



CienciAcierta[®]

CIENCIA TECNOLOGÍA HUMANIDADES

AÑO 20, NÚMERO 80

ISSN: 2683-1848

OCTUBRE-DICIEMBRE 2024

Latindex: 30518



DIRECCIÓN DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

latindex



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
COAHUILA

PUBLICADA DESDE 2005

ISSN 2683-1848

CIENCIACIERTA, AÑO 20, No. 80 OCTUBRE-DICIEMBRE 2024, 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 OCTUBRE DE 2024.

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 ARTE; CIENCIAS DE LA CONDUCTA; ARQUITECTURA; CIENCIAS SOCIALES Y ECONÓMICAS; BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS, 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.



CienciAcierta

CONSEJO EJECUTIVO EDITORIAL

Dra. Anna Iliná

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

Dr. Jesús Alberto Montalvo M.
Administración
Dirección de Planeación-UAdeC
jesusmontalvo@uadec.edu.mx

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

Dra. Laura Elena Zendejas
Educación
INEE
laura.zendejas@inee.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
pabloruiz@uadec.edu.mx

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

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

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

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



CienciAcierta

ÍNDICE

EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA DE PRÁCTICAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA BAJO LA NORMA ISO/IEC 25000 SQUARE	6
Estefanía Cerrillo-Andrade, Victoria Daily-Díaz Ortiz, Alicia J. Castillo-Ruelas, José Edgar Lugo-Castro, Lina E. Arias-Hernández.	
TRATAMIENTO PERIODONTAL QUIRÚRGICO EN LESIÓN ENDOPERIODONTAL ASOCIADO AL TERCER MOLAR	26
Lizeth A. Reyes-Alvarado, Martha Margarita Aguado-Arzola, Julissa Ramírez-Ramírez, Gilberto Zatarain-Hernández, Dora María López-Trujillo, María de los Ángeles Pietschmann-Santamaría	
CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES DEL PROFESIONAL DE ENFERMERÍA SOBRE LA VENTILACIÓN NO INVASIVA	35
Carolina Pérez-Cortez, Isaí Arturo Medina-Fernández, Pedro Enrique Trujillo-Hernández, Braulio Josué Lara-Reyes, Ángel Quintal-Valdez, Alejandro René-Robles	
CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTOS ACUOSOS A PARTIR DE CÁSCARAS DE PITAYA (<i>STENOCEREUS SP.</i>) Y TUNA (<i>OPUNTÍA FICUS INDICA</i>)	47
Luisaldo Sandate-Flores, Jorge Alejandro Santiago-Urbina, Roberto Parra-Saldívar, Alberto García-Uriostegui, Suguey R. Sinagawa-García	
REVALORIZACIÓN DE DESECHOS PET MEDIANTE LA SÍNTESIS DE RESINAS POLIÉSTER INSATURADO Y SU APLICACIÓN EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS	58
Karla Ivone Luis-Tienda, Aidé Sáenz-Galindo, Adalí Oliva Castañeda-Facio y Heriberto Rodríguez-Tobías	
EVALUACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS COMO FUENTE DE CARBOHIDRATOS FUCOSILADOS	85
Francisco Guzmán-Rodríguez y Alma Cruz-Guerrero	



UNA REVISIÓN GENERAL DEL BALANCE DE MASA EN LA SEPARACIÓN DE CARBÓN ORGÁNICO CONTENIDO EN MINERALES TIPO SULFUROS	104
Maritza A. Valadez-Castellanos, Felipe López-Saucedo, Francisco R. Carrillo-Pedroza, Ramón Y. Batista-Cruz, José A. Batista-Rodríguez y Yuri Almaguer-Carmenates	
AVANCES EN LA APLICACIÓN DE ÓXIDOS METÁLICOS COMO RECUBRIMIENTOS FOTOCATALÍTICOS: UNA REVISIÓN	121
Jesús Ricardo Villarreal-Flores, Antonia Martínez-Luévanos, Lorena Farías-Cepeda, Luis Alfonso García-Cerda y Sofía Estrada-Flores	
HÁBITOS ALIMENTICIOS QUE PRESENTAN LOS ESTUDIANTES DE POSGRADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA	139
Rosa Marisol Martínez-Hernández, Mario Alberto Cruz-Hernández, Araceli Loredó-Treviño, Rosa María Rodríguez-Jasso, Héctor Arturo Ruiz-Leza, Ruth Elizabeth Belmares-Cerda	
ESTRATEGIA ACADÉMICA TRANSVERSAL DE PROMOCIÓN, DISCUSIÓN, EJERCICIO Y PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS HUMANOS DE LAS PERSONAS LGBTI EN LA COMUNIDAD DE LA UADEC	153
Samuel Cepeda-Tovar, Blanca M. Cortez-Gloria, Lucía Galván-Díaz y Miguel Ángel Quirarte-Lugo	
REVISIÓN. USO DE FLUORACIÓN DE MATERIALES 2D PARA SU APLICACIÓN EN ESPINTRÓNICA	168
María Fernanada Rodríguez-Flores, María Teresa Romero-de la Cruz y Yuliana Elizabeth Ávila-Alvarado	



EVALUACIÓN DE LA PLATAFORMA DE PRÁCTICAS PROFESIONALES DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA BAJO LA NORMA ISO/IEC 25000 SQUARE

EVALUATION OF THE PROFESSIONAL PRACTICE PLATFORM OF THE UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA UNDER THE ISO/IEC25000 SQUARE STANDARD

RESUMEN

La calidad del software es un aspecto fundamental en el desarrollo de productos exitosos. La norma ISO/IEC 25000 SQuaRE proporciona un marco para evaluar la calidad del software en sus diferentes dimensiones: interior, exterior y en uso. Este artículo presenta una evaluación de la plataforma de prácticas profesionales de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) bajo la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE, enfocándose en la categoría de "Usabilidad". La evaluación se realizó mediante un análisis documental y entrevistas a usuarios de la plataforma. Se analizaron las propiedades, parámetros, fórmulas y rangos de valores permitidos para la categoría y sus subcategorías, de acuerdo con la norma SQuaRE. Los resultados de la evaluación muestran que la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC cumple con los requisitos de la norma en términos de calidad, seguridad y accesibilidad. Se destacan aspectos como la facilidad de uso, la eficiencia y la satisfacción de los usuarios. Sin embargo, se identificaron algunas áreas de mejora, como la comunicación con los estudiantes y las empresas, y la disponibilidad de información sobre las oportunidades de prácticas. La plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC presenta un buen nivel de calidad en términos de usabilidad, de acuerdo con la norma SQuaRE. Se recomienda implementar las áreas de mejora identificadas para optimizar la experiencia de los usuarios y el funcionamiento de la plataforma. Entre las recomendaciones está mejorar la comunicación con los

ESTEFANÍA CERRILLO-ANDRADE¹,

VICTORIA DAILY-DÍAZ ORTIZ²

ALICIA J. CASTILLO-RUELAS²

JOSÉ EDGAR LUGO-CASTRO²

LINA E. ARIAS-HERNÁNDEZ³

1. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Unidad Torreón, UAdeC.

2. Escuela de Sistemas, Unidad Torreón, UAdeC.

3. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de la Laguna.

Correspondencia
estefaniacerrillo@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-2744-8000

Recepción de artículo
9 de enero de 2024.

Artículo aceptado
8 agosto de 2024.



CienciAcierta

estudiantes y las empresas, proporcionando información clara y oportuna sobre el proceso de prácticas profesionales, se ampliará la información disponible sobre las oportunidades de prácticas, incluyendo detalles sobre las empresas, los requisitos y los beneficios para los estudiantes, y se implementarán mecanismos de retroalimentación continua para identificar y corregir posibles problemas en la plataforma.

Palabras clave: calidad de software; usabilidad; norma ISO/IEC 25000:2005 SQuaRE; prácticas profesionales; UAdeC.

ABSTRACT

Software Quality is a fundamental aspect in the development of successful products. The ISO/IEC 25000 SQuaRE standard provides a framework for evaluating software quality in its different dimensions: internal, external, and in use. This article presents an evaluation of the Professional Practices platform of the Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) under the ISO/IEC 25000 SQuaRE standard, focusing on the Usability category. The evaluation was carried out through a documentary analysis and interviews with users of the platform. The properties, parameters, formulas, and ranges of values allowed for the Usability category and its subcategories were analyzed, according to the SQuaRE standard. The results of the evaluation show that the Professional Practices platform of the UAdeC meets the requirements of the standard in terms of quality, security, and accessibility. Aspects such as ease of use, efficiency, and user satisfaction are highlighted. However, some areas for improvement were identified, such as communication with students and companies, and the availability of information on internship opportunities. The UAdeC Professional Internship platform presents a good level of quality in terms of Usability, according to the SQuaRE standard. It is recommended that the identified areas of improvement be implemented to optimize the user experience and the functioning of the platform. Recommendations include improving communication with students and companies, providing clear and timely information



on the professional internship process, expanding the information available on internship opportunities, including details on companies, requirements and benefits for students, and implementing continuous feedback mechanisms to identify and correct possible problems on the platform.

Keywords: software quality; usability; ISO/IEC 25000:2005 SQuaRE standard; professional practices; UAdeC.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Autónoma de Coahuila es una institución estatal que brinda educación media superior y superior integral y de alta calidad en la que se fomentan, difunden, resguardan y emplean conocimientos científicos, técnicos, artísticos y humanísticos. Se difunden los valores universales relacionados con la ciencia, el arte y el deporte desde una perspectiva humanista, brindando una educación integral a los estudiantes.

La UAdeC como institución pública de educación superior ofrece a sus estudiantes la oportunidad de realizar prácticas profesionales en empresas e instituciones públicas y privadas. Las prácticas son una oportunidad para que los estudiantes apliquen los conocimientos adquiridos en la universidad en un contexto real.

Para facilitar a los estudiantes la búsqueda de oportunidades de prácticas, la UAdeC cuenta con una plataforma web que les permite encontrar oportunidades de prácticas, postularse a ellas y gestionar su proceso de selección, desarrollo y conclusión del requisito de prácticas profesionales.

Esta actividad es un requisito que todo estudiante universitario debe realizar para concluir su carrera (240 horas de prácticas profesionales, según el artículo 413, el tiempo mínimo es de 240 y máximo de 480, con un máximo de 30hrs a la semana, estipulado en el



Reglamento Académico General de la UAdeC, en los artículos:

Artículo 407. Las prácticas profesionales se definen como una serie de actividades temporales y complementarias a la formación académica de estudiantes de la Universidad, realizadas con el objetivo de adquirir experiencia laboral, desarrollar competencias profesionales y facilitar su inserción al mercado de trabajo, pudiéndose llevar a cabo en empresas, instituciones públicas y privadas, organizaciones internacionales, instituciones educativas o culturales, y organizaciones sociales.

Artículo 409. Se contará con una plataforma llamada Sistema Administrativo de la Práctica Profesional, la cual estará a cargo de la Coordinación General de Vinculación e Innovación Productiva y en donde se registrará la información relativa a las prácticas profesionales.

Artículo 412. Las prácticas profesionales podrán desarrollarse en cualquiera de las opciones registradas en el Sistema Administrativo de la Práctica Profesional, por las empresas, instituciones públicas y privadas, organizaciones internacionales, instituciones educativas o culturales, y organizaciones sociales (Reglamento Académico General Universidad Autónoma de Coahuila, 2023).

La norma ISO/IEC 25000 SQuaRE es un marco de calidad para servicios de desarrollo de software, se basa en los principios de calidad, seguridad y accesibilidad. Esta norma consiste en un grupo de estándares que tiene como objetivo crear un marco común para evaluar la calidad de los productos de software.

Según el Portal ISO 25000, (2017), la familia ISO/IEC 25000 es el resultado de la evolución de otras normas anteriores, especialmente de las normas ISO/IEC 9126, que describe las particularidades de un modelo de calidad del producto software, e ISO/IEC 14598, que abordaba el proceso de evaluación de productos software.



Como objetivo principal de la norma SQuaRE, es guiar el desarrollo de los productos de software con la especificación y evaluación de requisitos de calidad, así como, establecer criterios para la especificación de requisitos de calidad de productos software, sus atributos y su evaluación (Cerrillo y col., 2018).

En el presente trabajo se presenta una explicación de la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE, mencionando las divisiones que componen a esta norma. Se describe un ejemplo práctico de la aplicación de la norma ISO/IEC 25000 sobre un producto de software, en específico un registro nuevo de estudiante en la plataforma de un Prácticas Profesionales de la UAdeC.

Para este proceso se expone el concepto de usabilidad como métrica de software y se desarrolla su descripción desde la Vista en Uso, sus 6 subcategorías y 28 atributos que se representan para evaluar, en este contexto se demuestra con 3 de los 28 atributos que conforman la subcategoría de Usabilidad en Uso.

La experimentación se ejecutó en un ambiente donde se expone al usuario final al uso de la plataforma. El resultado del proceso se muestra en las siguientes secciones, concluyendo en pruebas favorables conforme a los rangos especificados por la norma ISO/IEC 25000. El objetivo primordial ha sido el propiciar la aplicación del proceso de evaluación de la calidad en los desarrollos de software, mediante las normas estandarizadas y sus atributos. Esta contribución se justifica por el escaso conocimiento y nula aplicación de las normas de calidad en el software como la ISO/IEC 25000 en el desarrollo de software.

La UAdeC es una institución pública de educación media superior y superior que ofrece una formación integral y de alta calidad a sus estudiantes. Se caracteriza por fomentar, difundir, resguardar y emplear conocimientos científicos, técnicos, artísticos y humanísticos, inculcando valores universales relacionados con la ciencia, el arte y el deporte desde una perspectiva humanista.



La UAdeC ofrece a sus estudiantes la oportunidad de realizar prácticas profesionales en empresas e instituciones públicas y privadas. Estas prácticas representan una valiosa experiencia que les permite aplicar los conocimientos adquiridos en un contexto real, desarrollando competencias profesionales y facilitando su inserción en el mercado laboral.

Para facilitar la búsqueda de oportunidades de prácticas, la UAdeC cuenta con una plataforma web que permite a los estudiantes encontrar ofertas, postularse a ellas y gestionar su proceso de selección, desarrollo y conclusión del requisito de prácticas profesionales.

De acuerdo con el Reglamento Académico General de la UAdeC (2023), las prácticas profesionales son un requisito obligatorio para la obtención de un título profesional. Los estudiantes deben completar un mínimo de 240 (máximo 480) horas de prácticas, cumpliendo con 30 horas a la semana.

La norma ISO/IEC 25000 SQuaRE es un marco de referencia para la calidad de los servicios de desarrollo de software. Se basa en los principios de calidad, seguridad y accesibilidad, y tiene como objetivo crear un marco común para evaluar la calidad de los productos de software. Esta norma es un conjunto de estándares que agrupa y evoluciona normas anteriores como la ISO/IEC 9126, que describe las características de un modelo de calidad del producto software, y la ISO/IEC 14598, que aborda el proceso de evaluación de productos software.

El presente trabajo presenta un ejemplo práctico de la aplicación de la norma ISO/IEC 25000 en el desarrollo de un nuevo registro de estudiante en la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC.

Se expone el concepto de usabilidad como métrica de software y se describe desde la Vista en Uso, sus 6 subcategorías y 28 atributos que se representan para su evaluación. Se demuestra con 3 de los 28 atributos que conforman la subcategoría de Usabilidad en Uso.



La experimentación se realizó en un entorno donde se expuso al usuario final al uso de la plataforma. Los resultados obtenidos demostraron pruebas favorables conforme a los rangos especificados por la norma ISO/IEC 25000. Este trabajo contribuye a propiciar la aplicación del proceso de evaluación de la calidad en los desarrollos de software, mediante normas estandarizadas y sus atributos. Su importancia radica en el escaso conocimiento y nula aplicación de las normas de calidad en el software como la ISO/IEC 25000 en el ámbito del desarrollo de software.

NORMA ISO/IEC 25000

La norma ISO/IEC 25000, un marco de referencia para la calidad del software se estructura en tres vistas principales para su evaluación: interna, externa y en uso. Cada vista se subdivide en categorías organizadas por propiedades específicas, conformando un modelo integral que abarca 10 características, 6 de las cuales son comunes a las vistas interna y externa, mientras que las cuatro restantes son exclusivas de la vista en uso, como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1.Division de Vistas para ISO/IEC SquaRE (Cerrillo y col., 2018).

La familia de normas ISO/IEC 25000 se encuentra compuesta por cinco divisiones, ver Figura 2.

Figura 2. Divisiones ISO/IEC 25000:2005 (Cerrillo y col., 2018).



MODELO DE CALIDAD ISO/IEC 2501N SQUARE

Este modelo define atributos de calidad que se consideran al evaluar la usabilidad de un producto de software específico. La calidad del

producto de software, según Cerrillo y col. (2018) se define como el grado en que un producto aporta valor al satisfacer las necesidades del usuario. Estos requisitos (funcionalidad, rendimiento, seguridad, etc.) se reflejan en un modelo que clasifica la calidad del producto en características y subcategorías. El modelo de calidad definido por la ISO/IEC 25010 está compuesto por ocho características, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. ISO/IEC 2501n: División para el Modelo de Calidad (Cerrillo y col., 2018).

La Figura 3 presenta la categoría de Usabilidad, un concepto que surgió en el campo de la investigación de la interacción persona-computadora en 2008 (Perurena & Moráguez, 2013). Este campo de estudio se enfoca en lograr que los usuarios se sientan cómodos y satisfechos al utilizar un software específico. Un software que logra captar la atención y el interés de los usuarios es un indicador de alta calidad y de una correcta aplicación de las técnicas de usabilidad.

En este contexto, surge un nuevo paradigma que distingue entre aplicaciones de gestión y la compra de software para realizar las funciones de esta tecnología. Este software adicional, diseñado con el mismo propósito que la aplicación original, busca facilitar el trabajo del usuario. La organización responsable de la estandarización, ISO (*International Standardization Organization*) propone dos definiciones del término usabilidad:

Definición según ISO9241-117

El estándar ISO9241-117, parte de la serie ISO 9241 junto con la Patente de 2018, define la usabilidad como "la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado" (Patente nº ISO 9241-11: 2018, 1998).



Definición según Ferreras y Hayser (2008)

Autores como Ferreras y Hayser (2008) resaltan que la definición del estándar ISO 9241-11 contiene en su norma una visión sobre la aceptabilidad de un producto, la cual se fundamenta en tres aspectos:

- Eficacia (*effectiveness*): representa la exactitud con la cual los usuarios alcanzan sus metas especificadas.
- Eficiencia (*efficiency*): los recursos gastados en relación con la certeza con la cual los usuarios logran las metas.
- Satisfacción: la comodidad y la aceptabilidad del uso.

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PRÁCTICAS PROFESIONALES

La Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC) ha desarrollado una plataforma web para mejorar los procesos de registro de prácticas profesionales. Esta plataforma, construida en HTML y PHP, está bajo el control de la universidad y la responsabilidad de la Coordinación de Vinculación.

Funcionalidades de la plataforma

1. Estudiantes
 - 1.1. Selección de opciones de prácticas profesionales.
 - 1.2. Registro de datos personales y académicos.
 - 1.3. Creación de usuario y contraseña para acceder a la plataforma.
2. Unidades Académicas:
 - 2.1. Establecimiento de contacto con instituciones y organizaciones de interés para el estudiantado.
 - 2.2. Generación de convenios de colaboración en el marco del reglamento vigente.

La plataforma cuenta con cuatro perfiles de usuario:

1. Administrador General: supervisa el funcionamiento general de la plataforma.
2. Administrador de la Unidad Académica: gestiona las prácticas profesionales de su unidad académica.



3. Estudiante (practicante): registra sus datos y opciones de prácticas profesionales.
4. Administrador que Oferta Programa de Prácticas: publica ofertas de prácticas profesionales.

Proceso de registro para estudiantes:

1. El estudiante crea un perfil completando un formulario con datos personales y académicos.
2. El sistema genera un usuario y contraseña para el estudiante.
3. El estudiante ingresa a la plataforma con su usuario y contraseña.
4. El estudiante registra sus preferencias de prácticas profesionales.
5. El estudiante envía el formulario de registro.
6. El responsable de prácticas de la unidad académica del estudiante autoriza su registro.
7. El estudiante recibe la validación y puede acceder al sistema para elegir sus prácticas profesionales.

Beneficios de la plataforma:

- Agilización de procesos: simplifica y optimiza el registro de prácticas profesionales.
- Mejora en la comunicación: facilita la comunicación entre estudiantes, unidades académicas y empresas.
- Mayor transparencia: ofrece información clara y accesible sobre las opciones de prácticas disponibles.
- Optimización de recursos: permite una mejor gestión de los recursos y el tiempo dedicado a las prácticas profesionales.

La plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC se vuelve una herramienta fundamental para mejorar la gestión de las prácticas profesionales, ofreciendo beneficios tanto para estudiantes como para unidades académicas y empresas.

PROCESO DE EVALUACIÓN BAJO LA ISO/IEC 25000 SQUARE

La evaluación de la plataforma se llevó a cabo mediante dos



métodologías: análisis documental y entrevistas a usuarios.

- Análisis documental: se revisó la documentación oficial de la plataforma, incluyendo el manual de usuario elaborado por los autores de este trabajo (no existía uno) y los términos y condiciones de uso.
- Entrevistas a usuarios: basadas en el documento oficial de la norma SQuaRE, el tiempo de aplicación fue de 5 minutos por usuario, tras la realización de su registro en la plataforma, que fue observada simultáneamente.

Evaluación bajo la norma ISO/IEC 25000: se centró en la categoría de Usabilidad de la norma ISO/IEC 25000, seleccionando tres atributos de los 28 que componen las seis subcategorías:

- Funciones evidentes: evaluó la facilidad con la que los usuarios identificaban y comprendían las funciones de la plataforma.
- Comprensibilidad de entrada y salida: analizó la claridad y consistencia de la información presentada a los usuarios y la facilidad con la que la interpretaban.
- Interacción atractiva: evaluó el atractivo visual y la usabilidad de la interfaz, considerando la experiencia general del usuario.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las valoraciones para cada atributo se realizaron conforme a los criterios detallados en la norma ISO/IEC 2501n SQuaRE y se han documentado en este artículo. Además, se registraron los tiempos de asimilación de la aplicación y se generaron gráficos de aprendizaje. La evaluación bajo la norma ISO/IEC 25000 se hizo con entrevistas, cuestionarios y el uso de la plataforma por parte de los usuarios finales en un contexto real de aplicación. Todo el proceso de pruebas se filmó para analizar cualquier detalle en profundidad.



La muestra de usuarios finales estuvo compuesta por estudiantes de la UAdeC, seleccionados por muestreo no probabilístico por conveniencia, de entre 18 y 24 años quienes usan frecuentemente sistemas de información y redes sociales, “nativos digitales”; se invitó a participar a diez estudiantes de entre séptimo a noveno semestre de la carrera Ciencias Políticas de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. La evaluación de la norma la realizaron especialistas del área de sistemas computacionales y tecnologías de la información, quienes, aunque no crearon la plataforma, son usuarios con perfiles como: administrador de unidad académica, estudiante y administrador que oferta programa de prácticas. La Tabla 1 presenta una traducción personal de las tablas originales en inglés que contienen los atributos evaluados en esta investigación.

Tabla 1.
Atributos Usabilidad asociadas a norma ISO/IEC 2501n.

Nombre de la métrica	Propósito de métricas	Método de aplicación	Mediciones, fórmula y cálculos de elementos de datos	Interpretación de valores de medición y tipo de escala
Funciones evidentes	¿Qué proporción de funciones (o tipos de funciones) puede identificar el usuario en función de las condiciones de inicio?	Realice prueba de usuario y entrevístelo con cuestionarios u observe su comportamiento. Cuento el número de funciones que son evidentes para el usuario y compárelas con el número total de funciones.	$X = A / B$ A = # de funciones identificadas por el usuario (o tipos de funciones) B = # total de funciones reales (o tipos de funciones)	$0 \leq X \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto
Comprensible Entrada y Salida	¿Pueden los usuarios comprender qué se requiere como datos de entrada y qué se proporciona como salida por el sistema de software?	Realice una prueba de usuario y entrevístelo con cuestionarios u observe su comportamiento. Cuento el número de elementos de datos de entrada y salida que entiende el usuario y compárelos con el número total de ellos disponibles.	$X = A / B$ A = # de elementos de datos de entrada y salida que el usuario entiende con éxito. B = # de elementos de datos de entrada y salida disponibles desde la interfaz	$0 \leq X \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto
Interacción atractiva	¿Qué tan atractiva es la interfaz para el usuario?	Cuestionario para los usuarios	Cuestionario para evaluar el atractivo de la interfaz, después de la experiencia de uso	Depende de su método de puntuación del cuestionario absoluto

La Tabla 2 muestra los resultados de la evaluación realizada bajo la norma ISO/IEC SQuaRE para la subcategoría de Comprensibilidad de Entrada y Salida y el atributo de Funciones Evidentes de la categoría de Usabilidad. El atributo de Funciones Evidentes evalúa



la facilidad con la que los usuarios pueden identificar las funciones del software en función de las condiciones de inicio.

