro de mercurio

De acuerdo con la historiografía, durante el siglo XIX y principios del XX, la industria farmacéutica en México era incipiente y prevalecía la producción de fórmulas magistrales u oficinales de forma artesanal dentro de las boticas. Esto debido a que, en México los avances de la Química no habían generado el interés por crear una industria de producción de drogas y medicamentos, además de que las boticas no estaban preparadas para realizar actividades industriales (Godínez y Aceves, 2014).

Sin embargo, recientemente, Godínez señaló que en la época previa a la Revolución algunos empresarios mexicanos se iniciaron en la venta de medicamentos industriales, siendo precursores de la industrialización del medicamento en el país (2023). En la lista de medicamentos de la botica también encontramos los supositorios Deval's (Figura 6), los cuales se fabricaban en la Compañía Manufacturera de Productos Farmacéuticos del mismo nombre y se usaban como tratamiento para las almorranas y el estreñimiento. Esta empresa mexicana fue fundada por el farmacéutico veracruzano Ignacio López Valdés (1860-1944), quien también fue miembro de la Sociedad Farmacéutica Mexicana. Su empresa se especializó en las formas farmacéuticas blandas de uso rectal y vaginal. Otros de sus productos destacados fueron los óvulos vaginales de ictiol, argirol y protargol (Serra, 2022). Sin embargo, estos no aparecen en el inventario de la botica del Hospital "Porfirio Díaz".

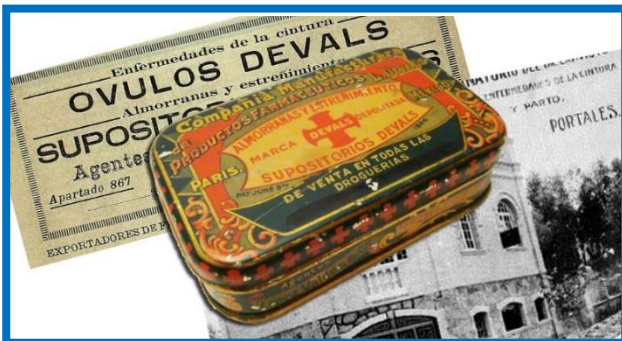


Figura 6. Cajita metálica de finales del siglo XIX o principios del s. XX donde se vendían los supositorios Deval's. (Serra, 2022).

ALGUNAS PARTICULARIDADES DEL INVENTARIO DE DROGAS

Como se ha mostrado hasta ahora, el arsenal terapéutico del Hospital “Porfirio Díaz” era muy vasto en cuanto al número de sustancias y medicamentos que disponía. Algunas de estas sustancias se almacenaron en grandes cantidades y en la Figura 7 se muestran las diez sustancias más abundantes de la botica. El azufre en forma de cilindros es el que se encontraba en mayor cantidad, teniendo 122 kg en inventario (Informe Del Director, 1911a). Sabemos que esta sustancia al igual que el formaldehído se utilizaba para la desinfección de habitaciones, objetos metálicos y ropas mediante quema, por lo cual debió haberse consumido en grandes cantidades (Anónimo, 1912). En la lista encontramos sustancias comunes como el bicarbonato de sodio y el ácido bórico y varias sales inorgánicas. Sobre el aceite de ajonjolí, éste era reconocido como un vehículo para preparar aceites medicinales (Patiño, 1937).

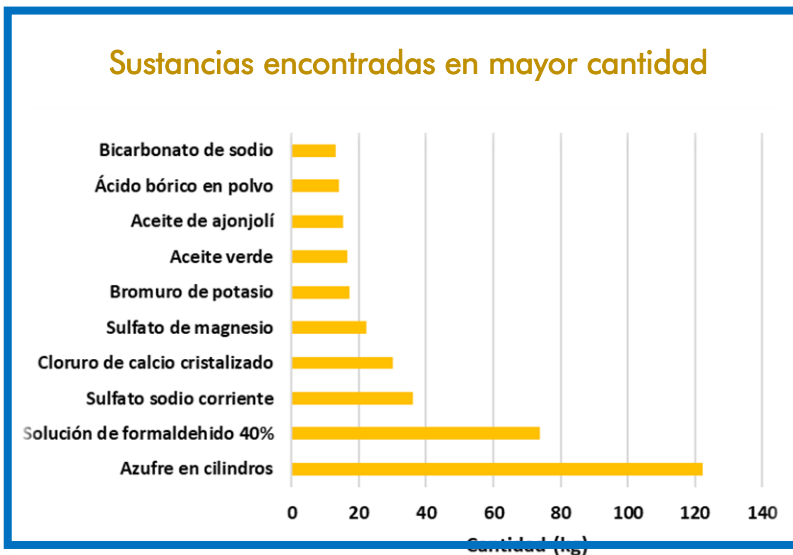


Figura 7. Sustancias encontradas en mayor cantidad.

El valor monetario de los medicamentos puede ser otro aspecto importante. La Figura 8 nos muestra la lista de los 10 productos en los cuales se gastó una cantidad mayor de dinero dentro del hospital. La inversión más grande se realizó en el colodión simple (su valor en el inventario es de \$ 171) seguido del yoduro de potasio y la solución de formaldehído (Informe Del Director, 1911a). A continuación, encon-



tramos el extracto de ipecacuana, una planta utilizada para inducir el vómito (Hidalgo Carpio, 1872). En la lista siguen el bromuro de potasio, el subnitrato de bismuto, el hierro dializado en escamas, el salicilato de bismuto, el yodol y el ácido bórico. La suma del valor de las sustancias enlistadas era de \$ 498.36, que representa el 11.3% del valor total del inventario de la botica. De acuerdo con Moreno y Gutiérrez, la Reforma Monetaria de 1905 respaldó el peso con setenta y cinco centigramos de oro puro (Moreno y Gutiérrez, 2012). A partir de este dato, podemos estimar que el valor actual de las sustancias antes mencionadas sería superior a los \$ 400 000 pesos mexicanos.



Figura 8. Productos que representaron mayor valor monetario en el inventario.

La relación precio/cantidad es otro aspecto interesante de analizar en este inventario, pues permite identificar las sustancias más preciadas y aquellas con menos valía. En la Figura 9 se muestran las sustancias con la relación precio/cantidad más elevada. Estas son principalmente alcaloides como la cotoína, dionina, cocaína, apomorfina, digitalina, pilocarpina, fisostigmina. A esta lista se suma el almizcle tonquino, una sustancia apreciada en perfumería.

La extracción de estos compuestos era un proceso largo y costoso que atravesaba por múltiples dificultades que podrían justificar su valor. Las drogas pulverizadas (material vegetal) eran tratadas por maceración en una serie de solventes: éter de petróleo, éter sulfúrico, alcohol absoluto

y agua destilada. Cada maceración tardaba más de tres semanas en llevarse a cabo. Los alcaloides eran extraídos en la fracción alcohólica, la cual se alcalinizaba o acidulaba ligeramente según conviniera para obtener el producto en su forma libre o de sal respectivamente (Ortiz Reynoso y col., 2017).

La sustancia más valiosa de la botica era el sulfato de fisostigmina, del cual había 0.7 g en el inventario y que tenía un valor de \$2.5 por cada gramo (Informe del director, 1911c). Dicha cantidad, es el mismo valor que tenían los 10 frascos de 500 c.c. para despacho de recetas, los 10 pulverizadores de madera, un calentador eléctrico o el aparato de fierro para poner hilo según los datos del inventario. O bien, es el mismo valor que tenían 500 g de acetato de zinc, 5000 g de alcohol de 95°. 5000 g de alumbre cristalizado, 5 g de cloruro de cocaína o 250 g de tintura de yodo.

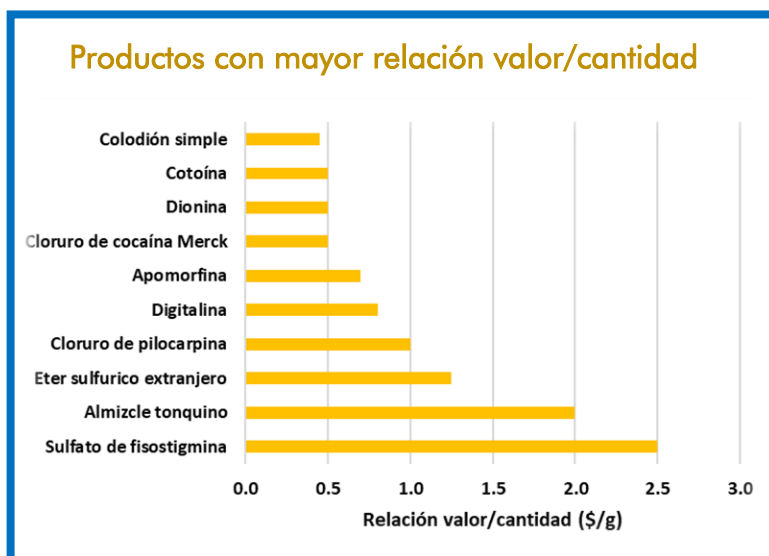


Figura 9. Productos con mayor relación valor/cantidad de la botica.

LA CULTURA MATERIAL EN LA BOTICA

Desde la perspectiva de la historia social y cultural de la ciencia, los instrumentos científicos han permitido construir el concepto de cultura material de la ciencia y, junto con las técnicas químicas, son fuentes para reconstruir las prácticas científicas en las aulas y laboratorios (Bertomeu y col., 2010). Por este motivo, en este trabajo también se

prestó atención a los objetos e instrumentos encontrados dentro de la botica con el fin de conocer la cultura material de sus farmacéuticos.

Para medir la masa, contaban con una balanza Roberval de 10 kg, una balanza de precisión fina, dos balanzas granatarias y se menciona una balanza alemana descompuesta (Informe Del Director, 1911a). La medición de volúmenes se realizaba con medidas de diferentes materiales y capacidades. Se tenían medidas de cobre (de 500, 1000, 2000 y 4000 c.c.), de fierro galvanizado (de 10, 20, 50, 100 y 1000 c.c.) y de vidrio con graduación (de 30, 60, 110, 125, 250 y 500 c.c.) (Informe Del Director, 1911c). También, se tenía una pipeta graduada de 10 c.c. Otros instrumentos de medición encontrados son un aerómetro de Cartier y un alcoholómetro de Gay-Lussac (Informe del director, 1911a).

La botica contaba con una gran variedad de frascos para almacenamiento y despacho. Los frascos para tinturas estaban elaborados en vidrio blanco y azul con capacidad de 1000 c.c. Los frascos para despacho tenían capacidad de 30, 60, 120, 250 y 500 c.c. Además, se mencionan cuatro garrafones de 20 litros y 12 conserveras de vidrio de 2500 c.c. Otros tipos de frascos encontrados en el inventario son los de tapón de corcho o esmerilado, frascos con retapa y etiqueta, frascos amarillos, vitroleros con boca angosta y verdes con boca angosta. También se menciona una colección de botellas grandes y medianas y botellas con tapón de porcelana. Se tenían botes de barro barnizado de 12 500 c.c., de porcelana de 300 y 500 c.c., dorados a fuego de 2000 c.c., modernos Galenos de 1000 y 2000 c.c., y de lata petroleros (Informe del director, 1911b).

La botica contaba con un único instrumento de destilación, un alambique de cobre con capacidad de 10 galones (Informe del director, 1911a). Otros objetos encontrados son: embudos de vidrio (200, 500, 750, 1000 y 1500 c.c.), espátulas chicas, medianas y grandes, probetas de ensaye, pulverizadores de madera y tamices. El inventario enlista cinco morteros distintos para trituración de muestras: de bronce chico, de fierro de 4 y 8 pulgadas de diámetro, de pasta mediano y de pasta chico. También se menciona un molino niquelado chico (Informe del director, 1911c).



Los aparatos propios de la tecnología farmacéutica incluyen una prensa para tinturas, otra para llenar tubos de vaselina, un pildorero de madera (Informe del director, 1911c), un aparato de cobre niquelado para jarabe en frío, un aparato desodorizante con pastillas de formalina, un aparato para enconchar, un aparato para supositorios y un aparato para desinfección con formaldehído (Informe del director, 1911a). Todos ellos son utensilios o aparatos relativamente sencillos y muy probablemente están asociados a las formas farmacéuticas que se obtenían en la botica: píldoras, distintos tipos de jarabes y soluciones, tinturas y extractos.

Como curiosidad, en el inventario se mencionan cuatro bustos de yeso de Hipócrates, Galeno, Esculapio y Bufón (Informe del director, 1911a), personajes destacados de la historia de la medicina y de la farmacia. Entre los objetos de uso cotidiano que se encontraban dentro de la botica podemos mencionar: pisteras de porcelana y de vidrio, un plumero, unas tijeras, una escalera de mano, una escoba con mango de madera, una estufa de petróleo y una lámpara de petróleo.

DE LAS BOTICAS A LAS FARMACIAS

Hablar de la transición de las boticas a las farmacias implica más bien hablar de un cambio entre dos modelos terapéuticos diferentes: del modelo mediterráneo al modelo anglosajón. Este proceso tuvo un origen multifactorial y culminó con la pérdida definitiva del control de las farmacias por parte de los farmacéuticos.

Durante el porfiriato, México entró al capitalismo industrial, siendo una época de apertura a la modernidad basada en los ideales de "orden, estabilidad y progreso." Sin embargo, la industria de la época porfirista se caracterizó por la importación de maquinaria y tecnología, por su carácter oligopólico y por su subordinación al capital extranjero. Ante la falta de un mercado interno consolidado, la producción estaba orientada principalmente a la exportación de materias primas. En el rubro de los productos químicos, la industria mexicana a principios del siglo XX era un sector dependiente del exterior y poco desarrollado,



como consecuencia del aprovechamiento parcial de las materias primas (Godínez y Aceves, 2014).

En 1891, el Código Sanitario permitió que cualquier ciudadano adquiriera una farmacia con el único requisito de contar con un farmacéutico legalmente autorizado para vigilar el despacho de las medicinas y permanecer en el establecimiento. A esta problemática se aunaban las irregularidades en la preparación y venta de medicamentos, había una legislación confusa que también resultaba contradictoria. Las autoridades prestaban poca atención para hacer cumplir las disposiciones oficiales y había una competencia desleal ejercida por personas que practicaban la profesión sin haber realizado los estudios correspondientes (Godínez y Aceves, 2014).

Los avances en la química y el surgimiento de los laboratorios industriales farmacéuticos europeos y norteamericanos crearon una nueva industria y rápidamente se adoptaron las medicinas de patente. Esto ocasionó la reconversión de las farmacias en el México del siglo XIX. El farmacéutico dejó de ser un profesional experto en la preparación de fórmulas magistrales y pasó a ser un dispensador de especialidades farmacéuticas (Godínez y Aceves, 2014).

En el ámbito académico, a partir de 1893, los farmacéuticos iniciaron una revisión de los contenidos curriculares y del ejercicio práctico de su profesión. La tutela de los médicos, la carencia de espacios para su desarrollo, el bajo nivel académico de los planes de estudio y la legislación deficiente limitaban su ejercicio profesional al despacho de recetas en una botica (Martínez y col., 2006).

Tras un periodo de negociaciones, la carrera de Farmacia se escindió de la Escuela de Medicina y se integró en la Facultad de Ciencias Químicas. Este cambio hizo que la carrera de Farmacia tuviera ahora su base más profunda en la química y dio origen a una nueva profesión: la del Químico Farmacéutico. A partir de entonces, estos profesionistas incursionaron en la industria química y farmacéutica, también en el análisis químico y clínico, pero, a cambio perdieron su lugar en el área sanitaria (Martínez y col., 2007).

Todos estos procesos simultáneos condujeron a la pérdida paulatina del control de la oficina de farmacia por parte de los farmacéuticos y su ausencia en el sistema de salud. El control del despacho y venta de medicamentos al público quedó en manos de los grandes laboratorios farmacéuticos y de las cadenas comerciales, convirtiéndose en una realidad que vivimos hasta el día de hoy.

CONCLUSIONES

El inventario de la botica del Hospital "Porfirio Díaz" nos reveló la vasta riqueza de sustancias y medicamentos utilizados para la atención de los pacientes en este centro médico a principios del siglo XX. Cabe destacar una amplia colección de plantas medicinales y preparaciones sencillas como tinturas y extractos. También, se encontraron diferentes sustancias inorgánicas entre las cuales resaltan compuestos de plomo y mercurio, a los cuales se les daban usos terapéuticos, principalmente como antimicrobianos.

A estos productos, se suma una gran variedad de medicamentos industriales, provenientes de Europa y Estados Unidos principalmente, aunque también se identificaron productos de origen nacional, como los supositorios Devals. Lo anterior refleja un momento histórico en cual convivían las fórmulas magistrales preparadas por farmacéuticos con los medicamentos industriales. Este periodo de transición fue el resultado de los avances científicos de los países desarrollados y el consecuente nacimiento de la industria farmacéutica, en el cual la profesión del farmacéutico cambió para adaptarse a la industrialización del medicamento.

Los objetos e instrumentos mostrados en el inventario nos muestran que el farmacéutico en esta botica tenía a su disposición los medios para elaborar diferentes fórmulas sencillas, como tinturas, extractos, píldoras, jarabes, supositorios, etc. Sobre los criterios de elaboración, el farmacéutico debió haberse orientado por los establecidos en la



Farmacopea Mexicana de 1884, 1896 y 1904, cuyos ejemplares se encontraban en la botica.

Por último, este estudio refleja un momento puntual del abastecimiento de medicamentos y no considera la dinámica de consumo al interior de esta botica. Sin embargo, nos permite indagar sobre el quehacer de los farmacéuticos y su cultura material a principios del siglo XX en el norte de México.

REFERENCIAS

Anónimo. (1878). Córtez coto, cotoína, paracotoína. *Gaceta Médica de México*. 13:610.

Anónimo. (1893). Pilocarpina y jaborina. *La Farmacia*. 3:135.

Anónimo. (1893a). Tratamiento de los cólicos hepáticos. *La Farmacia*. 2:311.

Anónimo. (1894). Vino tónico. *La Farmacia*. 3:248.

Anónimo. (1912). Profilaxis de las enfermedades contagiosas. *Anales de Higiene Escolar*. 2:39–40.

Anónimo. (2022). Vintage Antikamnia Chemical Co., Ad (ca. 1892): A vintage Antikamnia Chemical Co., Ad from The Druggists Circular and Chemical Gazette. [En línea]. <https://rxinsider.com/market-buzz/?p=3073-vintage-antikamnia-chemical-co-ad-ca-1892-a-vintage-antikamnia-chemical-co-ad-from-the-druggists-circular-and-chemical-gazette#> . Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Anónimo (s.f.). Sharp & Dohme Manufacturing Chemists. [En línea]. Disponible en: <https://scripophily.net/sharp-dohme-manufacturing-chemists-became-merck-sharp-dohme-new-york-1898/#:~:text=Sharp%20and%20Dohme%20began%20as,combination%20of%20two%20industry%20leaders>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Asprea, J. (2023). Cocaína: aquí la línea de tiempo de la prohibición del polvo blanco más famoso. [En línea]. Disponible en: <https://forbesenespanol.com/fe/economia/oro-verde/2023-06-21/cocaina-aqui-la-linea-de-tiempo-de-la->

prohibicion-del-polvo-blanco-mas-famoso. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023

- Beltrán López, D. (2023). El plan de estudios de 1874 del estado de Sinaloa y el cambio de Liceo Rosales a Colegio Rosales. *Revista de la Dirección de Bibliotecas*. 1: 65-72.
- Bertomeu Sánchez, J. R., Cuenca Lorente, M., García Belmar, A. & Simó Castel, J. (2010). Los instrumentos científicos de los centros de enseñanza secundaria en España: historia, estado actual y futuro del patrimonio científico educativo. En: M. Granato y M. Lorenço (Eds.), *Coleções Científicas Luso-Brasileiras: Patrimônio a ser descoberto* (pp. 15-40). Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brasil.
- Bonjean, J. (1861). *Memoria práctica sobre el empleo médico de la ergotina*. París: Ed. Germer-Baillière. 2-4 Pp.
- Braña, M.F., Del Río, L.A., Trives, C., & Salazar, N. (2005). La verdadera historia de la Aspirina. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*. 71:813-819.
- Castañares, A.P. (1911). *Evolución de la química en México durante el primer siglo de nuestra independencia*. México: Tip. Vda. De F. Díaz de León, Sucs., 8-9 Pp.
- Centro INAH Chihuahua (2020). El Hospital Central, de 1899 a 2020, 121 años de servicio. [En línea]. Disponible en: <http://www.inahchihuahua.gob.mx/sala-de-prensa.pl?id=392> Fecha de consulta: 27 de mayo de 2023.
- ChihuahuaEs! (2021). Hospital Central Universitaria de Chihuahua. [En línea]. Disponible en: <https://chihuahuaes.com/principal/hospital-central-universitario-de-chihuahua/> Fecha de consulta: 27 de mayo de 2023.
- Fernández Velázquez, J.A. (2016). De la botica a las calles: tráfico y consumo de enervantes en Sinaloa (1910-1940). *Revista Conjeturas Sociológicas*. 11: 113-142.
- Fiedler, W. C. (1979). Antikamnia: the story of a pseudo-ethical pharmaceutical. *Pharmacy in History*, 21:59-72.
- Guerrero, J.F. (2023). Hospital Porfirio Díaz: el inicio de la atención médica pública en Chihuahua. [En línea]. Disponible en: <https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/cultura/hospital-porfirio-diaz-el-inicio-de-la-atencion-medica-publica-en-chihuahua-9601694.html> Fecha de consulta: 27 de mayo de 2023.
- Gutiérrez Hernández, N. (2011). Educación y condición femenina en la ciudad de Zacatecas durante el Porfiriato. Un análisis preliminar sobre las posibilidades

de formación profesional. En: XI Congreso Nacional de Investigación Educativa, Nuevo León, 1.9 Pp.