La metodología de evaluación se realizó de la siguiente manera:

1. Exposición al software: se presentó el software a los usuarios finales sin ningún tutorial ni manual.
2. Registro de usuario: se pidió a los usuarios que se registraran en la plataforma completando los campos que aparecían en pantalla.
3. Verbalización del pensamiento: se solicitó a los usuarios que externaran su opinión sobre el software.
4. Recopilación de datos: se registraron las opiniones de los usuarios y se completaron las tablas de datos.
5. Aplicación de fórmulas: se aplicaron las fórmulas establecidas en la norma ISO/IEC SQuaRE para obtener los resultados.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la norma SQuaRE, lo que indica que la plataforma de Prácticas Profesionales de la UAdeC tiene una buena usabilidad en términos de comprensibilidad de entrada y salida y funciones evidentes. El valor obtenido para el atributo Funciones Evidentes es de 0.9615, lo que indica que la plataforma tiene una alta calidad en este aspecto. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de mejorar, y este valor podría incrementarse aún más mediante la realización de ajustes en el software.

Los resultados de la evaluación demuestran que la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC cumple con los estándares de usabilidad establecidos por la norma ISO/IEC SQuaRE en las subcategorías de Comprensibilidad de Entrada y Salida y Funciones Evidentes. Sin embargo, se recomienda realizar ajustes continuos para optimizar aún más la experiencia del usuario.



Tabla 2

Resultados atributo Funciones Evidentes->Comprensibilidad.

Nombre de la métrica	Propósito de métricas	Método de aplicación	Mediciones, fórmula y cálculos de elementos de datos	Interpretación de valores de medición y tipo de escala
Funciones evidentes	¿Qué proporción de funciones (o tipos de funciones) puede identificar el usuario en función de las condiciones de inicio?	Realice prueba de usuario y entrevístelo con cuestionarios u observe su comportamiento. Cuente el número de funciones que son evidentes para el usuario y compárelas con el número total de funciones.	$X = A / B$ A = Número de funciones identificadas por el usuario (o tipos de funciones) B = Número total de funciones reales (o tipos de funciones) $X = 25/26$ $X = 0.9615$	$0 \leq X \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto $0 \leq 0.9615 \leq 1$

Este atributo evalúa la capacidad de los usuarios para comprender los datos de entrada requeridos y los datos de salida proporcionados por el sistema de software. Para evaluar este aspecto, se observó el comportamiento de los usuarios y se les pidió que formularan preguntas cada vez que no comprendieran algún dato solicitado en un componente específico.

La metodología de evaluación se realizó de la siguiente manera:

1. Observación del comportamiento: se llevó a cabo mientras interactuaban con el software, registrando sus acciones y expresiones.
2. Preguntas del usuario: se les solicitó que formularan preguntas cada vez que no comprendieran algún dato de entrada o salida.
3. Cálculo del índice de comprensión: se aplicó la fórmula $X = A/B$, donde:
 - A = # de datos de entrada y salida comprendidos correctamente por el usuario.
 - B: # total de elementos de entrada y salida disponibles en el sistema.



Un resultado cercano a 1 indica una alta comprensión por parte de los usuarios, mientras que valores alejados de 1 sugieren la necesidad de revisar y mejorar las instrucciones y la presentación de los datos.

En la evaluación, el atributo Comprensibilidad de Entrada y Salida obtuvo un valor de 0.9466, lo que indica un alto nivel de comprensión por parte de los usuarios. Sin embargo, este valor siempre puede mejorarse mediante la optimización de las instrucciones y la presentación de los datos en el sistema. Los detalles de la evaluación se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3
Resultados atributo Comprensible entrada y salida.

Nombre de la métrica	Propósito de métricas	Método de aplicación	Mediciones, fórmula y cálculos de elementos de datos	Interpretación de valores de medición y tipo de escala
Comprensible Entrada y Salida	¿Pueden los usuarios comprender qué se requiere como datos de entrada y qué se proporciona como salida por el sistema de software?	Realice una prueba de usuario y entrevístelo con cuestionarios u observe su comportamiento. Cuente el número de elementos de datos de entrada y salida que entiende el usuario y compárelos con el número total de ellos disponibles.	$X = 23.6 / 25$ A = Número de elementos de datos de entrada y salida que el usuario entiende con éxito B = Número de elementos de datos de entrada y salida disponibles desde la interfaz	$0 \leq 0.9466 \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto

El atributo de Interacción Atractiva evalúa la usabilidad y el atractivo de la interfaz del software, con el objetivo de que los usuarios se sientan cómodos y satisfechos al interactuar con la plataforma. A diferencia de los atributos anteriores, que se basaban en la observación del comportamiento del usuario, este atributo requiere una evaluación subjetiva mediante preguntas directas.

La metodología de evaluación se realizó de la siguiente manera:

1. Se permitió a los usuarios utilizar y observar la interfaz de la plataforma.



2. Se realizaron las siguientes preguntas a los usuarios: ¿Qué te pareció la interfaz? ¿Te agradan los colores? ¿Es adecuado el orden de los componentes de la interfaz? ¿Son entendibles las instrucciones? ¿El tamaño y tipo de letra son adecuados? ¿Los botones son del tamaño adecuado? ¿Los iconos reflejan el significado correcto? ¿El tamaño de las ventanas del sistema es adecuado? ¿La consideras difícil o fácil de usar? ¿Cuál es tu opinión sobre la organización de la información en la pantalla? ¿Qué te parecieron los datos que se requieren? ¿Son entendibles los datos? ¿Llenaste todos los campos? ¿Crees que los datos solicitados son los correctos? ¿Qué datos le agregarías? ¿Qué datos le quitarías? ¿Qué tan consistente es el componente de la interfaz de usuario? ¿Estás de acuerdo con la funcionalidad de la plata-forma? ¿Es muy lenta la plataforma a la hora de ejecutarla? ¿Tuviste problemas a la hora de la ejecución?

Los resultados de las preguntas revelaron que, en general, la interfaz de la plataforma fue bien recibida por los usuarios. Sin embargo, algunos aspectos específicos generaron comentarios negativos, como el tamaño de la letra, los colores y el tamaño de los cuadros de entrada de datos. Los usuarios sugirieron que la letra debería ser más grande, los colores más llamativos y los cuadros de entrada más espaciosos para mejorar la legibilidad y la facilidad de uso.

A continuación, se muestran las interfaces que fueron evaluadas en este proceso de calidad de software:

Pantalla principal (Figura 4): presenta una breve introducción a la plataforma y permite a los usuarios registrarse por primera vez o ingresar su nombre de usuario y contraseña si ya tienen una cuenta creada y aprobada por el administrador.





En esta interfaz (Figura 4) los alumnos deberán ingresar su usuario y contraseña en caso de no tener, crear una cuenta en el menú “registrarse”.

Figura 4. Pantalla principal de la plataforma.

La pantalla de inicio (Figura 5) muestra una serie de compromisos que deben cumplirse y opciones que el usuario deberá realizar.

Figura 5. Inicio de sesión y nuevo registro

El usuario deberá ingresar los siguientes campos con sus datos para poder registrarse de manera correcta (Figura 6).

Figura 6. Pantalla de Captura de Dato.

Es importante cumplir con los siguientes requisitos antes de que se realicen las prácticas profesionales (Figura 7).

Figura 7. Pantalla de requisitos

La metodología abarcó la revisión documental, entrevistas a usuarios, pruebas de usabilidad, análisis de datos.

Los resultados de la evaluación indican que la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC cumple con los estándares de usabilidad establecidos por la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE. Sin embargo, se identificaron algunas áreas de mejora, como el color de la interfaz y el tamaño de los campos y textos.

La evaluación realizada bajo la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE ha permitido identificar los aspectos positivos y negativos de la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC. A partir de estos resultados, se proponen algunas mejoras que podrían implementarse para optimizar la experiencia del usuario.

Se espera realizar una evaluación exhaustiva de la plataforma para identificar áreas de mejora en profundidad. Esta evaluación proporcionará información valiosa para el desarrollo de modelos de evaluación de la calidad del software y contribuirá a la innovación y optimización en el campo de la calidad del software.

Se realizó una evaluación completa de la plataforma de prácticas profesionales de la UAdeC bajo la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE, se identificaron las fortalezas y debilidades de la plataforma en términos de usabilidad, se propusieron mejoras para optimizar la experiencia del usuario, se elaboró un Manual de Usuario para la plataforma.

Entre las recomendaciones resaltan: implementar las mejoras propuestas para optimizar la usabilidad de la plataforma, realizar evaluaciones periódicas de la plataforma para garantizar su calidad continua, compartir los resultados de la evaluación con la comunidad de desarrollo de software para contribuir al avance del conocimiento en el campo de la calidad del software.



REFERENCIAS

- Cerrillo, E., Urquizo, E., Cúan, E., Uribe, D., & Andrade, I. (2018, enero-junio). Registro de Urgencias de Enfermería Evaluado bajo la Norma ISO/IEC 25000 para Productos de Software (SQuaRE - System and Software Quality Requirements and Evaluation). Número Especial de la Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada, 6(12), 90-95. Recuperado el 25 de noviembre de 2021, de <http://fcqi.fij.uabc.mx/usuarios/revistas/numeros/N12/articulos/90-95.pdf>.
- Ferreras, B., & Hayser, J. (2008, 18 de septiembre). Aplicación de usabilidad al proceso de desarrollo de páginas web [Tesis doctoral]. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 14 de septiembre de 2018, de <https://oa.upm.es/1176/>.
- ISO. (1998, febrero). Patente nº ISO 9241-11: 2018. Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <https://www.iso.org/standard/16883.html>.
- Perurena, C. D., & Moráguez, B. I. (2013). Usabilidad de los sitios Web, los métodos y las técnicas para la evaluación. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud, 24(2). Recuperado el 25 de noviembre de 2021, de <http://www.acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/405/306>.
- Portal ISO 25000. (2017, 2 de mayo). Portal ISO. (Portal ISO) Recuperado el 20 de noviembre de 2017, de <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000>.
- Universidad Autónoma de Coahuila. (2023). REGLAMENTO ACADÉMICO GENERAL. Recuperado el 20 de abril del 2023, de <http://www.transparencia.uadec.mx/sassit/docs/ReglamentoAcademicoGeneral.pdf> (Reglamento publicado originalmente 1980 Universidad Autónoma de Coahuila).



TRATAMIENTO PERIODONTAL QUIRÚRGICO EN LESIÓN ENDOPERIODONTAL ASOCIADO AL TERCER MOLAR

*SURGICAL PERIODONTAL TRETMENT IN ENDOPERIODONTAL LESION
ASSOCIATED WITH THIRD MOLAR*

RESUMEN

Este artículo aborda el tratamiento periodontal quirúrgico en lesiones endoperiodontales asociadas al tercer molar. Las enfermedades periodontales agudas, caracterizadas por dolor, destrucción tisular e infección, incluyen diversas patologías, como absceso gingival, absceso periodontal y lesiones periodontales-endodónticas combinadas. La terapia periodontal regenerativa busca restaurar defectos periodontales, como el hueso alveolar, cemento radicular y ligamento periodontal.

El caso clínico presenta a una paciente de 31 años con dolor constante en el área de molares inferiores izquierdos. Se observó pericoronitis en el tercer molar, movilidad y defecto de furca en segundo molar, con una bolsa periodontal de 15 mm, radiográficamente se identificó impactación del tercer molar con un pronóstico cuestionable según la clasificación de McGuire & Nunn. El procedimiento quirúrgico implicó la extracción del tercer molar, eliminación del tejido granulomatoso, aplicación de membrana de fibrina y sutura. Posteriormente, se realizó un tratamiento endodóntico en órgano dentario 47. En la quinta semana post-extracción, se llevó a cabo una cirugía de regeneración tisular guiada con aloinjerto óseo y membrana de colágeno. La farmacoterapia incluyó antibióticos y analgésicos, y se realizó un seguimiento clínico y radiográfico periódico.

A un año del procedimiento, se observó llenado óseo de la furca y del defecto, con disminución de la movilidad en el molar afectado. La conclusión destaca la importancia del manejo interdisciplinario

LIZETH A. REYES-ALVARADO

MARTHA M. AGUADO-ARZOLA

JULISSA RAMÍREZ-RAMÍREZ

GILBERTO ZATARAIN-
HERNÁNDEZ

DORA MARÍA LÓPEZ-TRUJILLO

MARÍA DE LOS ÁNGELES
PIETSCHMANN-SANTAMARÍA

Facultad de Odontología,
Unidad Torreón, UAdeC.

Correspondencia
aguadom@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-3366-3815

Recepción de artículo
13 de febrero de 2024.

Artículo aceptado
19 de agosto de 2024.



CienciAcierta

endoperiodontal en casos de afectación con involucración de furca grado II, logrando resultados favorables y mantenibles a largo plazo. Este enfoque ofrece una perspectiva general y actualizada sobre el tratamiento periodontal quirúrgico en lesiones endoperiodontales asociadas al tercer molar, subrayando la importancia de la colaboración interdisciplinaria para alcanzar el éxito clínico.

Palabras clave: lesión endoperiodontal; enfermedad periodontal; regeneración tisular guiada.

ABSTRACT

This article addresses surgical periodontal treatment in endo-periodontal lesions associated with the third molar. Acute periodontal diseases, characterized by pain, tissue destruction, and infection, include various pathologies such as gingival abscess, periodontal abscess, and combined periodontal-endodontic lesions. Regenerative periodontal therapy aims to restore periodontal defects, including alveolar bone, root cementum, and periodontal ligament.

The clinical case presents a 31-year-old female patient with constant pain in the lower left molars. Pericoronitis was observed in the third molar, along with mobility and a furcation defect in the second molar, with a periodontal pocket of 15 mm. Radiographically, an impacted third molar was identified with a questionable prognosis according to the McGuire & Nunn classification. The surgical procedure involved the extraction of the third molar, removal of granulomatous tissue, application of a fibrin membrane, and suturing. Subsequently, an endodontic treatment was performed on tooth 47. In the fifth week post-extraction, a guided tissue regeneration surgery was carried out with a bone allograft and collagen membrane. Pharmacotherapy included antibiotics and analgesics, with periodic clinical and radiographic follow-up.

One year after the procedure, bone filling of the furcation and the defect was observed, with a decrease in mobility of the affected molar. The conclusion highlights the importance of interdisciplinary endo-periodontal



management in cases involving grade II furcation involvement, achieving favorable and sustainable long-term results. This approach provides a general and updated perspective on surgical periodontal treatment in endo-periodontal lesions associated with the third molar, emphasizing the importance of interdisciplinary collaboration to achieve clinical success.

Keywords: endoperiodontal lesión; periodontal disease; guided tissue regeneration.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades periodontales agudas representan un desafío clínico significativo debido a su rápida aparición y la severidad de sus manifestaciones. Según la Academia Americana de Periodoncia, estas afecciones afectan el periodonto o a las estructuras asociadas, y se caracterizan por dolor o molestias, así como, destrucción tisular e infección (Herrera y col., 2018). Dentro de esta categoría se encuentran diversas enfermedades como el absceso gingival, absceso periodontal, enfermedades periodontales necrotizantes, gingivoestomatitis herpeti-forme, absceso pericoronal o pericoronitis y lesiones periodontales-endodónticas combinadas (Herrera y col., 2000).

TERAPIA PERIODONTAL REGENERATIVA

La terapia periodontal regenerativa tiene como objetivo la restauración de los defectos periodontales mediante el proceso de regeneración de las estructuras que se han visto afectadas, tales como el hueso alveolar, el cemento radicular y el ligamento periodontal. Esta terapia no solo busca detener la progresión de la enfermedad periodontal, sino también recuperar la funcionalidad y la estética de las estructuras perdidas (Aldana Cáceres y col., 2019).

Las técnicas utilizadas en la regeneración periodontal incluyen injertos óseos, factores de crecimiento, membranas de barrera para la regeneración tisular guiada, y materiales biomiméticos. Estas intervenciones han mostrado éxito variable dependiendo de la





Figura 2. Radiografía inicial

Radiográficamente se observó impactación del O.D. 48 Clase I posición mesioangular según la clasificación de Pell & Gregory (1933.) De ahí que en consecuencia es evidente un defecto óseo vertical afectando la raíz distal del O.D. 47 hasta nivel apical (Figura 2). Con un pronóstico cuestionable de acuerdo con la clasificación de McGuire & Nunn (McGuire y Nunn, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO

Previos protocolos de asepsia y antisepsia se procedieron a realizar el abordaje quirúrgico del O.D. 48, mediante una incisión trapezoidal y elevación de un colgajo de parcial total, se visualizó el órgano dentario, y debido a la posición del órgano dentario se procedió a realizar la odontosección con una fresa quirúrgica y con ayuda de un elevador se logró a la exodoncia quirúrgica. Posterior a la inspección del alveolo se lavó y se retiró todo el tejido granulomatoso, se colocó una membrana de fibrina y se suturó con nylon 4 ceros, se medicó con amoxicilina de 500mg 1 cápsula cada 8hr hasta terminar y naproxeno con paracetamol de 275mg/300mg una tableta cada 8 horas por 4 días. Pasados 15 días desde la extracción del tercer molar se refirió a la Maestría de ciencias



Odontológicas con Acentuación en Endodoncia, para realizar el tratamiento de conductos en el O.D 47 (Figura 3).



Figura 3. Radiografía final de endodoncia.

En la quinta semana posextracción se realizó una reentrada quirúrgica con el objetivo de realizar una cirugía de regeneración tisular guiada en el OD 47, mediante una incisión sulcular con hoja de bisturí 15c desde el premolar hasta la cara distal del segundo molar, posteriormente mediante un periotomo de Prichard se elevó un colgajo de espesor total hasta sobrepasar la línea mucogingival con el objetivo de tener acceso al defecto infraóseo y con una cureta de Lucas se eliminó el tejido de granulación presente. El tratamiento de la superficie radicular se realizó mediante puntas de ultrasonido y curetas tipo Columbia para obtener una superficie radicular descontaminada. Durante 5 minutos se hidrató el injerto (Biograf®) con solución fisiológica y posteriormente se rellenó el defecto distal con el aloinjerto óseo y se conformó la membrana de colágeno Evolution® (Figura 4 y 5) verificando una correcta adaptación al defecto óseo. Se reposicionó el colgajo verificando que cumpliera con los criterios de libre tensión y se procedió a la sutura con nylon 5 ceros mediante colchonero horizontal y puntos directos. Una vez concluido el cierre se realizó un ajuste oclusal para garantizar la estabilidad del coágulo. Las indicaciones postoperatorias que se dieron al paciente fueron amoxicilina 500 mg y naproxeno con paracetamol de 275mg/300mg una tableta cada 8 horas por 5 días. Y enjuague de Clorhexidina al 0.12% dos veces diarias durante 15 días.





Figura 4. Visualización y debridación del defecto infraóseo.



Figura 5. Llenado del defecto infraóseo con injerto óseo.

Se llevó a cabo un seguimiento clínico y radiográfico periódico del OD. 47, a un año del procedimiento mediante un control radiográfico se observó el llenado óseo de la furca y del defecto infraóseo de la raíz distal y el parámetro clínico de movilidad disminuyó a grado I de en el O.D. 47, el sondeo es compatible con un estado de salud periodontal (Figura 6) lo que derivó en mejorar y cambiar el pronóstico a largo plazo preservando el órgano dentario en la función masticatoria.

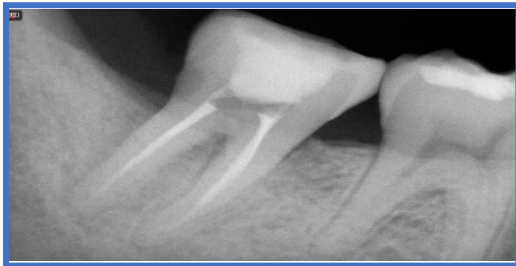


Figura 6. Radiografía de control un año de evolución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El caso clínico de una paciente de 31 años con una lesión endoperiodontal compleja asociada a un tercer molar impactado demuestra la eficacia de un protocolo terapéutico multidisciplinario. La intervención comenzó con la exodoncia del tercer molar (OD 48) debido a su implicación en la pericoronitis, una decisión apoyada por la literatura que sugiere que la extracción de terceros molares impactados



puede mejorar las condiciones periodontales circundantes (Sun y col., 2023). El tratamiento endodóntico del OD 47 fue esencial para controlar la infección pulpar y evitar la progresión de la enfermedad, en congruencia con los estudios que subrayan la importancia de un enfoque integral para las lesiones endoperiodontales combinadas (Jivoinovici y col., 2014).

La cirugía de regeneración tisular guiada (RTG) utilizando aloinjerto óseo y una membrana de colágeno demostró ser efectiva en la regeneración del defecto de furca Clase II en el OD 47. La literatura apoya el uso de estas técnicas combinadas para mejorar la regeneración periodontal, ya que las membranas de barrera permiten la exclusión celular adecuada, y los injertos óseos proporcionan una matriz osteoconductora para la formación de nuevo tejido óseo (Sculean y col., 2015; Cortellini y Tonetti, 2000).

CONCLUSIONES

El tratamiento multidisciplinario de este caso, que incluyó exodoncia quirúrgica, terapia endodóntica y cirugía de regeneración tisular guiada, resultó en una mejora significativa de las condiciones periodontales del OD 47. Este enfoque subraya la importancia de la colaboración interdisciplinaria en el manejo de lesiones periodontales complejas.

REFERENCIAS

- Aldana Cáceres, A., Barcena, J., & Alarico Coahila, L. A. (2019). Tratamiento periodontal regenerativo. *Revista Médica Basa-drina*, 12(1): 56–63. <https://doi.org/10.33326/261760.68.2018.1.635>
- Cortellini, P., Tonetti, M.S. (2000). Focus on intrabony defects: guided tissue regeneration. *Periodontology*, 22: 104-132. doi: 10.1034/j.1600-0757.2000.2220108.x. PMID: 112 76509.
- Herrera, D., Retamal-Valdes, B., Alonso, B., Feres, M. (2018) Acute periodontal lesions (periodontal abscesses and necrotizing periodontal diseases) and



endo-periodontal lesions. *Journal of Clinical Periodontology*, 45 (Suppl 20): S78–S94 <https://doi.org/10.1111/jcpe.12941>.

Herrera, D., Roldán, S., and Sanz, M. (2000). The periodontal abscess: a review. *Journal of Clinical Periodontology*, 27: 377-386. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2000.027006377.x>

Jangid, D. M., Rakhewar, D. P., Nayyar, D. S., Cholepatil, A. R., & Chhabra, M. P. (2016). Bone Grafts and Bone Graft Substitutes in Periodontal Regeneration: A Review. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 20(4): 363-368.

Jivoinovici, R., Suciu, I., Dimitriu, B., Perlea, P., Bartok, R., Malita, M., Ionescu, C. (2014). Endo-periodontal lesion-endodontic approach. *Journal of Medicine and Life*, 7(4):542-544. Erratum in: *Journal of Medicine and Life*, 7(4):627.

López-Herranz, G.P., Torres-Gómez, O.G. (2017). Variabilidad de la clasificación del estado físico de la Sociedad Americana de Anestesiólogos entre los anestesiólogos del Hospital General de México. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 40(3): 190-194.

McGuire, M.K., & Nunn, M.E. (1996). The effectiveness of clinical parameters in accurately predicting tooth survival. Prognosis versus actual outcome. *Journal of Periodontology*, 67: 666–674.

Pell, G. J., & Gregory, B. T. (1933). Impacted mandibular third molars: Classification and modified technique for removal. *Dental Digest*, 39: 330-338.

Sánchez, A. R., Figueroa, R. M., & Morales, C. T. (2019). Bone grafts in periodontal therapy. *Clinical Advances in Periodontics*, 9(2): 123-130.

Sculean, A., Chapple, I. L., & Giannobile, W. V. (2015). Periodontal Regeneration: Current Concepts and Applications. *Journal of Periodontal Research*, 50(2): 150-176.

Sun, S., Xu, X., Zhang, Z., Zhang, Y., Wei, W., Guo, K., Jiang, Y.N. (2023). A novel concentrated growth factor (CGF) and biooss based strategy for second molar protection after impacted mandibular third molar extraction: a randomized controlled clinical study. *BMC Oral Health*, 23(1):750. doi: 10.1186/s12903-023-03411-2.



CONOCIMIENTOS Y HABILIDADES DEL PROFESIONAL DE ENFERMERÍA SOBRE LA VENTILACIÓN NO INVASIVA

KNOWLEDGE AND SKILLS OF THE NURSING PROFESSIONAL ABOUT NON-INVASIVE VENTILATION

RESUMEN

Objetivo: Determinar el nivel de conocimientos y habilidades sobre la ventilación no invasiva en profesionales de enfermería de Saltillo, Coahuila. Metodología: Estudio descriptivo, transversal, la muestra estuvo constituida por 71 profesionales de enfermería, se midieron las variables mediante una cédula de sociodemográficos y laborales, así mediante el Cuestionario de conocimientos y habilidades de ventilación mecánica no invasiva, para el análisis de datos fue mediante estadística descriptiva. Resultados: Se encontró que las mujeres, licenciados en enfermería con especialidad y que laboran en hospital privado tiene un mayor porcentaje de nivel sobresaliente en conocimientos y habilidades del manejo de la ventilación no invasiva en la UCI. Así mismo el 67.6% de la muestra tiene nivel satisfactorio en los conocimientos y habilidades de ventilación mecánica no invasiva. Conclusiones: los profesionales de enfermería cuentan con los conocimientos y habilidades sobre la ventilación no invasiva, sin embargo, necesitan educación continua para mejorar los conocimientos.

Palabras clave: asistencia del enfermo crítico; ventilación no invasiva; conocimiento.

CAROLINA PÉREZ-CORTÉZ¹

ISAÍ A. MEDINA-FERNÁNDEZ¹

PEDRO E. TRUJILLO-HERNÁNDEZ¹

BRAULIO JOSUÉ LARA-REYES¹

ALEJANDRO RENÉ-ROBLES¹

ÁNGEL QUINTA- VALDEZ²

1. Facultad de Enfermería "Dr. Santiago Valdés Galindo", Unidad Saltillo, UAdeC.

2. Hospital General de Tekax, Yucatán, México.

Correspondencia
isaimedina@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
13 de febrero de 2024.

Artículo aceptado
19 de junio de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

Objective: Determine the level of knowledge and skills on non-invasive mechanical ventilation in nursing professionals from Saltillo, Coahuila. Methodology: Descriptive, cross-sectional study, the sample consisted of 71 nursing professionals, the variables were measured through sociodemographic and work records, as well as through the Non-invasive ventilation knowledge and skills questionnaire, for data analysis it was through statistics. descriptive. Results: It was found that women, graduates in specialty nursing and who work in a private hospital have a higher percentage of outstanding level in knowledge and skills in managing non-invasive ventilation in the ICU. Likewise, 67.6 % of the sample has a satisfactory level of knowledge and skills in non-invasive mechanical ventilation. Conclusions: nursing professionals have the knowledge and skills about non-invasive mechanical ventilation; however, they need continuous education to improve knowledge.

Keywords: critical care; noninvasive ventilation; knowledge.

INTRODUCCIÓN

La Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) es un espacio importante en donde se desarrolla las actividades propias de la medicina crítica. Estos servicios se encuentran completamente equipados para recibir pacientes con riesgo de muerte, así como también presta asistencia a quienes, en situaciones críticas demandan de un soporte a nivel respiratorio o, en su defecto, a quienes necesitan un soporte respiratorio básico. Del mismo modo, presta asistencia aquellos pacientes con diagnósticos complicados que necesitan atención por falla multiorgánica (Aguilar y Martínez, 2017).

Asimismo, el profesional de enfermería en la UCI tiene como función el proporcionar el cuidado, valorar el estado del paciente y planificar su tratamiento, del mismo modo deberán evaluar sus respuestas humanas. Estos profesionales de enfermería especializados tienen



una responsabilidad principal en el monitoreo, seguimiento y terapia respiratoria del paciente con ventilación mecánica no invasiva (VMNI), con el fin de prevenir complicaciones asociadas a esta, como es el caso de la neumonía (Chacaltana y col., 2017).

La neumonía es la segunda complicación infecciosa en frecuencia en el medio hospitalario y ocupa el primer lugar en los servicios de terapia intensiva. Por lo tanto, la Neumonía Asociada a la Ventilación Mecánica (NAVVM), ocurre en alrededor de 20 a 25% de los pacientes sometidos a ventilación mecánica (VM) por más de 48 horas (Díaz y col., 2010).

Por otra parte, la ventilación mecánica no invasiva (VNI) es la administración del soporte ventilatorio sin la colocación de una vía aérea artificial, como un tubo endotraqueal o una traqueostomía, sino mediante una máscara facial, nasal o sistema de casco (Puga Torres y col., 2006). Los objetivos de la VNI son los mismos que se persiguen con la ventilación mecánica invasiva: garantizar la adaptación, normalizar el intercambio gaseoso y minimizar el trabajo respiratorio del paciente (Varón y Giraldo, 2016).

Existen diversos factores que pueden generar el aumento complicaciones asociadas a este procedimiento, entre ellas los conocimientos; entendiendo conocimiento como la acción y efecto de conocer, es decir, de adquirir información valiosa para comprender la realidad por medio de la razón, el entendimiento y la inteligencia, es decir el resultado de proceso de aprendizaje (Suárez, 2011).

Es así que, los conocimientos de la ventilación no invasiva son una herramienta fundamental en el tratamiento de la insuficiencia respiratoria, con potenciales menores efectos colaterales que la ventilación mecánica convencional. Sin embargo, es necesario contar con la habilidad, es decir tener la capacidad para desempeñar de manera correcta y con facilidad una tarea o actividad determinada. De esta manera, se trata de una forma de aptitud específica para una actividad puntual, sea de índole física, mental o social (Jiménez y col., 2014).



De esta forma, la ventilación no invasiva ayuda a que mejore la oxigenación e influye en la mecánica pulmonar, siendo su principal beneficio centrarse en el intercambio gaseoso y la disminución del trabajo respiratorio. Porque los principales objetivos de la ventilación mecánica son mantener el intercambio gaseoso y disminuir o sustituir el trabajo respiratorio del paciente, para reducir el consumo de oxígeno de los tejidos (Gutiérrez Muñoz, 2011). Referido lo anterior se plantea el objetivo: determinar el nivel de conocimientos y habilidades sobre la ventilación mecánica no invasiva en profesionales de enfermería de Saltillo, Coahuila.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio es descriptivo, dado que es un método científico que implica medir el fenómeno y describirlo tal y como se encuentra en la población, además en un mismo periodo (Grove y Gray, 2019). La población de estudio estuvo constituida por profesionales de enfermería que labora en hospitales de segundo nivel en Saltillo, Coahuila; el muestreo fue no probabilístico a convivencia, siempre que cumplieran con los criterios de inclusión: ser profesionales de enfermería en el área operativa, contar con grado de técnico profesional, licenciado, posgrado de enfermería, con una antigüedad mínima de un año y con una edad entre 18 a 59 años.

Para medir las variables se usó una cédula de datos sociodemográficos y laborales, donde se cuestionó sobre la edad, sexo, estado civil, escolaridad, experiencia previa a estar en la UCI, tiempo de antigüedad en la UCI, estudios de posgrados en cuidados intensivos etc.

Para medir los conocimientos y habilidades en la ventilación no invasiva se aplicó el instrumento de *Conocimientos y habilidades en la ventilación no invasiva* (Raurell-Torredá y col., 2019), el cual cuenta con 13 preguntas, tiene validez de contenido y fue valorada mediante la técnica Delphi, el Índice Kappa de 0,97 (IC 95% [0,965-0,975]).



Los 13 ítems midieron conocimiento de las enfermeras acerca del tipo, tamaño y colocación adecuados de la mascarilla de ventilación no invasiva (VMNI) (preguntas 10, 11 y 13), conocimiento del profesional de enfermería acerca de la indicación de VMNI (pregunta 1), unidad donde debería realizarse (pregunta 2), programación del VMNI (preguntas 4, 5 y 6), factores predictivos del éxito y fracaso de la VMNI (preguntas 8 y 3), estrategias para facilitar la sincronización paciente/respirador (pregunta 7), complicaciones de la VMNI (pregunta 9) e intervenciones enfermeras durante la VMNI (pregunta 12).

La variabilidad de los conocimientos entre profesionales se calculó asignando el valor 1 a la respuesta correcta, así, cuando la puntuación es de 10-13 es sobresaliente, 6-9 es satisfactorio y menor de 6 es insuficiente.

Esta investigación se apegó al Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud que señala que, para el desarrollo de investigación en salud se deben contemplar aspectos éticos que garanticen la dignidad y el bienestar de los individuos, además de la aplicación del consentimiento informado.

El análisis estadístico se realizó mediante SPSS versión 22, con estadística descriptiva como: frecuencia, porcentaje para variables categóricas y nominales, para las variables escalares se analizaron media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo.

RESULTADOS

La muestra estuvo constituida por 71 profesionales de enfermería que cumplieran los criterios de inclusión, se encontró que la edad oscilaba entre 19 y 58 años, con una $x=37$ años ($DE=11.37$). En su mayoría mujeres; la media de antigüedad en el hospital se encontró entre 1 y 24 años, con una $x=11.08$ años ($DE=6.77$), prevalecieron los licenciados de enfermería, además, en su mayoría contaban con preparación de postécnico o especialidades relacionadas con la



terapia intensiva. Por otra parte, se encontró que el tiempo de estar en la UCI fue un año y 15 años, con media de 7.88 años ($DE = 4.09$) (ver Tabla 1).

Tabla 1.
*Características sociodemográficas y laborales
del profesional de enfermería.*

	fr	%
Sexo		
Hombres	27	38
Mujeres	44	62
Grado académico		
Licenciatura en Enfermería	18	25.4
Profesional técnico con postécnico	3	4.2
Licenciatura en Enfermería con Especialidad	26	36.3
Enfermero con maestría y doctorado	24	23.8
Especialidad/Postécnico relacionado con la UCI		
Sí	49	69.0
No	22	31.0
Hospital donde labora		
Público	46	64.8
Privado	25	35.2

Por otra parte, la Tabla 2 demuestra que la puntuación de conocimientos y habilidades osciló entre 5 y 10 aciertos, con una $x=7.88$ y $DE= 1.00$. Tuvieron más aciertos en lo relacionado con indicaciones para la VNI y criterios para iniciar la VNI en la UCI y la insuficiencia respiratoria aguda la interfaz más adecuada.



Tabla 2.
Descripción de conocimientos y habilidades
de la Ventilación no invasiva.

	Respuesta correcta	
	fr	%
Indicaciones para la VNI	62	87.3
Criterios para iniciar la VNI en la UCI	53	74.6
Indicadores de fracaso de la VNI	65	91.5
Presión de soporte administrada durante la VNI con una modalidad BIPAP	48	67.6
Para mejorar la eficacia de la VNI se deben modificar los parámetros del respirado	57	80.3
La programación de los respiradores específicos de VNI	52	73.2
Estrategias para facilitar la sincronización del paciente con el respirador	58	81.7
Factores predictivos de éxito de la VNI	56	78.9
Complicaciones de la VNI	47	66.2
La insuficiencia respiratoria aguda la interfaz más adecuada	64	90.1
Colocación de la interfaz	54	76.1
Cuidados enfermeros durante la VNI	58	81.7
Talla adecuada de la mascarilla buco nasal	60	84.7

En la Tabla 3 se muestra que las mujeres, licenciados en enfermería con especialidad, que laboran en hospital privado, tienen un mayor porcentaje de nivel sobresaliente en conocimientos y habilidades del manejo de la ventilación no invasiva en la UCI.



Tabla 3.
Nivel de conocimientos y habilidades por características demográficas y laborales.

	Deficiente		Satisfactorio		Sobresaliente	
	fr	%	fr	%	fr	%
Sexo						
Hombres	1	3.7	9	33.3	17	63
Mujeres	0	0	13	29.5	31	70.5
Grado académico						
Licenciatura en Enfermería	0	0	9	50.0	9	50.0
Profesional técnico con postécnico	1	33.3	1	33.3	1	33.3
Licenciatura en Enfermería con especialidad	0	0.0	6	23.1	20	76.9
Enfermero con maestría y doctorado	0	0.0	6	25.0	18	75
Especialidad/postécnico relacionado con la UCI						
Sí	0	0.0	12	24.5	37	75.5
No	1	4.5	10	45.5	11	50.0
Hospital donde labora						
Público	1	2.2	14	30.4	31	67.4
Privado	0	0.0	8	32.0	17	68

En la Figura 1 se demuestra que el 67.6 % de la muestra tiene nivel sobresaliente en los conocimientos y habilidades de la ventilación no invasiva.

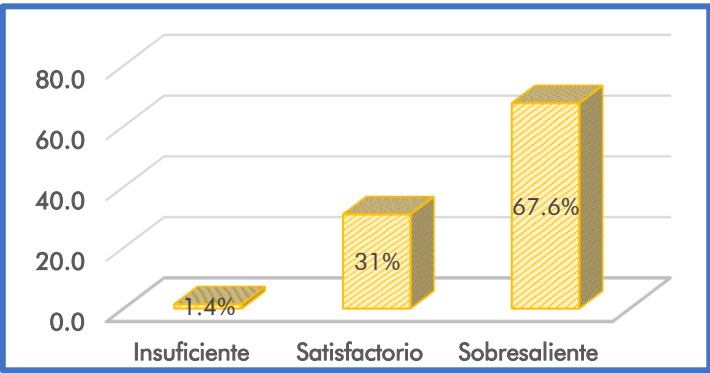


Figura 1. *Nivel de conocimientos y habilidades de ventilación no invasiva.*

DISCUSIÓN

El estudio tuvo como propósito determinar el nivel de conocimientos y habilidades del profesional de enfermería sobre la ventilación no invasiva en profesional de enfermería de un hospital de segundo nivel de atención.

En función a los hallazgos se destaca que la mayor parte de los participantes fueron del sexo femenino con una media de edad de 37 años, con tiempo en presencia de labores con una media de 11 años, prevaleciendo el grado académico de licenciados en enfermería. El tiempo de estancia laboral en la UCI oscilo entre 1 mes a 25 años. Estos datos coinciden a lo hallado por Torres y col. (2019) en su estudio en el cual al menos el 60% de su muestra estuvo conformada por el género femenino y su edad media fue de 36 años y el mayor porcentaje obtenido en cuanto al grado de estudios fue sobre la población de licenciados en enfermería por lo cual se tiene una aproximación en esta investigación.

Sin embargo, se difiere en cuanto al tiempo de estadía laboral en la unidad de cuidados intensivos dado que Torres y col. (2019) halló menor tiempo laboral oscilando entre los 0 a 5 años de antigüedad. Conforme al nivel de formación obtuvo que al menos el 50% de su muestra estuvo conformada por especialistas en terapia intensiva. Estas variaciones pueden tener lugar dado el número de población que se hayan manejado en ambos estudios y en las áreas o servicios en que el personal se encontrara operando dado que en este estudio se incluyeron profesionales de enfermería, pero no exclusivamente que laboraran en la UCI a diferencia de Torres y col. (2019) y Aliaga y Quispe (2018) que abordaron a profesionales únicamente laborando en esta área.

Respecto a la descripción de los conocimientos se destacó que en esta investigación el mayor índice de respuestas correctas se encontró a lo relacionado en las indicaciones para la VNI, criterios para iniciar la VNI en la UCI y la insuficiencia respiratoria aguda la interfaz más adecuada. En diferencia a lo encontrado por Raurell-Torredá y col. (2019), en el que el mayor porcentaje de respuestas



correctas con un 69.9% fue entorno a la selección, tamaño y colocación de la mascarilla para la VNI. Torres y col. (2019) halló que el mayor conocimiento acertado fue en el uso de sistemas cerrados de aspiración para disminuir la neumonía asociada a la ventilación mecánica y la identificación de riesgo en contraer NAVM post intubación.

Se puede entender que estas diferencias significativas pueden estar relacionadas al diverso personal a quien fue dirigido y adjudicado cierto tipo de preguntas, puesto que Raurell- Torredá y col. (2019) describen que en su estudio las preguntas en tanto a la indicación, unidad de uso, programación por mencionar algunas fueron realmente evaluadas en médicos y en el personal de enfermería solamente se evaluó lo ya mencionado más aspectos como las complicaciones de la ventilación y las intervenciones que llevaran a cabo.

Con relación al nivel de conocimientos y habilidades se obtuvo que el profesional de enfermería con especialidad relacionada a cuidados intensivos tuvo el mayor porcentaje sobresaliente, a manera global respecto a la muestra (N=71) se obtuvo que el 67.6% de los profesionales participantes se encuentran en un nivel sobresaliente de conocimientos y habilidades en la ventilación mecánica no invasiva. Estos datos son similares a lo que Aliaga y Quispe (2018) menciona en su estudio, dado que halló que el 65% de sus participantes tiene los conocimientos y habilidades fundamentales sobre la VMNI. Aunado a ello Vera (2021) menciona que en su proyecto de intervención en la medición *pretest* el 62% de su muestra obtuvo un nivel bajo de conocimientos y posterior al programa educativo este aumentó en un 81.3% a un nivel alto de conocimiento. Por lo que es importante entender que siempre es necesario reforzar los conocimientos del profesional de enfermería en cuanto al tema de la ventilación mecánica no invasiva, puesto que la literatura enmarca mayormente situaciones en las que se toma casi como única primera opción la ventilación mecánica invasiva.



CONCLUSIONES

El profesional de enfermería que labora en el segundo nivel de atención cuenta con el conocimiento sobresaliente para la atención de pacientes que se encuentren con ventilación no invasiva. Así mismo las preguntas con mayor acierto fue relacionado a las indicaciones para la ventilación mecánica no invasiva, criterios para iniciar la ventilación mecánica no invasiva en la UCI y datos de insuficiencia respiratoria aguda, la interfaz más adecuada.

De igual forma es importante fomentar la educación y actualización continua de los profesionales a través de intervenciones educativas, cursos, seminarios y/o congresos, es bien sabido que pacientes con modo ventilatorio sea invasivo o no requieren mayor atención en la monitorización por aparatos y sistemas para prevenir el deterioro o pérdida de funcionalidad de estos.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. y Martínez, C. (2017). La realidad de la Unidad de Cuidados Intensivos. *Medicina crítica (Colegio Mexicano de Medicina Crítica)*, 31(3): 171-173.
- Aliaga, J. y Quispe, S. (2018). Nivel de conocimiento del profesional de enfermería sobre ventilación mecánica no invasiva, Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos, Hospital del Niño Dr. Ovidio Aliaga Uría. (Tesis doctoral) <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110>
<https://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001>
<https://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044>
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Chacaltana, H., Escobar, A. y Mendoza, E. (2017) Efectividad de la guía de cuidado de enfermería en la adaptación del paciente al sistema de ventilación mecánica no invasiva. (Tesis Especialidad). <https://repositorio.upch.edu.pe/handle/20.500.12866/1328>
- Díaz, E., Lorente, L. & Rello, J. (2010). Neumonía asociada a la ventilación mecánica. *Medicina intensiva*, 34(5): 318-324.



- Grove, S. K., & Gray, J. R. (2019). *Investigación en enfermería: Desarrollo de la práctica enfermera basada en la evidencia*. Elsevier Health Sciences. 7a ed. Madrid: Elsevier.
- Gutiérrez Muñoz, F. (2011). Ventilación mecánica. *Acta médica peruana*, 28(2): 87-104.
- Jiménez, J. J. F., Navalón, A. F. G., & Beneyto, A. M. (2014). Cuidados generales a pacientes con ventilación mecánica no invasiva. *RECIEN. Revista Científica de Enfermería*, 8: 14-19.
- Puga Torres, M. S., Palacios Pérez, H., García Valdés, R., & Morejón Carbonell, D. (2006). Ventilación no invasi-va. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 35(2): 1-9
- Raurell-Torredá, M., Argilaga-Molero, E., Colomer-Plana, M., Ródenas-Francisco, A., & Garcia-Olm, M. (2019). Cono-cimientos y habilidades de enfermeras y médicos en ventilación mecánica no invasiva: equipamiento e influen-cias contextuales. *Enfermería Intensiva*, 30(1): 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.enfi.2018.04.006>
- Suárez, E. G. (2011). Conocimiento empírico y conocimiento ac-tivo transformador: algunas de sus relaciones con la ges-tión del conocimiento. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 22(2): 110-120.
- Torres, J., Gerónimo, R., & Magaña, M. (2019). Conocimiento y práctica de enfermería para prevenir la Neumonía Aso-ciada al Ventilador. *Revista CONAMED*, 22(2): 76–81. <https://relaped.com/conocimiento-y-practica-de-enfermeria-para-prevenir-la-neumonia-asociada-al-ventilador/>
- Varón, F. A., & Giraldo, Á. M. (2016). Fisiología de la ventilación mecánica no invasiva. *Revista Colombiana de Neumo-logía*, 28(1): 24-32.
- Vera, N. (2021). Programa de intervención para mejorar los conocimientos sobre ventilación mecánica no invasiva en el personal de enfermería en el Hospital Teodoro Maldonado Carbo. (Tesis maestría) <https://hdl.handle.net/20.500.12692/76522>



CARACTERIZACIÓN DE EXTRACTOS ACUOSOS A PARTIR DE CÁSCARA DE PITAYA (*STENOCEREUS SP.*) Y TUNA (*OPUNTIA FICUS INDICA*)

CHARACTERIZATION OF AQUEOUS EXTRACTS FROM PITAYA (*STENOCEREUS SP.*) AND PRICKLY PEAR (*OPUNTIA FICUS INDICA*)

LUISALDO SANDATE-FLORES¹

JORGE A. SANTIAGO-URBINA²

ROBERTO PARRA-SALDÍVAR³

ALBERTO GARCÍA-UROSTEGUI⁴

SUGEY R. SINAGAWA-GARCIA¹

1. Facultad de Agronomía,
UANL.

2. Universidad Tecnológica de
los Valles Centrales de Oaxaca.

3. School of Engineering and
Sciences, ITESM.

4. Instituto Tecnológico de
Ciudad Altamirano.

RESUMEN

La pitaya (*Stenocereus sp*) y la tuna (*Opuntia ficus-indica*) son consideradas alimentos funcionales, sin embargo, existen pocos estudios sobre las propiedades nutraceuticas en las cáscaras de estas frutas. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las propiedades nutraceuticas de las cáscaras de tuna y pitaya. Las cáscaras de ambos frutos fueron secadas a 60°C (48 h) y 70°C (18 h), luego, se molieron para obtener una harina, a partir de la cual se realizaron soluciones para determinar la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), compuestos fenólicos totales, betalainas y carbohidratos totales. La capacidad antioxidante más alta fue presentada por la harina de cáscara de tuna, alcanzando $3,137.22 \pm 113.45 \mu\text{M}$ de Trolox equivalente (TE) a 70°C por el método ABTS. De manera similar, las concentraciones de betaxantinas ($9.21 \pm 0.22 \text{ mg/L}$), betacianinas ($8.397 \pm 0.11 \text{ mg/L}$) y azúcares totales ($31,676.99 \pm 530.97 \mu\text{g/mL}$) fueron mayores en los extractos de cáscara de tuna secadas a 70°C. La concentración de compuestos fenólicos totales ($14024 \pm 1228.5 \text{ mg/mL}$) también fue mayor en los extractos de cáscara de tuna seca a 60°C. Los resultados obtenidos muestran que la cáscara de tuna tiene propiedades nutraceuticas y que el tratamiento de secado a 70°C podría ser útil para su procesamiento.

Palabras clave: tuna (*Opuntia ficus indica*); pitaya (*Stenocereus sp.*); cáscara, betalainas y azúcares totales.

Correspondencia
sugeysinawagr@uanl.edu.mx
ORCID: 0000-0002-5961-0968

Recepción de artículo
9 de abril de 2024.

Artículo aceptado
19 de julio de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

Pitaya (Stenocereus sp) and prickly pear (Opuntia ficus-indica) are considered functional foods, however, there are few studies on the nutraceutical properties of the peels of these fruits. This work aimed to evaluate the nutraceutical properties of prickly pear and pitaya peels. The peel of both fruits were dried at 60°C (48 h) and 70°C (18 h), then they were ground to obtain a flour, from which solutions were made to determine the antioxidant capacity (ABTS and DPPH), total phenolics compounds, betalains and total carbohydrates. The highest antioxidant capacity was presented by prickly pear peel flour, reaching $3,137.22 \pm 113.45 \mu\text{M}$ of Trolox equivalent (TE) at 70°C by the ABTS method. Similarly, the concentrations of betaxanthins ($9.21 \pm 0.22 \text{ mg/L}$), betacyanins ($8.397 \pm 0.11 \text{ mg/L}$) and total sugars ($31,676.99 \pm 530.97 \mu\text{g/mL}$) were higher in the prickly pear peel extracts dried at 70° c. The concentration of total phenolic compounds ($14024 \pm 1228.5 \text{ mg/mL}$) was also higher in the prickly pear peel extracts dried at 60°C. The results obtained show that the prickly pear shell has nutraceutical properties and that the drying treatment at 70°C could be useful for its processing.

Keywords: prickly pear (*Opuntia ficus indica*); pitaya (*Stenocereus sp.*); peel; betalains and total sugars.

INTRODUCCIÓN

La flora en México es considerada una de las más variadas del mundo, entre ellas se encuentra la familia Cactaceae. Esta es originaria de América con aproximadamente 4,000 especies (Nobel, 2003). En México se han reportado 675 especies, de las cuales el 84% son endémicas (Villavicencio-Gutiérrez y col., 2010). Este tipo de plantas produce frutos que pueden ayudar a aumentar la actividad económica en las regiones semiáridas del mundo donde se cultivan, ya que tienen un bajo requerimiento de agua (Stintzing & Carle, 2007). Actualmente, la población busca alimentos con



ingredientes de origen natural (Jiménez-Aguilar y col., 2015), funcional y sostenible (Tejada-Ortigoza y col., 2022).

La pitaya (*Stenocereus pruinosus*) es una fruta tropical y crece en estado silvestre. Se ha reportado que las pitayas pueden considerarse como un alimento funcional ya que protegen a quien lo consume de enfermedades crónicas, debido a su elevada capacidad para reducir la propagación de radicales libres en el organismo, por su contenido de fenoles totales y ácido ascórbico, además de contener betalaínas (Balderas-Guerrero y col., 2016).

Mientras que la tuna es un fruto que posee una amplia gama de propiedades funcionales como su actividad antioxidante, esto debido a su contenido en carotenos, betalaínas y ácido ascórbico (Silem y col., 2016). También cuenta con propiedades digestivas, anticancerígenas, antivirales y antidiabéticas (SAGARPA, 2011). Las betalaínas son los pigmentos responsables del color en los frutos de la tuna (Amaya-Cruz y col., 2019) y la pitaya (García-Cruz y col., 2017). A diferencia de los betabeles que son la principal fuente comercial de estos pigmentos (betalaínas) y que tienen un sabor terroso (Azeredo, 2009), la ventaja de las frutas de cactáceas es que no poseen este sabor. El principal problema de este tipo de frutas es que tienen una corta vida de anaquel por lo que se conservan muy poco tiempo después de la cosecha (Hernandez-Valencia y col., 2016). Por lo anterior, es importante buscar otros usos y aplicaciones para su aprovechamiento al máximo de estas frutas.