Gobierno del Estado de Chihuahua (2020). Llevará Hospital Universitario el nombre del Dr. Jesús Enrique Grajeda. [En línea]. Disponible en: <https://chihuahua.gob.mx/contenidos/llevara-hospital-universitario-el-nombre-del-dr-jesus-enrique-grajeda> Fecha de consulta: 27 de mayo de 2023.

Godínez Reséndiz, R. (2012). Los primeros medicamentos químicos en México (1917-1940). *Boletín de la Sociedad Química de México*. 6:8-14.

Godínez Reséndiz, R. & Aceves Pastrana, P. (2014). El surgimiento de la industria farmacéutica en México (1917-1940). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 45: 55-68.

Godínez Reséndiz, R. & Aceves Pastrana, P. (2014). *Proyectos, realidades y utopías: la transformación de la Farmacia en México (1919-1940)*. México: Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, 51-100 Pp.

Godínez Reséndiz, R. (2023). De la fórmula magistral al medicamento industrial en México: el caso del Específico Zendejas, 1891-1937. *Tzintun. Revista de Estudios Históricos*. 78:133-175.

Graham y Ponz, J. (1894). La cabalonga de Tabasco. *La Farmacia*. 3:282.

Hidalgo Carpio, L. (1872). Envenenamiento de nueve personas por el bulbo de la cebadilla (cebolleja, cintul.). *Anales de La Sociedad Humboldt*. 1:30.

Huerta Jaramillo, A. M. D. (2007). El despacho farmacéutico y su dosificación desde la ciudad de Puebla. Dos momentos: 1845 y 1897. En: 38th International Congress for the History of Pharmacy, Sevilla, September 19-22, 1-11 Pp.

"Informe del Director del Hospital "Porfirio Díaz" al Supremo Gobierno del Estado, correspondiente al año de 1910". (1911a). *Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua*. Junio 29, 1911, 7-13.

"Informe del Director del Hospital "Porfirio Díaz," al Supremo Gobierno del Estado, correspondiente al año de 1910". (1911b). *Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua*. Julio 2, 1911, 3-5.

"Informe del Director del Hospital "Porfirio Díaz," al Supremo Gobierno del Estado, correspondiente al año de 1910". (1911c). *Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua*. Julio 6, 1911, 1-8.



- "Informe del Director del Hospital "Porfirio Díaz," al Supremo Gobierno del Estado, correspondiente al año de 1910". (1911d). *Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua*. Mayo 28, 1911, 2.
- "Informe del Director del Hospital "Porfirio Díaz," al Supremo Gobierno del Estado, correspondiente al año de 1910". (1911e). *Periódico Oficial Del Estado de Chihuahua*. Mayo 28, 1911, 13.
- Iriarte y Rico, A. (1911). *Evolución de la farmacia en México durante el primer siglo de nuestra independencia*. México: Tip. Vda. De F. Díaz de León, Sucs., 3-17 Pp.
- Martínez Martín, A.F. (2020). Alcohol, historia, cultura y sociedad en la antigüedad, en *El diario de salud*. [En línea]. Disponible en: <https://eldiariodesalud.com/catedra/alcohol-historia-cultura-y-sociedad-en-la-antigüedad>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.
- Martínez Solís, S., Aceves Pastrana, P. & Morales Cosme, A. (2006). La transformación de una profesión: los farmacéuticos mexicanos de finales del siglo XIX. En: A.L. Pereira & J. Rui Pita (Eds.), *Rotas da Natureza. Cientistas, Viagens, Expedições. Instituições* (pp. 163-167). Coimbra: Universidade de Coimbra, Portugal.
- Martínez Solís, S., Aceves Pastrana, P. & Morales Cosme, A. (2007). Una nueva identidad para los farmacéuticos: la Sociedad Farmacéutica Mexicana en el cambio de siglo (1890-1919). *Dynamis*. 27: 263-285.
- Mendoza, M.E., Quintero, L. Santiesteban, F. & Wolfson, I. (2001). Química en Puebla durante el siglo XX: continuación de una tradición. *Revista de la Sociedad Química de México*. 45: 131-135.
- Merck, E. (1927). Medicamentos nuevos. *La Farmacia*. 31:483.
- Moreno y Gutiérrez, F. J. (2012). *Sistema monetario mexicano*. Universidad Panamericana, pp. 211-212.
- MSD (s.f.). Our history. [En línea]. Disponible en: <https://www.msd.com/company-overview/history/> . Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.
- Neira Barragán, M. (1995). *La medicina popular y la brujería en Nuevo León y Coahuila durante los siglos XVIII y XIX*. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León. 22 Pp.
- "Nuevo director". (1899). *El Correo de Chihuahua*. Febrero 12, 1899, p. 3.

- Ortiz Reynoso, M. (2016). Farmacia química en el siglo XIX mexicano: una mirada a través de los alcaloides. In A. Morales & M. Sánchez (Eds.), *Signa naturalia. Concepciones y prácticas en torno a la materia médica, la farmacia y la salud (siglos XVI-XX)* (pp. 163–197). Cd. Mx.: Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ortiz Reynoso, M., Díaz Flores, M., Islas Flores, H. & Schifter Aceves, L. (2017). Técnicas e instrumentos químico-farmacéuticos en México (1849-1925). *CIENCIA Ergo-Sum*, 24:54–64. DOI: 10.30878/ces.v24n1a6
- Patiño, C. (1937). Farmacia galénica. *La Farmacia*. 8:26.
- Pearson (s.f.). Our company. [En línea]. Disponible en: <https://www.guglielmopearson.it/en/our-company> Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.
- Pharmakoteka (s.f.). Píldoras Meglin. [En línea]. Disponible en: <http://www.ub.edu/pharmakoteka/node/26035>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.
- Reboloso Gallardo, R. (2005). Orígenes de la ciencia en Nuevo León. *Ingenierías*. 8: 8-17.
- Rodríguez, M. E. (2011). Principales cambios curriculares en los estudios médico farmacéuticos, 1833-1876. En P. Aceves Pastrana (Ed.), *Leopoldo Río de la Loza y su tiempo. La construcción de la ciencia nacional* (pp. 64–70). México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Rousski. (1894). Inyecciones hipodérmicas. *La Medicina Científica*. 7:339.
- Ruiz Berdún, D. (2015). Evolución de la fabricación, comercialización y uso de los derivados del cornezuelo de centeno en obstetricia. En: A. Gomis Blanco y R. Rodríguez Nozal (Eds.), *De la botica de El Escorial a la industria farmacéutica: en torno al medicamento* (pp. 333-360). Alcalá de Henares: Solana e Hijos A.G., España.
- Sánchez Rosales, G. (2012). El Instituto Médico Nacional y los inicios de la investigación médico-científica. *Ciencia*. 63:10–17.
- Schifter Aceves, L. (2014). Las farmacopeas mexicanas en la construcción de la identidad nacional. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 45: 43–54.
- Serra Mandri, J.M. (2022). México: óvulos L. Devals para la cintura. [En línea]. Disponible en: <https://arte.farmaciaserra.com/blog/post/mexico-ovulos.html> . Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Soler y Roig, J. (1894). Higiene y terapéutica del herpetismo. *La Medicina Científica*. 7:319.

Universidad Autónoma de Chihuahua (2020). El Hospital Central Universitario llevó el nombre de Porfirio Díaz. [En línea]. Disponible en: <https://uach.mx/vida-universitaria/2020/11/20/el-hospital-central-universitario-llevo-el-nombre-de-porfirio-diaz/> . Fecha de consulta: 27 de mayo de 2023.

Yanes, J. (2020). Los caballos que nos salvaron del ángel estrangulador. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/biociencias/los-caballos-que-nos-salvaron-del-angel-estrangulador/> . Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.



REMOCIÓN DE DICLOFENACO DE SOLUCIONES ACUOSAS POR ADSORCIÓN: UNA REVISIÓN

DICLOFENAC REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTION BY ADSORPTION: A REVIEW

ROSARIO ESPINOZA
MELÉNDEZ

RESUMEN

Actualmente, la contaminación del agua es uno de los problemas que más preocupan a la comunidad científica y a la población en general, debido a que el acceso a agua potable y de calidad es cada vez más difícil, por lo cual se han planteado acciones locales y globales para mitigar este problema. Por otra parte, efluentes acuosos industriales deben ser tratados antes de ser descargados a las corrientes de agua municipal, ya que la presencia de moléculas como el diclofenaco afectan negativamente en los ecosistemas por ser altamente persistentes en medios acuosos. El diclofenaco es un fármaco indicado para tratar inflamación y mitigar el dolor y, al ser consumido por un gran número de personas quienes más tarde lo eliminan en la orina, está presente en las corrientes de agua municipal. Para eliminar o disminuir significativamente la presencia de contaminantes en el agua residual municipal se emplean diversos procesos que utilizan varias tecnologías. La adsorción es una técnica que se ha propuesto como una alternativa para mejorar la calidad del agua contaminada con fármacos y optimizar el tratamiento de los efluentes industriales y municipales. En este trabajo se presenta un análisis de los principales materiales adsorbentes que han sido utilizados para la remoción de diclofenaco de sodio en soluciones acuosas. También se presenta un análisis de las principales características de estos materiales y las variables físico-químicas que afectan en el proceso de adsorción de diclofenaco en diversos materiales.

Palabras clave: adsorción; diclofenaco de sodio; fármacos emergentes; agua residual.

SOFÍA ESTRADA FLORES

ANTONIA MARTÍNEZ
LUÉVANOS

Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

Correspondencia
aml15902@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-3499-1693

Recepción de artículo
22 de mayo de 2024

Artículo aceptado
8 de noviembre de 2024.

ABSTRACT

Nowadays water pollution is one of the problems that most concerns the scientific community and the global population, for that reason, global and local actions have been planned in order to mitigate this phenomenon. On the other hand, industrial aqueous effluents must be treated before they are discharged into municipal water streams, since the presence of molecules such as diclofenac negatively affect ecosystems. Some molecules, such as diclofenac, are highly persistent in aqueous media, which is why it is necessary to innovate in existing separation technologies or processes. Adsorption is a technique that has been proposed as an alternative to improve the quality of the water and optimize the treatment of industrial and city effluents. In this work, an analysis of the main adsorbent materials that have been used for the removal of diclofenac sodium in aqueous solutions is presented. An analysis of the main characteristics of these materials and the physicochemical variables that affect the adsorption process is also presented.

Keywords: adsorption; sodium diclofenac; emergent drugs; waste water.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la calidad del agua es un desafío mundial, ya que es un requisito para el desarrollo sostenible de las generaciones presentes y futuras. La Organización Mundial de las Naciones Unidas la relaciona con salud humana, seguridad alimentaria y preservación de los ecosistemas, además, la degradación de la calidad del agua afecta directamente al medio ambiente y provoca disturbios sociales y económicos.

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en 2010, reconoció el acceso al agua potable limpia y segura como un derecho humano (Zandaryaa y col., 2015), sin embargo, aún en la actualidad el nivel de



contaminación del agua por diversas actividades antropogénicas es alarmante. La contaminación del agua afecta en el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y su función (Ahmed y col., 2017; Liu y col., 2019). Diversos tipos de sustancias causan la contaminación del agua, la industria farmacéutica contribuye directamente con varios fármacos, a los cuales se les denomina contaminantes emergentes, debido a que se localizan tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. Estas moléculas, aún después de realizar un tratamiento, persisten en los cuerpos de agua donde se han detectado concentraciones que afectan la salud de las especies acuáticas, especialmente en los países en vías de desarrollo. Cabe señalar que, en gran cantidad, las descargas municipales no realizan tratamiento de agua a los efluentes y en estas condiciones son vertidas a los ríos y arroyos (Valdez-Carrillo y col., 2020). Además, se ha reportado el uso de estos efluentes para el riego de campos de cultivo (Bernadac-Villegas y col., 2019; Rivera-Jaimes y col., 2018).

La agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de Naciones Unidas, a través del programa Hidrológico Internacional, ha establecido, en el Objetivo 6, la necesidad de garantizar la disponibilidad, la gestión sostenible del agua y su saneamiento para todos. Este programa promueve la investigación, el conocimiento, la educación y la creación de capacidades para mantener de manera sostenible los recursos hídricos (Zandaryaa y col., 2015). Por tal motivo, la comunidad científica se ha propuesto encontrar nuevas metodologías para la limpieza del agua, dentro de las cuales destaca el desarrollo de materiales adsorbentes.

Como se mencionó anteriormente, dentro de los principales contaminantes del agua se encuentran los emergentes, que son moléculas no monitoreadas con análisis de rutina y tienen un efecto nocivo para la salud humana y el medio ambiente (Valdez-Carrillo y col., 2020). El diclofenaco forma parte del grupo de los 33 fármacos reportados por la ONU como moléculas emergentes y el tratamiento de agua a nivel industrial y municipal no las elimina por completo, por lo que se han realizado investigaciones a nivel laboratorio para brindar solución a este problema (Zarandaryaa y col., 2015).



En este documento se presenta un análisis sobre la remoción de diclofenaco de soluciones acuosas, con especial atención en los nuevos materiales se han utilizado en la última década como adsorbentes para remover diclofenaco y con un análisis del efecto de los valores de las variables del proceso de adsorción sobre la capacidad y eficiencia de los materiales adsorbentes para remover al diclofenaco.

REMOCIÓN DE DICLOFENACO EN AGUA

En los últimos años se han realizado múltiples investigaciones en aras de encontrar la mejor solución para la remoción de diclofenaco en medios acuosos. En la Figura 1 se presenta un gráfico de la cantidad de artículos científicos publicados en los diez últimos años sobre la remoción de este fármaco, en la base de datos de ScienceDirect. Se puede observar que se encontraron 2 mil 508 documentos utilizando las palabras *remoción, diclofenaco y agua residual* (A), mil 876 con las palabras de búsqueda *fármacos, agua residual, tratamiento de agua y proceso industrial* (B), y mil 813 artículos usando las palabras de búsqueda *agua residual, remoción y adsorción diclofenaco* (C).

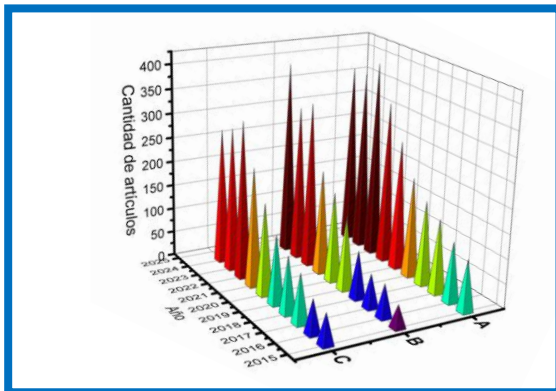


Figura 1. Artículos científicos localizados en la base de datos ScienceDirect para la remoción de diclofenaco de soluciones acuosas. Remoción, diclofenaco, agua residual (A), Fármaco, agua residual, remoción, adsorción, diclofenaco (B), Agua residual, remoción, adsorción (C).

El diclofenaco es un fármaco antiinflamatorio no esterooidal, de libre acceso y prescrito frecuentemente por vía oral o aplicación dérmica. Se le incluye dentro del listado de sustancias recalcitrantes por su difícil eliminación de medios acuosos. Esta molécula también forma parte de la lista de compuestos farmacéuticos micro contaminantes emergentes activos, los cuales tienen un alto impacto en los ecosistemas y en la salud humana (Tran y col., 2018). En la Figura 2 se presenta la estructura química del diclofenaco de sodio.

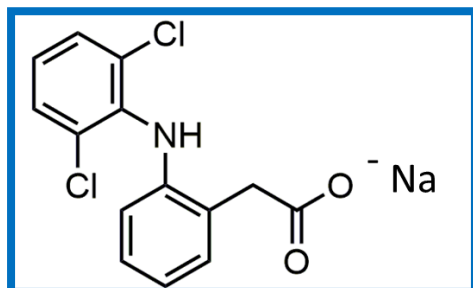


Figura 2. Estructura de la molécula de diclofenaco de sodio.

II. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta una revisión y análisis de los resultados reportados sobre la remoción de diclofenaco con diferentes materiales adsorbentes y las características que favorecen su adsorción, así como un análisis de los principales parámetros del proceso que afectan en la eficiencia de su remoción.

2.1. MATERIALES ADSORBENTES Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

Algunas de las características deseables de los materiales adsorbentes son un alto valor de área superficial específica, tamaño de poro en el rango nanométrico (del tipo microporo o mesoporo), un alto volumen de poro y un tamaño promedio de partícula pequeño. La cantidad de sitios activos y eficiencia como adsorbentes también depende de la

presencia de grupos funcionales. La estabilidad química en el medio acuoso en el que se encuentre el sorbato o molécula a remover, es también un factor importante a tomar en cuenta a la hora de seleccionar un material adsorbente. Adicionalmente, es importante que el material adsorbente que se encuentre en forma de micro o nanopartículas, permanezca en suspensión durante el proceso de adsorción, con el fin de que las moléculas a ser removidas se encuentren en contacto con toda la superficie del material adsorbente; por esta razón, es muy importante medir o conocer el punto de carga cero o punto isoeléctrico del material, así como tener en cuenta el estado de especiación del sorbato en función del pH.

A continuación, se presenta un análisis de los resultados reportados sobre la remoción de diclofenaco con varios materiales y de la relación que existe entre las variables del proceso de adsorción con la capacidad y eficiencia de adsorción.

2.2. ESTRUCTURAS METAL-ORGÁNICAS

Las estructuras metal-orgánicas (MOFs) son materiales conformados por compuestos en los que se encuentran moléculas en las que existe una interacción, ya sea iónica o covalente, localizada o deslocalizada, entre uno o más átomos de carbono y un metal (Gupta y Elias, 2009). Este tipo de materiales han sido sintetizados y utilizados para remover diclofenaco de solución acuosa.

En 2021 Castañeda y colaboradores sintetizaron un material organometálico constituido por la parte orgánica de tricarboxilato bencénico y la parte metálica con hierro (FeBTC), con un valor de área superficial específica de 815.84 m²/g. Estos investigadores también obtuvieron un composito conformado por nanopartículas magnéticas de óxido de hierro y tricarboxilato bencénico (Fe₃O₄-FeBTC), con un área superficial específica de 217 m²/g. Ambos materiales fueron evaluados como adsorbentes de diclofenaco, ibuprofeno y naproxeno. Con el material FeBTC se logró una adsorción de 149.3, 76.9 y 52.4 mg/g de diclofenaco, ibuprofeno y naproxeno, respectivamente, mientras que con el material Fe₃O₄-FeBTC se consiguió una adsorción



de 238.1, 114.9 y 70.4 mg/g, diclofenaco, ibuprofeno y naproxeno, respectivamente. El material $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FeBTC}$ fue más eficiente, a pesar de tener el menor valor de área superficial específica (Castañeda-Ramírez y col., 2021).

Younes y colaboradores sintetizaron un material adsorbente para remover diclofenaco de sodio de un medio acuoso, con una estructura metal-orgánica UiO-66-(COOH)_2 . Para la síntesis de este material usaron ácido bencentetracarboxílico y tetracloruro de zirconio como reactivos. La capacidad de adsorción de este material fue de 480.5 mg/g. A partir de este mismo compuesto, se prepararon los derivados de cobre y hierro, obteniendo un incremento en la capacidad de adsorción de 624.3 mg/g y 769.1 mg/g para los materiales UiO-66-(COOCu)_2 y UiO-66-(COOFe)_2 , respectivamente (Younes y col., 2022).

2.3. NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDOS METÁLICOS

Mohammadi y colaboradores utilizaron nanopartículas magnéticas de óxido de hierro, níquel y zinc ($\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$), con un área superficial específica de $168.09 \text{ m}^2/\text{g}$, obteniendo una capacidad de adsorción de 52.91 mg/g de diclofenaco. Las condiciones utilizadas fueron un pH de 3.2, una concentración de adsorbente de 1.2 g/L y un rango de concentración inicial de diclofenaco de 100 a 1800 mg/L (Mohammadi y col., 2021). En el mismo año Ye y colaboradores trabajaron con compositos poliméricos de lignina y nanopartículas de óxidos metálicos (Fe_3O_4), obteniendo la muestra LMNA, con área superficial específica de $739.2 \text{ m}^2/\text{g}$. Posteriormente, este material fue evaluado para adsorber diclofenaco en un rango de pH de 4.2 a 6.5. La concentración inicial de diclofenaco se varió de 1 a 10 mg/L. La capacidad máxima de adsorción fue de 106.4 mg/g (Ye y col., 2021).

2.4. ARCILLAS FUNCIONALIZADAS

En 2016, De Oliveira y col., realizaron un estudio de remoción de diclofenaco con arcilla montmorillonita (Mt) modificada con dos surfactantes catiónicos, bencildimetiltetradecil amonio (BDTA) y hexade-



ciltrimetil amonio (HDTMA), obteniendo los materiales BDTA-Mt y HDTMA-Mt, con capacidades de adsorción de 56.3 y 45.9 mg/g, respectivamente, a un valor de pH de 4.5 (De Oliveira y col., 2017). Años después, en el 2022, Zhang y colaboradores trabajaron con bentonita (SBE), la cual fue modificada con el surfactante catiónico bromuro de trimetilamonio (CTAB), y posteriormente le adicionaron nanopartículas de hierro (n-ZVI) para obtener el compuesto CTAB-SBE@Cn-ZVI, con área superficial específica de 65.62 m²/g. Este composito fue evaluado como adsorbente de diclofenaco y presentó una eficiencia de adsorción de 87%, que equivale a una capacidad de adsorción de 4.35 mg/g (Zhang y col., 2022). En el mismo año, Urtiga y colaboradores trabajaron con arcilla de paligorsquita organofuncionalizada, obteniendo un material con área superficial específica de 26.97 m²/g, con una capacidad de adsorción de diclofenaco de 3.42 mg/g (85%). Los parámetros utilizados para obtener esta eficiencia fueron: 200 mg/L de adsorbente, concentración inicial de 40 mg/L de diclofenaco y un valor de pH de 6. Estos mismos investigadores también realizaron un tratamiento ácido a la arcilla de paligorsquita, obteniendo una mejora en el área de la superficie de 142.45 m²/g y una capacidad de adsorción de diclofenaco de 3.77 mg/g, lo que representó una eficiencia de remoción de 94.2%, utilizando las mismas condiciones de pH, concentración de material adsorbente y concentración inicial de diclofenaco (Urtiga-Sousa y col., 2022)

2.5. MATERIALES ADSORBENTES A BASE DE CELULOSA Y QUITOSANO

Jiang y colaboradores en 2021 utilizaron microesferas de quitosano carboxilado (CYCTS) modificado con surfactante no iónico Span 80 y con cloruro de zirconio octahidratado (ZrOCl₂.8H₂O) para remover diclofenaco de soluciones acuosas. Estos investigadores reportaron que se obtiene una eficiencia de adsorción de diclofenaco de 571.58 mg/g (85% de remoción), con una masa de adsorbente de 1.5 g/L, la temperatura de trabajo fue 24 °C y se utilizó un valor de pH de 5 (Jiang y col., 2021).

Fang y colaboradores, en 2019, sintetizaron un material a partir de nano celulosa cristalina (CNC), alcohol polivinílico (PVA) y alginato de sodio (SA). Posteriormente, estos investigadores realizaron un tratamiento con polietilen imina (PEI) y obtuvieron microesferas de (SA/CNC/PVA)@PEI. En su publicación reportan una eficiencia de adsorción de 418.41 mg/g de diclofenaco (90%), con una masa de material adsorbente de 2 g/L, en condiciones de pH 4.5 y temperatura de 30°C (Fan y col., 2019).

Otros autores como Karim-Maleh y col., han utilizado compuestos a base de quitosano para remover contaminantes farmacéuticos del agua (Karimi-Maleh y col., 2021). Estos investigadores reportaron una capacidad máxima de adsorción de 196 mg/g de diclofenaco con compositos de quitosano /Fe₃O₄ (Zhang y col., 2016). Por otra parte, Tzereme y colaboradores reportaron una capacidad de adsorción de diclofenaco de 98.34 mg/g, utilizando un material de quitosano modificado con el grupo carboxílico (Tzereme y col., 2019).

En la Tabla 1 se presenta un resumen de la capacidad de adsorción de los materiales arriba citados, que han sido utilizados en la remoción de diclofenaco de soluciones acuosas y su relación con el área superficial específica, así como con los parámetros utilizados durante el proceso.

Tabla 1. Relación de la capacidad de adsorción con los parámetros utilizados en el proceso de remoción de diclofenaco de soluciones acuosas utilizando diversos adsorbentes.

	Material	Capacidad de adsorción mg/g	pH	Concentración inicial de diclofenaco mg/L	Referencia
MOF (estructura órgano metálica)	FeBTC	149.3	4.5	50	Castañeda y col., 2021
	Fe ₃ O ₄ -FeBTC composito de tricarboxilato bencénico con hierro y magnetita	238.1	4.5	50	
	UiO-66-(COOCu) ₂ bencen di-carboxilato de cobre	624.3	7	2000	Younes y col., 2022
	UiO-66-(COOH) ₂ ácido bencen-di carboxílico	480.5	7	2000	
	UiO-66-(COOFe) ₂ bencen di carboxilato de hierro	769.1	7	2000	
Nano partículas de óxidos metálicos	Ni _{0.5} Zn _{0.5} Fe ₂ O ₄	52.91	3.2	100 a 1800	Mohammadi y col., 2021
Composito polimérico con lignina	LMNA-Fe ₃ O ₄	106.4	5	1-10	Ye y col., 2021
Materiales a base de arcilla	Arcilla con tratamiento ácido	3.77	6	40	Urtiga y col., 2022
	Arcilla organofuncionalizada	3.42	6	40	
	BDTA-MT	56.3	4.2	500	De Oliveira y col., 2016
	HDTMA-MT	45.9	4.2	500	
	CTAB-SBE@Cn-ZVI	4.35	--	10	Zhang y col., 2022
Microesferas de quitosano modificado/ Span80	(CYCTS/Span80)-@-PEI	571.58	5	100	Jiang y col., 2021
Micro esferas de celulosa	(SA/CNC/PVA)@PEI	418.41	4.5	100	Fang y col., 2019

2.6. MATERIALES ADSORBENTES A BASE DE CARBONO

Otros materiales que han sido ampliamente investigados como adsorbentes de diversos fármacos son los materiales a base de carbono. En el caso específico de la remoción de diclofenaco, se ha reportado el uso de carbón activado y de grafeno. En seguida se presenta un análisis de los principales resultados reportados sobre la adsorción de diclofenaco con estos dos materiales.

Fadzail y colaboradores utilizaron carbón activado con ácido fosfórico (H_3PO_4). Usaron una columna empacada con una capa de 10 mm de este material; el sistema fue sometido a un flujo de 10 ml/min de una solución de diclofenaco con concentración de 40 mg/L. La capacidad máxima de adsorción de diclofenaco en la capa de carbón activado fue de 30.63 mg/g (Fadzail y col., 2022). Genç y colaboradores trabajaron con carbón activado granular, con tamaño de partícula menor a 1.4 mm. La concentración inicial de diclofenaco fue 20 mg/L, la solución presentó un valor de pH 4. La capacidad máxima de adsorción de diclofenaco fue de 6.85 mg/g, que equivale a un 79.8 % de remoción (Genç y col., 2021). Aldeguer y colaboradores trabajaron con carbón activado comercial, combinando el proceso de adsorción con la adición de ozono. La muestra de carbón activado comercial que utilizaron presentó un valor de área superficial específica de 824.688 m²/g. Investigaron la adsorción de diclofenaco utilizando 0.004 y 0.020 g/L de adsorbente y una concentración inicial de diclofenaco de 0.7 y 1.8 mg/L. La capacidad de adsorción de diclofenaco fue 31.5 y 81 mg/g, respectivamente (Aldeguer-Esquerdo y col., 2021). Kocabiyik y colaboradores obtuvieron muestras de carbón activado a partir de cáscara de espelta (EHAC) y las usaron para remover diclofenaco de soluciones acuosas. Estos investigadores estudiaron el efecto del pH, la temperatura y la concentración inicial de diclofenaco sobre la cinética y termodinámica de adsorción. Los resultados indicaron que el pH de la solución afecta notablemente la adsorción de diclofenaco y que los datos de adsorción en el equilibrio son bien modelados por la isoterma de Langmuir; la máxima capacidad de adsorción de diclofenaco en este material fue de 147.06 mg/g (Kocabiyik y col., 2024).

Yoo y colaboradores sintetizaron esferas de carbón a partir de sucrosa, con diámetro de 224 nm, área superficial específica de 239.3 m²/g, tamaño de poro de 2.38 nm y punto de carga cero (pH_{pcc}) igual a 3.14. El material tuvo una capacidad máxima de adsorción de 531 mg/g de diclofenaco, utilizando una concentración de material de 0.05g/L y una concentración inicial de diclofenaco de 20 mg/L (Yoo y col., 2021).

Vieira y colaboradores sintetizaron esferas de carbono-sílice (CS₂) y compararon su desempeño con materiales a base de sílice modificados con CS₂, con estructura de tipo core-shell (SiO₂@CS₂). Los materiales CS₂ y SiO₂@CS₂ presentaron valores de área superficial específica de 602 m²/g y 115 m²/g, respectivamente, y los valores de del punto de carga cero (pH_{pcc}) fueron de 7.9 a 10.1, respectivamente. El material CS₂ presentó un valor de capacidad máxima de adsorción de 259.8 mg/g, siendo tres veces mayor que la del material SiO₂@CS₂, lo cual puede deberse principalmente al alto valor de área superficial específica del material CS₂ (Vieira y col., 2022).

Zhang y colaboradores en 2018 sintetizaron un aerogel de óxido de grafeno reducido, con estructura tridimensional (rGOA), que presentó un área de superficie de 132.19 m²/g. Se determinó su punto de carga cero, obteniendo un valor de 6.3. También se determinó la distribución de tamaño de poro, presentando un tamaño promedio de 14 nm. Con este material se obtuvo una capacidad de adsorción de diclofenaco de 596.71 mg/g, a pH 6.3, lo que corresponde a una eficiencia del 91%. La concentración inicial de diclofenaco y la masa de adsorbente utilizadas para obtener esta capacidad de adsorción, fueron de 325 mg/L y 0.25 g/L, respectivamente (Zhan-Hiew y col., 2019). Umbreen y colaboradores trabajaron con hidrogeles ensamblados con óxido de grafeno reducido (rGO), este material se caracterizó y presentó un punto de carga cero de pH_{pcc} = 6.9 y un valor de capacidad de adsorción de 526 mg/g de diclofenaco a pH 6. Esta cantidad representó una eficiencia del 99%, con una masa utilizada de adsorbente de 1g/L y una concentración inicial de diclofenaco de 100 mg/L (Umbreen y col., 2018).

Recientemente, Costa y colaboradores sintetizaron muestras de nanotubos de carbono funcionalizados con nanopartículas de óxido de



hierro y con biomasa de cáscara de café (CNTs) para usarlas como adsorbentes de diclofenaco. Los resultados de la caracterización indicaron que las muestras de CNTs presentaron mesoporos y un incremento en el área superficial específica y en el volumen de poro. Por otra parte, los resultados del estudio cinético de adsorción de diclofenaco indicaron que la adsorción es descrita muy bien por el modelo de pseudo segundo orden, lo cual a su vez indica que las moléculas de diclofenaco fueron quimisorbidas (Costa y col., 2024). En la Tabla 2 se presentan una relación de la capacidad de adsorción de diclofenaco de varios materiales a base de carbono con respecto al valor del área superficial específica y algunas variables del proceso de adsorción.

Tabla 2. Materiales adsorbentes a base de carbono que han sido utilizados para la remoción de diclofenaco en agua.

Material	Área superficial específica	Concentración inicial de diclofenaco	pH	Capacidad de adsorción de diclofenaco	Referencia
	m ² /g	mg/L		mg/g	
Carbón activado	--	10-50		147.06	Kocabiyiky col., 2024
Nano esferas de carbón Carbón con sílice	602	100	6.4	259.80	Vieira y col., 2022
Carbón activado	824.68	0.7 – 1.8		31.5 -81	Aldeguer y col., 2021
Esferas de carbón SDCS	239.30	20	5	531.50	Yoo y col., 2021
Óxido de grafeno Aerogel de óxido de grafeno reducido (rGOA)	132.19	325	6.3	596.10	Zhang y col., 2018
Óxido de grafeno Hidrogel de rGO	---	100	6	526	Umbreen y col., 2018

2.7. VARIABLES QUE AFECTAN EN EL PROCESO DE ADSORCIÓN

Dentro de las principales características de los materiales adsorbentes que impactan en la adsorción están el área superficial específica (A_{BET}),

la porosidad y tamaño de poro, las características físicas y químicas de la superficie del material, como la carga superficial y los grupos funcionales presentes. Anteriormente se describieron algunos materiales utilizados para adsorber diclofenaco y se presentó su área superficial específica, sin embargo, existen otros factores que no dependen de la muestra, como el pH del medio de trabajo y la temperatura. En los siguientes párrafos se describe la importancia del control del pH en el proceso de adsorción.

En el estudio del desempeño de estos materiales se ha tomado en consideración el punto isoeléctrico para investigar si existe correlación entre la carga de la superficie del adsorbente y su desempeño. Cabe destacar que la carga superficial de un adsorbente depende del pH del medio, y puede ser positiva o negativa, excepto en el punto isoeléctrico (PIE), el cual es el valor de pH en el que la carga neta de la superficie de un material es cero (Figura 3).

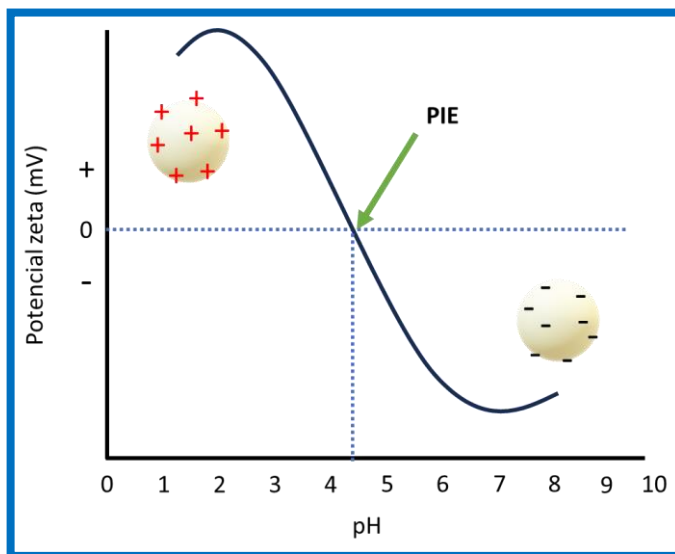


Figura 3. Carga superficial de un adsorbente a distintos valores de pH.

El pH no solo afecta al material adsorbente, sino que también fijará las especies de adsorbato presentes. Como lo muestra la Figura 4, el diclofenaco posee un pK_a de 4.15, por lo que a valores de pH menores

a 4.15 encontraremos la forma protonada de la molécula y a valores mayores de 4.15 la forma aniónica.

Tomando en cuenta lo anterior, se han encontrado mejores resultados cuando se lleva a cabo la interacción de la forma aniónica del diclofenaco y un material con carga superficial positiva. Un ejemplo de esta situación es la adsorción de diclofenaco en el aerogel de dióxido de grafeno reducido (rGOA), el cual tiene un punto isoeléctrico de 6.3. Zhang y colaboradores encontraron que el mejor rango de eficiencia para la adsorción del diclofenaco es entre pH de 6.3 y 4.2, esto corresponde al rango donde el adsorbente tiene carga positiva en la superficie y el diclofenaco está en forma aniónica. Bajo estas condiciones se obtuvo una adsorción mayor al 90% (Zhan-Hiew y col., 2019). Este mismo fenómeno también fue reportado para el óxido de grafeno reducido (rGO) que tiene un punto de carga cero de 6.9, el cual es muy similar al punto isoeléctrico (Umbreen et al., 2018).

Otras condiciones para que la remoción de diclofenaco sea eficiente, es cuando el material adsorbente tiene un punto isoeléctrico menor que el valor del pKa del adsorbato o compuesto que se quiere remover. En este caso, el material adsorbente tiene carga negativa en su superficie y el adsorbato se encontrará como catión. Para este ejemplo, el material adsorbente MOF UiO-66-(COOH)₂ fue funcionalizado con cobre y hierro. Este material puede adsorber diclofenaco en una cantidad mayor o cercana a 500 mg/g de adsorbente y presenta un punto de carga cero entre 2.5 y 2.7, por lo que en el rango de pH mayor de 2.5 pero menor de 4.15 (pKa del diclofenaco) se puede obtener una mayor eficiencia en la adsorción, debido a que el diclofenaco está como DFNH y el adsorbente con carga negativa en la superficie (Jiang y col., 2021; Yoo y col., 2021; Younes y col., 2022).

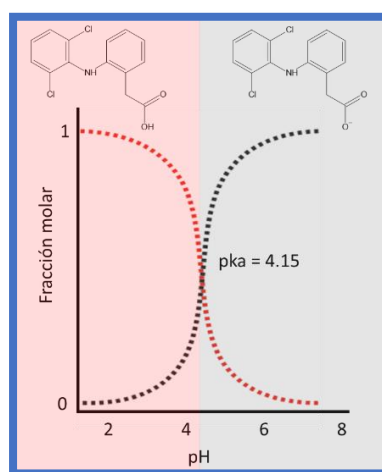


Figura 4. Especies de diclofenaco en agua, en función del pH.

Por otro lado, los materiales conformados por microesferas de quitosano modificado con zirconia, que tiene un punto de carga cero de 6.18, presentan una alta eficiencia de adsorción, la cual se atribuye a la presencia de grupos funcionales amino que interactúan con la molécula de diclofenaco, y cuando el pH es mayor de 6.18 se reporta disminución de la adsorción; los autores lo atribuyen a las interacciones electrostáticas, mientras que a pH menor de 6.18 la alta eficiencia la atribuyen a interacciones iónicas (Jiang y col., 2021). En la Figura 5 se presenta un esquema de la probable interacción de las moléculas de diclofenaco en la superficie de un material adsorbente con punto isoeléctrico de 6.3.

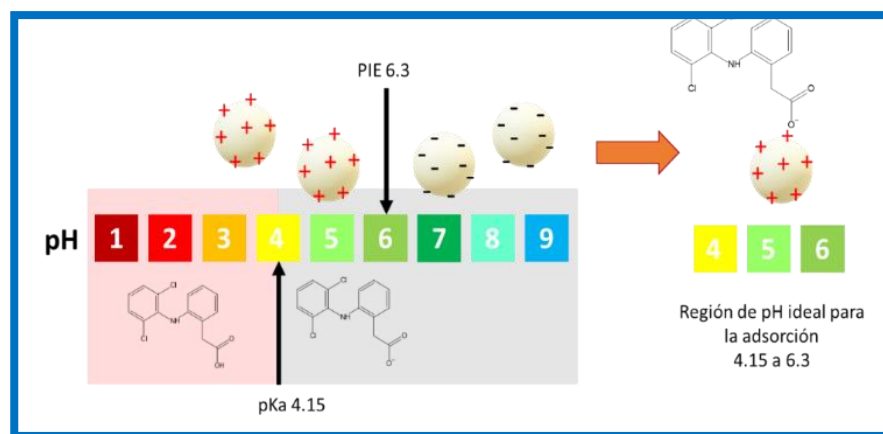


Figura 5. Esquema de la interacción de las moléculas de diclofenaco en la superficie de un material adsorbente con punto isoeléctrico de 6.3 (a) y región de pH adecuada para la fisisorción de diclofenaco.

Otro factor importante a considerar en la adsorción de diclofenaco es el valor del área superficial específica del material adsorbente; a mayor valor, el material contará con una mayor cantidad de sitios activos disponibles para que el sorbato interactúe en la superficie del material. El tamaño de poro también es importante, ya que el fenómeno de adsorción se favorece cuando la molécula que se pretende adsorber tiene un tamaño menor que el valor promedio del poro del adsorbente (Castañeda-Ramírez y col., 2021; Yoo y col., 2021).