En la pitaya la parte comestible solo representa aproximadamente 69% del peso del fruto, dejando el 31% correspondiente a la cáscara sin aprovechamiento, que, en el mejor de los casos debido a la falta de conocimientos de los beneficios de esta, es utilizada como forraje para el ganado o desechada (CONABIO, 2017); por lo que hoy en día, la comunidad científica está interesada en las cáscaras de las frutas de estas plantas, ya que se han encontrado compuestos como el ácido 4-hidroxibenzoico, ácido cinámico, rutina, quercetina y los glucósidos de kaempferol (Albergamo y col., 2022). Además se han producido suplementos a base de cáscara de tuna y *Lactobacillus rhamnosus* (Ochoa-Velasco y col., 2022). Adicionalmente Salem y



col. (2022) sugirió que las cáscaras y las semillas de tuna podrían proteger las células hepáticas del daño inducido por tetracloruro de carbono CCl_4 . Con respecto a la alimentación animal, la cáscara de la tuna se ha utilizado como sustituto de maíz en el rendimiento productivo en pollos de engorda (Cherif y col., 2022). Sin embargo, no se han reportado estudios sobre las propiedades nutraceuticas de las cáscaras de pitaya y tuna para promover su uso y aprovechamiento en la industria de alimentos.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la actividad antioxidante, concentración de compuestos fenólicos, betalaínas y azúcares totales de la harina de cáscara de pitaya (*Stenocereus sp.*) y tuna (*Opuntia ficus indica*) en extractos acuosos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las frutas con las que se trabajó en este estudio fueron adquiridas en dos lugares. Un lote de 20 kg de pitaya (*Stenocereus sp*) se compró en Río Verde, San Luis Potosí, México. Mientras que un lote de tunas (*Opuntia ficus indica*) de 40 kg se adquirió en San Nicolás, Nuevo León, México. Los frutos colectados se almacenaron a 5°C por 24 h para su posterior procesamiento. Las espinas de los frutos fueron removidas manualmente con cuidado, luego fueron lavados con agua corriente y jabón. Las cáscaras fueron separadas de la pulpa con un cuchillo.

El secado de las cáscaras se realizó en una incubadora de hibridación (Robbins Scientific, modelo 400, CA, E.U.A). Las cáscaras de ambos frutos fueron secadas a 60°C por 48 h y 70°C por 18 h hasta obtener el 10% del peso húmedo. Posteriormente, las cáscaras secas se molieron usando un procesador de alimentos, (Nutribullet, modelo NB-101B, China) hasta alcanzar un polvo fino que fue tamizado a través de mallas de 250 μm . Se prepararon soluciones de la harina, se pesaron 5g y se mezclaron con 100 mL de agua bidestilada. La solución se colocó en tubos de centrifuga de polipropileno de 50 mL. Los tubos se sometieron a centrifugación



(5000 rpm, 4 °C, 10 min, Model Z 400k, Labnet, Wertheim, Alemania). Se recuperó el sobrenadante y, el proceso se repitió hasta lograr la completa separación de la mezcla. Los análisis de la determinación de la capacidad antioxidante, betalaínas y azúcares totales de los extractos ya centrifugados de ambas frutas se describe a continuación.

Para la determinación de la capacidad antioxidante se utilizó el método descrito por Re y col. (1999). Primero se preparó una solución de ABTS al mezclar una solución de persulfato de potasio 2,45 mM y ABTS a 7 mM, posteriormente, se dejó reposar 16 h. Dicha solución se diluyó en etanol absoluto hasta una absorbancia de 0.7 a 734 nm (espectrofotómetro, Modelo SmartSpec Plus, BIO RAD, U.S.A). Se colocaron 10 μ L de la muestra del extracto de harina centrifugado y un mL de solución ABTS (absorbancia 0,7), después de seis minutos se leyeron las absorbancias a 734 nm. La absorbancia se leyó utilizando Trolox como estándar en concentraciones que oscilan entre 100 y 1200 ppm. Como segundo método para la determinación de la capacidad antioxidante de las soluciones se utilizó el de DPPH, basado en el procedimiento descrito por Brand-Williams y col. (1995). Se preparó una solución al 0.0002% de DPPH en un matraz volumétrico (solución madre). Se utiliza la solución madre para preparar una nueva solución que tenga una absorbancia de 0.7 a 515 nm.

La absorbancia se midió en un espectrofotómetro (Modelo SmartSpec Plus, BIO RAD, U.S.A). Las lecturas se tomaron en cubetas de cuarzo de 3mL, mezclando 25 μ L de muestra y 975 μ L de solución diluida de DPPH. La reacción tiene lugar 30 min en oscuridad después de mezclar los reactivos. Luego se leyeron las absorbancias a 515 nm. La curva de calibración se realizó utilizando Trolox con concentraciones de 100 ppm a 1200 ppm.

Se realizó la determinación de compuestos fenólicos totales con el método de Singleton & Rossi (1965) en las soluciones centrifugadas. Se preparó una solución Folin-Ciocalteu 1 N con agua destilada y otra de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20%p/v. Posteriormente se preparó la curva de calibración con una solución estándar de ácido



gálico (0.1 mg/mL). Se procedió a agregar 500 μ l de la muestra más 250 μ l de reactivo Folin 1 N y 1250 μ l Na_2CO_3 . Una vez agregado se dejó reposar durante 2 horas en la oscuridad. Pasado el tiempo se midió la absorbancia de la curva y la muestra a 760 nm con un espectrofotómetro (modelo SmartSpec Plus, BIO RAD, U.S.A.).

Se calcularon las concentraciones de las betacianinas y betaxantinas con el coeficiente de extinción basados en las siguientes metodologías Nilsson (1970) y Sandate-Flores y col. (2020). Se usó agua destilada para las diluciones necesarias.

Utilizando el método de Dubois (1956) (fenol-ácido sulfúrico) se realizó la determinación de azúcares totales. Se preparó la solución de stock de glucosa, y una solución de fenol al 5%p/v. Se colocaron 2 ml de la muestra, se añadió 1 ml de fenol al 5%p/v, y 5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Posteriormente fueron agitados en un mezclador durante 30 segundos. Se dejaron reposar por 10 minutos y después se agitaron en vortex durante 30 segundos para dejarse reposando en agua por 20 minutos más. Finalmente se midió la absorbancia a λ 490 nm. Las diferencias significativas entre la capacidad antioxidante, concentración de compuesto fenólicos totales, betaxantinas, betacianinas y azúcares totales de cada tratamiento de secado de las cáscaras fue determinado mediante un análisis de la varianza, usando el software estadístico minitab 17.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. El extracto de la harina de cáscara de tuna secada a 70°C presentó mayor capacidad antioxidante ($3137.2 \pm 113.4 \mu\text{M}$) que la muestra secada a 60° C ($2865.0 \pm 109.3 \mu\text{M}$), por medio del método ABTS. Mientras que la capacidad antioxidante determinada con la técnica de DPPH no mostró diferencia estadísticamente significativa. Con respecto a la literatura se ha encontrado en la cascara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) actividad antioxidante por ambos métodos mencionados (Figuerola y col., 2011).



La capacidad antioxidante determinada por el método ABTS en la solución de la cáscara de tuna secada a 70°C fue 334% mayor a la capacidad antioxidante de la harina de cáscara pitaya secada a esa misma temperatura. Con estos resultados se sugiere que la temperatura de secado de la cáscara del fruto juega un papel importante en la capacidad antioxidante, ya que se observa que a mayor temperatura mayor capacidad antioxidante; sin embargo, en el estudio de Pérez-Henríquez (2019) se reporta que el aumento excesivo del calor modifica el pigmento de los alimentos, y por ende el contenido de compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante.

En la Tabla 1 se puede observar que los extractos de la harina de cáscara de tuna y pitaya presentaron mayor concentración de compuestos fenólicos totales a 60°C que a 70°C. Estos resultados concuerdan con los reportados por Fernández & Ruiz (2022), en el cual la temperatura afecta drásticamente a los fenoles totales los cuales son bioactivos característicos de *Opuntia ficus indica* donde la cascara sobresale en el contenido de estos sobre las otras partes de la tuna como la pulpa y las semillas (Albergamo y col, 2022). En cuanto a las betalainas a mayor temperatura se aumentó su concentración en ambas frutas, siendo los extractos de la cascara de tuna a 70°C con la mayor concentración de betacianinas y betaxantinas. Lo anterior concuerda con un estudio previamente realizado con la cáscara de la pitaya (*Selenicereus megalanthus*) en donde encontraron mayores concentraciones a altas temperaturas (Cejudo-Bastante y col, 2016). Con respecto a los carbohidratos totales se encontró que la mayor concentración se encuentra en los extractos de tuna a la temperatura de 70°C. Los extractos de la cáscara de tuna a 70°C tienen un 298% más carbohidratos que las de la pitaya mientras que la tuna a 60°C tiene 226% más que pitaya. Con estos resultados la cáscara de pitaya podría ser utilizada en alimentos bajos en azúcares.



Tabla 1.

Resultados de la capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), compuestos fenólicos totales, betalainas y carbohidratos totales.

Soluciones	Tratamiento	ABTS ¹ μM	DPPH ¹ μM	Compuestos fenólicos totales ² (mg/ml)	Betaxantinas (mg/l) ³	Betacianinas ³ (mg/l)	Azúcares totales ⁴ (μg/ml)
Pitaya	Temp 60°C	506.3 ± 37.6 ^c	2723.3 ± 90.4 ^c	2615 ± 775	3.24 ± 0.08 ^c	3.30 ± 0.10 ^d	7,942 ± 181.4 ²
	Temp 70°C	721.9 ± 69.3 ^c	4608.7 ± 168.7 ^b	1607 ± 316.7 ^c	6.38 ± 0.02 ^b	5.14 ± 0.10 ^c	7,782 ± 367.2 ⁵
Tuna	Temp 60°C	2865.0 ± 109.3 ^b	7080.0 ± 100 ^a	14024 ± 1228.5 ^a	7.15 ± 0.56 ^b	7.364 ± 0.55 ^b	25,858 ± 199.11 ^b
	Temp 70°C	3137.2 ± 113.4 ^a	7346.7 ± 76.4 ^a	10113 ± 300 ^b	9.21 ± 0.22 ^a	8.397 ± 0.11 ^a	31,677 ± 530.97 ^a

¹Para ABTS y DPPH, se usó trolox para la curva de calibración, las unidades usadas fueron μM de trolox equivalente, para la capacidad antioxidante. ²Las unidades usadas para compuestos fenólicos totales fueron mg de ácido gálico/mL extracto. ³Betacianinas y betaxantinas, las unidades usadas fueron mg/L. ⁴En carbohidratos totales, se usó glucosa como estándar y las unidades fueron μg/mL. Los valores se presentan como promedio ± desviación estándar (n=3), las diferentes letras (a-c) representan diferencias significantes estadísticamente (p < 0.05).

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permitieron determinar la presencia de propiedades nutraceuticas en los extractos obtenidos a partir de harinas de cáscara de pitaya y tuna. Los resultados mostraron que la cáscara de tuna secada a 70°C tuvo una mayor capacidad antioxidante, mayor cantidad de betalainas y carbohidratos totales. Con base en estos resultados, el tratamiento de secado a 70°C pudiera ser una alternativa viable para el aprovechamiento de las propiedades nutraceuticas de la cáscara de tuna. Por otro lado, por el bajo contenido de azúcares que presentó la harina de la cáscara de pitaya, ésta podría utilizarse en alimentos con bajos niveles de azúcares.



REFERENCIAS

- Albergamo, A., Potortí, A. G., Di Bella, G., Amor, N. B., Vecchio, G. L., Nava, V., Rando, R., Mansour, H. B., & Turco, V. L. (2022). Chemical characterization of different products from the tunisian *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. *Foods*, 11(2): 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods11020155>
- Amaya-Cruz, D. M., Pérez-Ramírez, I. F., Delgado-García, J., Mondragón-Jacobo, C., Dector-Espinoza, A., & Reynoso-Camacho, R. (2019). An integral profile of bioactive compounds and functional properties of prickly pear (*Opuntia ficus indica* L.) peel with different tonalities. *Food Chemistry*, 278: 568–578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.031>
- Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Balderas-Guerrero, V. (2017) Evaluación de la calidad física, sensorial, nutritiva y nutracéutica de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*) cosechados en la región de Huitziltepec, Puebla. *Colegio de Postgraduados*. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/4047>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1): 25-30.
- Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Delgado, A., & Heredia, F. J. (2016). Impact of pH and temperature on the colour and betalain content of Colombian yellow pitaya peel (*Selenicereus megalanthus*) [Impacto del pH y la temperatura en el color y contenido de betalaína de la cáscara de pitaya amarilla colombiana (*Selenicereus megalanthus*)]. *Journal of Food Science and Technology*, 53(5): 2405–2413. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2215-y>
- Cherif, I., Arbouche, R., Arbouche, Y., Mennani, A., & Arbouche, F. (2022). Dehydrated husks and cake of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) processing for broiler feed: Effects on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. *Veterinary World*, 15(3): 551–557. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.551-557>
- CONABIO. 2017. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. México, D. F.: SEMARNAP-CONABIO
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3): 350-356.



- Figueroa, R., Tamayo, J., González, S., Moreno, G., & Vargas, L. (2011). Actividad antioxidante de antocianinas presentes en cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 12(1): 44-50. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81318808007>
- García-Cruz, L., Santos-Buelgas, C., Valle-Guadarrama, S., & Salinas-Moreno, Y. (2017). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp.) fruit from two species (*S. Prinosus* and *S. stellatus*). *Food chemistry*, 234: 111–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.174>
- Hernandez-Valencia, C. G., Shirai, K., Mejia, P., Blanco, S., Román-Guerrero, A., Yáñez-López, M. de L., & Escalona, H. (2016). Postharvest preservation of cactus fruits (*Stenocereus pruinosus* and *Stenocereus Stellatus*) produced in semidesertic area of Oaxaca by biopolymer coating. *The International Journal of Interdisciplinary Social Sciences: Annual Review*, 11(1): 15–26. <https://doi.org/10.18848/1833-1882/CGP/15-26>
- Jiménez-Aguilar, D. M., López-Martínez, J. M., Hernández-Brenes, C., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Welti-Chanes, J. (2015). Dietary fiber, phytochemical composition and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *Journal of Food Composition and Analysis*, 41: 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.01.017>
- Nilson, I. (1970). Studies into the pigments in beet root. *Lantbrukshögskoleens årsberättelse*. 36: 179-83.
- Nobel, P. S. (2003). Environmental biology of agaves and cacti. *Cambridge University Press*.
- Ochoa-Velasco, C. E., Palestina-Rivera, J., Ávila-Sosa, R., Navarro-Cruz, A. R., Vera-López, O., & Lazcano-Hernández, M. A. (2022). Use of green (*Opuntia megacantha*) and red (*Opuntia ficus-indica* L.) cactus pear peels for developing a supplement rich in antioxidants, fiber, and *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Science and Technology*, 42: 1–6. <https://doi.org/10.1590/fst.101421>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & RiceEvans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(9-10): 1231-1237. [10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- SAGARPA. (2011). Nopal y tuna, una mirada a su realidad actual. *Revista mensual Claridades Agropecuarias*. 3-5
- Salem, M. A., Mariam A., E.-K., Badawy, W. Z., & El-Bana, M. A. (2022). Biological evaluation of prickly pear peels and seeds (*Opuntia ficus-indica*) in CCL4-intoxicated rats. *Current Science International*, 11(01): 64–83. <https://doi.org/10.1111/ner.12242>



- Sandate-Flores, L., Romero-Esquivel, E., Rodríguez-Rodríguez, J., Rostro-Alanis, M., Melchor-Martínez, E. M., Castillo-Zacarías, C., Ontiveros, P. R., Celaya, M. F. M., Chen, W. N., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2020). Functional attributes and anticancer potentialities of chico (*Pachycereus weberi*) and jiotilla (*escontria chiotilla*) fruits extract. *Plants*, 9(11): 1623. 10.3390/plants9111623
- Singleton, V. & Rossi, J. A. (1965) Colorimetry of Total Phenolic Compounds with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16: 144-158. 10.5344/ajev.1965.16.3.144
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2007). Betalains emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology*, 18(10): 514–525. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.04.012>
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Campanella, O. H., Hamaker, B. R., & Welti-Chanes, J. (2022). Extrusion effect on in vitro fecal fermentation of fruit peels used as dietary fiber sources. *LWT*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.11.2569>
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Arredondo-Gomez, A., Carranza-Pérez, M. A., Mares Arreola, O., Comparan Sánchez, S., & Gonzáles-Cortés, A. (2010). *Cactáceas ornamentales del desierto Chihuahuense que se distribuyen en Coahuila, San Luis Potosí y Nuevo León*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.



REVALORIZACIÓN DE DESECHOS DE PET MEDIANTE LA SÍNTESIS DE RESINAS POLIÉSTER INSATURADO Y SU APLICACIÓN EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS

REVALORIZATION OF PET WASTE THROUGH THE SYNTHESIS OF UNSATURATED POLYESTER RESINS AND THEIR APPLICATION IN POLYMERIC COMPOUNDS

KARLA IVONE LUIS-TIENDA¹

AIDÉ SÁENZ-GALINDO¹

ADALÍ O. CASTAÑEDA-FACIO¹

HERIBERTO RODRÍGUEZ-TOBÍAS²

RESUMEN

El polietilen-tereftalato es un polímero con gran producción a nivel mundial, cuya producción anual supera los 30 millones de toneladas, lo que presenta grandes desafíos ambientales debido a su alta demanda de producción y contaminación con el medio ambiente.

El PET es susceptible a diversas estrategias de reciclaje, de las cuales el reciclaje terciario, especialmente la glicólisis, ha ganado relevancia debido a su bajo costo y capacidad para generar subproductos que son usados en resinas poliéster, las cuales son una alternativa altamente sustentable y de mayor valor agregado comparadas con productos obtenidos del reciclaje primario o secundario del PET. En este artículo se presenta de manera general la producción de resinas poliéster a partir de PET, así como el uso de éstas para la generación de compuestos poliméricos, sus principales aplicaciones, tendencias y oportunidades de investigación y desarrollo de este tipo de materiales.

Palabras clave: polietilen-tereftalato, reciclaje químico, resinas poliéster insaturado, materiales compuestos, aplicaciones.

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

2. Centro de Investigación en Química Aplicada.

Correspondencia
aidesaengalindo@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
7 de mayo de 2024.

Artículo aceptado
19 de junio de 2023.



CienciAcierta

ABSTRACT

Polyethylene terephthalate is a polymer with large production worldwide, whose annual production exceeds 30 million tons, presenting great environmental challenges due to its high production demand and environmental pollution.

PET is susceptible to various recycling strategies, among which tertiary recycling, especially glycolysis, has gained relevance due to its low cost and ability to generate by-products used in polyester resins. These resins represent a highly sustainable and value-added alternative compared to products obtained from primary or secondary PET recycling. This article provides a general overview of polyester resin production from PET, as well as their use in the generation of polymeric compounds, their main applications, trends, and research and development opportunities of this type of material.

Keywords: polyethylene terephthalate; chemical recycling; unsaturated polyester resins; composite materials; applications.

INTRODUCCIÓN

El Polietilenteraftalato (PET), se ha consolidado como un material polimérico indispensable en diversos sectores, debido a su excelente relación costo-desempeño. Así, se ha posicionado como el quinto polímero más producido a nivel mundial alcanzando cerca de 30 millones de toneladas en 2022 (Plastics Europe, 2023). Este poliéster se utiliza fundamentalmente para la fabricación de botellas, fibras textiles y laminados. Desafortunadamente, los productos de PET, principalmente las botellas y laminados, han sido diseñados para utilizarse una sola vez, por lo que su consumo excesivo y la mala gestión de los residuos han dirigido a la acumulación de éstos, impactando así negativamente en el medio ambiente (Babei y col., 2024).



Como una respuesta a la problemática de la acumulación y contaminación del medio ambiente por productos de PET, a nivel mundial se ha promovido su aprovechamiento mediante el reciclaje. Esta estrategia contribuye a conservar la materia prima derivada de fuentes no renovables (petróleo), reducir los gases de efecto invernadero, ahorrar energía, promover un desarrollo social y económico, así como potencializar el desarrollo nuevos productos con alto valor agregado (Thomsen y col., 2023; Babei y col., 2024 & Conroy y Zhang, 2024).

En este contexto, el reciclaje químico de PET ha cobrado relevancia porque sus productos de degradación pueden utilizarse para la producción de resinas poliéster insaturado. Dichas resinas son productos comercialmente exitosos debido a que son usados para la fabricación de materiales compuestos termofijos, cuyo desempeño es apto para aplicaciones en el sector automotriz, construcción, recubrimientos y medicina (Nava, 2015; Gao y col., 2019 & Thomas y Chirayi, 2023).

Si bien existe una vasta gama de publicaciones relacionadas con el reciclaje químico de PET, estos se enfocan en aspectos generales y abordan superficialmente el uso de sus subproductos de PET para la generación de productos de alto (Carta y col., 2003; Abdelaal y col., 2011; Zhang y col., 2014; Sheel y Pant, 2019; Hu y col., 2020; Mendiburu-Valor y col., 2022; Kasmi y col., 2023; Thomsen y col., 2023; Conroy y Zhang, 2024 & Muringayil Joseph y col., 2024).

En este contexto, el propósito de este artículo es mostrar un panorama general acerca de la revalorización de los desechos de PET mediante reciclaje químico, con un enfoque en el uso de los subproductos de dicho tipo de reciclaje para la producción de resinas poliéster insaturado. Adicionalmente, se presenta un análisis de las tendencias sobre la aplicación de resinas poliéster derivadas de PET en la generación de materiales compuestos y sus actuales o potenciales aplicaciones en distintos sectores.



GENERALIDADES DEL PET Y SU RECICLAJE

Para abordar el tema del reciclaje químico del PET es de suma importancia establecer las características que posee. En este contexto, las cadenas poliméricas del PET constan de unidades repetidas de etilenglicol y ácido tereftálico unidas mediante enlaces éster, cuya estructura se muestra en la Figura 1. En lo referente a la morfología, se trata de un polímero semicristalino cuyo porcentaje de cristalinidad puede variar en función del tipo de proceso de transformación al que sea sometido. La estructura química del PET, su inherente semicristalinidad y el proceso de transformación confieren al PET una alta versatilidad en cuanto a productos y propiedades. Así, se pueden obtener fibras altamente orientadas con alta cristalinidad, translúcidas, con excelente resistencia a la elongación y barrera a la humedad, o bien, productos con menor cristalinidad, pero con alta transparencia y propiedades térmicas y mecánicas modestas, como es el caso de botellas y productos laminados para empaques de alimentos (East, 2002).

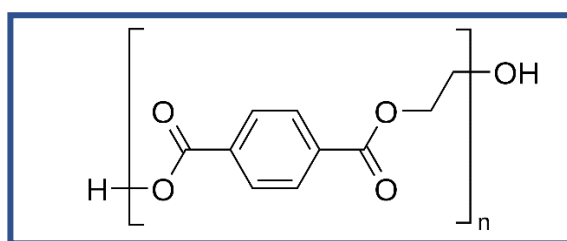


Figura 1. Estructura química del Polietilen-tereftalato (PET).

Una de las principales características del PET es su comportamiento termoplástico, es decir, que puede ser reblandecido varias veces mediante la aplicación de calor. Aunado a lo anterior, su estructura química es proclive a reacciones que dirijan a la obtención de subproductos de interés científico y comercial, lo que ha propiciado el desarrollo de distintas estrategias de reciclaje de los desechos de PET (Carta y col., 2003; Raheem y col., 2019; Babaei y col., 2024 & Muringayil y col., 2024).



En este sentido, dichas estrategias se han clasificado como reciclaje primario, reciclaje secundario y reciclaje terciario. En cuanto al reciclaje primario, éste involucra la reintroducción de desechos de PET en las líneas de producción, sin embargo, éstos se limitan a desechos que no hayan tenido contacto con otros materiales o sustancias, ya que conlleva un proceso previo significativo (Conroy y Zhang, 2024 & Muringayil y col., 2024).

El reciclaje secundario, también conocido como método mecánico implica distintas etapas en donde interviene la recolección del material, clasificación lavado, molienda y reprocesamiento, para posteriormente ser fundidos y reprocesados a alta temperatura. Sin embargo, presenta el inconveniente de degradación de los productos reciclados ya que a temperaturas de fusión pueden ocurrir reacciones químicas no deseadas, disminuyendo las propiedades mecánicas del PET debido a la degradación termo oxidativa y termo mecánica, así como la reducción del peso molecular durante este proceso. Aunado a lo anterior, la adición de PET reciclado en material virgen causa deterioro de la transparencia, lo que no es deseable en productos para empaque (Kasmi y col., 2023; Chen y col., 2024; Conroy y Zhang, 2024).

Por otro lado, el reciclaje terciario consiste en la despolimerización de la cadena del poliéster en sus monómeros correspondientes u otros subproductos. En el proceso de reciclaje químico existen diferentes métodos dependiendo del tipo de compuesto usado para la despolimerización, los cuales incluyen hidrólisis, metanólisis, glicólisis, aminólisis y amonólisis (Zhang y col., 2014; Raheem y col., 2019; Hu y col., 2020 & Zahova y col., 2023).

Cada uno de los métodos tiene sus ventajas y desventajas, principalmente relacionadas con el costo y la pureza lograda, las cuales son desglosadas en la Tabla 1.



Tabla 1.

Ventajas y desventajas de los métodos utilizados en el reciclaje químico del PET (Zahova y col., 2023).