III. CONCLUSIONES

La adsorción representa una técnica importante para la remoción de contaminantes, como el diclofenaco de medios acuosos. A pesar de que existe una gran cantidad de materiales adsorbentes de diclofenaco, es necesario recalcar que cada uno actúa de manera distinta y presentan diferencias en su capacidad máxima de adsorción de diclofenaco, dependiendo de las condiciones del medio acuoso, como el pH, la concentración inicial de diclofenaco, la concentración de material adsorbente y el estado químico de la especie a ser removida. Además de esto, las características como el área superficial específica, tamaño y volumen de poro afectarán también al proceso de adsorción, por lo que el diseño del material adsorbente es un área de gran interés en el campo de los materiales inteligentes. Para comparar el desempeño de dos materiales adsorbentes es necesario tomar en consideración que la evaluación se realice en las mismas condiciones de concentración inicial del adsorbato ya que no sería representativo solamente mostrar el % de remoción, es necesario cuantificar la cantidad en mg de adsorbato/g de adsorbente.

AGRADECIMIENTOS

Rosario Espinosa agradece al CONAHCYT por la beca No. 1178906 para cursar los estudios de maestría. A. Martínez-Luévanos agradece a la UAdeC por el apoyo al proyecto.

REFERENCIAS

Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., Guo, W., Thomaidis, N. S., & Xu, J. (2017). Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging



contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 323: 274–298. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.045>

Bernadac-Villegas, Puente Mónica, Carrillo Jorge, Soto Marisela, Flores Edith, Saúl Sergio, Acosta Miguel, Vázquez Felipe, & Hernández Claudia. (2019). Identificación y cuantificación de diclofenaco en aguas residuales de Ciudad Juárez. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 15(2): 59–70.

Castañeda-Ramírez, A. A., Rojas-García, E., López-Medina, R., Contreras Larios, J. L., Parra-Suarez, R., & Maubert-Franco, A. M. (2021). Selective adsorption of aqueous diclofenac sodium, naproxen sodium, and ibuprofen using a stable Fe₃O₄-FeBTC metal-organic framework. *Materials*, 14(9): 2293. <https://doi.org/10.3390/ma14092293>

Costa, H. P. S., Duarte, E. D. V., da Silva, F. V., da Silva, M. G. C., Vieira, M. G. A. (2024). Green synthesis of carbon nanotubes functionalized with iron nanoparticles and coffee husk biomass for efficient removal of losartan and diclofenac: Adsorption kinetics and ANN modeling studies. *Environmental Research*, 251(2): 118733. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118733>

De Oliveira, T., Guégan, R., Thiebault, T., Milbeau, C. Le, Muller, F., Teixeira, V., Giovanella, M., & Bousafir, M. (2017). Adsorption of diclofenac onto organoclays: Effects of surfactant and environmental (pH and temperature) conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 323: 558–566. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.001>

Esquerdo, A. A., Galvañ, P. J. V., Gadea, I. S., & Rico, D. P. (2021). Carbamazepine and diclofenac removal double treatment: Oxidation and adsorption. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13): 7163. <https://doi.org/10.3390/ijerph18137163>

Fadzail, F., Hasan, M., Ibrahim, N., Mokhtar, Z., Asih, A. Y. P., & Syafiuddin, A. (2022). Adsorption of diclofenac sodium using low-cost activated carbon in a fixed-bed column. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 12(6): 8042–8056. <https://doi.org/10.33263/BRIAC126.80428056>

Fan, L., Lu, Y., Yang, L.-Y., Huang, F., & Ouyang, X.-K. (2019). Fabrication of polyethylenimine-functionalized sodium alginate/cellulose nanocrystal/polyvinyl alcohol core-shell microspheres ((PVA/SA/CNC)@PEI) for diclofenac sodium adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 554:48-58. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.099>

Genç, N., Durna, E., & Erkişi, E. (2021). Optimization of the adsorption of diclofenac by activated carbon and the acidic regeneration of spent activated carbon. *Water*



Science and Technology, 83(2): 396–408. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.577>

Gupta, B. D., & Elias, A. J. (2009). *Basic Organometallic Chemistry* (Universities Press (India) Private Limited, Ed.).

Hiew, B. Y. Z., Lee, L. Y., Lai, K. C., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., Pan, G. T., & Yang, T. C. K. (2019). Adsorptive decontamination of diclofenac by three-dimensional graphene-based adsorbent: Response surface methodology, adsorption equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Environmental Research*, 168: 241–253. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.030>

Jiang, F., Zhang, D., Ouyang, X. kun, & Yang, L. Y. (2021). Fabrication of porous polyethyleneimine-functionalized chitosan/Span 80 microspheres for adsorption of diclofenac sodium from aqueous solutions. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 21: 100418. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100418>

Karimi-Maleh, H., Ayati, A., Davoodi, R., Tanhaei, B., Karimi, F., Malekmohammadi, S., Orooji, Y., Fu, L., & Sillanpää, M. (2021). Recent advances in using of chitosan-based adsorbents for removal of pharmaceutical contaminants: A review. *Journal of Cleaner Production*, 291: 125880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125880>

Kocabiyik, B., Ünder, O., Geçgel, Ü. (2024). Diclofenac sodium adsorption in aqueous media by activated carbon obtained from einkorn (*Triticum monococcum*) husk. *Adsorption*, 30: 1033-1046. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00479-2>

Liu, Y., Si, B., Zhao, C., Jin, F., Zheng, H., & Wang, Z. (2019). Degradation of emerging contaminants by Co (III) ions in situ generated on anode surface in aqueous solution. *Chemosphere*, 221: 543–553. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.076>

Liu, Y., Wang, L., Pan, B., Wang, C., Bao, S., & Nie, X. (2017). Toxic effects of diclofenac on life history parameters and the expression of detoxification-related genes in *Daphnia magna*. *Aquatic Toxicology*, 183: 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.12.020>

Mohammadi, Z., Kelishami, A. R., & Ashrafi, A. (2021). Application of Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe₂O₄ magnetic nanoparticles for diclofenac adsorption: Isotherm, kinetic and thermodynamic investigation. *Water Science and Technology*, 83(6): 1265–1277. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.049>

Rivera-Jaimes, J. A., Postigo, C., Melgoza-Alemán, R. M., Aceña, J., Barceló, D., & López de Alda, M. (2018). Study of pharmaceuticals in surface and wastewater from Cuernavaca, Morelos, Mexico: Occurrence and environmental risk



- assessment. *Science of the Total Environment*, 613–614: 1263–1274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.134>
- Tran, N.-H., Reinhard, M., & Yew-Hoong, K. G. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in municipal wastewater treatment plants from different geographical regions-a review. In *Water Research* (Vol. 133, pp. 182–207). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.029>
- Tzereme, A., Christodoulou, E., Kyzas, G. Z., Kostoglou, M., Bikiaris, D. N., & Lambropoulou, D. A. (2019). Chitosan grafted adsorbents for diclofenac pharmaceutical compound removal from single-component aqueous solutions and mixtures. *Polymers*, 11(3): 497. <https://doi.org/10.3390/polym11030497>
- Umbreen, N., Sohni, S., Ahmad, I., Khattak, N. U., & Gul, K. (2018). Self-assembled three-dimensional reduced graphene oxide-based hydrogel for highly efficient and facile removal of pharmaceutical compounds from aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 527: 356–367. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.05.010>
- Urtiga-Sousa, M., Mendes-Rodrigues, A., Barbosa-Araujo, M. E., Rodrigues-Menezes, R., Neves, G. A., & Lira, H. L. (2022). Adsorption of Sodium Diclofenac in Functionalized Palygoskite Clays. *Materials*, 15(8): 2708. <https://doi.org/10.3390/ma15082708>
- Valdez-Carrillo, M., Abrell, L., Ramírez-Hernández, J., Reyes-López, J. A., & Carreón-Diazconti, C. (2020). Pharmaceuticals as emerging contaminants in the aquatic environment of Latin America: a review. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 36, pp. 44863–44891). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10842-9>
- Vieira, A. L. S., Ribeiro, R. S., Lado Ribeiro, A. R., Ribeiro, A. M., & Silva, A. M. T. (2022). Hollow carbon spheres for diclofenac and venlafaxine adsorption. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3): 107348. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107348>
- Vieira, R. M., Vilela, P. B., Becegato, V. A., & Paulino, A. T. (2018). Chitosan-based hydrogel and chitosan/acid-activated montmorillonite composite hydrogel for the adsorption and removal of Pb²⁺ and Ni²⁺ ions accommodated in aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2): 2713–2723. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.04.018>
- Ye, X., Li, Y., Lin, H., Chen, Y., & Liu, M. (2021). Lignin-Based Magnetic Nanoparticle Adsorbent for Diclofenac Sodium Removal: Adsorption Behavior and Mechanisms. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(10): 3401–3411. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02127-0>

- Yoo, S. H., Kang, J. K., Lee, S. C., Jang, H. Y., & Kim, S. B. (2021). Analysis of adsorption characteristics of diclofenac to sucrose-derived carbon spheres from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(6): 106573. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106573>
- Younes, H. A., Taha, M., Mahmoud, R., Mahmoud, H. M., & Abdelhameed, R. M. (2022). High adsorption of sodium diclofenac on post-synthetic modified zirconium-based metal-organic frameworks: Experimental and theoretical studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, 607: 334–346. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.08.158>
- Zandaryaa, S., Deregibus, I., An, S., & Jean, M.-E. (2015). *International Hydrological Programme United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. <http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>
- Zhang, J., Chen, Y., Song, X., Liu, Y., Zhao, J., & Wang, F. (2022). Synergistic adsorption and degradation of diclofenac by zero-valent iron modified spent bleaching earth carbon: Mechanism and toxicity assessment. *Journal of Hazardous Materials*, 432: 128753. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128753>
- Zhang, S., Dong, Y., Yang, Z., Yang, W., Wu, J., & Dong, C. (2016). Adsorption of pharmaceuticals on chitosan-based magnetic composite particles with core-brush topology. *Chemical Engineering Journal*, 304: 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06087>



PERMANENCIA DE LACTOBACILOS AISLADOS DE LECHE HUMANA Y FÓRMULAS INFANTILES DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE UN INGREDIENTE FERMENTADO

PERMANENCE OF LACTOBACILLI ISOLATED FROM HUMAN MILK AND INFANT FORMULAS DURING THE MANUFACTURING PROCESS OF A FERMENTED INGREDIENT

RESUMEN

Se han demostrado los beneficios a la salud que proveen los microorganismos aislados de leche humana por lo que su incorporación a alimentos puede servir para generar alimentos con potencial funcional, pero deben mantenerse viables. El objetivo de este trabajo fue obtener un alimento fermentado deshidratado, utilizando lactobacilos aislados de leche humana y fórmulas infantiles comerciales y evaluar su viabilidad después de ser secado en cama de espuma (FMD). Se utilizaron melones (*Cucumis melo* L.) maduros y microorganismos aislados de las fuentes mencionadas. Se extrajo jugo y se fermentó durante 24h/37°C. El FMD se realizó con albúmina de huevo y jugo fermentado (1:5 p/p) en deshidratador a 55°C con flujo de aire por 2.5 horas hasta peso constante. Se molió y se determinó la viabilidad de los microorganismos al final del secado y a los 5 días. Se encontró que los microorganismos viables aumentaron en 3log por lo que tienen potencial para ser usados en alimentos.

Palabras clave: leche humana; lactobacilos; secado en cama de espuma; melón; fermentación.

DANIEL DE LA PEÑA AGUIRRE¹

RUTH E. BELMARES CERDA¹

MIRIAM DESIREE DÁVILA
MEDINA²

MAYELA GOVEA SALAS³

ROSA M. RODRÍGUEZ JASSO¹

ARACELI LOREDO TREVIÑO¹

1. Departamento de
Investigación en Alimentos,
Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

2. Grupo de Bioprocesos y
Bioquímica Microbiana,
Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

3. Grupo de Nanobiociencia,
Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

Correspondencia
araceliloredo@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0002-2857-3340
SCOPUS ID: 57196029690

Recepción de artículo
13 de junio de 2024

Artículo aceptado
23 de septiembre de 2024.

ABSTRACT

*The health benefits provided by microorganisms isolated from human milk have been demonstrated, so their incorporation into food can serve to generate foods with functional potential, but they must remain viable. The objective of this work was to obtain a dehydrated fermented food, using lactobacilli isolated from human milk and commercial infant formulas, and to evaluate their viability y after being dried in foam mat (FMD). Ripe cantaloupes (*Cucumis melo* L.) and microorganisms isolated from the mentioned sources were used. Juice was extracted and fermented for 24h/37°C. The FMD was performed with egg albumen and fermented juice (1:5 w/w) in dehydrator at 55°C with air flow for 2.5 hours until constant weight. The dried material was ground and the viability of the microorganisms was determined at the end of drying and after 5 days. Viable microorganisms were found to increase by 3log so they have potential to be used in food.*

Keywords: human milk; lactobacillus; foam mat drying; cantaloupe; fermentation.

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos probióticos pudieran tener efectos benéficos a la salud por las moléculas que se producen durante su cultivo y cuando son consumidos y logran colonizar el tracto intestinal del hospedador. Dentro de las fuentes de microorganismos con potenciales beneficios a la salud se encuentra la leche materna (Cárdenas y col., 2014). La alimentación con leche materna durante los primeros meses de vida ha demostrado tener beneficios a corto, mediano y largo plazo en humanos, esto por el efecto de diversas moléculas y células (Fernández y col., 2013). Dentro de las células que componen la leche materna, hay una gran microbiota y parte de ella son lactobacilos los cuales son considerados probióticos.

Se han aislado con anterioridad microorganismos de leche materna y se ha demostrado su influencia benéfica a la salud, tanto, que muchas leches maternizadas, mejor conocidas como “fórmulas para bebés”, los están incluyendo en sus formulaciones. Debido a su naturaleza, estos microorganismos tienen una gran capacidad para resistir la digestión y llegar y colonizar el intestino, por lo que tienen potencial para ser usados en alimentos (Fernández y Rodríguez, 2020; Calatayud y col., 2019).

La búsqueda de microorganismos probióticos para mejorar la salud también viene impulsada por la necesidad de ofrecer alternativas alimenticias que, además de nutrir, puedan tener algún efecto benéfico adicional en la salud de los consumidores. Esto porque las enfermedades asociadas a una alimentación no balanceada y a la poca o nula actividad física debido a diversos factores entre los que pueden destacar un estilo de vida que no permite darse el tiempo para comer adecuadamente y porque no se tiene acceso en todo momento a los alimentos (Bigliardi y Galati, 2013).

En el caso de algunas frutas, se vuelve difícil conservarlas frescas, por lo que hay alternativas para conservarlas, pero pueden perder algunas propiedades tanto funcionales como organolépticas. En este trabajo se aplicó la técnica de secado en cama de espuma en melón. Esta técnica de deshidratado es rápida, sencilla y puede ser de bajo costo. Es especialmente útil en el caso de líquidos o jugos con alto contenido de azúcar porque no quedan polvos “pegajosos” (Yüskel y Pandiselvam, 2023).

En este proyecto, para hacer un alimento fermentado y deshidratado se eligió melón, ya que, por un lado, Coahuila fue el principal productor a nivel nacional en 2017 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SEDUR], 2017) y se mantiene en los primeros tres lugares hasta 2023 (Desarrollo, 2024; SEDUR, 2024). Por otro lado, el melón tiene características organolépticas y funcionales muy agradables, sin embargo, casi todo su consumo es en fresco. Así que el objetivo de este trabajo fue aislar microorganismos con características de lactobacilos de fórmulas maternizadas y de leche materna para ver si es posible que



crezcan en jugo de melón y se conserven viables después de ser sometidos a secado en cama de espuma, esto para elaborar un ingrediente deshidratado para la formulación de alimentos con potencial probiótico.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIA PRIMA. Los melones se compraron en el mercado de abastos de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México y fueron trasladados al Laboratorio de Análisis de Alimentos del Departamento de Investigación en Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila. Ahí se lavaron con agua y jabón para eliminar la tierra y suciedad que pudieran tener en la cáscara; una vez secos, se pesaron y pelaron y se separó la cascara de la pulpa y las semillas para determinar rendimiento.

La pulpa del melón se pasó por un extractor de jugo donde se separó la pulpa del jugo. Los extractos obtenidos se escaldaron a 70°C durante cinco minutos para inactivar enzimas. Una vez obtenido el jugo sin pulpa y el jugo con la pulpa y escaldado se procedió a congelarlos en un congelador que alcanza los -18°C hasta su uso.

OBTENCIÓN Y AISLAMIENTO DE LAS CEPAS. La obtención de los microorganismos usados se obtuvo de dos fórmulas de leche infantil y de una muestra de leche materna. Las leches maternizadas se procesaron de la siguiente manera. Se hizo un aislamiento y conteo usando diluciones seriadas sembrando por vertido en placa en medio Man, Rogosa y Sharpe (MRS) y se incubaron 24h a 37°C. La leche materna se obtuvo de una voluntaria a quien se le pidió que antes de tomar la muestra se lavara con agua y jabón la piel y esterilizara los instrumentos para la extracción. La muestra se recogió en una bolsa plástica estéril y se mantuvo en refrigeración hasta su procesamiento.

Una vez viendo crecimiento de los microorganismos se procedió a aislar usando el mismo medio de cultivo con la técnica de estriado en cuatro

campos y se aisló una cepa de cada fuente, EN, NT y HM, siendo HM la cepa aislada de leche materna, y se hicieron observaciones microscópicas buscando bacilos largos, no esporulados, Gram positivos.

FERMENTACIÓN. La fermentación se llevó a cabo por triplicado en frascos estériles de vidrio donde se agregaron 50 ml de jugo de melón y se añadieron las cepas correspondientes. Se decidió inocular con tres asadas de cada cepa. Las cepas usadas para inocular tenían 18 h de incubación. Las condiciones de fermentación fueron estáticas, 37°C durante 24 horas.

Se midieron durante cada hora los Grados Brix (°Brix) que corresponden al azúcar presente en el jugo y el pH. Esto se hizo con un refractómetro digital marca Hanna y con un potenciómetro de banco marca Ohaus ST3100-F. Una vez terminada la fermentación se procedió a hacer un conteo de microorganismos por vertido en placa usando el medio antes mencionado.

SECADO EN CAMA DE ESPUMA. Para el secado del fermentado se hizo una espuma con clara de huevo debido a su alto contenido de proteína y capacidad de hacer espuma. El espumado se hizo con una batidora de mano a máxima velocidad hasta lograr picos firmes y se hizo una mezcla con el jugo fermentado en relación 1:5 espuma-jugo (v/v). Esta espuma se colocó en charolas de aluminio previamente pesadas y se colocaron en un deshidratador marca Excalibur Economy mode 9 con flujo horizontal de aire a 55°C durante dos horas, pesando las muestras cada diez minutos para obtener la cinética de secado. Al término de este tiempo se volvió a determinar el número de UFC. Las camas usadas fueron de 15x5x1cm para mantener la misma área para todos los tratamientos. Para analizar las diferencias en la velocidad de secado se calcularon las pendientes de las curvas de pérdida de peso hasta los 80 minutos, esto porque ahí es cuando la curva empezaba a mantenerse horizontal, es decir, que ya no había una pérdida de peso que se pudiera medir. Se hizo un análisis de varianza para diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones con un alfa=0.05 usando el software Statistica 64 con la incorporación de un blanco que consistió en jugo sin fermentar y sin ser sometido a FMD.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ASLAMIENTO. Se logró aislar de cada muestra una cepa bacteriana con características macro y microscópicas de lactobacilo. Las características macroscópicas fueron colonias cremosas, brillantes, redondas, convexas, de 0.2mm de diámetro y en microscopía bacilos cortos Gram positivo. En la Figura 1 se puede observar las características macroscópicas de las cepas aisladas en agar MRS. Estas características coinciden con características macroscópicas descritas previamente (Kumar y Kumar, 2014) Los microorganismos adicionados a las leches maternizadas, son capaces de resistir el proceso de desecado además de que son capaces de conservarse viables, en este trabajo se buscó aislar una cepa a partir de leche humana para ver si es posible que pudiera compararse con las cepas encontradas en las fórmulas lácteas comerciales. Los lactobacilos tienen la capacidad de crecer en el medio MRS, el cual es específico para lactobacillus.

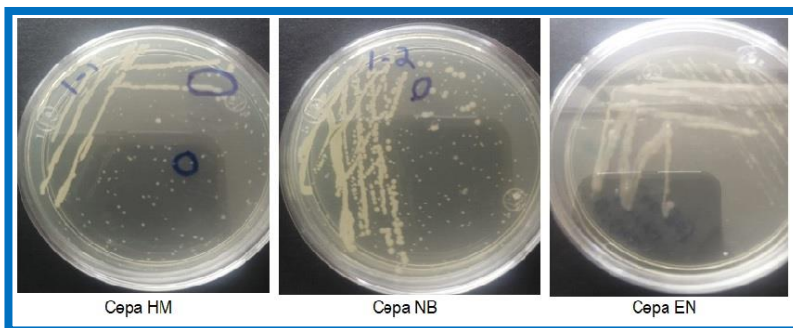


Figura 1. Características macroscópicas de las cepas aisladas de leche humana (HM), y de las fórmulas lácteas de leche maternizada (NB y EN) en agar MRS después de 24 horas de incubación.

FERMENTACIÓN. En la Figura 2 se puede ver el comportamiento en el descenso de los grados Brix, siendo estos los azúcares solubles en la muestra. Este comportamiento es debido al consumo de los azúcares por los microorganismos, además del descenso de pH, el cual fue hasta 4.5. esto porque según la Norma Oficial Mexicana de lácteos (Secretaría de Salud [SSA], 2010) indica que las leches fermentadas deben tener un pH máximo de 4.5 lo cual se logró a las 24 h de fermentación. Después de eso, el jugo fermentado se guardó en

refrigeración. Estos resultados indican que, a pesar de que los lactobacilos usen como fuente de carbono y energía lactosa, son capaces de crecer en otros azúcares como los que podemos encontrar en los jugos de frutas. Esto abre la posibilidad de utilizarlos para lograr alimentos vegetales fermentados y que produzcan ácidos orgánicos relacionados con potencial funcional, ya que son capaces de estimular el sistema inmunológico, etc.

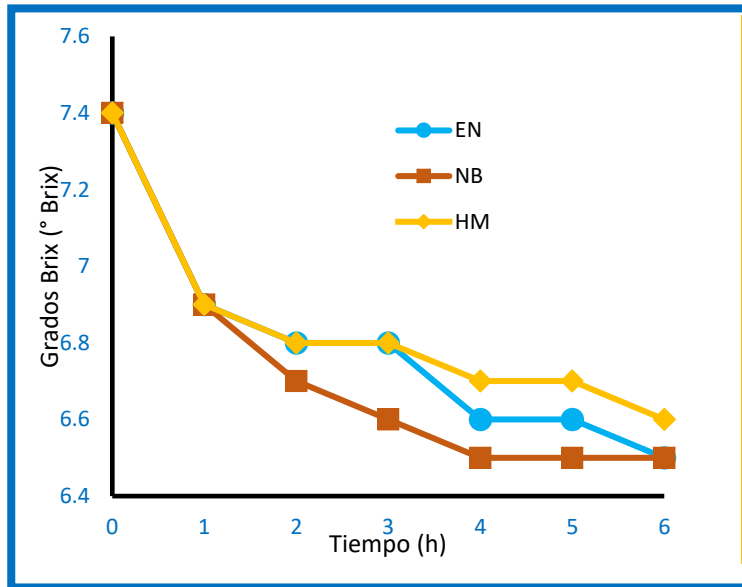


Figura 2. Descenso en los grados Brix a lo largo de la fermentación. Se puede observar que el descenso es en las primeras horas del tiempo de cultivo.

SECADO. En la Figura 3 se puede ver la cinética de secado de los tratamientos de las espumas con los diferentes jugos fermentados. Lo que se busca es un secado rápido con el fin de preservar las características de los jugos deshidratados y, en este caso, conservar viables a los microorganismos. Se compararon las pendientes de secado de los tres tratamientos contra un blanco de sólo jugo sin secado en estera de espuma. Podemos ver que según el análisis estadístico de las pendientes de secado no hay diferencia entre el blanco, el jugo fermentado con NB y HM, mientras que con EN sí hubo diferencia, siendo esta la que tiene un valor de pendiente más pronunciado lo que indica que fue la que se secó más rápido. Es importante mencionar que este tipo de secado permite obtener polvos de más fácil manejo. Los

jugos de frutas, altos en azúcar, al secarse tienen una textura “pegajosa” y son altamente higroscópicos, los polvos obtenidos con el método de secado en estera de espuma no lo son (Brar y col., 2020).

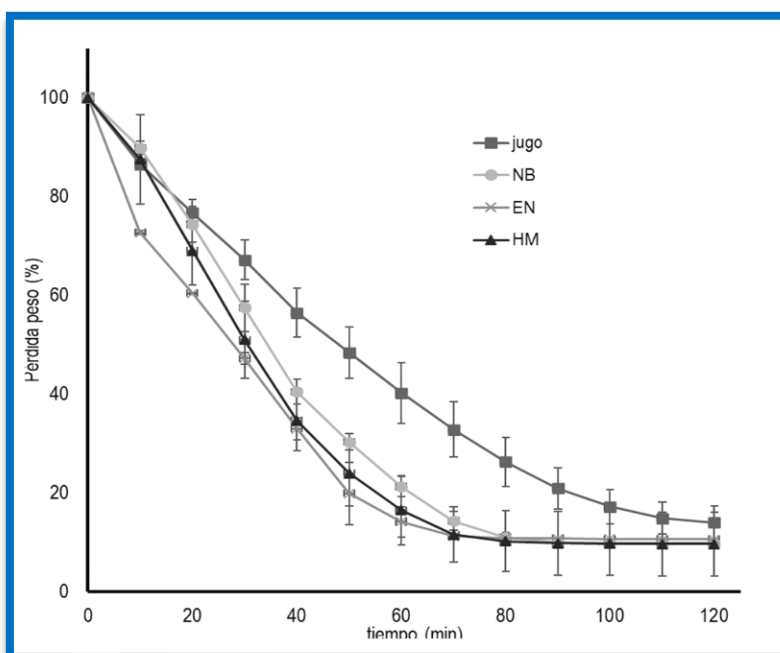


Figura 3. Cinética de secado de los jugos fermentados. HM corresponde al microorganismo aislado de leche humana y NB y EN a fórmulas comerciales.

El análisis estadístico se muestra en la Tabla 1. Dado que la pendiente es negativa, podemos ver que mientras más cercano a cero sea la pendiente, menos inclinada, es decir, se tarda más en perder peso. Esto quiere decir que el control, o sea, el jugo sin fermentar y sin haber sido sometido a la técnica de secado en cama de espuma, fue el que más se tardó en secar y es diferente estadísticamente a los demás. En cuanto a los tratamientos de los jugos fermentados y deshidratados por medio de FMD el que más se tardó fue el fermentado con la cepa EN, seguido de HM y el que menos tardó fue el jugo con la cepa NB. Con esto podemos decir que la técnica de FMD permite un secado rápido que pudiera permitir conservar las propiedades funcionales de los materiales sometidos a este proceso.

Tabla 1. Comparación de medias de secado de los jugos fermentados y secados con la técnica de FMD y de jugo sin fermentar y sometido a secado tradicional ($\alpha=0.05$).

Tratamiento	Pendiente
Jugo	-0.913 ± 0.07^a
NB	-1.193 ± 0.17^c
EN	-1.088 ± 0.13^b
HM	-1.165 ± 0.04

CUANTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS VIABLES. En la Tabla 2 se puede observar el comportamiento de la cantidad de organismos viables (UFC) al término del secado y después de cinco días de almacenamiento a temperatura ambiente. Podemos ver que disminuye el contenido de microorganismos viables, pero al cabo de cinco días, aumentó. Cabe mencionar que los polvos absorbieron un poco de humedad, por lo que este crecimiento puede ser debido a esto. Este comportamiento indica que los microorganismos aislados son capaces de resistir la desecación y de reproducirse, por lo que el microorganismo aislado de leche materna pudiera ser usado para la elaboración de alimentos con probióticos. Varias fórmulas lácteas maternizadas agregan en su formulación probióticos con el fin de proveer mayores beneficios, pero deben resistir el proceso de secado además de durar el tiempo de vida útil del alimento, así como también, ser capaces de llegar vivas al intestino (Rodríguez-Arreola y col., 2021) El comportamiento observado por el microorganismo aislado de leche humana muestra potencial para ser usado posteriormente.

Tabla 2. Unidades formadoras de colonias por ml o g al cabo del secado y a los cinco días de almacenamiento.

Cepa	0 días	5 días
HM	6.5×10^3	6×10^6
NB	5×10^3	8×10^6
EN	5.5×10^3	6×10^6

CONCLUSIONES

Se logró aislar microorganismos con características de lactobacilos de leches maternizadas y de leche materna. Se usaron para fermentar jugo de melón que fue secado usando la técnica de secado en cama de espuma y se evaluó su viabilidad. Se encontró que todos los microorganismos fueron capaces tanto de crecer en el jugo de melón, así como mantenerse viables en el jugo deshidratado. Esto abre las posibilidades para elaborar alimentos con este tipo de microorganismos, además de que pueden generarse materias primas estables para elaborarlos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) por el financiamiento para continuar esta investigación por medio del proyecto COAH-2022-C19-C129 denominado "Estabilización de jugo y pulpa de melón para su uso como ingrediente para alimentos funcionales".

REFERENCIAS

Bigliardi, B., y Galati, F. (2013). Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. *Trends in Food Science and Technology*, 31(2): 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.03.006>

- Brar, A. S., Kaur, P., Kaur, G., Subramanian, J., Kumar, D., y Singh, A. (2020). Optimization of Process Parameters for Foam-Mat Drying of Peaches. *International Journal of Fruit Science*, 20(S3): S1495–S1518. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1812017>
- Calatayud, M., Koren, O., y Collado, M. C. (2019). Maternal Microbiome and Metabolic Health Program Microbiome Development and Health of the Offspring. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 30(10): 735–744. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2019.07.021>
- Cárdenas, N., Calzada, J., Peirotén, Á., Jiménez, E., Escudero, R., Rodríguez, J. M., Medina, M., y Fernández, L. (2014). Development of a potential probiotic fresh cheese using two lactobacillus salivarius strains isolated from human milk. *BioMed Research International*, (14): 1-12. <https://doi.org/10.1155/2014/801918>
- Fernández, L., Langa, S., Martín, V., Maldonado, A., Jiménez, E., Martín, R., y Rodríguez, J. M. (2013). The human milk microbiota: Origin and potential roles in health and disease. *Pharmacological Research*, 69(1): 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2012.09.001>
- Fernández, L., y Rodríguez, J. M. (2020). Human Milk Microbiota: Origin and Potential Uses. *Nestle Nutrition Institute Workshop Series*, 94: 75–85. <https://doi.org/10.1159/000505031>
- Kumar, A., y Kumar, D. (2014). Isolation and characterization of bacteria from dairy samples of Solan in Himachal Pradesh for identification of Lactobacillus spp. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 25(2): 110–114.
- Rodríguez-Arreola, A., Solís-Pacheco, J. R., Lacroix, M., Edgar, B.-L., Navarro-Hernandez, R. E., Sandoval-García, F., Gutiérrez-Padilla, J. A., García-Morales, E., y Aguilar-Uscanga, B. R. (2021). In vivo assessment and characterization of lactic acid bacteria with probiotic profile isolated from human milk powder. *Nutrición Hospitalaria*, 1(38): 152–160. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20960/nh.03335>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017). *Aumenta producción de melón mexicano más de 21 mil toneladas en un año*. Recuperado el 30 de abril de 2024 de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumenta-produccion-de-melon-mexicano-mas-de-21-mil-toneladas-en-un-ano>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Melón Mexicano, un fruto con creciente demanda y producción nacional: Agricultura*. Recuperado el 30 de abril de 2024 de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/melon-mexicano-un-fruto-con-creciente-demanda-y-produccion-nacional-agricultura>
- Secretaría de Salud. (2010). *NORMA Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de*

prueba.

Yüskel, A. N., y Pandiselvam, R. (2023). Mathematical Modeling of Microwave-Assisted Foam-Mat Drying of Kefir. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023: Article ID 3917292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2023/3917292>

LOS DIEZMOS EN EL OBISPADO DE LINARES, 1810-1821

TITHES IN THE BISHOPRIC OF LINARES, 1810-1821

RESUMEN

El movimiento de Independencia de la Nueva España condujo a la desarticulación del viejo orden virreinal. Como consecuencia, la Iglesia católica, corporación trascendental en el proceso de conquista y colonización de América, recibió daños profundos, sobre todo en lo económico. El objetivo de este trabajo es comprender el impacto que tuvo el final del régimen colonial en el noreste novohispano a través de la revisión de la recaudación de diezmos en el obispado de Linares. El diezmo es un buen indicador para aproximarse al desarrollo socioeconómico de los territorios bajo dominio hispánico. En este artículo se demuestra que, si bien se ha pensado tradicionalmente en el noreste como una región empobrecida, la recaudación decimal nos habla de un territorio con una economía agropecuaria en crecimiento. A través de la comparación con otras sedes episcopales, es posible evidenciar que el proyecto del obispado de Linares, cuyo objetivo fue el de consolidar el noreste, fue un éxito en sus primeras décadas de conformación, pero la guerra insurgente, además de otros factores, terminó por colapsar este periodo de prosperidad.

Palabras clave: diezmo; obispado; Linares; catedral; Independencia de México.

ABSTRACT

The independence movement of New Spain led to the dismantling of the old viceregal order. As a consequence, the Catholic Church, a

JOSÉ GABINO CASTILLO
FLORES

ROMÁN ALEXANDER
JARAMILLO SALAZAR

Facultad de Ciencias
Sociales, Unidad Sureste,
UAdeC.

Correspondencia
gabinocastillo@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-2347-3639

Recepción de artículo
24 de octubre de 2024

Artículo aceptado
14 de noviembre de 2024.

transcendental corporation in the process of conquest and colonization of America, was deeply damaged, especially in regard to its economy. The objective of this work is to understand the impact that the end of the colonial regime had on the northeast of New Spain through the review of the collection of tithes in the bishopric of Linares. The collection of such tax is an excellent tool when attempting to approach the socioeconomic development of the territories under Spanish rule. This article shows that, although the northeast has traditionally been thought of as an impoverished region, it was actually a growing agricultural economy. Through comparison with other episcopal sees, it is possible to show that the project of the bishopric of Linares, whose objective was to consolidate the northeast, was a success in its first decades of formation, but the insurgent war, in addition to other factors, ended up collapsing this period of prosperity.

Keywords: *tithe; bishopric; Linares; cathedral; Mexican Independence.*

INTRODUCCIÓN

En este artículo se estudian los diezmos del obispado de Linares entre 1810 y 1821 con el objetivo de comprender el impacto que tuvo el final del régimen colonial en el noreste novohispano. En primer lugar, se debe tener en cuenta que el diezmo fue un gravamen que se impuso sobre la producción agropecuaria de la Nueva España desde el siglo XVI a causa de la conquista. Como su nombre lo indica, dicho impuesto representaba un diez por ciento que se debía pagar a las catedrales de los diversos obispados instalados desde el siglo XVI: México, Guadalajara, Michoacán, Oaxaca, Yucatán, Puebla y Chiapas. En el siglo XVII, debido al avance del poblamiento hacia el norte y a la dificultad de administrar diócesis tan grandes, surgieron nuevos obispados, como el de Durango, en 1620 y, posteriormente, Sonora y Linares, en 1777. El diezmo representaba un reconocimiento a la Corona española que, mediante el Real Patronato, encabezaba el



proceso de poblamiento y evangelización en Nueva España. Asimismo, era el aporte que hacían los seculares a la Iglesia para colaborar con la difusión del cristianismo, por lo tanto, debemos tener en cuenta que el diezmo poseía, además, una dimensión religiosa, por lo que su pago era un compromiso adquirido por todo católico bajo el Imperio español.

Desde la investigación histórica se ha demostrado que el diezmo sirvió como un termómetro para conocer la economía regional y el avance en el establecimiento de haciendas y ranchos en diversos territorios del virreinato. No es raro, por ello, que el establecimiento de obispados por parte de la Corona sirviera no sólo para promover la expansión de la religión y la vida en policía, sino para acceder a las ganancias de la producción económica en los territorios virreinales.

El presente artículo, al igual que lo ha hecho la bibliografía sobre el tema, se propone conocer los montos del diezmo de un obispado recién creado en 1777 y la situación que atravesó entre 1810 y 1821, periodo durante el cual se llevó a cabo la guerra de independencia en la Nueva España. Lo anterior nos permitirá conocer el monto de los ingresos con que contaba la Iglesia en el noreste novohispano hacia finales del siglo XVIII y comprender qué tan importante fue en la zona el movimiento de Independencia y hasta qué grado desarticuló la economía regional. Este estudio, parte en realidad de una hipótesis que parece contraria a la idea que se tiene del noreste virreinal. Es decir, suele pensarse que estos territorios (el obispado comprendió las provincias de Coahuila, Texas, Nuevo Reino de León y Nuevo Santander) formaban parte de una región pobre, infestada de indios de guerra y poco poblada. Nuestro texto, a través de la recuperación de datos duros obtenidos de los registros de diezmos del Archivo Histórico del Arzobispado de Monterrey, pretende demostrar que para finales del siglo XVIII dicho espacio era un territorio bien organizado y con una economía en creces. No obstante, dicho crecimiento se habría visto obstaculizado por el estallido de la guerra de Independencia como ocurrió en otros obispados.

Aunado a lo anterior, se debe tener en cuenta que el surgimiento del obispado de Linares coincidió con el largo proceso de fiscalización que



la Corona española llevó a cabo a lo largo del siglo XVIII en los territorios americanos. Dicha acción impactó negativamente en la economía virreinal y, particularmente, en la eclesiástica, cuyas rentas fueron mermadas por préstamos, impuestos y donativos que buscaban generar recursos para financiar la guerra entre la metrópoli y los nacientes Estados inglés y francés que desembocó en las independencias hispanoamericanas. Estas exacciones impactaron en el recién conformado obispado y en sus rentas, retrasando la consolidación del proyecto diocesano y generando caos en una región fronteriza que, debido a la lejanía del centro del virreinato, había estado en los márgenes del control de la monarquía.

El tema de la fiscalización de la Iglesia por parte de la Corona española ha sido abordado por varios autores, uno de los textos pioneros es el trabajo de Brading (1994), quien en su obra *Una Iglesia asediada: El obispado de Michoacán, 1749-1810*, estudió el impacto que tuvo sobre la Iglesia esta presión económica durante la segunda mitad del siglo XVIII. Esto ha llevado a autores como Nancy Farris (1968), Carolina Ibarra (2000) o Juvenal Jaramillo (2013) a llamar la atención sobre el papel que cumplió la Iglesia al momento de la Independencia como respuesta a dicha presión fiscal. Y si hemos de pensarlo en términos más amplios, Marichal (1985) ha demostrado el impacto de dichas medidas en la economía novohispana en general.

En lo que respecta a los estudios sobre los diezmos, las obras de Ortega (2015) y Tedesco (2014) han demostrado los efectos que desde fines del XVIII tuvo la fiscalización de la Corona sobre los bienes de la Iglesia. Esto se recrudeció aún más a partir de 1804, cuando se emitió la consolidación de vales reales. Finalmente, las recaudaciones acabaron por colapsar debido a los préstamos exigidos a raíz de la invasión de Napoleón a España en 1808 y a la guerra de Independencia (1810-1821). Ambas investigaciones demuestran que, en sus obispados de estudio, la Independencia fue un proceso que mermó la recaudación del diezmo y, por lo tanto, la economía de la Iglesia. Fueron varios los factores que dieron con dicho resultado: el saqueo de las cosechas y ganados, desarticulación de la estructura administrativa, destrucción de las vías de comunicación, quema de trojes, huida de los



administradores, muerte de pobladores, rechazo al pago del diezmo, etc. En dado caso, el proceso y los efectos fueron variados en cada obispado.

Lo que es evidente es que la caída de los diezmos fue un síntoma del resquebrajamiento de la monarquía y de sus instituciones luego de 1808. Además de ello, los estudios sobre el diezmo en años posteriores han demostrado que las condiciones no mejoraron después de la Independencia. En ese momento empezó una larga confrontación por los capitales eclesiásticos, encabezada ahora por el Estado mexicano, que desembocó en la primera reforma liberal y la eliminación de la coacción civil ante la omisión de su pago. A partir de ese momento (1833), el pago del diezmo quedó prácticamente como una limosna que se realizaba con carácter voluntario, lo que llevó a una profunda crisis recaudatoria (Costeloe, 1966; Staples, 1976; Ortega, 2015; López, 2017; Bueno, 2024).