Método	Ventajas	Desventajas
Hidrólisis	Se produce TPA y EG para su posterior uso en la producción de polímero virgen	No ha sido utilizado para producir PET grado alimenticio debido a su elevado costo
Metanólisis	Se obtiene DMT y EG, los cuales son utilizados como materia prima para obtener nuevamente el PET	Se requieren catalizadores, altas presiones y dificultad de separar los productos del EG
Glicólisis	Se obtienen oligómeros o bis(2-hidroxietiltereftalato) (BHET) con exceso de EG. Es un proceso asequible a nivel industrial	Dificultad de separar los oligómeros formados
Aminólisis	El PET se hace reaccionar con diferentes aminas en solución acuosa para producir diamidas de TPA y EG	Proceso no se lleva comercialmente, sin embargo, mejora las propiedades de las fibras de PET
Amonólisis	Se produce tereftaldiamida al hacer reaccionar el PET con amoniaco anhidro	Dificultad de separar los oligómeros formados

El método de glicólisis ha ganado relevancia en la industria por su bajo costo tanto en materia prima utilizada como en el equipamiento. Este método consistente en la despolimerización mediante reacciones de transesterificación con compuestos químicos con dos grupos hidroxilo (glicoles) como etilenglicol y dietilenglicol, obteniendo así el bis(2-hidroxietiltereftalato) (BHET) y oligómeros de PET, cuyo mecanismo se muestra en la Figura 2. Los productos obtenidos integrarse directamente en las líneas de producción de PET o usarse para el desarrollo de otros productos poliméricos de mayor valor y desempeño, como poliuretanos, resinas epoxi, alquidácicas, acrílicos fotocurables y resinas poliéster insaturado (Sheel y Pant, 2019; Ghosal y Nayak, 2022; Kirshanov y col., 2022; Zahova y col., 2023 & Conroy y Zhang, 2024), éstas últimas son tema de interés del presente documento y se abordan en la siguiente sección.



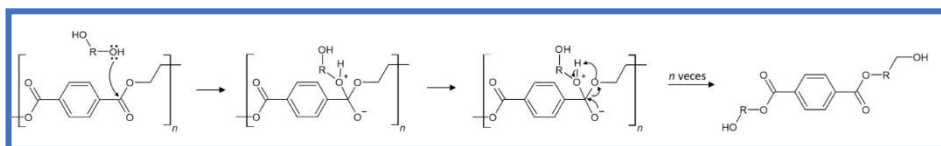


Figura 2. Mecanismo de despolimerización de PET mediante glicólisis.

OBTENCIÓN DE RESINAS POLIÉSTER A PARTIR DE PRODUCTOS DEL RECICLAJE QUÍMICO DEL PET. GENERALIDADES DE LAS RESINAS POLIÉSTER INSTAURADO Y SUS COMPONENTES.

El interés de la comunidad científica e industrial en el desarrollo y uso de resinas poliéster insaturado (RPI) se debe principalmente a su versatilidad en cuanto a propiedades como resina y producto curado, esto asociado a la variación que se puede hacer en su composición y estructura química. Por lo tanto, las aplicaciones de las RPI son diversas, desde la fabricación de productos del sector de la construcción, automotriz o recubrimientos, hasta el sector de dispositivos médicos (Gao y col., 2019; Malik y col., 2000; Marín y col., 2021; Nava, 2015 & Thomas y Chirayi, 2023). Las RPI constan de tres componentes principales:

- (1) Poliésteres de bajo peso molecular ($1000\text{-}3000\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) con insaturaciones en su cadena principal. Se producen de la polimerización de ácidos dibásicos y/o anhídridos saturados e insaturados con alcoholes polihídricos. Entre los anhídridos y diácidos principales para su síntesis están el anhídrido maleico y el ácido fumárico, que aportan los dobles enlaces para el entrecruzamiento con el solvente reactivo (monómero vinílico). Respecto a los diácidos o anhídridos saturados, se utilizan el anhídrido ftálico, el ácido isoftálico y el ácido tereftálico, los últimos dos mejoran las propiedades químicas, mecánicas y térmicas de las resinas. Con relación a los alcoholes polihídricos, se utilizan glicoles como el etilenglicol, dietilenglicol y propilenglicol, típicamente como mezcla para balancear propiedades y costos. El propilenglicol mejora las propiedades de la resina, como curado y compatibilidad con estireno. Para aplicaciones específicas como recubrimientos marinos, se prefieren glicoles especializados como el neopentilglicol, que



ofrece una mayor resistencia química (Malik y col., 2000 & Nava, 2015).

- (2) Monómeros vinílicos que fungen como disolvente y agente de entrecruzamiento. Típicamente se usa estireno debido a su bajo costo, buena capacidad para disolver la mayoría de los poliésteres, alta reactividad, baja viscosidad y por propiciar el desarrollo de buenas propiedades mecánicas a las resinas poliéster curadas. Sin embargo, para algunas aplicaciones especiales, sobre todo para el desarrollo de recubrimientos con alta resistencia a la intemperie, se suele utilizar metacrilato de metilo, aunque en combinación con una proporción muy elevada de estireno, por las razones antes mencionadas. Para el caso de RPI que generen menos emisiones de monómeros, se utiliza el viniltolueno, aunque también en baja proporción (Malik y col., 2000 & Nava, 2015).
- (3) Aditivos fundamentalmente inhibidores y aceleradores que fungen como controladores del curado en las diferentes etapas de la vida de la RPI. Los primeros son derivados de la quinona y los últimos son sales orgánicas. Para algunos propósitos especiales, se pueden agregar aditivos contra rayos UV o agentes tixotrópicos, principalmente para RPI destinadas a recubrimientos (Malik y col., 2000 & Nava, 2015).

Debido a que tanto el poliéster como el monómero, en el cual está disuelto, cuentan con sitios reactivos (dobles enlaces), son proclives a reacciones de polimerización vía radicales libres, iniciadas ya sea térmica o fotocatalíticamente, formando eventualmente un material termofijo (Malik y col., 2000; Nava, 2015; Gao y col., 2019; Marín y col., 2021 & Thomas y Chirayi, 2023). Los componentes básicos de una RPI se muestran en la Figura 3, donde se esquematiza la estructura obtenida luego de someterse a reacciones de entrecruzamiento (curado).



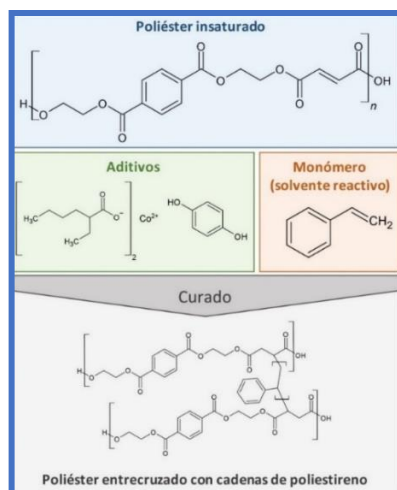


Figura 3. Esquema de los principales componentes de las RPI y su estructura entrecruzada. (Malik y col., 2000; Nava, 2015; Gao y col., 2019; Marín y col., 2021 & Thomas y Chirayi, 2023).

RESINAS POLIÉSTER DERIVADAS DE PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN DE PET

En lo referente a las RPI derivadas de desechos de PET, su desarrollo se remonta a los años ochenta y a la fecha se han publicado cerca de 140 trabajos de investigación (Figura 4).

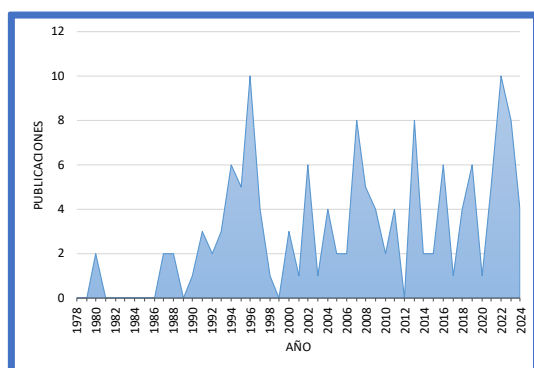


Figura 4. Publicaciones relacionadas con la síntesis de RPI derivadas de PET (Fuente: scopus, términos: polyethylene terephthalate, PET, unsaturated polyester).

Los trabajos de investigación han servido para establecer un proceso general de producción de RPI derivadas de PET que consta básicamente de cuatro etapas, descritas y esquematizadas en la Figura 5.



- 1) Despolimerización del PET: se agrega el o los glicoles, se calienta a altas temperaturas (180-235°C) posteriormente se añaden los desechos de PET y que sea despolimerizado (degradado) mediante reacciones de trans-esterificación, formando así BHET u oligómeros (Öztürk y Güçlü, 2005; Duque-Ingunza y col., 2013 & Rubeš y col., 2024).
- 2) Purificación: los subproductos de la degradación del PET se purifican para separar los glicoles remanentes, los oligómeros y el BHET, el cual sirve como intermediario para las etapas posteriores de la síntesis de RPI. A escala industrial, la etapa de purificación no es deseada, por lo que es crucial obtener una alta conversión de PET a BHET, mientras que los glicoles remanentes se reutilizan para la polimerización posterior (Öztürk y Güçlü, 2005; Duque-Ingunza y col., 2013 & Rubeš y col., 2024).
- 3) Síntesis de RPI mediante policondesación: los subproductos de la despolimerización del PET se hacen reaccionar con glicoles, diácidos o anhídridos saturados e insaturados a altas temperaturas (180-220°C), generando así el poliéster con dobles enlaces carbono-carbono a lo largo de su cadena principal (Öztürk y Güçlü, 2005; Duque-Ingunza y col., 2013 & Rubeš y col., 2024).
- 4) Formulación final: la RPI obtenida se enfría (50-100°C) y se disuelve en un monómero o mezcla de monómeros con dobles enlaces carbono-carbono, típicamente estireno, metacrilato de metilo o vinil tolueno. Estos monómeros contienen inhibidores para evitar una polimerización prematura, finalmente, se añaden a la mezcla aceleradores y aditivos (Öztürk y Güçlü, 2005; Duque-Ingunza y col., 2013; Rubeš y col., 2024).



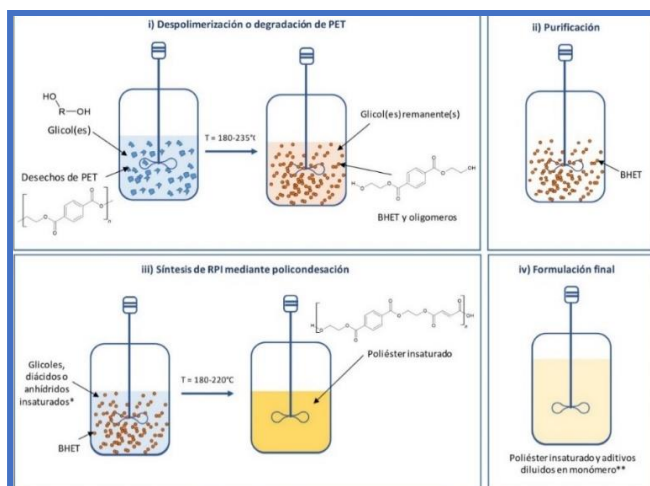


Figura 5. Esquema de las etapas para la síntesis de resinas poliéster insaturado (RPI) derivadas de desechos de PET (*típicamente se usa anhídrido maleico para la etapa de la síntesis de RPI y ** se disuelve en estireno).

Aunado a lo anterior, la investigación relacionada con RPI derivadas de PET ha generado conocimiento referente a la influencia del tipo y proporción de glicoles, catalizadores, características físicas del PET y temperatura a la cual se realiza la glicólisis sobre el rendimiento de la degradación. Asimismo, las RPI derivadas de PET han sido comparadas con resinas convencionales en cuanto a propiedades en líquido (viscosidad y curado) y desempeño como material termofijo, cuyas principales conclusiones se abordan en párrafos subsecuentes (Duque-Ingunza y col., 2013).

De tal manera que hasta la fecha se ha establecido que la degradación de PET se ve favorecida cuando la relación en peso de PET/glicol es baja, aproximadamente 35/65, esto debido a que se incrementa la probabilidad de reacciones de trans-esterificación. Asimismo, se concluyó que las temperaturas de degradación de PET comúnmente se encuentran entre 180 y 235°C y, como es de esperarse, la velocidad de degradación se incrementa conforme se incrementa la temperatura. Con el afán de reducir los tiempos de degradación, se recurre al uso de catalizadores, comúnmente basados en sales inorgánicas o compuestos órgano-metálicos. Aunque más recientemente se ha investigado en catalizadores del tipo heterogéneo, debido a que se pueden reusar (Vaidya y



Nadkarni, 1987a y 1987b; Vaidya y Nadkarni, 1988; Abdel-Azim y Attia, 1995; Abdel-Azim, 1996; Aslan y col., 1997; Chaeichian y col., 2008; Zahedi y col., 2009; Duque-Ingunza y col., 2013; Lechugas-Islas y col., 2023).

En lo referente al efecto de las características del PET sobre la degradación vía glicólisis, se ha demostrado que las botellas de PET son preferentemente usadas debido a que poseen una menor cristalinidad, lo que favorece la migración de los glicoles hacia las cadenas de PET y, consecuentemente, mayor degradación. Sin embargo, la desventaja de usar fibras de PET puede ser soslayada por la alimentación por etapas, lo que asegura una mayor relación glicol/PET (Lei y col., 2022). El tamaño de partícula obtenido luego de triturar los desechos de PET, también tiene efecto en su degradación, a mayor tamaño de partícula, la degradación es menor, ya que hay menor área superficial disponible para interactuar con los glicoles, provocando así menos reacciones de trans-esterificación (Xin y col., 2021).

Respecto al tipo de glicol, se ha demostrado que el etilenglicol es el que más favorece la despolimerización del PET en comparación con propilenglicol, dietilenglicol y trietilenglicol. No obstante, su uso se ve limitado debido a que la temperatura de ebullición es baja y puede haber pérdidas de éste durante el calentamiento. Las investigaciones relacionadas con la degradación del PET con mezclas de glicoles tuvieron el objetivo de optimizar el proceso de degradación y minimizar costos (Suh y col., 2000; Pimpan y col., 2003; Öztürk y Güçlü, 2005).

Relacionado a lo anterior, los estudios se enfocaron en dilucidar el efecto de la estructura química de los subproductos de degradación en las propiedades de la resina en estado líquido (viscosidad y curado) y las propiedades mecánicas del material curado. Así, se demostró que el subproducto de la glicólisis al ser polimerizado con anhídrido maleico y glicoles comunes (propilenglicol, etilenglicol, dietilenglicol y trietilenglicol) genera RPI con viscosidades, tiempo de curado y propiedades finales muy similares a las resinas convencionales a base de anhídrido ftálico. Es importante mencionar que



en caso de que las RPI derivadas de PET no cumplan los requerimientos en propiedades fisicoquímicas, éstas pueden ser relativamente fáciles de adaptar haciendo variaciones en la composición del poliéster, o bien, a la formulación de los aditivos. Así, las RPI base PET que contiene mayor proporción de glicoles de cadena larga presentan velocidades de curado más lentas y resultan en materiales curados con mayor flexibilidad (Suh y col., 2000; Pimpan y col., 2003; Öztürk y Güçlü, 2005; Katoch y col., 2009; Abdelaal y col., 2011; Abdel Bary y col., 2019).

Si bien se ha logrado establecer el proceso general de síntesis de las RPI derivadas de PET, así como la relación entre la estructura química con las propiedades en líquido y como material curado, la comunidad científica continúa realizando esfuerzos para incrementar el grado de sustentabilidad de las RPI derivadas de PET, fundamentalmente usando materia prima de origen renovable o reciclable.

En este sentido, Lozano-Escárcega y colaboradores investigaron la síntesis de RPI a partir de anhídrido maleico y subproductos de degradación de PET y celulosa (Figura 6). El estudio se enfocó exclusivamente en dilucidar la estructura química del poliéster insaturado, sin evaluar éste en presencia de algún monómero para entrecruzar, sin embargo, sentó las bases para el desarrollo de resinas poliéster a partir de desechos plásticos (PET) y orgánicos (madera o papel) (Lozano-Escárcega y col., 2019).

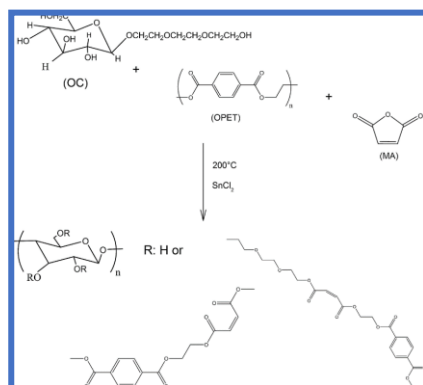


Figura 6. Síntesis de RPI base oligómeros de celulosa y PET (Lozano-Escárcega y col., 2019).



Potiyaraj y col. (2007) realizaron estudios para ampliar el alcance del reciclaje químico de distintos productos PET, despolimerizando textiles de PET y mezclas de PET/algodón, principales componentes de vestimenta que termina como residuo urbano. El algodón fue separado previamente del PET mediante disolución de éste en ácido clorhídrico. Posteriormente, se sometió a la glicólisis y el producto de degradación se polimerizó con anhídrido maleico en una relación molar de 1.1/1, para finalmente diluir en estireno. Las RPI resultantes curadas presentaron propiedades mecánicas muy similares a las derivadas de botellas de PET, por lo que se vislumbran como una opción más para generar resinas sustentables a partir de residuos urbanos (Potiyaraj y col., 2007).

Rubeš y col. (2004) publicaron la obtención de RPI bio-basadas y derivadas de residuos de PET. Dichos poliésteres se sintetizaron mediante la polimerización de oligómeros de PET con ácido itacónico como materia prima bio-derivada. Adicionalmente, los poliésteres obtenidos fueron diluidos en dimetilitaconato y dibutilitaconato, evitando así el uso de estireno, cuya toxicidad es elevada. Los productos curados presentaron propiedades similares a su contraparte con estireno, por lo que representan una solución sustentable desde el punto de vista de reciclaje de desechos de PET, uso de materia prima alternativa al petróleo y, debido a la eliminación del estireno en la fórmula, se pueden evitar daños al medio ambiente y salud de usuarios (Rubeš y col., 2024).

DESARROLLO DE COMPUESTOS BASADOS EN RESINAS POLIÉSTER INSATURADO DERIVADAS DE DESECHOS DE PET

Las RPI pueden ser utilizadas para el desarrollo de materiales compuestos cuya aplicación es muy variada. De manera general, se utilizan para el diseño de piezas reforzadas con fibra de vidrio para la industria automotriz. También son mezcladas con cargas inorgánicas tales como carbonato de calcio (CaCO_3), talco, sílice o esferas de vidrio para el diseño de placas, lavabos, sanitarios, bañeras, etc. Algunos productos, tales como el concreto polimérico,



se fabrican con RPI mezclada con cargas y estructuradas con fibra de vidrio. Otra de las aplicaciones de este tipo de resinas, son las pinturas termofijas denominadas como “gelcoats”, cuyas formulaciones son tan complejas como sea necesario para el uso final y color deseado (Pączkowski y col., 2020).

Las primeras investigaciones acerca del uso de RPI en materiales compuestos datan de 1990 y estuvieron relacionados con formulaciones para concreto polimérico. Rebeiz y col. (1991) (Rebeiz 1996a, 1996b) publicaron diversos estudios enfocados en evaluar la formulación, resistencia a la compresión, flexión y abrasión de concreto polimérico. Sus estudios han determinado que las RPI deben de ser de baja viscosidad (100-1000 cP) para promover buena distribución entre las cargas, pueden ser curadas con peróxido de metil-etilcetona y pueden usarse RPI con 15 a 40 % en peso de productos de degradación de PET, la adición de 10 % y 20 % en peso de cenizas volantes a la PM da como resultado una resistencia a la compresión significativamente mayor que la resistencia a la compresión de la resina pura (es decir, resina curada sin el uso de cargas). Sin embargo, la resistencia a la compresión del PM utilizando 30 % y 40 % en peso de cenizas volantes es ligeramente menor que la resistencia a la compresión de la resina pura. Las piezas presentaron una disminución a la resistencia a la tracción al aumentar el contenido de carga en el PM, mientras que el módulo de elasticidad a la tracción del PM aumenta significativamente con un aumento en el contenido de carga. Por lo tanto, el mejor diseño de mezcla para PM, optimizado para resistencia a la tracción y economía, es el 40 % en peso de rellenos, del cual el 50 % en peso es arena y el 50 % en peso son cenizas volantes (Rebeiz y col., 1991; Rebeiz, 1996a y 1996b). Gao y col. (2019) han recurrido a la incorporación de cargas recicladas en piezas de concreto polimérico con matriz de RPI base PET. Entre estas cargas recicladas destacan restos de mármol triturado, residuos triturados de hule llantas, cenizas volantes (subproductos de la industria de energía eléctrica con carbón), alúmina (subproducto de la industria acerera), micas de lentes oftálmicos base poli (alil



carbonato), entre otros (Tawfik y Eskander, 2006; Gao y col., 2019; Tasmin y col., 2021 & Kovačević y col., 2021).

Tonet y Gorninski (2013) desarrollaron compuestos de hormigón polimérico a base de resinas poliéster insaturado con residuos industriales de alúmina, mostrando valores de resistencia a la compresión entre 65.4 y 80.2 MPa. Los compuestos utilizaron poliéster ortoftálico insaturado como aglutinante, arena de río como agregado y cenizas volantes como relleno. Se probaron diferentes composiciones de retardantes de llama, en donde se utilizaron concentraciones de 15 al 60 % en peso. En el caso de la adición de un 60 % de residuos retardantes de llama mostraron una reducción del 85 % en los tiempos de propagación de la llama en comparación con las muestras sin la adición de retardantes de fuego, mostrando una mayor resistencia mecánica (Tonet y Gorninski, 2013).

Por su parte, Kovačević y col. (2021) diseñaron materiales compuestos totalmente reciclados en donde se utilizaron dos tipos de materiales de desecho poliméricos, PET residual para la síntesis de resina de poliéster insaturado termoestable y resina base de policarbonato (CR-39) como relleno. Las partículas de CR-39 fueron sometidas a oxidación y activación química usando ácidos/base y etanolamina antes de ser mezcladas con las RPI. Las propiedades mecánicas demostraron que la incorporación de las partículas de relleno en un 0.5 % en peso mejoran la resistencia a la tracción, flexión y dureza. Por lo tanto, la presencia de cargas dentro de una matriz polimérica permite la formación de interacciones intermoleculares dentro de la interfase refuerzo/resina, confiriéndole mejores propiedades mecánicas.

Asímismo, Tawfik y Eskander (2006) sintetizaron hormigón polimérico mediante poliéster insaturado y desechos de mármol triturado como relleno con un 30 % en peso. El poliéster insaturado utilizado se preparó a partir de los oligómeros de la despolimerización de botellas de PET con anhídrido maleico y ácido adípico. Mezclaron el poliéster insaturado con monómeros de estireno en una proporción de 60:40 % en peso para obtener poliéster estirenado para la síntesis del hormigón polimérico. El



hormigón polimérico se preparó mezclando 88 % en peso y 12 % en peso de la resina de poliéster insaturada preparada. La estabilidad mecánica, la durabilidad química y la inflamabilidad del hormigón se evaluaron bajo diferentes condiciones experimentales de composiciones de relleno, presión de fundición, envejecimiento y períodos de inmersión. En donde demostraron que la adición de mármol triturado favorece la resistencia química, confiriendo mayor resistencia a la flama (Tawfik y Eskander, 2006).

Por otro lado, las resinas RPI base PET también han sido utilizadas para el desarrollo de biocompuestos que contengan desechos orgánicos como carga como las fibras de maíz. Pączkowski y col. (2020) realizaron compuestos RPI base PET reforzados con aserrín. En donde las mezclas preparadas se vertieron en moldes y se realizó el curado correspondiente. Se envejecieron los compuestos verdes obtenidos, en donde se presentó una disminución de resistencia a la flexión, tensión de rotura y factor de pérdida mecánica debido a un aumento a la cantidad de aserrín, volviéndose quebradizos y opacos (Pączkowski y col., 2020).

Además, fueron caracterizados compuestos RPI base PET reforzados con desechos agroindustriales como lo son las fibras de bambú. Recientemente, Kaliappan y col. (2022) investigaron las propiedades físicas y mecánicas de compuestos de RPI y PET reciclado con un 10-40 % del volumen de fibra de bambú. Este tipo de compuestos representan una alternativa sustentable debido a que se aprovechan desechos orgánicos e inorgánicos que, adicionalmente, pueden generar productos económicamente más asequibles. Sin embargo, su alta absorción de agua y propiedades térmicas y mecánicas relativamente bajas, pueden limitar su aplicación en productos que demanden desempeño y costo moderado (Kaliappan y col., 2022).

Con el objetivo de obtener materiales compuestos multifuncionales con mayor valor agregado se han estado estudiando biocompuestos nanoestructurados a base de RPI y nanofibras de celulosa. Ansari y colaboradores tomaron ventaja de estos materiales, en donde desarrollaron biocompuestos de RPI con nanofibras de



celulosa (16-45 % volumen), en donde nanofibras de celulosa de madera para reforzar RPI. La técnica por utilizar se basó en la impregnación de las nanofibras con RPI (45 % volumen) en acetona. Los biocompuestos obtenidos fueron sometidos a pruebas de humedad, térmicas y mecánicas. El módulo y resistencia aumentaron aproximadamente 3 veces a un 45 % en volumen de las nanofibras de celulosa. Sin embargo, el efecto del refuerzo se ve reducido al incrementar la humedad relativa de 50 a 90 %, debido a la adsorción de agua en la interacción de la superficie del biocompuesto (Ansari y col., 2015).