En suma, el estudio del diezmo es un tema que permite analizar temas diversos como la producción agropecuaria, el clero, la consolidación de haciendas y ranchos, la fiscalización por parte de la Corona, el control del territorio, el impacto de la guerra de Independencia, etc. En este trabajo, presentamos los primeros resultados de un proyecto que busca estudiar el proceso de conformación y consolidación del obispado de Linares entre 1777 y 1821. Los resultados aquí vertidos, son producto de una revisión y análisis serial de las actas de cabildo de la catedral de Monterrey y de los libros de recaudación del diezmo. Nos hemos centrado en el periodo 1800-1821 con la finalidad de conocer los montos de dicho gravamen y compararlos con los ingresos de otras diócesis del virreinato novohispano. Como parte de los objetivos de este proyecto está comprobar hasta qué punto la diócesis de Linares puede darnos un panorama general del poblamiento y producción del noreste novohispano y saber hasta qué punto el movimiento de Independencia y la fiscalización por parte de la Corona impactaron en el proceso de creación y asentamiento del obispado.

EL OBISPADO

El proceso de conquista y colonización del noreste novohispano había resultado infructuoso en muchos sentidos para la Corona española hasta bien entrado el siglo XVIII. Uno de los factores era la población, el crecimiento demográfico no era exponencial como en las grandes urbes del centro virreinal. Según el censo, de 1790, del virrey Juan Vicente de Güemes Pacheco y Padilla, el total de la población en Nueva España era de 4 millones 603 mil 772 habitantes, de los cuales 224 mil 280 pertenecían a la intendencia de San Luis Potosí, encargada desde 1786 de la administración de los territorios de Texas, Nuevo Santander, Coahuila, el Nuevo Reino de León y los distritos de Charcas, Altamira y Catorce. Esto representó un gran reto para el intendente Bruno Díaz de Salcedo, pues su jurisdicción era la más grande del Imperio, pero la población total de la intendencia representaba apenas un 4.8% del total de los habitantes de la Nueva España (Castro, 2010). En cuanto al ámbito eclesiástico, los poblados del noreste respondían a los lejanos obispados de Guadalajara, Michoacán y México, por lo que es de suponerse que la comunicación era lenta, además de un reto para los obispos en sus visitas pastorales.

El primer paso para ejercer un mayor control sobre la región se produjo tras la visita de José de Gálvez, que concluyó en la creación de la Comandancia General de Provincias Internas en 1776, un proyecto de corte político-militar que buscaba optimizar el frente contra las incursiones de "indios bárbaros". Hasta ese momento, el sistema de presidios y misiones había sido el predilecto para controlar los territorios del norte. No obstante, el poblamiento de regiones como el noreste novohispano seguía un paso lento. Durante la segunda mitad del siglo XVIII apenas se había logrado el control, por parte de la Corona, del llamado Seno Mexicano, mediante el establecimiento de la colonia del Nuevo Santander (Olvera, 2019), mientras que el poblamiento de Texas avanzaba despacio. Por esta razón, el establecimiento de un obispado era, también, una estrategia para ayudar al poblamiento y garantizar el adoctrinamiento de la población que, si bien escasa, para finales del



XVIII tenía presencia desde Parras, en los límites del bolsón de Mapimí, hasta el océano Atlántico, y desde Saltillo hasta la Bahía de Galveston.

En 1777, el papa Pío VI promulgó la bula *Relata Semper*, donde decretó la creación del obispado de Linares, sufragáneo a la archidiócesis de México. Como parte de esta medida administrativa también se estableció el obispado de Sonora, “y se planteó desde fines del siglo XVIII la creación eventual de otros en Chilapa, Veracruz y Valles, cerca de la ciudad de San Luis Potosí” (Connaughton, 2021). Originalmente, se planteó que la sede episcopal estuviera en Nuevo Santander, pero el rey Carlos III optó por Linares, un poblado mejor articulado con las provincias de Coahuila y Texas. No obstante, a partir de 1792 la silla episcopal acabó por instalarse más al norte, en la ciudad de Monterrey, debido a que era la población mejor comunicada con el resto del territorio norestense.

El primer obispo de Linares fue fray Antonio de Jesús Sacedón, aunque nunca llegó a la sede episcopal, pues enfermó en el camino y murió en Monterrey, en una celda del convento de San Francisco. El segundo obispo fue fray Rafael Joseph Verger, quien solicitó en 1787 la colaboración del ayuntamiento para iniciar la construcción del palacio episcopal. La muerte lo alcanzó en 1790. Después de una breve gobernatura de don Gaspar González Candamo, finalmente pudo establecerse un obispo, don Ambrosio de Llanos y Valdés, que desempeñó labores importantes. Además de consolidar la sede en Monterrey, a él le correspondió la tarea de formar el primer cabildo eclesiástico, en 1790, originalmente con seis miembros, número que aumentó en los años siguientes. El cuarto obispo fue Primo Feliciano Marín y Porras, quien gobernó la diócesis entre 1801-1815. Dicho obispo tuvo que dejar la sede episcopal al inicio de la guerra de Independencia. Volvió después y murió en su diócesis en medio de fuertes enfrentamientos con su cabildo y con el gobernador del Nuevo Reino de León, don Joaquín de Arredondo, quien entre 1814 y 1821 implantó un férreo control del noreste. La misma suerte que su antecesor vivió el obispo José Ignacio de Arancibia y Hormaguei, 1817-1821. Luego de la muerte de Arancibia, la diócesis tuvo que enfrentar una larga sede vacante hasta 1831.



De acuerdo con el estudio realizado por Castillo (2020), el obispado enfrentó diversos problemas al inicio de su fundación, pero muy pronto, bajo el gobierno del obispo Llanos y Valdés, logró asentarse. Para 1800 la recaudación decimal logró ponerse en orden y aumentaron los miembros del cabildo y otros oficios catedralicios. Gracias a lo anterior, la catedral de Monterrey se convirtió en un proyecto exitoso que iba viento en popa. Gracias a la ganadería y la producción agropecuaria de la región, los diezmos incluso superaron a los de catedrales como Yucatán, Chiapas o Oaxaca, que habían sido fundadas desde el siglo XVI. Esto no deja de sorprender, pues es una muestra de que, para fines del periodo virreinal, a pesar de la falta de presencia indígena que era explotada como mano de obra, y del continuo ejercicio de la guerra en contra de los “indios bárbaros”, el noreste novohispano había logrado consolidar una importante red de unidades de producción, que contrasta con los razonamientos tradicionales que conciben este territorio como empobrecido y de “periferia”.

LOS DIEZMOS

Castillo (2020) señala que cuando se proyectó el obispado de Linares, en la década de 1770, el contador general, don Tomás Ortiz de Landazuri, proyectaba que el obispado de Linares, gracias a la fertilidad de las tierras de las Provincias Internas de Oriente, podrían sumar 80 mil pesos, 30 mil pesos más de lo que habían proyectado Palacios y Osorio, encargados por el virrey Francisco de Croix de la elaboración del plan para el obispado en 1769. Estas sumas habían convencido al rey de la viabilidad del proyecto episcopal, que fue aprobado en 1773. A pesar de estas visiones positivas, cuando el obispo Sacedón se hizo cargo del obispado, en 1779, señaló que los diezmos apenas sumarían 31 mil 500 pesos. No obstante, en el periodo del prelado Joseph Verguer se logró consolidar un aparato administrativo que acabó por demostrar la proyección de Landazuri. En 1790 la catedral recaudó 80 mil 691 pesos, una vez restados los gastos de recaudación, la suma



líquida repartible entre el obispo y los miembros del cabildo eclesiástico fue de poco menos de 61 mil pesos.

De acuerdo con Castillo (2013), desde el siglo XVI la repartición de los diezmos se realizaba de la siguiente manera: el total de la suma líquida repartible se dividía en cuatro partes, una correspondía al obispo y la otra al deán y cabildo eclesiástico. Las otras dos cuartas partes se dividían en nueve porciones, dos de las cuales correspondían al rey, en señal de cabeza del Real Patronato. De las siete partes restantes 4 pertenecían a los curas, una y media a la fábrica de las iglesias y catedrales, y una porción similar para el mantenimiento del hospital, que en cada obispado estaba bajo el cuidado de la catedral. Esta tradicional distribución cambió a inicios del siglo XIX, cuando, en medio de los apuros económicos de la Corona, ésta decidió crear un nuevo noveno, el cual se extraería del total de los diezmos divisibles, antes de cualquier repartimiento.

Como se demuestra en la Figura 1, los diezmos continuaron al alza entre 1790 y 1809. Para 1799 la suma recaudada superó los 160 mil pesos y en 1809 fue de 175 mil 726 pesos. Si comparamos las sumas con la de otras catedrales, veremos que Linares era entonces un proyecto exitoso cuyos diezmos aumentaban de la mano del poblamiento, el trabajo de la tierra y el aumento de la ganadería. Si bien, estaba lejos de las sumas recaudadas por las catedrales más importantes del virreinato, distaba mucho de ser un obispado pobre. Basados en este aumento decimal podríamos señalar que, para la década 1800-1810, el noreste novohispano era una región bien articulada y con una importante producción agropecuaria.



Figura 1. Gruesa decimal de la catedral de Linares, 1790-1810
AHAM, Diezmos, 1774-1824.

La catedral de Monterrey, sede del obispado de Linares, se había convertido para ese momento en el centro religioso y político más importante de la región. Desde ahí se administraba el territorio eclesiástico que quedó plasmado en los diezmatorios de la catedral (Tabla 1). Así mismo, dicha catedral se había consolidado como una importante prestamista de los hacendados de la región, lo que demuestra la articulación entre el proyecto diocesano y las élites regionales. Castillo (2024) señala como ejemplo que, tan solo entre 1802 y 1804, la catedral tenía prestados a réditos, del cinco por ciento, 65 mil pesos a los hacendados del obispado.

Tabla 1. Diezmatorios de la catedral de Monterrey 1800-1810
Castillo, 2024.

Aguayo	Linares	Saltillo
Altamira	Nacogdoches (presidio)	San Antonio de Béjar (presidio)
Aranza	Monclova (1803)	San Carlos
Cadareyta	Monterrey	San Fernando (presidio)
Candela	Padilla	San Francisco Mezquital
Cerralvo	Palmillas	San Nicolás
Cerro de Santiago	Pesquería Grande	Santa Bárbara
China (se crea en 1808 al dividir el diezmatorio del Valle del Pilón en dos)	Presas del Rey	Santander
Cinco villas del norte (Reynosa, Camargo, Mier, Revilla y Laredo)	Provincia de Coahuila	Santillana
Escandón	Provincia de los Texas	Soto la Marina
Horcasitas	Punta de Lampazos	Tula
Hoyos	Real de Boca de Leones	Vallecillo
Huajuco	Real de los Infantes	Valle de Santa Catarina y Hacienda de San Pedro
Iguana	Río Blanco	Valle del Pilón
Jaumabe	Río Grande (Presidio)	Villa de Marín (se crea en 1808 al dividir el diezmatorio de Salinas en dos)
Labradores	Salinas	

No obstante, diversas circunstancias acabaron por mermar el proyecto episcopal. A los impuestos cobrados por la Corona a lo largo del siglo XVIII, como la *media annata* (medio año de salario al ingresar al cabildo eclesiástico), la *mesada* (un mes) y los diversos subsidios para apoyar a los gastos imperiales (Aguirre, 2014), se sumó la exigencia de diversos préstamos gratuitos y forzados como resultado de las guerras con Francia y Gran Bretaña. A fines del siglo XVIII la Corona recurrió incluso al cobro de la *annata* completa, es decir, un año de salario sobre los cargos eclesiásticos otorgados, y se adjudicó el monto de las prebendas vacantes en todas las catedrales (Castillo, 2020). Las cosas no mejoraron, en 1804 se decretó la consolidación de vales reales en todo el territorio de la Corona. Dicho decreto exigía el cobro de los dineros que la catedral tuviera dados en préstamo y su envío a la Corona, la cual se encargaría de continuar con el pago de los réditos como deudora.

Como se puede observar en la Figura 1, en Monterrey dicho decreto no tuvo un impacto importante, lo anterior debido a que el cabildo y el obispo supieron aprovechar la distancia que mediaba con la capital del virreinato para retrasar los cobros. Misma estrategia utilizaron ante otras solicitudes. Sin embargo, no siempre pudieron evadirlas, en 1808, tras la invasión de España por parte de Napoleón y la deposición de Fernando VII, tanto el obispo como el cabildo tuvieron que realizar un préstamo por 10 mil pesos y uno más por 30 mil un año después. Si bien todas estas acciones fiscalizadoras mermaron los capitales catedralicios, no tuvieron un impacto directo en la recaudación decimal, que hasta 1809 continuó en ascenso. Caso muy distinto ocurrió en 1810. Dicho año llegaron noticias del levantamiento de Hidalgo acompañadas de una nueva solicitud, esta vez por 100 mil pesos "en calidad de reintegro para la guerra que se hace a los insurgentes del pueblo de Dolores y villa de San Miguel el grande" (AHAM, 1810). A pesar de lo apremiante, el cabildo y el obispo mostraron resistencia para prestar una cantidad tan alta argumentando que no se contaba con recursos. Veremos ahora lo que significó este periodo de 1810 a 1821 para la catedral. Veremos que, si bien la fiscalización de la

Corona mantuvo siempre en jaque a las cuentas catedralicias, el verdadero impacto vendría con el movimiento insurgente.

EL MOVIMIENTO INSURGENTE

La guerra de Independencia representa el inicio de la caída de la recaudación decimal en el obispado de Linares. Los insurgentes tomaron Monterrey en 1811. A su llegada fueron recibidos con ceremonial público en el que participó la catedral. Ante la falta de recursos, Jiménez solicitó a la catedral un préstamo por 100 mil pesos, los cuales fue necesario otorgar ante la presencia del ejército insurgente y la ausencia del obispo Marín, quien había huido hacia el norte. Sin embargo, la presencia insurgente fue efímera. El aprisionamiento de Hidalgo, Allende y los demás insurgentes en Acatita de Baján, desarticuló el movimiento en el noreste. A pesar de esto, entre 1811 y 1815 existieron varios factores que ocasionaron inestabilidad social y económica en la región. En 1813 la provincia de Texas intentó independizarse del gobierno español, mientras que en esos años se recrudecieron los ataques de indígenas en la zona. La guerra coincidió, además, con una epidemia de Tifo que asoló la región y se sumó la llegada del capitán Joaquín de Arredondo, quien gobernó con mano dura en el territorio, desestabilizando aún más la región.

Arredondo, como comandante de las Provincias Internas de Oriente, entró en Monterrey en 1814. Designó a la ciudad como su cuartel general nombrando a “vecinos pudientes” como parte de la armada local. El ayuntamiento de la ciudad se opuso a esto argumentando que: “muchos brazos productivos se distraerían de su actividad económica, que se hallaba en fatales condiciones” (Jauregui, 2019). El cabildo de la ciudad no mentía. Si lo analizamos desde la recaudación del diezmo, entre 1813 y 1814 la gruesa decimal no superó los 140 mil pesos, si a esto restamos los gastos de recaudación, los cuales se dispararon como nunca, el monto divisible fue de apenas 35 mil pesos cada uno de esos años (Figura 2).



Por si esto no fuera suficiente, entre 1814 y 1815, tanto el ayuntamiento como el cabildo eclesiásticos se enfrascaron en una lucha que llegó hasta los tribunales de la ciudad de México y a la Corte española. Arredondo vio siempre con malos ojos la participación del cabildo en la entrada del insurgente Jiménez a la ciudad y el préstamo entregado a éste por 100 mil pesos. Aunado a esto, el cabildo rivalizó siempre con Arredondo, quien trató de hacer valer su autoridad sobre éste en calidad de vice patrono real. El regreso de Fernando VII no ayudó en nada al cabildo, que se mantuvo siempre en conflicto con dicho personaje.

Sumemos a lo anterior, como dijimos antes, que en este periodo se recrudecieron los ataques indígenas en el noreste. Los Comanches aprovecharon la incertidumbre y atacaron los poblados más vulnerables, como las villas norteñas de Nuevo Santander. En 1817 todavía se decía que las diversas naciones “bárbaras” de comanches, lipanes y tancagües, asolaban todas las provincias orientales (Rivaya, 2023). Según los libros de diezmos de la catedral, poblados como Camargo, justo en los alrededores del Río Bravo, aparecería sin registro diezmal en 1816 y 1817, extendiéndose este tipo de registros hasta poblados centrales, como Santo Domingo de Hoyos y Padilla. Esto se reflejó en la curva de ingresos de esos años, tanto de la recaudación total, como en el líquido divisible (Figura 2).

En los años siguientes, la guerra contra la insurgencia había asolado las arcas de las Provincias Internas de Oriente. El virrey Juan José Ruiz de Apodaca ordenó a Arredondo ir tras Francisco Javier Mina, quien había llegado a las costas novohispanas. Arredondo dijo no poder cumplir con la orden debido a que sus tropas se hallaban en la más absoluta pobreza. Argumentaba, además, que llevaban cuatro años padeciendo privaciones debido a la pobreza de la economía regional y la escasez general de alimentos (Jauregui, 2019). De cualquier modo, Arredondo reunió a los gobernadores de Coahuila, Nuevo Reino de León y Nuevo Santander, quienes planificaron la obtención de recursos por parte del comandante, lo que incluyó préstamos forzosos y cobro de impuestos. Aunque devastados económicamente por diez años de guerra en múltiples frentes, la región se mantuvo en paz entre 1819 y



1820. No obstante, el logro tenía un sabor agridulce, en 1821 se recibió la noticia de la promulgación del Plan de Iguala de Iturbide. La declaración de independencia, a pesar de todo, no solucionó la inestabilidad política y económica que se prolongó a lo largo de la siguiente década.

LOS DIEZMOS DEL OBISPADO, 1810-1821

A diferencia del periodo 1790-1810 en el cual los diezmos crecieron de forma continua con apenas algunas variaciones anuales, la década de 1810-1821 estuvo marcada por la caída de la recaudación decimal. La Figura 2 demuestra la tendencia a la baja y comprueba que el proceso vivido en el noreste novohispano fue muy similar al que enfrentaron los obispados de Guadalajara y Michoacán, y el arzobispado de México. En el obispado de Linares, es evidente que la guerra de Independencia dañó la estructura administrativa que habían creado el obispo y el cabildo eclesiástico de Monterrey. Asimismo, los años de guerra socavaron la economía regional lo que impactó en la recaudación. Los diezmos pasaron de 175 mil pesos que se recaudaban en 1810, a 83 mil pesos en 1821. Ahora bien, si atendemos solo la suma divisible, que era distribuida luego de descontados los gastos de recaudación, la cantidad se reducía mucho más. Debemos sumar a esto que, de acuerdo con nuestra revisión de los datos, entre 1810 y 1821 estos gastos fueron considerablemente más altos que los del periodo 1790-1809. Así, la suma divisible pasó de 72 mil 553 pesos en 1810, a 48 mil 963 en 1821. Durante este periodo el peor momento recaudatorio ocurrió de 1813 a 1814, cuando el divisible fue de apenas 35 mil pesos como resultado de los efectos de la guerra y la epidemia de Tifo de 1814.



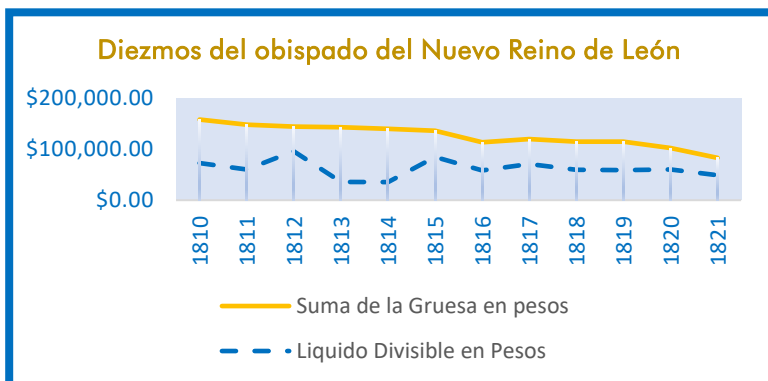


Figura 2. Diezmos del obispado del Nuevo Reino de León, 1800-1821
AHAM, Diezmos, 1774-1824.

Hemos comparado lo ocurrido en el obispado de Linares con los obispados y con el arzobispado de México. Siguiendo los datos brindados por Ortega (2015), encontramos que el comportamiento de la curva de la recaudación decimal fue muy similar (Figura 3). Entre 1810 y 1815 la catedral de México enfrentó la mayor caída de los diezmos. Este primer momento tuvo una relación directa con la guerra. A partir de 1816, al igual que el obispado de Linares, en el arzobispado se vivió un periodo de recuperación en la captación del diezmo, pero a partir de 1821 las cifras se desplomaron nuevamente. Ortega ha señalado que en este proceso se debe tener en cuenta que, además de los factores que ya hemos enumerado, una buena parte de la población se negó a pagar el impuesto luego de 1821.

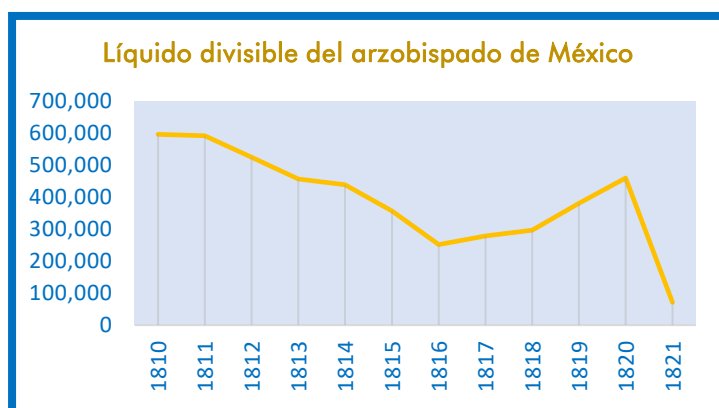


Figura 3. Líquido divisible del arzobispado de México, 1810-1821
Ortega, 2015, p. 243.

Tedesco (2014) encuentra un comportamiento similar en los diezmos de Guadalajara y Michoacán entre 1810 y 1821 (Figuras 4 y 5). Si bien existen algunas variaciones anuales, en general, el comportamiento de la recaudación tiene cuatro momentos identificables. El primero se encuentra entre fines del siglo XVIII y 1808, periodo de alza en la recaudación decimal. A partir de este año iniciaría una segunda etapa que duraría hasta 1814, estaría enmarcada por las abdicaciones de Bayona, el movimiento insurgente y la epidemia de 1814. Un tercer periodo, en el cual se dio una recuperación discreta de la recaudación, ocurrió entre 1815 y 1820, coincidiendo con la restauración de la Corona española y, finalmente, una cuarta etapa que Tedesco (2014) ubica entre 1821 y 1824 y que tiene como resultado la caída abrupta de los diezmos. Como puede apreciarse en la Figura 5, Guadalajara tiene algunas variaciones, por ejemplo, la caída decimal no fue tan grave como en Linares, México o Michoacán. A pesar de ello, el comportamiento a lo largo del periodo conllevó un proceso similar. Por esta razón, como lo ha demostrado la historiografía, es importante analizar los diversos casos por separado para comprender las particularidades político-territoriales.

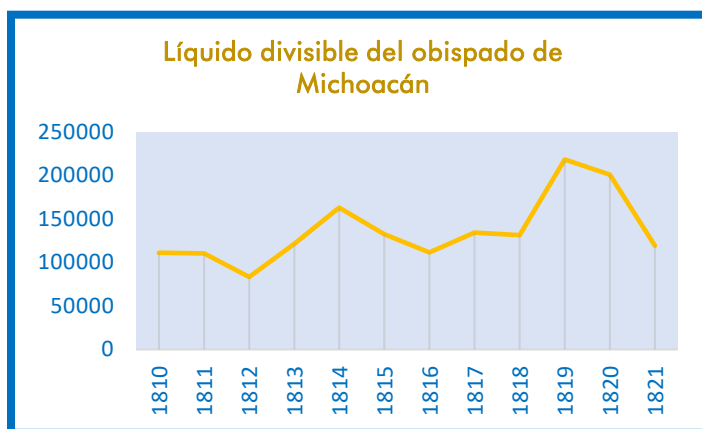


Figura 4. Líquido divisible del obispado de Michoacán, 1810-1821
Tedesco, 2014, p. 353.



Figura 5. Líquido divisible del obispado de Guadalajara, 1810-1821
Tedesco, 2014, p. 356.

Caso similar ocurre con el análisis a nivel local. Como cierre de este avance de investigación, decidimos presentar el caso de tres poblaciones por separado: la villa de Saltillo, la población con mayor recaudación decimal; la villa de Monclova, capital de la provincia de Coahuila y Monterrey, sede del obispado (Figura 6). Empecemos por Saltillo: a partir de 1808 la villa vivió un descenso en la recaudación decimal, pero se recuperó en 1813 cuando los diezmos alcanzaron casi los 25 mil pesos. A pesar de eso, entre 1813 y 1815 los diezmos cayeron, tal vez más como resultado de la epidemia de Tifo que de las secuelas de la guerra. Gustavo González y Paloma Quezada (2020) señalan que la epidemia cobró la vida de unas 552 personas en Saltillo y, al año siguiente, otras 178 fallecieron a causa de una epidemia de viruela. A pesar de que hubo una tenue recuperación entre 1816 y 1817, la tendencia fue a la baja.

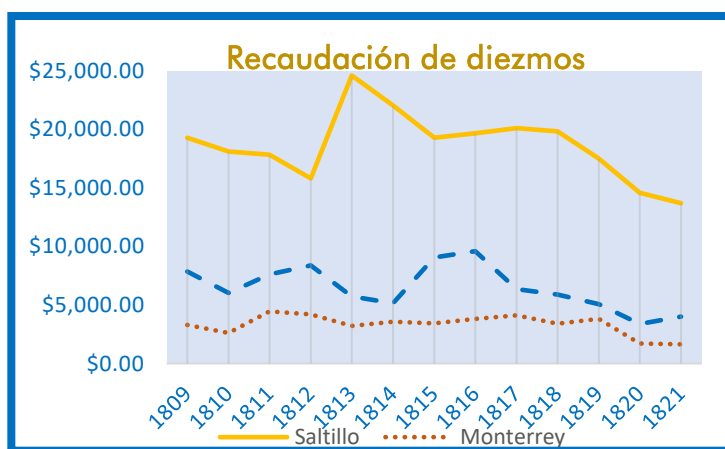


Figura 6. Recaudación de diezmos a nivel local: los casos de Saltillo, Monterrey y Monclova (Coahuila). AHAM, Diezmos, 1774-1824.

Monclova, por su parte, si bien mostró un comportamiento distinto al de Saltillo entre 1810 y 1812, resultado tal vez de la lejanía con el epicentro más conflictivo, a partir de 1812 siguió el mismo patrón: una tendencia a la baja con un repunte entre 1815 y 1816. Finalmente, Monterrey se mantuvo relativamente estable entre 1811 y 1819, a pesar de ser el centro del conflicto también era el territorio mejor administrado y bajo control catedralicio. Debemos aclarar que las rentas no eran muy significativas, se mantuvieron siempre por debajo de los cinco mil pesos. Con todo, a partir de 1819 también tuvieron un marcado descenso.

CONCLUSIONES

Este ha sido un estudio preliminar de lo acaecido durante 1800 y 1821 en el obispado de Linares. Hemos descrito, de manera general, las diversas crisis que pudieron tener relación directa o indirecta con la fluctuación económica de las recaudaciones anuales del diezmo. Con la información presentada, estimamos que la hipótesis quedó comprobada. Hemos demostrado que la baja en los diezmos en el periodo 1810-1821 fue multifactorial, pero que la guerra de Independencia ocupó un lugar causal fundamental al ocasionar la desarticulación del viejo orden virreinal. La guerra, las epidemias, los conflictos políticos y la inestabilidad generada por las incursiones de indios de guerra fueron varios de los factores avivados por la guerra insurgente.

Asimismo, por los montos registrados y su comparación con el de las gruesas decimales de otros obispados, hemos comprobado que el obispado de Linares, a pesar de ser una diócesis recién fundada, estar en tierra de guerra viva y con supuestos problemas de poblamiento, en realidad era un proyecto exitoso y que muestra un noreste distinto al que suele dibujar la historiografía. Nuestro trabajo presenta un territorio con una producción agropecuaria importante que debió estar basada en el aumento de la producción de la tierra, la ganadería y el crecimiento de la población blanca y mestiza. Sin duda, el obispado de



Linares era un proyecto creciente que sucumbió, como muchos otros, como resultado de la guerra insurgente. Los fuertes conflictos políticos, dejaron su marca en este periodo y en los consecuentes. Como bien han demostrado otros trabajos, los conflictos entre la Iglesia y el Estado mexicano en las décadas siguiente, poco abonarían a la recuperación de la economía eclesiástica. En suma, entender este proceso es comprender también el significado de la época virreinal y la aparición de nuevos actores institucionales que caracterizaron el siglo XIX.

REFERENCIAS

- Aguirre, R. (2014). El subsidio eclesiástico y la política de Felipe V en la Iglesia indiana: un camino por explorar. *Tzintzun. Revista de Estudios Históricos*, 60: 45-73.
- Archivo Histórico de la Arquidiócesis de Monterrey (AHAM). Libro general de *Diezmos*, 1774-1824.
- Brading, D. (1994). Una Iglesia asediada: el obispado de Michoacán, 1749-1810. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bueno, E. (2024). Repartición decimal y conflicto Iglesia-Estado. El caso de Durango, 1824-1833. *Estudios de Historia Moderna y Contemporánea de México*, 68: 33-60.
- Castillo, J. G. (2013). La catedral de México y su cabildo eclesiástico (1530-1612). Zamora, Michoacán, El Colegio de Michoacán.
- Castillo, J. G. (2020). El obispado y el cabildo eclesiástico de Linares, 1777-1808. *Hispania*. 80: 467-496.
- Castillo, J. G. (2024). Asentar la Iglesia en frontera de guerra. El cabildo eclesiástico de Linares, 1790-1810. En G. Castillo y T. Calvo (coords). *Apostólicos trabajos en las fronteras del imperio. Proyectos eclesiásticos y práctica misional, siglos XVI-XVIII* (pp. 201-214). Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán, Universidad Autónoma de Coahuila.
- Castro, H. (2010). *Primer Censo de la Nueva España 1790: Censo de Revillagigedo "Un Censo Condenado"*. México: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

- Connaughton, B. (2021). De las reformas borbónicas a la reforma mexicana (1750-1876). En A. Rubial, B. Connaughton, M. Ceballos y R. Blancarte (coords). *Historia mínima. La Iglesia católica en México* (pp. 89-158). México: El Colegio de México.
- Costeloe, M. (1966). The administration, collection and distribution of tithes in the archbishopric of Mexico, 1800-1860. *The Americas* 23: 3-27.
- Enríquez, D. (2024). Misiones y curatos en las provincias de Sonora y Ostimuri (1610-1830), En G. Castillo y T. Calvo (coords). *Apostólicos trabajos en las fronteras del imperio. Proyectos eclesiásticos y práctica misional, siglos XVI-XVIII* (pp. 17-36). Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán, Universidad Autónoma de Coahuila.
- Farris, N. (1995). La Corona y el clero en el México colonial, 1579-1821. La crisis del privilegio eclesiástico. México: Fondo de Cultura Económica.
- González, J. G. y Quezada, D. P. (2020). Causas de muerte en el sur de la provincia de Coahuila a principios del siglo XIX, en C. Cramaussel y T. Dimas (eds.), *Causas de muerte: aportes metodológicos a partir de fuentes preestadísticas y médicas* (pp. 87-106). Zamora, Michoacán: El Colegio de Michoacán.
- Herrejón, C. (2022). *Hidalgo. Maestro, párroco e insurgente*. México: Debate.
- Ibarra, A. C. (2000). El cabildo catedral de Antequera, Oaxaca, y el movimiento insurgente. Zamora, Michoacán, El Colegio de Michoacán.
- Jáuregui, L. (2019). Las tareas y tribulaciones de Joaquín de Arredondo en las Provincias Internas de Oriente, 1811-1815. *Históricas Digital*. 55: 271-302.
- Jaramillo, J. (2013). Fiscalidad en Nueva España. El obispo y el Cabildo Catedral de Michoacán ante la crisis fiscal Borbónica. *América Latina en la Historia Económica*. 20: 56-89
- López, O. (2017). La gruesa decimal en Michoacán y la creación de la contaduría de diezmos, 1824-1835. *Revista tiempo&economía*. 4: 9-26.
- Marchial, C. (1999). *La bancarrota del virreinato. Nueva España y las finanzas del Imperio español, 1780-1810*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Olvera, F. (2019). *Sobrevivir o fenecer en el noreste novohispano. Estrategias de los indígenas ante la colonización y su incidencia en el comportamiento de la resistencia nativa en Nuevo Santander, 1750-1796*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis.

Ortega, C. A. (2015). *El ocaso de un impuesto. El diezmo en el arzobispado de México, 1810-1833*. México: Instituto José María Luis Mora.

Rivaya-Martínez, J. (2023). La quiebra de relaciones hispano-comanches durante la insurgencia", en J. G. González (coord.), *El noreste ante la colonización hispana y la independencia de México (siglos XVI al XIX)* (pp. 235-263). Saltillo: Universidad Autónoma de Coahuila.

Staples, A. (1976). *La Iglesia en la primera república federal mexicana, 1824-1835*. México: Secretaría de Educación Pública, Dirección General de Divulgación.

Tedesco, E. M. (2014). Diezmo indiano. La fiscalidad eclesiástica frente a la ofensiva borbónica y la guerra de independencia (diócesis de México, Guadalajara y Michoacán, 1750-1821). México, El Colegio de México.



NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS CON NANOPARTÍCULAS CERÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

POLYMERIC NANOCOMPOSITES WITH CERAMIC NANOPARTICLES
FOR WATER TREATMENT

MARLENE LARIZA ANDRADE
GUEL¹

GREGORIO CÁRDENAS
PLIEGO¹

DIEGO MARTÍNEZ
CARRILLO³

CHRISTIAN JAVIER CABELLO
ALVARADO^{1,2}

MARISSA PÉREZ ÁLVAREZ¹

RESUMEN

La escasez de agua es una realidad que afecta principalmente a las regiones del norte y centro de México. Una alternativa es el tratamiento del agua dulce contaminada para así abastecer las necesidades diarias del consumo industrial y doméstico. Debido a esto, se requiere de la búsqueda de nuevos materiales adsorbentes selectivos, con mayor capacidad de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Los nanocompuestos poliméricos sintéticos o naturales poseen propiedades únicas como adsorbentes de contaminantes. En este trabajo se resumen las principales investigaciones acerca de los nanocompuestos poliméricos con aplicación para el tratamiento de agua.

Palabras clave: nanocompuestos; nanopartículas cerámicas; agua; tratamiento.

1. Centro de Investigación en
Química Aplicada, Saltillo,
Coah.

2. CONAHCYT-CIQA,
Saltillo, Coahuila.

3. Centro de Investigación en
Geociencias Aplicadas,
Unidad Norte, UAdeC.

ABSTRACT

Water scarcity is a reality that mainly affects the northern and central regions of Mexico. An alternative is the decontamination of fresh water to supply the daily needs of industrial and domestic consumption. Due to this, the search for new selective adsorbent materials is required, with greater capacity to remove organic and inorganic contaminants. Synthetic or natural polymeric nanocomposites have unique properties as contaminant adsorbents. This work summarizes the main research on polymeric nanocomposites with application for water treatment.

Keywords: nanocomposites; ceramic nanoparticle; water; treatment.

Correspondencia
gregorio.cardenas@ciqa.edu.mx
ORCID: 0000-0002-2692-4995

Recepción de artículo
24 de octubre de 2024

Artículo aceptado
14 de noviembre de 2024.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha crecido la demanda de agua potable, no obstante, las fuentes de agua dulce no logran abastecer esta demanda ocasionado un estrés hídrico en el mundo. El 25% de la población en el mundo tiene que hacer frente, cada año, a condiciones de estrés hídrico de carácter extremadamente alto; se prevé que para el 2050 más del sesenta por ciento de la población enfrentará un mes al año el estrés hídrico (World Resoruce Institute, 2023).

Los países en América Latina con más estrés hídrico son Chile y México. Nuestro país cuenta con regiones semidesérticas y es vulnerable a sequías que han ido aumentando en frecuencia y duración, lo que ocasiona una crisis de agua debido a una mayor demanda para consumo doméstico, industrial, ganadero y agrícola. Aunque se cuenta con agua dulce proveniente en ríos, lagos y arroyos, la mayoría se encuentra contaminada por compuestos orgánicos como colorantes, pesticidas, herbicidas, medicamentos, entre otros y compuestos inorgánicos principalmente metales pesados provenientes de industrias (Ávila y col., 2021). Una manera de abordar este problema es ayudar a reducir y/o eliminar la contaminación de las fuentes de agua dulce en México. Existen diferentes métodos para la descontaminación del agua, los más comunes son los físicos (filtración, precipitación, tamizado, separación), químicos (cloro, coagulación, procesos electroquímicos, oxidación, intercambio de iones) y biológicos (a base de microorganismos) (Andrade y col., 2023). Uno de los métodos que ha atraído especial atención es la adsorción, debido a que es un método sencillo y eficaz para la remoción de contaminantes (Sotelo y col., 2013). Así se han reportado diferentes materiales adsorbentes como estructuras carbonosas, zeolitas, óxidos e hidróxidos de metales, compuestos y nanocompuestos poliméricos (Acuña y col., 2016).

Los nanocompuestos poliméricos se destacan en su implementación como material adsorbente, específicamente las membranas son de gran interés debido a que logran la separación de contaminantes y retienen selectivamente compuestos, diversas investigaciones se han

enfocado en optimizar la selectividad de éstas y mejorar la resistencia química y mecánica.

Por otra parte, el desarrollo de nuevos nanocompuestos a base de polímeros sintéticos y naturales adicionando nanopartículas (NPs) cerámicas ofrece un campo de innovación y una alternativa para el tratamiento de agua. En este trabajo se recopilan los principales estudios de nanocompuestos poliméricos tanto sintéticos como naturales, y su aplicación en el tratamiento de agua.

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS SINTÉTICOS

La filtración por membranas poliméricas es una tecnología viable para eliminar selectivamente los contaminantes mediante poros, y pueden clasificarse en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, esta última se dirige a la eliminación de metales pesados, dureza y compuestos orgánicos. Las membranas poliméricas poseen una fisicoquímica compleja que dependiendo de las propiedades fisicoquímicas como: hidrofóbica, hidrofílica, resistencia mecánica, resistencia a la temperatura y las condiciones de operación entre ellas la concentración de alimentación y gradiente de presión a través de la membrana; es su eficiencia en la separación de compuestos y adsorción (Hyder y col., 2006). En la Figura 1. se presenta un esquema de la membrana polimérica, primero se alimenta con la solución que requiere separarse, después ocurre el proceso de difusión el cual en ocasiones se le añade energía cuando se trata de membranas de intercambio iónico y por último ocurre el permeado.

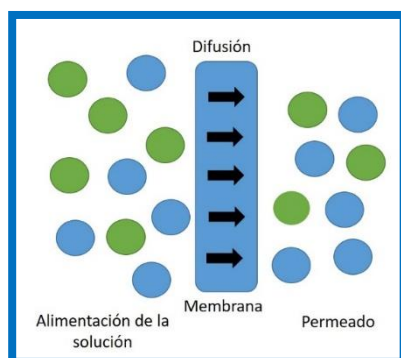


Figura 1. Esquema de una membrana polimérica.

Se han preparado membranas com-puestas de poliétersulfona con nanopartículas (NPs) de óxido de zinc (ZnO) las cuales son irradiadas con radiación ultravioleta (UV) para desinfección de agua, además, se ha reportado la incorporación de NPs de óxido de zirconio (ZrO_2) que son más estables químicamente, y por lo tanto más adecuadas para la filtración en situaciones desfavorables, como por ejemplo en el filtrado de aguas residuales con presencia de bacterias y contaminantes ácidos o básicos. La membrana de poliétersulfona con NPs ZrO_2 presenta una permeabilidad al agua veinte veces mayor en comparación a la membrana de poliétersulfona sin nanopartículas (Wen y col., 2019).

Las membranas de difluoruro de polivinilideno y poli (amida-imida) combinadas con TiO_2 presentan propiedades fotocatalíticas, la presencia de TiO_2 mejora la resistencia a la temperatura y la permeabilidad de la membrana. Las nanopartículas de TiO_2 son ampliamente usadas en el tratamiento de agua porque además de la eliminación de compuestos orgánicos, es posible la eliminación de bacterias contaminantes como *E. coli* (Agboola y col., 2021). Rahimpour y colaboradores (2008) estudiaron el efecto de la radiación de UV sobre membranas de poliétersulfona/ TiO_2 y realizaron tratamientos con y sin radiación, las membranas irradiadas con UV tienen un mayor flujo y mayor resistencia a la suciedad en comparación con la membrana sin radiación (Rahimpour y col., 2008). La membrana de poliétersulfona/ TiO_2 presenta buena permeabilidad con actividad antibacteriana atribuida a la radiación de UV sobre el TiO_2 que genera especies reactivas (ROS) para un efecto bactericida. Además, se han estudiado, membranas de poliétersulfona, polipropileno, fluoruro de polivinilideno incorporando nanopartículas de TiO_2 , las membranas son irradiadas con una lámpara de radiación UV para activar la propiedad de fotocatálisis que produce actividad antibacteriana, autolimpieza y capacidad de descomposición de compuestos orgánicos, esto ayudaría a la remoción de contaminantes tipo orgánico como colorantes, antibióticos, herbicidas, plaguicidas entre otros (Yin y col., 2015).