Actualmente existen muy pocos estudios acerca de la aplicación de RPI con fibras naturales. Sin embargo, se están realizando exploraciones para aprovechar el potencial de las fibras naturales como sustitutos ecológicos de los materiales sintéticos en la fabricación de compuestos. Tal es el caso de Nath y col. (2024), quienes emplearon residuos de botellas de PET glicolizado para síntesis de RPI con el fin de fabricar compuestos reforzados con fibras de yute mediante moldeo en láminas. Se prepararon dos muestras al 25 % en peso de la fibra de yute como refuerzo, en donde una de estas utilizó distintos dispersantes como el trihidrato de aluminio (7 % peso), peroxibenzoato de ter-butilo (0.25 % peso), inhibidor de ciclohexanona (1 % peso), relleno de carbonato de calcio (CaCO_3) (3 % peso), óxido de magnesio (MgO) (0.25 % peso), polietileno de baja densidad para detener la concentración de la resina poliéster (0.5 % peso), estearato de zinc (1 % peso). Posteriormente, la mezcla formada se colocó entre rodillos calandradores de la moldura en lámina. El análisis comparativo reveló una notable superioridad en las resistencias a tracción y flexión de las probetas fabricadas con RPI reciclado sobre las RPI virgen. El aumento observado en el rendimiento de la matriz reciclada (1.7 %) y la mayor resistencia de la fibra de yute se puede atribuir a la flexibilidad de la cadena de la resina. La menor magnitud en la viscosidad de la resina de poliéster insaturado reciclada a 358 cps, en comparación con la UPR virgen a 426 cps, sugiere un mayor grado de dispersión de la matriz de resina dentro del material de refuerzo. Por lo tanto, la naturaleza flexible y amorfa de las RPI recicladas lo convierte en un material



adecuado para producir compuestos utilizando fibras de yute (Nath y col., 2024).

Se han realizado estudios acerca del rendimiento de las RPI mediante la adición de cargas inorgánicas, especialmente nano cargas con tamaño, forma y propiedades controlables confiriéndole mejores propiedades reológicas, eléctricas, mecánicas y térmicas. Rusmirović y colaboradores realizaron materiales híbridos utilizando RPI a base de desechos de PET reciclado y nanopartículas de sílice pirogénica modificadas químicamente. Las RPI se sintetizaron mediante glicólisis a partir de residuos de PET con dipropilenglicol (DPG) y anhídrido maleico. Además, se prepararon nanocompuestos basados en las resinas obtenidas y sílice pirogénica Aerosil R812S, R805, R817 y Aeosil modificado 200NPh. Se obtuvieron RPI/ SiO_2 R812S(n) procesando cantidades apropiadas de aglutinante, RPI y nanorellenos Aerosil R812S del 0.1 al 2 % en peso. La homogeneización de sílice pirogénica Aerosil R812S con RPI (60 % peso) se logró mediante la metodología ultrasónica. Posteriormente la resina poliéster virgen y los nanocompuestos de RPI/ SiO_2 R812S(n) se curaron utilizando BP (1 % peso) como iniciador y DMA (0.05 % peso) como acelerador. La influencia de los nanorellenos mejoró las propiedades reológicas y mecánicas, la tensión y el módulo de tracción de los nanocompuestos aumentaron al hacerlo también el contenido de sílice, mientras que la resistencia al impacto mostró una baja dependencia del contenido de sílice. Se obtuvieron buenas propiedades mecánicas con Aerosil R200NPh, el valor de la tensión de rotura y del módulo de tracción para RPI/ SiO_2 R200NPh fueron 86.52 MPa y 1.924 GPa, respectivamente. Por lo tanto, la adición de sílice condujo a una mejora significativa a las propiedades mecánicas y térmicas debido a la buena dispersión de relleno, alta estabilidad y compatibilidad con la matriz (Rusmirović y col., 2017). El uso de RPI a partir de polímeros reciclados y diversos tipos de aditivos contribuye a mejorar algunas propiedades mecánicas y térmicas de los productos terminados y promueve una economía circular. Otro tipo de material inorgánico que se utiliza como relleno en matrices poliméricas es el cuarzo. En los últimos años se han desarrollado compuestos de poliéster reforzados con cuarzo mediante moldeo por



compresión tras su impregnación con un poliéster insaturado. Pączkowski y Głogowska (2024) estudiaron el comportamiento de las RPI con diferentes cantidades de polvo de cuarzo como relleno (5,10,20 y 40 % en peso) en relación con el peso de las RPI, añadiendo 1.1 % de iniciador (Luperox) y 0.025 % en peso de acelerador. Posteriormente se añadieron a moldes de vidrios, para pasar por un proceso de curado. Los resultados demostraron que las RPI a partir de desechos de PET se pueden utilizar para la preparación de composites con polvo de cuarzo hasta un 40 % en peso. La dureza y el módulo de flexión aumentaron con la incorporación de cuarzo, mientras que la resistencia al impacto, la resistencia a la flexión y la tensión de rotura disminuyeron.

Una pequeña adición de cuarzo mejora las propiedades mecánicas de los composites de poliéster, mientras que, con un alto contenido de carga, se produce un deterioro debido a su aglomeración y al papel de las partículas como concentradores de tensiones. Estos compuestos son un material alternativo potencial que puede usarse como piedra artificial o mármol, pisos monolíticos, mortero modificado con polímeros y concreto o cargas mineras (Pączkowski y Głogowska, 2024).

CONCLUSIONES

El reciclaje químico del PET a través del glicólisis es una estrategia consolidada. Debido al amplio conocimiento generado sobre su mecanismo y rendimiento, sigue siendo una opción relevante para la producción de nuevos materiales poliméricos. Entre ellos, las resinas poliéster insaturadas destacan como una de las opciones más prometedoras tanto desde el punto de vista económico como de desempeño.

Las resinas poliéster insaturadas derivadas del PET pueden ser sustitutas de resinas poliéster convencionales debido a que exhiben propiedades mecánicas y térmicas comparables. Este reemplazo conlleva beneficios significativos en aspectos tecnológicos, sociales,



económicos y ambientales. Se generan materiales de alto valor, se fomenta el comercio de PET para reciclaje, se reduce la acumulación de este material como residuo y se disminuyen los costos tanto para los fabricantes como para los consumidores de la resina.

Con estas ventajas, se espera que la investigación y desarrollo de resinas poliéster insaturadas derivadas del PET siga progresando. Sin embargo, se observa un enfoque creciente en la incorporación de materias primas renovables o reciclables. Otra tendencia emergente es el desarrollo de resinas poliéster basadas en PET, pero con una sustitución parcial o total del estireno, debido a las preocupaciones sobre las emisiones de este monómero.

Asimismo, se anticipa que la eliminación progresiva de los compuestos basados en cobalto, utilizados como promotores del curado, se convierta en un tema prioritario, dado su impacto negativo en la salud de los trabajadores de las empresas productoras y de los usuarios finales.

En cuanto a los materiales compuestos basados en resinas poliéster insaturadas derivadas del PET, se observan dos tendencias emergentes. Una de ellas se centra en el uso de material reciclado como carga en los materiales compuestos. La otra tendencia implica el empleo de desechos vegetales como cargas o como precursores de nanomateriales que puedan incorporarse en las resinas estudiadas.

Finalmente, un aspecto crítico que no se ha abordado en la literatura analizada es la disposición final de los materiales compuestos de resinas poliéster insaturadas derivadas del PET. Este aspecto podría ser un catalizador de oportunidades de investigación relacionadas con la vida útil, la biodegradación, el reciclaje, entre otros aspectos de los productos derivados.



AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Facultad de Ciencias Químicas, a la Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales, al Centro de Investigación en Química Aplicada, así como la beca 1225185 otorgada por CONAHCYT.

REFERENCIAS

- Abdel Bary, E., Farag, R., A., R., Abdel-monem, R., Abo-Shanab, Z., & M. Saleh, A. (2019). Colloidal stability and dynamic mechanical properties of asphalt modified with unsaturated polyester prepared from waste polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Chemistry*. <https://doi.org/10.21608/ejc.hem.2019.7451.1601>
- Abdelaal, M. Y., Sobahi, T. R., & Makki, M. S. I. (2011). Chemical transformation of pet waste through glycolysis. *Construction and Building Materials*, 25(8): 3267–3271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.013>
- Abdel-Azim, A. A. (1996). Unsaturated polyester resins from poly (ethylene terephthalate) waste for polymer concrete. *Polymer Engineering & Science*, 36(24): 2973–2977. <https://doi.org/10.1002/pen.10699>
- Abdel-Azim, A. A., & Attia, I. A. (1995). Making polymer concrete and polymer mortar using synthesized unsaturated polyester resins from poly(ethylene terephthalate) waste. *Polymers for Advanced Technologies*, 6(11): 688–692. <https://doi.org/10.1002/pat.1995.220061102>
- Ansari, F., Skrifvars, M., & Berglund, L. A. (2015). Nanostructured biocomposites based on unsaturated polyester resin and a cellulose nanofiber network. *Composites Science And Technology*, 117: 298- 306. <https://doi.org/10.1016/j.compsci.tech.2015.07.004>
- Aslan, S., Immirzi, B., Laurienzo, P., Malinconico, M., Martuscelli, E., Volpe, M. G., Pelino, M., & Savini, L. (1997). Unsaturated polyester resins from glycolysed waste polyethyleneterephthalate: Synthesis and comparison of properties and performance with virgin resin. *Journal of Materials Science*, 32(9): 2329–2336. <https://doi.org/10.1023/A:1018584519173>
- Babaei, M., Jalilian, M., & Shahbaz, K. (2024). Chemical recycling of Polyethylene terephthalate: A mini-review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3): 112507. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112507>



- Carta, D., Cao, G., & D'Angeli, C. (2003). Chemical recycling of poly(ethylene terephthalate) (pet) by hydrolysis and glycolysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 10(6): 390–394. <https://doi.org/10.1065/espr2001.12.104.8>
- Chaeichian, S., Pourmahdian, S., & Afshar Taromi, F. (2008). Synthesis of Unsaturated Polyester Resins from PET Wastes: Effect of a Novel Co-catalytic System on Glycolysis and Polyesterification Reactions. *Designed Monomers and Polymers*, 11(2): 187–199. <https://doi.org/10.1163/156855508X298080>
- Chen, J., Dul, S., Lehner, S., Jovic, M., Gaan, S., Heuberger, M., Hufenus, R., & Gooneie, A. (2024). Mechanical recycling of PET containing mixtures of phosphorus flame retardants. *Journal of Materials Science & Technology*, 194: 167–179. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2024.01.035>
- Conroy, S., & Zhang, X. (2024). Theoretical insights into chemical recycling of polyethylene terephthalate (PET). *Polymer Degradation and Stability*, 223: 110729. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2024.110729>
- Duque-Ingunza, I., López-Fonseca, R., De Rivas, B., & Gutiérrez-Ortiz, J. I. (2013). Synthesis of unsaturated polyester resin from glycolysed postconsumer PET wastes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(3): 256–263. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0117-x>
- East, A. J. (2002). Polyesters, Thermoplastic. In H. F. Mark (Ed.), *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/0471440264.pst2_63
- Gao, Y., Romero, P., Zhang, H., Huang, M., & Lai, F. (2019). Unsaturated polyester resin concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 228: 116709. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116709>
- Ghosal, K., & Nayak, C. (2022). Recent advances in chemical recycling of polyethylene terephthalate waste into value added products for sustainable coating solutions – hope vs. Hype. *Materials Advances*, 3(4): 1974–1992. <https://doi.org/10.1039/D1MA01112J>
- Hu, Y., Wang, Y., Zhang, X., Qian, J., Xing, X., & Wang, X. (2020). Synthesis of poly (ethylene terephthalate) based on glycolysis of waste PET fiber. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 57(6): 430–438. <https://doi.org/10.1080/10601325.2019.1709498>
- Kaliappan, N., Govindarajan, V., Anil Kumar, T. C., Vishnu Kumar, R., Muthukumaran, S., Ahamed, M., Mahadik, M. A., & Markos, M. (2022). Investigation of Mechanical and Physical Behaviours of Polyester Resin Matrix from Recycled Polyethylene Terephthalate with Bamboo Fibre. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022: 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/4233302>
- Kasmi, N., Bäckström, E., & Hakkarainen, M. (2023). Open-loop recycling of post-consumer PET to closed-loop chemically recyclable high-performance



- polyimines. *Resources, Conservation and Recycling*, 193: 106974. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106974>
- Katoch, S., Sharma, V., Kumar, V., & Kundu, P. P. (2009). Synthesis of Unsaturated Polyester from Glycolized PET Waste and Characterization. *Journal of Polymer Engineering*, 29(4). <https://doi.org/10.1515/POLYENG.2009.29.4.199>
- Kirshanov, K., Toms, R., Melnikov, P., & Gervald, A. (2022). Unsaturated Polyester Resin Nanocomposites Based on Post-Consumer Polyethylene Terephthalate. *Polymers*, 14(8): 1602. <https://doi.org/10.3390/polym14081602>
- Kovačević, T., Brzić, S., Kalagasidis Krušić, M., Nešić, J., Radović, L., Dojčinović, M., & Rusmirović, J. (2021). Reuse potential of functionalized thermoplastic waste as reinforcement for thermoset polymers: Mechanical properties and erosion resistance. *Journal of Composite Materials*, 55(28): 4207–4220. <https://doi.org/10.1177/00219983211037045>
- Lechuga-Islas, V. D., Sánchez-Cerrillo, D. M., Stumpf, S., Guerrero-Santos, R., Schubert, U. S., & Guerrero-Sánchez, C. (2023). Thermo-responsive polymer catalysts for polyester recycling processes: Switching from homogeneous catalysis to heterogeneous separations. *Polymer Chemistry*, 14(16): 1893–1904. <https://doi.org/10.1039/D2PY01520J>
- Lei, D., Sun, X.-L., Hu, S., Cheng, H., Chen, Q., Qian, Q., Xiao, Q., Cao, C., Xiao, L., & Huang, B. (2022). Rapid Glycolysis of Waste Polyethylene Terephthalate Fibers via a Stepwise Feeding Process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(14): 4794–4802. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c05022>
- Lozano-Escárcega, R. J., Sánchez-Anguiano, M. G., Serrano, T., Chen, J. Y., & Gómez, I. (2019). Synthesis of unsaturated polyester resin from waste cellulose and polyethylene terephthalate. *Polymer Bulletin*, 76(8): 4157–4188. <https://doi.org/10.1007/s00289-018-2576-7>
- Malik, M., Choudhary, V., & Varma, I. K. (2000). Current Status of Unsaturated Polyester Resins. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 40(2–3): 139–165. <https://doi.org/10.1081/MC-100100582>
- Marín, D., Gañán, P., Tercjak, A., Castro, C., & Builes, D. H. (2021). Phase distribution changes of neat unsaturated polyester resin and their effects on both thermal stability and dynamic-mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(44): 51308. <https://doi.org/10.1002/app.51308>
- Mendiburu-Valor, E., Mondragon, G., González, N., Kortaberria, G., Martin, L., Eceiza, A., & Peña-Rodriguez, C. (2022). Valorization of urban and marine PET waste by optimized chemical recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 184: 106413. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106413>



- Muringayil Joseph, T., Azat, S., Ahmadi, Z., Moini Jazani, O., Esmaeili, A., Kianfar, E., Haponiuk, J., & Thomas, S. (2024). Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9: 100673. <https://doi.org/10.1016/j.csee.2024.100673>
- Nath, D., Das, D., Chattopadhyay, S., Mahish, S. S., & Datta, M. (2024). Using polyethylene terephthalate bottle waste as a viable precursor for the synthesis of unsaturated polyester resin in fabrication of jute fibre reinforced composites. *Polymers and Polymer Composites*, 32. <https://doi.org/10.1177/09673911241233171>
- Nava, H. (2015). Polyesters, Unsaturated. In John Wiley & Sons Inc (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (pp. 1–24). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961.1615122519051212.a01.pub3>
- Ouyang, S., Xie, Y., Fu, W., Ding, Y., & Shen, L. (2021). Preparation of autoxidative water-reducible alkyd resins from waste polyethylene terephthalate. *Royal Society Open Science*, 8(6). <https://doi.org/10.1098/rsos.202375>
- Öztürk, Y., & Güçlü, G. (2005). Unsaturated Polyester Resins Obtained from Glycolysis Products of Waste PET. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 43(5): 1539–1552. <https://doi.org/10.1081/PPT-200030272>
- Pączkowski, P., Puszka, A., & Gawdzik, B. (2020). Green Composites Based on Unsaturated Polyester Resin from Recycled Poly(Ethylene Terephthalate) with Wood Flour as Filler—Synthesis, Characterization and Aging Effect. *Polymers*, 12(12), 2966. <https://doi.org/10.3390/polym12122966>
- Pączkowski, P., & Głogowska, K. (2024). Preparation and Characterization of Quartz-Reinforced Hybrid Composites Based on Unsaturated Polyester Resin from Post-Consumer PET Recyclate. *Materials*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ma17051116>
- Pimpan, V., Sirisook, R., & Chuayjulit, S. (2003). Synthesis of unsaturated polyester resin from postconsumer PET bottles: Effect of type of glycol on characteristics of unsaturated polyester resin. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(3): 788–792. <https://doi.org/10.1002/app.11567>
- Plastics Europe (2023). *Plastics—The fast facts 2023*. Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/Plastics-the-fast-Facts-2023.pdf>
- Potiyaraj, P., Klubdee, K., & Limpiti, T. (2007). Physical properties of unsaturated polyester resin from glycolized pet fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 104(4): 2536–2541. <https://doi.org/10.1002/app.25923>
- Raheem, A. B., Noor, Z. Z., Hassan, A., Abd Hamid, M. K., Samsudin, S. A., & Sabeen, A. H. (2019). Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production:



- A review. *Journal of Cleaner Production*, 225: 1052–1064. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.019>
- Rebeiz, K. S. (1996a). Precast use of polymer concrete using unsaturated polyester resin based on recycled PET waste. *Construction and Building Materials*, 10(3): 215–220. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00088-7](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00088-7)
- Rebeiz, K. S. (1996b). Strength and durability properties of polyester concrete using pet and fly ash wastes. *Advanced Performance Materials*, 3(2): 205–214. <https://doi.org/10.1007/BF00136746>
- Rebeiz, K. S., Fowler, D. W., & Paul, D. R. (1991). Recycling Plastics in Polymer Concrete Systems for Engineering Applications. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 30(8): 809–825. <https://doi.org/10.1080/03602559108021008>
- Rebeiz, K. S., Rosett, J. W., & Craft, A. P. (1996). Strength Properties of Polyester Mortar Using PET and Fly Ash Wastes. *Journal of Energy Engineering*, 122(1): 10–20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(1996\)122:1\(10\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(1996)122:1(10))
- Rubeš, D., Vinklár, J., Podzimek, Š., & Honzíček, J. (2024). Bio-based unsaturated polyester resin from post-consumer PET. *RSC Advances*, 14(12): 8536–8547. <https://doi.org/10.1039/D3RA08500G>
- Rusmirović, J. D., Radoman, T., Džunuzović, E. S., Džunuzović, J. V., Markovski, J., Spasojević, P., & Marinković, A. D. (2017). Effect of the modified silica Nanofiller on the Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resins Based on Recycled Polyethylene Terephthalate. *Polymer Composites*, 38(3): 538–554. <https://doi.org/10.1002/pc.23613>
- Sheel, A., & Pant, D. (2019). Chemical Depolymerization of PET Bottles via Glycolysis. In *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles* (pp. 61–84). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811361-5.00004-3>
- Suh, D. J., Park, O. O., & Yoon, K. H. (2000). The properties of unsaturated polyester based on the glycolized poly (ethylene terephthalate) with various glycol compositions. *Polymer*, 41(2): 461–466. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00168-8](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00168-8)
- Tasnim, S., Shaikh, F. U. A., & Sarker, P. K. (2021). Mechanical properties and microstructure of lightweight polymer composites containing mono and hybrid fillers sourced from recycled solid wastes. *Construction and Building Materials*, 277: 122369. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122369>
- Tawfik, M. E., & Eskander, S. B. (2006). Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly (ethylene terephthalate). *Journal of Elastomers & Plastics*, 38(1): 65–79. <https://doi.org/10.1177/0095244306055569>
- Thomas, S., & Chirayi, C. J. (2023). *Applications of Unsaturated Polyester Resins*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2021-0-01852-6>



- Thomsen, T. B., Almdal, K., & Meyer, A. S. (2023). Significance of poly(ethylene terephthalate) (PET) substrate crystallinity on enzymatic degradation. *New Biotechnology*, 78: 162–172. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.11.001>
- Tonet, K. G., & Gorninski, J. P. (2013). Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability. *Construction and Building Materials*, 40: 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.09.049>
- Vaidya, U. R., & Nadkarni, V. M. (1987a). Unsaturated polyester resins from poly(ethylene terephthalate) waste. 1. Synthesis and characterization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 26(2): 194–198. <https://doi.org/10.1021/ie00062a003>
- Vaidya, U. R., & Nadkarni, V. M. (1987b). Unsaturated polyesters from PET waste: Kinetics of polycondensation. *Journal of Applied Polymer Science*, 34(1): 235–245. <https://doi.org/10.1002/app.1987.070340120>
- Vaidya, U. R., & Nadkarni, V. M. (1988). Unsaturated polyester resins from poly(ethylene terephthalate) waste. 2. Mechanical and dynamic mechanical properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 27(11): 2056–2060. <https://doi.org/10.1021/ie00083a016>
- Wilson García, N. A., Almaral Sánchez, J. L., Vargas Ortiz, R. Á., Hurtado Macías, A., Flores Ramírez, N., Aguilar Palazuelos, E., Flores Valenzuela, J., Castro Beltrán, A., & Alvarado Beltrán, C. G. (2021). Physical and mechanical properties of unsaturated polyester resin matrix from recycled PET (based PG) with corn straw fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(44): 51305. <https://doi.org/10.1002/app.51305>
- Xin, J., Zhang, Q., Huang, J., Huang, R., Jaffery, Q. Z., Yan, D., Zhou, Q., Xu, J., & Lu, X. (2021). Progress in the catalytic glycolysis of polyethylene terephthalate. *Journal of Environmental Management*, 296: 113267. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113267>
- Zahedi, A. R., Rafizadeh, M., & Ghafarian, S. R. (2009). Unsaturated polyester resin via chemical recycling of off-grade poly(ethylene terephthalate). *Polymer International*, 58(9): 1084–1091. <https://doi.org/10.1002/pi.2637>
- Zahova, S., Tsacheva, I., Troev, K., & Mitova, V. (2023). Conventional and MW assisted PET glycolysis promoted by titanium based catalyst. *Polymer Degradation and Stability*, 212: 110353. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2023.110353>
- Zhang, L., Liu, L., Yue, Q., & Zhu, C. (2014). From Aminolysis Product of Pet Waste to Value-Added Products of Polymer and Assistants. *Polymers and Polymer Composites*, 22(1):13–16. <https://doi.org/10.1177/096739111402200102>



EVALUACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES DE LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS COMO FUENTE DE CARBOHIDRATOS FUCOSILADOS

EVALUATION OF PLANT RESIDUES FROM FOOD INDUSTRY AS A SOURCE OF FUCOSYLATED CARBOHYDRATES

FRANCISCO GUZMÁN-RODRÍGUEZ

ALMA CRUZ-GUERRERO

RESUMEN

La fucosa es un monosacárido presente en diversas macromoléculas: carbohidratos, glicolípidos y glicoproteínas; desempeña un papel crucial en diversos eventos de interacción celular y forma parte de la estructura de oligosacáridos de leche humana, importantes para la salud de los lactantes. Para la síntesis de estos es deseable contar con sustratos donadores de fucosa que no liberen subproductos tóxicos. Los xiloglucanos fucosilados emergen como una prometedora fuente de fucosa. Estos son polisacáridos química y estructuralmente diversos que forman parte de la pared celular primaria de muchas plantas terrestres, haciendo una red con las microfibrillas de celulosa. En muchos cultivos vegetales para consumo humano se han encontrado xiloglucanos fucosilados, por lo que la biomasa procedente de los residuos vegetales de la industria de alimentos es una fuente aprovechable de obtención de estos carbohidratos. Además, ya hay evidencia de obtención, por vía enzimática, de oligosacáridos de leche humana a partir de xiloglucano de manzana y lactosa, lo cual corrobora la utilidad de este polisacárido. El aprovechamiento de desechos agroindustriales para obtener fucosa a través del xiloglucano fucosilado abre nuevas perspectivas para la producción de compuestos bioactivos benéficos para la salud.

Palabras clave: aprovechamiento de residuos; compuestos bioactivos; fucosa; hemicelulosa; xiloglucano.

Departamento de Biotecnología,
Universidad Autónoma
Metropolitana-Iztapalapa.

Correspondencia
gec@xanum.uam.mx
ORCID: 0000-0002-9686-2267

Recepción de artículo
23 de abril de 2024.

Artículo aceptado
19 de junio de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

Fucose is a monosaccharide present in several macromolecules such as carbohydrates, glycolipids and glycoproteins, playing a crucial role in several cellular interaction events, besides being part of the structure of human milk oligosaccharides, important for the health of infants. For the synthesis of these oligosaccharides, it is desirable to have fucose donor substrates that do not release toxic by-products. Fucosylated xyloglucans emerge as a promising source of fucose. These are chemically and structurally diverse polysaccharides that are part of the primary cell wall of many land plants, forming a network with cellulose microfibrils. Fucosylated xyloglucans have been found in many plant crops for human consumption, making biomass from plant waste from the food industry a suitable source of these carbohydrates. On the other hand, there is already evidence of the enzymatic production of human milk oligosaccharides from apple xyloglucan and lactose, which corroborates the usefulness of this polysaccharide. Thus, the use of agroindustrial wastes to obtain fucose through fucosylated xyloglucan opens new perspectives to produce bioactive compounds beneficial to human health.

Keywords: bioactive compounds; fucose, hemicellulose; waste utilization: xyloglucan.

INTRODUCCIÓN

La fucosa es una aldohexosa desoxigenada en su carbono 6. A diferencia de la mayoría de los monosacáridos presentes en la naturaleza, los cuales presentan una configuración D, la fucosa, es de los pocos que presentan configuración L, además de la ramnosa y la arabinosa (Meng y col., 2023).

La fucosa forma parte de diversos polisacáridos, oligosacáridos, glicoproteínas y glicolípidos encontrados en una gran variedad de organismos (Meng y col., 2023). La presencia de fucosa en estas macromoléculas está relacionada con diversos procesos biológicos



de interacción celular, por ejemplo, la comunicación entre el huésped y la microbiota, la infección vírica, la inmunidad, además se encuentra presente en los oligosacáridos (antígenos) anclados a la membrana de los eritrocitos, lo cual es un determinante de los diversos grupos sanguíneos (grupo A, B, AB, etc.) (Thomès y Borjar, 2021).

La fucosa también se encuentra presente en algunos de los oligosacáridos más importantes de leche humana, como la 2'-fucosil lactosa, 3-fucosil lactosa y otros. Estos carbohidratos son importantes en la alimentación de los lactantes, pues ejercen diversas funciones biológicas benéficas para la salud de los infantes, por ejemplo, antiinfecciosa, prebiótica, inmunomoduladora y contribuyen al desarrollo neuronal de los lactantes (Rosa y col., 2022).

Debido a la importancia que tienen los oligosacáridos fucosilados en la salud de los infantes, la tendencia en el diseño de nuevas fórmulas infantiles apunta a la inclusión de estos carbohidratos dentro de sus ingredientes, por lo cual se ha recurrido a la síntesis enzimática de estos compuestos. Estas reacciones enzimáticas requieren de una enzima (fucosidasa), un sustrato aceptor de fucosa y un sustrato donador de fucosa. El sustrato donador más estudiado en este tipo de reacciones es el 4-nitrofenil fucosa, y si bien ha sido útil para la obtención de oligosacáridos fucosilados a nivel laboratorio, una desventaja es la liberación de 4-nitrofenol, un subproducto tóxico que limita el uso de este sustrato. Una posible alternativa como fuente de fucosa libre de subproductos tóxicos son algunos polisacáridos fucosilados presentes en la pared celular de diversas plantas, muchas de las cuales son cultivadas de manera masiva y destinadas al consumo humano (Meng y col., 2023). Dichas plantas, a lo largo de su producción y procesamiento industrial, generan residuos que podrían ser aprovechados para la obtención de polisacáridos fucosilados, y al mismo tiempo permitiría agregar valor a los desechos generados por la industria agroalimentaria.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión sobre fuentes de fucosa en especies vegetales de consumo, principalmente el xiloglu-



cano, su estructura, así como algunas estrategias para su obtención y aprovechamiento.

XILOGLUCANOS

Mientras que la fucosa desempeña un papel importante en el cuerpo humano, es comparativamente raro en la biomasa vegetal, pero puede encontrarse en una gran variedad de plantas vasculares terrestres, específicamente en su pared celular primaria, formando parte de un grupo de hemicelulosas conocidas como xiloglucanos (Brennan y col., 2019; Zeuner y col., 2020; Vieira y col., 2021). Estos polisacáridos se encuentran fuertemente asociados a la celulosa mediante puentes de hidrógeno, por lo cual forman una intrincada red que proporciona soporte a la pared celular y sirve como barrera contra la invasión y colonización de patógenos (Pauly y Keegstra, 2016; Vieira y col., 2021). Se cree que el metabolismo del xiloglucano en la pared desempeña un papel importante en la expansión celular impulsada por la turgencia; además, los xiloglucanos también desempeñan una función reguladora en la célula vegetal como antagonista de la auxina (Günl y col., 2011; Zavyalov y col., 2018).

Los xiloglucanos se sintetizan en el aparato de Golgi mediante la acción secuencial de varias glicosiltransferasas (Park y Cosgrove, 2015) por lo que son estructural y químicamente diversos. Consisten en una cadena central de glucosa unida por enlaces $\beta 1,4$ con cadenas laterales que comienzan con una unidad de xilosa unida por enlaces $\alpha 1,6$ a la cadena principal. La xilosa, a su vez, puede presentar enlaces con galactosa, fucosa, arabinosa y ácido glucurónico en patrones diversos, dependiendo de la fuente y tejido de la planta (Vieira y col., 2021).

Estas ramificaciones pueden presentarse de manera repetida a lo largo de la cadena principal, constituyéndose en unidades estructurales de xiloglucano (Miedes Vicente, 2007; Dutta y col., 2020). En la Figura 1 se ejemplifica una unidad de xiloglucano fucosilado (nonasacárido).



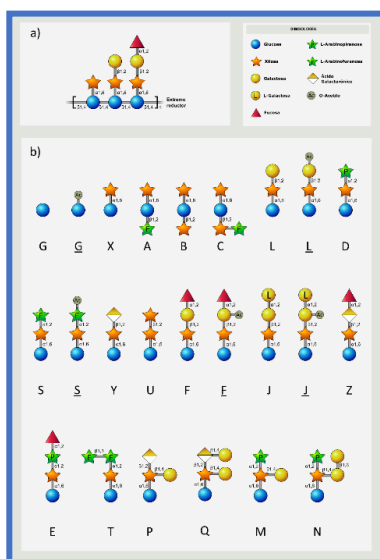


Figura 1. Adaptado de Dehors y col. 2019. Estructura del xiloglucano: a) ejemplo de una unidad estructural, b) variedad de cadenas laterales.

Las unidades estructurales se representan mediante un código de letras que simbolizan cada una de las cadenas laterales unidas a la cadena principal del xiloglucano (Figura 1b). La G corresponde a una unidad de glucosa sin ninguna ramificación, y la X, a una xilosa unida a la glucosa de la cadena principal. En el caso de F, E y Z representan cadenas que contienen fucosa (Kato y col., 2000). Por ejemplo, a la unidad de la Figura 1a le corresponde el código XLFG.

CONTENIDO DE XILOGLUCANO EN DIVERSAS ESPECIES VEGETALES

La proporción del xiloglucano en la pared celular y su estructura varía, dependiendo el grupo taxonómico al que la planta pertenezca, por ejemplo, en la división de las angiospermas (plantas florales), podemos encontrar al clado de las eudicotiledóneas, plantas cuyas semillas poseen dos cotiledones (cacahuete, café, arándanos, mora azul y girasoles, entre otros). En éstas los xiloglucanos constituyen normalmente entre el 20 y el 25% del peso seco de la pared celular primaria (Hotchkiss y col., 2021; Mikkelsen y col., 2021; Hsiung, 2022). La presencia de fucosa dentro de la estructura del xiloglucano puede variar entre táxones de este mismo clado (Tabla 1). Por ejemplo, en la familia de las fabáceas (chícharo, frijol, soya)



se ha encontrado fucosa en la estructura de sus xiloglucanos (Alonso-Simón y col., 2010; Savyalov y col., 2018), mientras que, en la de las solanáceas (tomate, tabaco), también perteneciente a las eudicotiledóneas, los xiloglucanos carecen de fucosa en su estructura (Brennan y col., 2019).

Tabla 1.
Estructura de xiloglucanos fucosilados en algunos órdenes de eudicotiledóneas (Schultink, 2014).

Orden	Unidad estructural	Cadenas laterales sustituyentes
Mapighiales	XXXG	L, F
Fabales	XXXG, XXXXG	L, F
Rosales	XXXG	L, F, <u>L</u> , <u>E</u>
Sapindales	XXXG	L, F, <u>L</u> , <u>E</u> , A, B, C
Brassicales	XXXG	L, F, <u>L</u> , <u>E</u> , Y, Z
Malvales	XXXG	L, F
Caryophyllales	XXXG	L, F, <u>L</u> , <u>E</u> , J, <u>J</u>
Ericales	XXGG, XXXG	L, F, <u>L</u> , <u>E</u> , <u>G</u> , U
Gentianales	XXXG	L, F, S
Solanales	XXGGn XXXG	G, L, L, S, S, T, L, F, L, F
Lamiales	XXGGn, XXXG	L, S
Asterales	XXXG	L, F
Apiales	XXXG	L, F

Hayashi y col. (1980) encontraron que el 50% de la hemicelulosa de un cultivo celular de soja corresponde a xiloglucano, el cual a su vez contiene un 6% de fucosa. Mientras que, la harina de girasol (*Helianthus annuus*) presenta un 4.5% de xiloglucanos fucosilados (Düsterhöft y col., 1992). La cereza ácida y el arándano son ricos en xiloglucano y contienen una gran cantidad de fucosa (Kosmala y col., 2009; Lin y col., 2019). En otras frutas se han encontrado cantidades menores de fucosa en sus xiloglucanos, tal es el caso de la grosella negra (*Ribes nigrum*), mora azul europea (*Vaccinium sp.*), y la baya de *Celtis australis* (Hilz y col., 2005; Cascales y col., 2021).



A diferencia de las eudicotiledóneas, las monocotiledóneas, plantas cuyas semillas tienen un solo cotiledón, presentan una menor proporción de xiloglucano en su pared celular, entre 2 y 10% en peso seco. Dentro de este taxon se encuentra la familia *Poaceae*, a la cual corresponden las gramíneas (Mikkelsen y col., 2021; Hsiung, 2022). Se ha encontrado xiloglucano en gramíneas como maíz, caña de azúcar, bambú, centeno, alpiste, avena y arroz (Hsiung, 2023). Brennan y col. (2019) estudiaron la presencia de fucosa en el xiloglucano de diversas monocotiledóneas empleando el anticuerpo monoclonal LM15 y microscopía de inmunofluorescencia. Este análisis es semicuantitativo y la intensidad del etiquetado con el anticuerpo LM15 es proporcional a la abundancia de fucosa en las muestras. Dentro de las especies estudiadas se encuentran algunas comestibles como el plátano (*Musa sp.*) y la piña (*Ananas comosus*), las cuales presentaron xiloglucano fucosilado en mayor proporción que el maíz (*Zea mays*) (Tabla 2). Lo anterior es un reflejo de la distribución del xiloglucano fucosilado dentro de las monocotiledóneas.

Tabla 2.

Distribución de xiloglucano fucosilado en diferentes monocotiledóneas de consumo determinada por el etiquetado con el anticuerpo monoclonal ML15 (Brennan y col., 2019).

Especie	Familia	Intensidad del etiquetado con el anticuerpo monoclonal LM15*
Plátano (<i>Musa sp.</i>)	Musaceae	+++
Piña (<i>Ananas comosus</i>)	Bromeliaceae	++
Maíz (<i>Zea mays</i>)	Poaceae	+

* +=Etiquetado débil, ++=etiquetado moderado, +++=etiquetado fuerte.



UNIDADES ESTRUCTURALES DE XILOGLUCANO FUCOSILADO EN ALGUNAS ESPECIES

Los xiloglucanos fucosilados con unidades estructurales XXXG son los más comunes en plantas terrestres, tal como puede observarse en la Tabla 1 (Abdelkader Attia, 2018). La cáscara de cacahuete tiene xiloglucano fucosilado, en su estructura se han encontrado diversas unidades como XXXG, XLG, XLXG, XLG, y las unidades fucosiladas XXFG y XLFG. Estas dos unidades, representan el 52% de la estructura de este xiloglucano, lo cual se traduce en 1.5% de fucosa con respecto al total de la cáscara (Kato y col., 2000; Li, 2022). El xiloglucano fucosilado también se encuentra presente en especies vegetales del orden Sapindales, en donde se encuentran los cítricos, como el limón, la naranja y el hallabong (*Citrus sphaerocarpa*) (Miedes Vicente, 2007; Park y col., 2016; Biel-Nielsen y col., 2022).

Los xiloglucanos fucosilados también pueden encontrarse en los frutos del arándano europeo (*Vaccinium myrtillus*) y del caqui oriental (*Diospyros kaki*), ambas del orden de las Ericales, donde se reportan que están constituidos por unidades XXXG, XXUG, XLG, XXFG y XLFG. El grosellero negro (*Ribes nigrum*) del orden de las Saxifragales, contiene xiloglucanos compuestos por las unidades XXXG, XXFG, XLFG, XLG, XLG y XLG. El xiloglucano de los cítricos presenta las unidades estructurales XXXG, XLG, XXFG, y XLFG, mientras que en la uva se ha encontrado la secuencia XLFGXLFG (Li, 2022).

REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES COMO FUENTES DE FUCOSA

La industria de alimentos de origen vegetal está en constante expansión y genera grandes cantidades de residuos, la mayoría de los cuales terminan en basureros (Sabater y col., 2020).

Los residuos agroindustriales poseen el potencial de generar diversos productos de interés, por ejemplo, biocombustibles, biomateriales y compuestos bioactivos. Una mejora de la gestión integral de residuos es un paso esencial para mitigar el impacto medioambiental negativo de las industrias de transformación de frutas y hortalizas y



además recuperar materiales derivados de estos desperdicios, otorgándoles un valor agregado (Beltrán-Ramírez y col., 2019).

Muchos de estos desechos pueden ser fuente de xiloglucano fucosilado. Un ejemplo son los frutos cítricos, los cuales son masivamente producidos en el mundo. Entre el 40 y 50% va destinado a la industria para su procesamiento, en donde del 50 al 60% se convierte en un desecho (Satari y Karimi, 2018). Uno de los subproductos más importantes obtenidos a partir de la piel de cítricos, es la pectina, empleada como agente gelificante en la industria de alimentos. Sin embargo, esta sólo representa una fracción del residuo, por lo que la cantidad de desechos después de la extracción de pectina sigue siendo considerable y contiene materiales de la pared celular como celulosa, hemicelulosa, pectina residual y proteína (Putri y col., 2022).

Los primeros estudios de extracción de xiloglucano se remontan a finales de los años 80, como el caso del xiloglucano de chícharo, el cual se obtuvo mediante una extracción alcalina (McDougall y Fry, 1989). Posteriormente Kato y col. (2000) reportaron la extracción de xiloglucano de la cáscara de cacahuate empleando una preparación industrial de hemicelulasa (cellulosin T2).

De acuerdo con el estudio de Miedes Vicente (2007), se obtuvo xiloglucano a partir de la hemicelulosa del bagazo de manzana. Para ello se mezcló la hemicelulosa de la manzana en una solución de CaCl_2 al 15% (p/v), posteriormente se centrifugó a 15000 x g durante 30 minutos. El sobrenadante se mezcló con I_2 al 3% y KI al 4%, y se mantuvo en reposo a 4 °C durante 2 horas. Se centrifugó a 15000 x g durante 30 minutos y el precipitado se disolvió en agua caliente. Se neutralizó con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Al final de este proceso, se obtuvo una mezcla de azúcares y xiloglucano. Como un paso adicional para aumentar la pureza del compuesto, se recurrió a diálisis.

Minjares y col. (2015) realizaron la extracción del xiloglucano a partir del orujo de uva, mediante una extracción alcalina con KOH a 20 °C. Posteriormente se filtró y ajustó a pH 5.5 con ácido acético



al 80% (v/v). Y se precipitó con etanol al 95% (v/v). Es importante mencionar que los mayores rendimientos en la extracción alcalina de xiloglucanos se favorecen con tiempos de extracción largos (16 h) y alta concentración de KOH (4 M). Además, también reportaron que la extracción asistida con ultrasonido incrementa el contenido xiloglucano en el extracto de 2.4 a 3.4%.

Biel-Nielsen y col. (2022) obtuvieron xiloglucano a partir de los residuos depectinizados de la cáscara de naranja y limón mediante extracción alcalina y enzimática (celulasa Cellic CTec3). De la cantidad de fucosa original presente en estos residuos de cítricos, 35–36% y 48–51% fueron extraídos como xiloglucano fucosilado mediante tratamiento enzimático o alcalino respectivamente.

OTROS POLISACÁRIDOS FUCOSILADOS

Además del xiloglucano, existen otros carbohidratos fucosilados que pueden encontrarse en la materia vegetal. Por ejemplo, en el ramnogalacturonano, donde la fucosa se ubica en posición terminal formando enlaces tipo $\alpha 1,2$ con galactosa, o formando enlaces $\alpha 1,4$ con ramnosa (Garber y cols., 2021). También puede encontrarse fucosa en los fucogalactanos de hongos como *Agaricus bisporus* y *A. brasiliensis* (Smiderle y cols., 2011).

ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE COMPUESTOS FUCOSILADOS

Debido al papel biológico de la fucosa en el organismo del ser humano, diversos carbohidratos fucosilados extraídos de frutas y hortalizas han sido estudiados para evaluar sus propiedades funcionales. Entre otros hallazgos, se ha encontrado que el xiloglucano y los ramnogalacturonanos de diversos vegetales han manifestado un efecto prebiótico *in-vitro* al estimular el crecimiento de especies probióticas (Louis y col., 2021).

Li (2022), hidrolizó el xiloglucano fucosilado de naranja con una xiloglucanasa recombinante de *Aspergillus nidulans*. Los fragmentos obtenidos inhibieron el crecimiento de patógenos como *Clostridium perfringens*. Por su parte, el xiloglucano fucosilado de la cáscara de



la naranja coreana “hallabong” (*Citrus sphaerocarpa*), ha mostrado efectos contra metástasis de cáncer (Park y col., 2016).

Los arabinoxiloglucanos fucosilados de mora azul y arándano poseen actividad prebiótica y producción de ácidos grasos de cadena corta (Hotchkiss y col., 2022).

El arabinoxiloglucano fucosilado y el ramnogalacturonano de la zanahoria tienen propiedades prebióticas. Además, este último también es inmunomodulador, anticancerígeno, previene enfermedades cardiovasculares y fibrosis, inhibe la adhesión de patógenos como *Campylobacter*, *Shigella* y *Escherichia coli*, con una actividad similar al oligosacárido de leche humana 2-fucosil lactosa (Biel-Nielsen, 2021).

El ramnogalacturonano estimula el crecimiento de *Prevotella*, *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*. Por su parte los oligosacáridos fucosilados de manzana y de cítricos estimulan el crecimiento de *Bacteroides*, *Prevotella* y *Faecalibacterium* (Louis y col., 2021). También se ha encontrado ramnogalacturonano en la ciruela, y estimula el sistema inmunológico, tiene actividad antiulcerativa, antitumoral e hipolipidémica (Cantu-Jungles y col., 2017).

USO DE XILOGLUCANO FUCOSILADO EN LA SÍNTESIS DE OLIGOSACÁRIDOS DE LECHE HUMANA

Además de su actividad biológica intrínseca, los polisacáridos fucosilados pueden emplearse para sintetizar oligosacáridos de leche humana, los cuales poseen actividades biológicas benéficas para la salud de recién nacidos, por ejemplo, ejercer una función prebiótica que estimula el desarrollo de la microbiota benéfica del intestino (por ejemplo, bifidobacterias). También contribuyen a prevenir infecciones bacterianas, ya que actúan como receptores señuelo para diversos microorganismos patógenos, inhibiendo su adherencia a la mucosa intestinal, entre otras funciones. (Madrado de la Garza, 2017; Moya-González y col., 2022).

Se han reportado más de 200 estructuras diferentes y dentro de este amplio grupo destacan los oligosacáridos fucosilados (por ejemplo,



2'-fucosil lactosa), los cuales constituyen más del 50% de los oligosacáridos de leche humana (Sabater, 2015).

Una vía para la obtención *in vitro* de oligosacáridos fucosilados de leche humana es mediante reacciones de transfucosilación. En dicha reacción se emplea una enzima llamada fucosidasa, para llevar a cabo la transferencia de una unidad de fucosa desde un sustrato donador (fucosilado), a un sustrato aceptor (no fucosilado), obteniendo como producto un nuevo compuesto fucosilado (Figura 2).

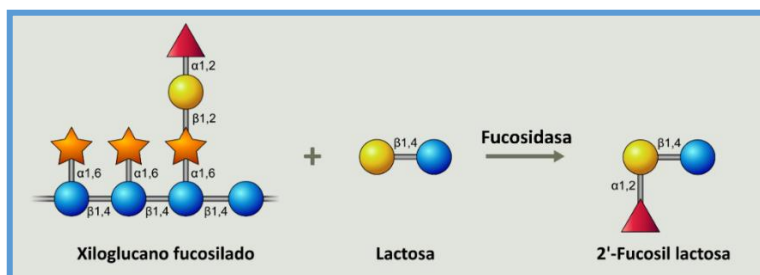


Figura 2. Adaptado de Zeuner y col., 2018. Reacción de transfucosilación para la síntesis de 2'-fucosil lactosa empleando xiloglucano fucosilado como sustrato donador

El uso de xiloglucano fucosilado como sustrato donador, para la síntesis de oligosacáridos de leche humana mediante transfucosilación, ha sido documentado por diversos autores.

Lezyk y col. (2016) utilizaron el xiloglucano de la cáscara de cítricos como sustrato donador en reacciones de transfucosilación empleando α -L-fucosidasa (tipo salvaje) de *Thermotoga maritima* y lactosa como sustrato aceptor; y obtuvieron compuestos fucosilados con un rendimiento del 6.4%. Por su parte, Zeuner y col. (2018), utilizaron la α -L-fucosidasa recombinante FgFCO1 del hongo *Fusarium graminearum* y una fucosidasa del metagenoma (Mfuc5) para catalizar la transfucosilación de lactosa utilizando xiloglucano de cítricos como donador de fucosa. En el caso de la fucosidasa de *F. graminearum*, se obtuvo 2'-fucosil lactosa con un rendimiento del 14% después de 24 h de reacción. Por su parte la fucosidasa Mfuc5 produjo principalmente una fucosil lactosa no identificada, alcanzando un rendimiento del 18% en 2 h de reacción.



Biel-Nielsen y col. (2022) obtuvieron xiloglucano fucosilado de frutos cítricos mediante extracciones enzimáticas y alcalinas, y posteriormente utilizaron los extractos en reacciones de transfucosilación como sustratos donadores de fucosa, además de lactosa como sustrato aceptor y como enzima, la fucosidasa recombinante de *F. graminearum*, obteniendo oligosacáridos fucosilados de leche humana, con rendimientos de síntesis de 10.2–11.4% para los extractos enzimáticos, y 6.5–7.4% para los extractos alcalinos (de naranja y limón respectivamente).obteniendo oligosacáridos fucosilados de leche humana, con rendimientos de síntesis de 10.2–11.4% para los extractos enzimáticos, y 6.5–7.4% para los extractos alcalinos (de naranja y limón respectivamente).

La fucosidasa FgFCO1 de *F. graminearum* parece ser la única fucosidasa de origen fúngico capaz de liberar la fucosa directamente del xiloglucano fucosilado, por lo que se ha realizado la hidrólisis de algunos xiloglucanos fucosilados a fragmentos de menor grado de polimerización con la finalidad de incrementar la accesibilidad de las fucosidasas a la fucosa del sustrato donador. Shi y col. (2023) utilizaron la cáscara de manzana para producir oligosacáridos de xiloglucano mediante la xiloglucanasa recombinante de *Rhizomucor miehei* (RmXEG12A). Posteriormente, una fucosidasa (PbFucB) de *Pedobacter* sp. CAU209 expresada en *Escherichia coli*, fue empleada para la reacción de transfucosilación, usando los oligosacáridos procedentes de la hidrólisis del xiloglucano como sustrato donador y lactosa como sustrato aceptor, con un rendimiento del 31%.

CONCLUSIONES

Como puede verse, la distribución de fucosa en el reino vegetal es extensa. Muchos de los residuos generados en la cadena productiva de alimentos de origen vegetal son potenciales fuentes de fucosa. Las propiedades funcionales de estos carbohidratos y sus hidrolizados los hacen compuestos valiosos, por lo cual su extracción les confiere valor adicional a los desechos agroindustriales antes de ser



desechados al ambiente, sometidos a compostaje u otros destinos. México es un país productor de alimentos, y anualmente se generan 76 millones de toneladas de desechos alimenticios de frutas (limón, manzanas, pina, plátano, naranja) y vegetales (maíz, caña de azúcar, frijol, zanahoria, lechuga) (González-Sánchez y col., 2015), por lo que el escalar a nivel industrial los procesos de extracción de compuestos fucosilados puede ayudar en la disminución de desechos sólidos generados por la industria al tiempo que se obtienen compuestos de alto valor biológico.

Además de su valor biológico intrínseco, la importancia de estos compuestos se extiende a su uso como precursores de otros compuestos funcionales, incrementando la variedad de compuestos de interés, tal es el caso del uso del xiloglucano fucosilado de cítricos en la síntesis de oligosacáridos de leche humana, cuya aplicación pueden incrementar los beneficios de nuevas fórmulas infantiles.