El ZnO es otra nanopartícula cerámica que puede adsorber la luz en la longitud de onda de 350 a 450 nm. Se ha reportado la eficiencia del



nanocompuesto de ZnO con fluoruro de polivinilideno a diferentes concentraciones de 0.5, 1.5 y 3.0 % (Wen y col., 2019). Asimismo, se ha estudiado el nanocompuesto de polimetilmetacrilato (PMMA) con nanopartículas de ZnO para la degradación de azul de metileno y fenol con la radiación UV, la preparación de este nanocompuesto se realizó mediante sonicación en solución (Di Mauro y col., 2017).

Saeed y col. (2021) prepararon películas de nylon 6,6 y nanocompuestos de nylon 6,6/ZnO mediante el método mezclado en solución donde el polímero se pone en contacto con un solvente en agitación y las nanopartículas se dispersan también en un solvente, afín ambas soluciones se mezclan en agitación y se secan para formar películas, estas se utilizaron para la fotodegradación del tinte rojo, obteniéndose un 58.3 % de remoción; para esta degradación se utilizaron 5 h de irradiación de UV, además se observó que disminuyeron las propiedades mecánicas debido a la aglomeración de las nanopartículas (Saeed y col 2021).

Por otra parte, los nanocompuestos con una matriz polimérica y arcilla se pueden clasificar en tres grandes grupos: microcompuestos de fases separadas, nanocompuestos intercalados y nanocompuestos exfoliados. Algunos polímeros utilizados son poliésteres como el tereftalato de polietileno, polipropileno y poliestireno. Los contaminantes orgánicos removidos mediante adsorción por estos nanocompuestos lo pueden realizar mediante diferentes mecanismos como interacciones electrostáticas y mecanismos de quimisorción para la adsorción eficiente de los contaminantes (Mukhopadhyay y col., 2020).

En la Tabla 1 se resumen algunos nanocompuestos poliméricos sintéticos que contienen nanopartículas cerámicas con aplicaciones en el tratamiento de agua a partir del método de adsorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Tabla 1. Nanocompuestos poliméricos sintéticos para el tratamiento de agua.

Matriz polimérica	Nano-partículas	Aplicación	Referencia
Nylon 6	ZnO	Adsorción de azul de metileno	(Andrade y col., 2021)
Poliamida	SiO ₂	Adsorción de azul de metileno	(Osman y col., 2020)
Poliamida	ZnO	Remoción de Cr (VI)	(Dinari y col., 2018)
Poliétersulfona	ZnO	Adsorción de pesticida organofosfatado (diazinon)	(Mahmoodi y col., 2022)
Estireno	SiO ₂	Adsorción de Remazol Azul Brillante R	(Guerritore y col., 2020)
Polietilenglicol/ polianilina	ZnO-Ag	Adsorción de verde brillante	(Gouthaman y col., 2019)
Poliacrilamida	TiO ₂	Adsorción de cristal violeta	(Raj y col., 2018)
Polipirrol	TiO ₂	Adsorción de naranja de metilo	(Wang y col., 2008)

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS NATURALES

El quitosano es un biopolímero que se obtiene de la reacción en medio básico de la quitina. La quitina se extrae principalmente de los exoesqueletos de artrópodos como cangrejos, camarones, langostas y moluscos (Romero y col., 2020). La preparación de nanocompuestos de quitosano con Fe₃O₄-Al₂O₃ se ha utilizado para la eliminación de aniones de fosfato y nitrato en un tiempo de 60 min. Estos nanocompuestos presentaron una mayor área superficial con cierta porosidad que son sitios activos para la adsorción. También se han probado nanocompuestos de quitosano--Fe₃O₄-ZrO₂ encontraron una menor capacidad de adsorción de los aniones de fosfato y nitrato. La adición de nanopartículas juega un papel importante para mejorar la estabilidad química, adsorción y propiedades mecánicas del nanocompuesto (Khodakarami y col., 2021). En la Tabla 2 se presentan algunos trabajos reportados acerca de nanocompuestos poliméricos naturales para la adsorción de compuestos orgánicos e inorgánicos.



Tabla 2. Nanocompuestos poliméricos naturales para el tratamiento de agua.

Matriz polimérica	Nano-partículas	Aplicación	Referencia
PLA	Nanoarcillas closite 20 A	Adsorción de azul de metileno	(Andrade y col., 2021)
PLA	ZnO-TiO ₂	Adsorción de azul de metileno	(Andrade y col., 2022)
Almidón	ZnO	Adsorción de plomo	(Naushad y col., 2021)
PVA-polivinilbutiral	MnO	Adsorción de plomo, cadmio, cobre	(Azad y col., 2021)
PVA	TiO ₂	Remoción de una mezcla de azul de metileno y naranja de metilo	(Jaseela y col., 2019)
Nanoquitosa n/ carboximetilcelulosa	TiO ₂	Degradación de cristal violeta	(Sugashini y col., 2022)
Alginato de Calcio	TiO ₂	Degradación de naranja de metilo	(Zhao y col., 2014)
Quitosan	Nanopartículas magnéticas	Adsorción de cobre (II)	(Yuwei y col., 2011)

Una búsqueda de patentes otorgadas por país a nivel mundial, relacionadas con el empleo de nanocompuestos para el tratamiento de aguas, arroja que China posee el 79.0% de esas patentes, Estados Unidos de América 11.0 %, Corea 4.0 %, Japón 2.0 % y Rusia 1.0 %. En la Figura 2 se ilustra una gráfica con los resultados de la búsqueda realizada con la base de datos Scifinder. Cabe destacar que México no figura entre los países que patentan, a pesar que presenta graves problemas de contaminación en sus principales ríos. En los próximos años la agenda de investigación en México abordará el tema de tratamientos de aguas residuales y se espera la participación masiva de Universidades y Centros de Investigación de este país.

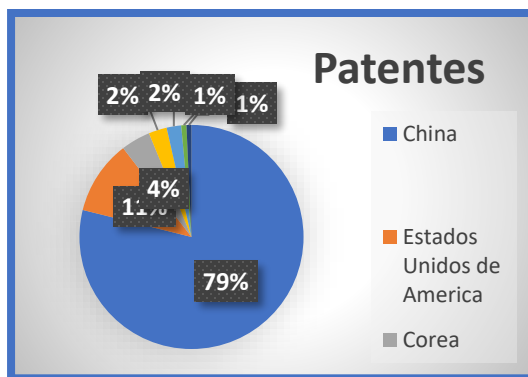


Figura 2. Patentes otorgadas por país, referente al uso de nanocompuestos para el tratamiento de agua. Fuente Scifinder

La patente IN201911018771 A 2020-11-13 se refiere a la fabricación de una tela no tejida con nanopartículas de óxidos metálicos como el ZnO, estas son impregnadas en la superficie de la tela no tejida empelando una dispersión de las NPs ZnO y agua destilada las cuales previamente se someten a sonicación para romper aglomerados, la aplicación es el tratamiento de agua para la eliminación de contaminantes y bacterias (Mangala y col., 2020). Por otra parte, la invención WO2022003252 A1 protege un proceso de obtención de polisacáridos a partir de una materia prima celulósica distinta de la madera y que sus componentes son solubles en agua. El producto obtenido se dirige a varios campos de aplicación, entre ellos el tratamiento de agua, este producto puede ser un aditivo o un componente que puede modificar las propiedades físicas y químicas de un compuesto (Laukkanen y col., 2022). La invención US20190388816 A1 proporciona el proceso de un material filtrante a partir de ácido poliláctico y nanopolvo de titania y se utiliza el método de soplado con aire para formar un material de fibra que tiene efectos filtrantes y capacidad fotocatalítica (Huang 2019). Asimismo, se patenta un método de preparación por electrohilado de una fibra compuesta de nanopartículas cerámicas y un polímero, comprende varios pasos: 1) dispersar las nanopartículas cerámicas en una mezcla de solventes; 2) añadir un vehículo textil con alto contenido de polímero calentar y agitar magnéticamente en un baño de agua y envejecer durante 2-12 h para obtener una suspensión de electrohilado; 3) realizar electrohilado con



la suspensión obtenida y 4) colocar la nanopartícula cerámica-/precursor cerámico/nanofibra compuesta de polímero en un crisol, y sinterizar a 500-1400°C para obtener la fibra nanocompuesta cerámica (Huaibei 2022).

La invención US20230183087 A1 2023-06-15 es acerca de un proceso de preparación de un nanocompuesto a base de quitosano y la síntesis de nanopartículas de SrO para la purificación de agua. La adición de quitosano dio lugar a nanocompuestos y estructuras en forma de varilla que condujeron a una mayor actividad catalítica durante la degradación de ciprofloxacina un fármaco y colorante azul de metileno en presencia de un agente reductor y en diferentes condiciones de pH (Goumri-Said, 2023).

Para la degradación de Rhodamina B y desinfección inhibiendo bacterias como *E. coli* y *S. aureus* la invención CN114505102 A 2022-05-17 se refiere un método para preparar un nanocompuesto de ZnO, polidopamina y AgO comprende varios pasos (1) disolver el precursor de las nanopartículas en solución acuosa, centrifugar la suspensión a temperatura ambiente y lavar y secar (2) agregar las nanohojas de ZnO a una solución tampón Tris-HCl, agitar magnéticamente, agregar clorhidrato de dopamina para reaccionar, centrifugar, lavar después de la precipitación y secar para obtener nanohojas de ZnO-PDA; y (3) agregar las nanohojas de ZnO-PDA a una solución de plata y amoníaco, agitar la reacción a temperatura ambiente, centrifugar, lavar el precipitado (Guo y col.,2022).

CONCLUSIONES

El tratamiento de agua residual es un reto hoy en día, es por eso que se buscan alternativas para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, en esta revisión se demuestra que los nanocompuestos a base de polímeros sintéticos y naturales son una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales. La presencia de nanopartículas fotocatalíticas permite la degradación de contaminantes orgánicos,



además su eficiencia fue demostrada en la descontaminación de colorantes, bacterias, y metales pesados.

Se espera que estas tecnologías sean de utilidad para mejorar la calidad de agua y den respuesta al estrés hídrico que presenta México.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la beca posdoctoral por México 387368 otorgada por el CONAHCYT. También se agradece a Maricela García Zamora y German Alvarado Tenorio por el apoyo otorgado.

REFERENCIAS

- Acuña-Piedra, A., Araya-Obando, A., & Romero-Esquivel, L. G. (2016). Selección teórica de adsorbentes potenciales naturales de bajo costo para la remoción de arsénico en el agua de consumo humano en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29:23-34. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i6.2899>.
- Agboola, O., Fayomi, O. S. I., Ayodeji, A., Ayeni, A. O., Alagbe, E. E., Sanni, S. E. & Oni, B. A. (2021). A review on polymer nanocomposites and their effective applications in membranes and adsorbents for water treatment and gas separation. *Membranes*, 11(2): 139. <https://doi.org/10.3390/membranes11020139>
- Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cabello-Alvarado, C., Cadenas-Pliego, G., Esparza-González, S. C., Pérez-Alvarez, M., & Quiñones-Jurado, Z. V. (2021). Non-Woven Fabrics Based on Nanocomposite Nylon 6/ZnO Obtained by Ultrasound-Assisted Extrusion for Improved Antimicrobial and Adsorption Methylene Blue Dye Properties. *Polymers*, 13(11): 1888. <https://doi.org/10.3390/polym13111888>
- Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C. J., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. A. (2022). PLA-ZnO/TiO₂ Nanocomposite Obtained by Ultrasound-Assisted Melt-Extrusion for Adsorption of Methylene Blue. *Nanomaterials*, 12(23):4248. <https://doi.org/10.3390/nano12234248>
- Andrade-Guel, M. L., Cabello-Alvarado, C. J., Cano-Salazar, L. F., Ávila-Orta, C. A., & Cruz-Delgado, V. J. (2023). Recent Developments in Wastewater

Treatments. *Current Status of Fresh Water Microbiology*, (pp. 241-263). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5018-8_10

Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Romero-Huitzil, R. L., Rodríguez-Fernández, O. S., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., & Cepeda-Garza, J. (2021). Nanocomposite PLA/C20A nanoclay by ultrasound-assisted melt extrusion for adsorption of uremic toxins and methylene blue dye. *Nanomaterials*, 11(10):2477. <https://doi.org/10.3390/nano11102477>

Avila Orta, C.A., Hernández Rodríguez M.L., Lozano Morales S.A. (2021) Primera edición. Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial. Ed. El colegio de Tlaxcala, Pp 120.

Azad, H., Mohsennia, M., Cheng, C., & Amini, A. (2021). Facile fabrication of PVB-PVA blend polymer nanocomposite for simultaneous removal of heavy metal ions from aqueous solutions: Kinetic, equilibrium, reusability and adsorption mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5):106214. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106214>

Chen, A., Zeng, G., Chen, G., Hu, X., Yan, M., Guan, S., ... & Xie, G. (2012). Novel thiourea-modified magnetic ion-imprinted chitosan/TiO₂ composite for simultaneous removal of cadmium and 2, 4-dichlorophenol. *Chemical Engineering Journal*, 191:85-94. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.071>

Di Mauro, A., Cantarella, M., Nicotra, G., Pellegrino, G., Gulino, A., Brundo, M. V., ... & Impellizzeri, G. (2017). Novel synthesis of ZnO/PMMA nanocomposites for photocatalytic applications. *Scientific reports*, 7(1):1-12. <https://doi.org/10.1038/srep40895>

Dinari, M., & Haghghi, A. (2018). Ultrasound-assisted synthesis of nanocomposites based on aromatic polyamide and modified ZnO nanoparticle for removal of toxic Cr (VI) from water. *Ultrasonics sonochemistry*, 41:75-84. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.023>

Goumri-Said, Souraya; Kanoun, Mohammed Benali; Ali, Salamat; Haider, Junaid; Haider, Ali; Ikram, Muhammad, (2023) Method and process to make chitosan-doped strontium oxide nanocomposite for water purification, US20230183087 A1 2023-06-15

Gouthaman, A., Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Thirumarimurugan, M., Ahamed, M. A. R., & Azarudeen, R. S. (2019). Enhanced dye removal using polymeric nanocomposite through incorporation of Ag doped ZnO nanoparticles: Synthesis and characterization. *Journal of hazardous materials*, 373:493-503. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.105>



- Guerritore, M., Castaldo, R., Silvestri, B., Avolio, R., Cocca, M., Errico, M. E., ... & Ambrogi, V. (2020). Hyper-crosslinked polymer nanocomposites containing mesoporous silica nanoparticles with enhanced adsorption towards polar dyes. *Polymers*, 12(6):1388. DOI: 10.3390/polym12061388
- Guo, Aiyong; Ling, Yun; Qin, Baoping; Cai, Aijun; Ji, Zhixin; Dong, Jing Method for preparing ZnO@polydopamine/Ag-Ag₂O nanocomposite material as photocatalyst having antibacterial activity and for sewage treatment, (2022) CN114505102 A 2022-05-17
- HuaiBei Normal University, Electrospinning preparation method of ceramic nano composite fiber (2022) CN115108829 A 2022-09-27.
- Huang, Qian, Melt-blown non-woven filter material (2019) US20190388816 A1 2019-12-26.
- Hyder, M. N., Huang, R. Y. M., & Chen, P. (2006). Correlation of physicochemical characteristics with pervaporation performance of poly (vinyl alcohol) membranes. *Journal of membrane science*, 283(1-2):281-290. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2006.06.045>
- Jaseela, P. K., Garvasis, J., & Joseph, A. (2019). Selective adsorption of methylene blue (MB) dye from aqueous mixture of MB and methyl orange (MO) using mesoporous titania (TiO₂)-poly vinyl alcohol (PVA) nanocomposite. *Journal of Molecular Liquids*, 286: 110908. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110908>
- Laukkanen, A., McKee, J., Mertaniemi, H., Pahimanolis, N., Mononen, P., Lauraeus, M., A polysaccharide product and a process for treating raw material comprising non-wood cellulose. WO2022003252 A1 2022-01-06
- Mahmoodi, Z., Abhari, A. R., Lalehloo, R. S., Bakr, Z. H., & Ali, G. A. (2022). Thermodynamic studies on the adsorption of organophosphate pesticides (Diazinon) onto ZnO/polyethersulfone nanocomposites. *ChemistrySelect*, 7(2):e202103619. <https://doi.org/10.1002/slct.202103619>
- Mangala J., Kumar, Veerendra; Swarnkar, Yogesh Kumar; Roy, Anasuya. Antimicrobial Non-Woven Fabric for Safe Water Filtration. IN 201911018771 ·
- Mukhopadhyay, R., Bhaduri, D., Sarkar, B., Rusmin, R., Hou, D., Khanam, R., ... & Ok, Y. S. (2020). Clay-polymer nanocomposites: Progress and challenges for use in sustainable water treatment. *Journal of hazardous materials*, 383:121125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121125>

- Naushad, M., Ahamad, T., & Al-Sheetan, K. M. (2021). Development of a polymeric nanocomposite as a high performance adsorbent for Pb (II) removal from water medium: Equilibrium, kinetic and antimicrobial activity. *Journal of Hazardous Materials*, 407:124816. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124816>
- Osman, A. M., Hendi, A. H., & Saleh, T. A. (2020). Simultaneous adsorption of dye and toxic metal ions using an interfacially polymerized silica/polyamide nanocomposite: Kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Molecular Liquids*, 314:113640. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113640>
- Rahimpour, A. S. S. Madaeni, A. H. Taheri and Y. Mansourpanah: 'Coupling TiO₂ nanoparticles with UV irradiation for modification of polyethersulfone ultrafiltration membranes', *Journal of Membrane Science*, 2008, 313:158–169. [10.1016/j.memsci.2007.12.075](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.12.075)
- Raj, A., Bethi, B., & Sonawane, S. H. (2018). Investigation of removal of crystal violet dye using novel hybrid technique involving hydrodynamic cavitation and hydrogel. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(4):5311-5319. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.08.016>
- Romero–Serrano, A., & Pereira, J. (2020). Estado del arte: Quitosano, un biomaterial versátil. Estado del Arte desde su obtención a sus múltiples aplicaciones. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2):118-135.
- Saeed, K., Khan, I., Ahad, M., Shah, T., Sadiq, M., Zada, A., & Zada, N. (2021). Preparation of ZnO/Nylon 6/6 nanocomposites, their characterization and application in dye decolorization. *Applied Water Science*, 11(6):1-10. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01442-0>
- Sotelo, J. L., Ovejero, G., Rodríguez, A., Álvarez, S., & García, J. (2013). Analysis and modeling of fixed bed column operations on flumequine removal onto activated carbon: pH influence and desorption studies. *Chemical engineering journal*, 228:102-113. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.088>
- Sugashini, S., Gomathi, T., Devi, R. A., Sudha, P. N., Rambabu, K., & Banat, F. (2022). Nanochitosan/carboxymethyl cellulose/TiO₂ biocomposite for visible-light-induced photocatalytic degradation of crystal violet dye. *Environmental Research*, 204:112047. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112047>
- Wang, D., Wang, Y., Li, X., Luo, Q., An, J., & Yue, J. (2008). Sunlight photocatalytic activity of polypyrrole–TiO₂ nanocomposites prepared by 'in situ' method. *Catalysis Communications*, 9(6): 1162-1166. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2007.10.027>

- Wen, Y., Yuan, J., Ma, X., Wang, S., & Liu, Y. (2019). Polymeric nanocomposite membranes for water treatment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 17:1539-1551. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00895-9>
- World Resources Institute (2023) Disponible en: 25 países, una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto | Instituto de Recursos Mundiales (WRI). Fecha de consulta 18 de septiembre del 2024.
- Yin, J., & Deng, B. (2015). Polymer-matrix nanocomposite membranes for water treatment. *Journal of membrane science*, 479:256-275. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.11.019>
- Yuwei, C., & Jianlong, W. (2011). Preparation and characterization of magnetic chitosan nanoparticles and its application for Cu (II) removal. *Chemical engineering journal*, 168(1): 286-292. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.006>
- Zhao K, Feng L, Li Z, Fu Y, Zhang X, Wei J, Wei S (2014) Preparation, characterization and photocatalytic degradation properties of a TiO₂/calcium alginate composite film and the recovery of TiO₂nanoparticles. *RSC Advance*, 2014, 4: 51321-51329. <https://doi.org/10.1039/C4RA08102A>