REFERENCIAS

- Abdelkader Attia, M.A. (2018). *Enzymology of the xyloglucan utilization system in the soil saprophyte cell Vibrio japonicus* [Tesis de doctorado, The University of British Columbia]. <http://hdl.handle.net/2429/64723>
- Alonso-Simón, A., Neumetzler, L., García-Angulo, P., Encina, A.E., Acebes, J.L., Álvarez, J.M. & Hayashi, T. (2010). Plasticity of xyloglucan composition in bean, (*Phaseolus vulgaris*)-cultured cells during habituation and dehabituation to lethal concentrations of dichlobenil. *Molecular Plant*. 3:603–609. DOI: 10.1093/mp/ssq011
- Beltrán-Ramírez, F., Orona-Tamayo, D., Cornejo-Corona, I., González-Cervantes, J.L.N., Esparza-Claudio, J.J. & Quintana-Rodríguez, E. (2019). Agro-industrial waste revalorization: The growing biorefinery. In: Abomohra, A. (Ed.), *Biomass for Bioenergy - Recent Trends and Future Challenges*, ItechOpen. Australia, pp. 1-20.
- Biel-Nielsen, T.L. (2021). *New process for production of high-value cell wall derived products from citrus peel* [Tesis de doctorado, Denmark Technical University]. <https://findit.dtu.dk/en/catalog/62a75f15cf4b841a6a3a3cc5>



- Biel-Nielsen, T.L., Li, K., Sørensen, S.O., Sejberg, J.J.P., Meyer, A.S. & Holck, J. (2022). Utilization of industrial citrus pectin side streams for enzymatic production of human milk oligosaccharides. *Carbohydrate Research*. 519:108627. DOI: 10.1016/j.carres.2022.108627
- Brennan, M., Fakharuzi, D. & Harris, P.J. (2019). Occurrence of fucosylated and non-fucosylated xyloglucans in the cell walls of monocotyledons: An immunofluorescence study. *Plant Physiology and Biochemistry*. 139:428-434. DOI: 10.1016/j.plaphy.2019.04.005
- Cantu-Jungles, T.M., Cipriani, T.R., Iacomini, M., Hamaker, B.R. & Cordeiro, L. M. (2017). A pectic polysaccharide from peach palm fruits (*Bactris gasipaes*) and its fermentation profile by the human gut microbiota *in vitro*. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 9:1-6. DOI: 10.1016/j.bcdf.2016.11.005
- Cascales, E.V., Prencipe, D., Nocentini, C., Sánchez, R.L. & García, J.M.R. (2021). Characteristics and composition of hackberries (*Celtis australis* L.) from mediterranean forests. *Emirates Journal of Food Agriculture*. 33:37-44. DOI: 10.9755/ejfa.2021.v33.i1.2375
- Dehors, J., Mareck, A., Kiefer-Meyer, M.C., Menu-Bouaouiche, L., Lehner, A. & Mollet, J.C. (2019). Evolution of cell wall polymers in tip-growing land plant gametophytes: composition, distribution, functional aspects and their remodeling. *Frontiers in Plant Science*. 10:441. DOI: 10.3389/fpls.2019.00441
- Düsterhöft, E.M., Posthumus, M.A. & Voragen, A.G.J.J. (1992). Non-starch polysaccharides from sunflower (*Helianthus annuus*) meal and palm-kernel (*Elaeis guineensis*) meal—investigation of the structure of major polysaccharides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 59(2):151–160. DOI: 10.1002/jsfa.2740590204
- Dutta, P., Giri, S. & Kumar, G. (2020). Xyloglucan as green renewable biopolymer used in drug delivery and tissue engineering. *International Journal of Biological Macro-molecules*. 160:55-68. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.05.148
- Garber, J.M., Hennet, T. & Szymanski, C.M. (2021). Significance of fucose in intestinal health and disease. *Molecular Micro-biology*. 115(6):1086-1093. DOI: 10.1111/mmi.14681
- González-Sánchez, M.E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R. & Yañez-Ocampo, G. (2015). Residuos agro-industriales con potencial



para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Micro-biología*. 47:229-235. DOI: 10.1016/j.ram.2015.05.003

Günl, M., Neumetzler, L., Kraemer, F., de Souza, A., Schultink, A., Pena, M., York, W.S. & Pauly, M. (2011). AXY8 encodes an L-fucosidase, underscoring the importance of apoplastic metabolism on the fine structure of *Arabidopsis* cell wall polysaccharides. *The Plant Cell*. 23:4025-4040. DOI: 10.1105/tpc.111.089193

Hayashi, T., Kato, Y. & Matsuda, K. (1980). Xyloglucan from suspension-cultured soybean cells. *Plant Cell Physiology*. 21:1405–1418. DOI: 10.1093/pcp/21.8.1405

Hilz, H., Bakx, E.J., Schols, H.A. & Voragen, A.G.J. (2005). Cell wall polysaccharides in black currants and bilberries—characterisation in berries, juice, and press cake. *Carbo-hydrate Polymers*. 59:477–488. DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.11.002

Hotchkiss, A.T., Chau, H.K., Strahan, G.D., Nuñez, A., Simon, S., White, A.K., Dieng, S., Heuberger, E.R., Yadav, M.P. & Hirsch, J. (2021). Structure and composition of blueberry fiber pectin and xyloglucan that bind anthocyanins during fruit puree processing. *Food Hydrocolloids*. 116:106572.

Hsiung, S.Y., Li, J., Imre, B., Kao, M.R., Liao, H.C., Wang, D., Chen, C.H., Liang, P.H., Harris, P.J. & Hsieh, Y.S.Y. (2013). Structures of the xyloglucans in the monocotyledon family Araceae (aroids). *Planta*. 257:39. DOI: 10.1007/s00425-023-04071-w

Kato, Y., Noro, O. & Azuma, Y. (2000). Analysis of the oligosaccharides of xyloglucan in peanut hulls. (Studies on production of fucose-containing xyloglucan oligosaccharide Part II). *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*. 47(7):560-563. DOI: 10.3136/nskk.47.560

Kosmala, M., Milala, J., Kołodziejczyk, K., Markowski, J., Mieszczakowska, M., Ginies, C. & Renard, C.M.G.C. (2009). Characterization of cell wall polysaccharides of cherry (*Prunus cerasus* var. *Schattenmorelle*) fruit and pomace. *Plant Foods Human Nutrition*. 64:279–285. DOI: 10.1007/s11130-009-0134-z

Lezyk, M., Jers, C., Kjaerulff, L., Gottfredsen, C.H., Mikkelsen, M.D. & Mikkelsen, J.D. (2016). Novel α -L-fucosidases from a soil metagenome for production



- of fucosylated human milk oligosaccharides. *PLOS ONE*. 11(1):e0147438. DOI: 10.1371/journal.pone.0147438
- Li, K., (2022). *Discovery and characterization of fungal xyloglucanases for citrus peel valorization* [Tesis de doctorado, Denmark Technical University]. <https://findit.dtu.dk/en/catalog/63f61ff529d79f917fcf9136>
- Lin, Z., Pattathil, S., Hahn, M.G. & Wicker, L. (2019). Blueberry cell wall fractionation, characterization and glycome profiling. *Food Hydrocolloids*. 90:385–393. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.051
- Louis, P., Solvang, M., Duncan, S., Walker, A. & Mukhopadhyay, I. (2021). Dietary fibre complexity and its influence on functional groups of the human gut microbiota. *Proceedings of the Nutrition Society*. 80:386-397. doi:10.1017/S0029665121003694
- Madrazo de la Garza, J.A. (2017). Oligosacáridos de la leche humana: crecimiento y desarrollo. *Acta Pediátrica Mexicana*. 5:295-298. DOI: 10.18233/apm38no5pp295-2981468
- McDougall, G.J. & Fry, S.C. (1989). Structure-activity relationships for xyloglucan oligosaccharides with anti-oxidant activity. *Plant Physiology*. 89:883–887. DOI: 10.1104/pp.89.3.883
- Meng, J., Zhu, Y., Wang, N., Zhang, W. & Mu, W. (2023). Recent advances in a functional deoxy hexose L-fucose: Occurrence, physiological effects, and preparation. *Trends in Food Science and Technology*. 138:16-26. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.05.011
- Miedes Vicente, E. (2007). *Caracterización funcional de la enzima de la pared celular xiloglucano, endotransglucosidasa* [Tesis de doctorado, Universitat de Valencia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=76142>
- Mikkelsen, M.D., Harholt, J., Westereng, B., Domozych, D., Fry, S.C., Johansen, I.E., Fangel, J.U., Łężyk, M., Feng, T., Nancke, L., Mikkelsen, J.D., Willats, W. G.T. & Ulvskov, P. (2021). Ancient origin of fucosylated xyloglucan in charophycean green algae. *Communications Biology*. 4:754. DOI: 10.1038/s42003-021-02277-w
- Minjares, F.R., Feminia, A., Garau, M.C., Candelas, M.G., Simal, S. & Rosselló, C. (2016). Ultrasound-assisted extraction of hemicelluloses from grape pomace using response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*. 138:180-191. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.11.045



- Moya-González, E.M., Peña-Gil, N., Rubio-del-Campo, A., Coll-Marqués, J.M., Gozalbo-Rovira, R., Monedero, V., Rodríguez-Díaz, J. & Yebra, M.J. (2022). Infant gut microbial metagenome mining of α -L-fucosidases with activity on fucosylated human milk oligosaccharides and glycolconjugates. *Microbiology Spectrum*. 10:e0177522. DOI: 10.1128/spectrum.01775-22
- Park, J.Y., Shin, M.S., Kim, S.N., Kim, H.Y., Kim, K.H., Shin, K.S. & Kang, K.S. (2016). Polysaccharides from korean citrus hallabong peels inhibit angiogenesis and breast cancer cell migration. *International Journal of Biological Macromolecules*. 85:522-529. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.015.
- Park, Y.B. & Cosgrove, D.J. (2015). Xyloglucan and its interactions with other components of the growing cell wall. *Plant Cell Physiology*. 56:180–194. DOI: 10.1093/pcp/pcu204
- Pauly, M. & Keegstra, K. (2016). Biosynthesis of the plant cell wall matrix polysaccharide xyloglucan. *Annual Review of Plant Biology*. 67:235–259. DOI: 10.1146/annurevplant-043015-112222.
- Putri, N.I., Celus, M., Van Audenhove, J., Nanseera, R.P., Van Loey, A. & Hendrickx, M. (2022). Functionalization of pectin-depleted residue from different citrus by-products by high pressure homogenization. *Food Hydrocolloids*. 129:107638. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2022.107638
- Rosa, F., Sharma, A.K., Gurung, M., Casero, D., Matazel K., Bode, L., Simecka, C., Elolimy, A.A., Tripp, P., Randolph, C., Hand, T.W., Williams, K.D., LeRoith, T. & Yeruva, L. (2022). Human milk oligosaccharides impact cellular and inflammatory gene expression and immune response. *Frontiers in Immunology*. 13. DOI: 10.3389/fimmu.2022.907529
- Sabater, C. (2015). Síntesis e identificación de oligosacáridos derivados de lactosa y lactulosa a partir de permeado de suero de quesería. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- Satari, B. & Karimi, K. (2018). Citrus processing wastes: environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*. 29:53-167. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.032
- Schultink, A., Liu, L., Zhu, L. & Pauly, M. (2014). Structural diversity and function of xyloglucan sidechain substituents. *Plants (Basel)*. 3:526–542. DOI: 10.3390/plants3040526



- Shi, R., Yang, S., Wang, N., Yan, Q.J., Yan, X.M. & Jiang, Z.Q. (2022). Synthesis of 2'-fucosyllactose from apple pomace-derived xyloglucan oligosaccharides by an α -L-fucosidase from *Pedobacter* sp. CAU209. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 107:3579–3591. DOI: 10.1007/s00253-023-12533-0
- Smiderle, F.R., Ruthes, A.C., van Arkel, J., Chanput, W., Iacomini, M., Wichers, H. J. & Van Griensven L.J.L.D. (2011). Polysaccharides from *Agaricus bisporus* and *Agaricus brasiliensis* show similarities in their structures and their immunomodulatory effects on human monocytic THP-1 cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 11:58. DOI: 10.1186/1472-6882-11-58
- Thomès, L. & Bojar, D. (2021). The role of fucose-containing glycan motifs across taxonomic kingdoms. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 8. DOI: 10.3389/fmolb.2021.755577
- Vieira, P.S., Bonfim, I.M., Araujo, E.A., Melo, R.R., Lima, A.R., Fessel, M.R., Paixão, D.A.A., Persinoti, G.F., Rocco, S.A., Lima, T.B., Pirolla, R.A.S., Morais, M.A.B., Correa, J.B.L., Zanphorlin, L.M., Diogo, J.A., Lima, E.A., Grandis, A., Buckeridge, M.S., Gozzo, F.C., Benedetti, C.E., Polikarpov, I., Giuseppe, P.O. & Murakami, M.T. (2021). Xyloglucan processing machinery in *Xanthomonas* pathogens and its role in the transcriptional activation of virulence factors. *Nature Communications*. 12:4049. DOI: 10.1038/s41467-021-24277-4
- Zavyalov, A.V., Rykova, S.V., Luninab, N.A., Sushkovaa, V.I., Yarotskya, S.V. & Berezinaa, O.V. (2019). Plant polysaccharide xyloglucan and enzymes that hydrolyze it (Review). *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 45:845-859. DOI: 10.1134/S1068162019070148
- Zeuner, B., Muschiol, J., Holck, J., Lezyk, M., Gedde, M.R., Jers, C., Mikkelsen, J.D. & Meyer, A.S. (2018). Substrate specificity and transfucosylation activity of GH29 α -L-fucosidases for enzymatic production of human milk oligosaccharides. *New Biotechnology*. 41:34-45. DOI: 10.1016/j.nbt.2017.12.002
- Zeuner, B., Vuillemin, M, Holck, J., Muschiol, J. & Meyer, A.S. (2020). Improved transglycosylation by a xyloglucan-active α -L-fucosidase from *Fusarium graminearum*. *Journal of Fungi (Basel)*. 6:295. DOI: 10.3390/jof6040295
- .



UNA REVISIÓN GENERAL DEL BALANCE DE MASA EN LA SEPARACIÓN DE CARBÓN ORGÁNICO CONTENIDO EN MINERALES TIPO SULFUROS

*A GENERAL REVIEW OF MASS BALANCE IN THE SEPARATION OF COAL CONTAINED IN
SULFIDE-TYPE MINERALS*

MARITZA A. VALADEZ-
CASTELLANOS¹

FELIPE LÓPEZ-SAUCEDO²

FRANCICO R. CARRILLO-
PEDROZA¹

RAMÓN Y. BATISTA-CRUZ²

JOSÉ A. BATISTA-RODRÍGUEZ²

YURI ALMAGUER-CARMENATRES²

RESUMEN

Los minerales tipo sulfuros contienen cantidades significativas de minerales que carecen de valor económico y que se reconocen como minerales ganga. La ganga se clasifica como sulfurosa y no sulfurosa, en este último grupo la materia orgánica ha tomado gran relevancia porque interfiere negativamente en la recuperación de los sulfuros de Pb, Zn y Cu. Este artículo proporciona una revisión bibliográfica que demuestra los retos que enfrenta la industria minera en la separación de carbono orgánico contenido en minerales tipo sulfuros. El objetivo del trabajo fue analizar el balance de masa del carbono orgánico y los metales de interés para destacar la importancia del balance de masa. Tres casos de estudio fueron seleccionados para ilustrar la sensibilidad de los datos metalúrgicos y su impacto en la recuperación y calidad del producto. La información se procesó a través de un algoritmo de reconciliación de datos para analizar el balance de masa del carbono orgánico y los metales de interés. Los resultados demostraron que la comparación entre los datos originales y los datos reconciliados permiten dimensionar la precisión del balance de masa, asimismo se revela que algunas prácticas de ajuste comunes pueden conducir a que las variables del proceso pierdan sentido físico.

Palabras clave: flotación de sulfuros; minerales ganga; materia carbonosa; balance de masa; reconciliación de datos.

1. Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.

2. Escuela Superior de
Ingeniería "Lic. Adolfo López
Mateos", Unidad Norte, UAdeC.

Correspondencia
mvaladez@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
8 abril de 2024.

Artículo aceptado
6 de junio de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

Sulfide-type ores contain significant quantities of minerals that have no economic value and are recognized as gangue minerals. The gangue is classified as sulfide and non-sulfide, in the latter group organic matter has taken great relevance because it interferes negatively in the recovery of Pb, Zn and Cu sulfides. This article provides a literature review that demonstrates the challenges faced by the mining industry in the separation of organic carbon contained in sulfide-type ores. The objective of the paper was to analyze the mass balance of organic carbon and metals of interest to highlight the importance of mass balance. Three case studies were selected to illustrate the sensitivity of the metallurgical data and its impact on recovery and product quality. The information was processed through a data reconciliation algorithm to analyze the mass balance of organic carbon and metals of interest. The results showed that the comparison between the original data and the reconciled data allows sizing the accuracy of the mass balance, also revealing that some common fitting practices can lead to process variables becoming physically meaningless.

Keywords: *flotation of sulfides; gangue minerals; carbonaceous matter; mass balancing; data reconciliation.*

INTRODUCCIÓN

Gran parte de las reservas de minerales metálicos se encuentran en forma de sulfuros, que son fuente importante para la obtención de metales no ferrosos, tal como: Cu, Pb, Zn, Mo, Co, Ni, Ag, entre otros. Al respecto, se reconoce que la producción de metales como el Pb, Zn, Cu, etc. es compleja y consta de varias etapas: involucra la extracción del mineral, trituración, molienda, concentración, fundición, refinación y gestión de residuos (Izydorczyk, y col., 2021). En particular, la etapa de concentración de minerales permite producir el concentrado de los metales de interés en los estándares



requeridos para la fundición. Uno de los procesos de separación más utilizados en la industria minero-metalúrgica es la flotación de espuma. Este proceso permite separar los minerales a través de la diferencia en la hidrofobicidad de los minerales de interés y la ganga-mineral.

Generalmente, los sulfuros de Pb, Zn y Cu están estrechamente asociados con otros minerales ganga en el mismo depósito, como pirita, cuarzo, calcita, dolomita, entre otros. Sin embargo, en los últimos años se ha reconocido la existencia de materia carbonosa en depósitos de Zn-Pb alojado en los sedimentos (e.g., depósitos tipo Mississippi-Valley), lo cual se reportan como un fenómeno común (Huang y col., 2021; Cordeiro y col., 2018).

Por ejemplo, Pan y col. (2022) indican que, durante la flotación primaria de sulfuros, las partículas de la materia carbonosa en suspensión pueden adsorber cantidades significativas de reactivos de flotación (e.g., colector) e influir en la estabilidad de la espuma, lo que tiene un efecto adverso en la recuperación y calidad del concentrado de plomo y zinc.

En la práctica, cuando el material carbonoso aparece en altas cantidades ($< 2\%$) es necesario establecer una etapa previa de separación, en la cual se favorezca la segregación de la materia carbonosa. En contraste, cuando aparece en pequeñas cantidades es posible deprimirlo empleando polímeros naturales como almidón, dextrina o carboximetilcelulosa (Foszcz y Drzymala, 2011). Por lo tanto, cuando el contenido de materia carbonosa es significativo, el reto para el proceso de flotación es muy grande.

Actualmente, las experiencias en la separación de materiales carbonosos en la flotación de minerales Pb-Zn son limitadas en la literatura, así como la información sobre el rendimiento metalúrgico de los procesos que se han utilizado. Lo cual despierta el interés por analizar las variables críticas, por ejemplo, en este caso la concentración de carbono orgánico (C_{Org}) y su distribución en las principales corrientes del proceso (i.e., alimentación, concentrado y colas). Al



respecto, la literatura especializada sugiere la aplicación métodos de reconciliación de datos en exceso porque favorece:

- 1) la identificación de discrepancias y errores en los datos.
- 2) la confianza en el balance de masa, es decir, que los datos cumplan con las restricciones del modelo de balanza de masa.
- 3) la aplicación de medidas correctivas en el proceso para evitar pérdidas significativas (Vasebi y Hodouin, 2014; Behnami y col., 2019).

Los métodos de reconciliación de datos en exceso se basan en ecuaciones de conservación de masa y energía en estado estacionario (Vasebi y Hodouin, 2014). Su aplicación fomenta las buenas prácticas en la toma de decisiones para fortalecer la producción, incrementar la calidad o disminuir los costos operativos. En el contexto anterior, el presente trabajo propone el desarrollo de una revisión bibliográfica que permita demostrar los retos que enfrenta la industria del procesamiento de minerales en la separación de carbono orgánico contenido en minerales tipo sulfuros. Esta revisión pretende ser interesante, concisa y fácil de comprender, por lo cual se seleccionaron tres casos de estudio. Para la selección, los autores priorizaron el análisis de procesos metalúrgicos de competencia industrial que permitan ilustrar el impacto de la reconciliación de datos sobre el balance de masa del proceso. Por lo tanto, la revisión bibliográfica se realizó con el objetivo de analizar el balance de masa del carbono orgánico y de los metales de interés (e.g, Pb, Zn y Cu) a través de los datos de la composición química y/o mineralógica de las corrientes de alimentación, concentrado y colas del proceso.

El objetivo del presente trabajo permite destacar la importancia del fundamento de conservación de masa. Al incorporar la reconciliación de datos en exceso, este estudio apunta a generar una argumentación sólida que contribuya al análisis crítico del balance de



masa, para fortalecer el conocimiento de la separación de C_{Org} presente en la ganga de sulfuros base metal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión del balance de masa en la separación selectiva de carbón orgánico contenido en minerales tipo sulfuros (e.g., PbS , ZnS , $CuFeS_2$, etc.), consistió en la selección de bases de datos con información de las leyes de alimentación (f), concentrado (c) y colas (t) del proceso de separación (e.g., flotación, medio denso, separación por gravedad, etc.).

Cada caso de estudio describe la problemática, la composición mineralógica, la descripción del proceso de separación utilizado y la concentración del metal de interés (eg., Pb , Zn , Cu , etc.) en las corrientes de f , c y t .

Para evaluar el balance de masa se propone la aplicación del método de reconciliación de datos en exceso propuesto por (Wills y Napier, 2006), este método se aplica principalmente en el procesamiento de minerales y tiene como objetivo analizar la contabilidad metalúrgica. En particular, se enfoca en el método de minimización de la suma de cuadrados de la clausura residual, que se define por la ecuación 1. Donde f_k , c_k y t_k son las leyes de alimentación, concentrado y colas de los componentes.

$$\hat{C} = \frac{\sum_{k=1}^n (f_k - t_k)(c_k - t_k)}{\sum_{k=1}^n (c_k - t_k)^2}$$

(1)

El propósito de este método es estimar un valor de C que minimice la suma de los cuadrados de los errores de cierre. Si C representa la fracción en masa que se deriva por la corriente de concentrado, $\hat{C}$



representa el ajuste necesario para estimar el valor de C , como se esquematiza en la Figura 1.

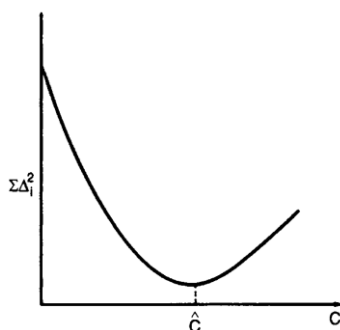


Figura 1. Suma de cuadrados vs. valores de $\hat{C}$ (Wills y Napier, 2006).

Posteriormente se calcula r_k , que representa el residuo en la ecuación de cierre generado por los errores experimentales en las mediciones del componente k . Esta ecuación es válida para $k = 1$, y donde f_k representa el valor del componente k en la corriente de alimentación; c_k representa el valor del componente k en la corriente de concentrado; t_k representa el componente k en la corriente de colas; r_k es el residual en la ecuación de cierre generada por errores experimentales en las mediciones del componente k .

$$r_k = f_k - \hat{C}c_k - (1 - \hat{C})t_k$$

(2)

Este problema de minimización convenientemente se puede resolver igualando a cero la ecuación 2 y aplicando multiplicadores de Lagrangian, a través de los cuales se define el valor de h y los valores de f_{ka} , c_{ka} y t_{ka} que representan el ajuste mínimo de los componentes en la alimentación, concentrado y colas:

$$h = 1 + \hat{C}^2 + (1 - \hat{C})^2$$

(3)



$$f_{ka} = \frac{r_k}{h}$$

(4)

$$c_{ka} = \frac{-\hat{C}r_k}{h}$$

(5)

$$t_{ka} = \frac{-(1-\hat{C})r_k}{h}$$

(6)

La diferencia entre los valores experimentales y la magnitud que se obtienen de las ecuaciones 4, 5 y 6 representa el valor reconciliado para cada corriente (i.e., f , c y t). Finalmente, para evaluar el balance de masa se aplican las ecuaciones 7 y 8.

$$R = \frac{(f - t)}{(c - t)} \times 100$$

(7)

$$R_i = \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \times 100$$

(8)

Donde f , c y t , es la ley en las corrientes de alimentación, concentrado y colas, respectivamente.

Los criterios que se aplicaron para evaluar el balance de masa son los siguientes:



1. Calcular la recuperación de sólidos (R). Si la R es de la misma magnitud para todos los elementos entonces se describe el balance de masa.
2. Cuando la R es diferente para todos los elementos, entonces se aplica el método de reconciliación de datos en exceso y posteriormente se describe el balance de masa. Esto significa que los datos presentan discrepancias o pérdida de información que deben ser investigadas. En este caso, se aplica el método de reconciliación de datos en exceso para identificar y dimensionar los errores experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CASO DE ESTUDIO 1

El caso de estudio 1 se obtuvo de la revisión de (Gredelj y col., 2009) quienes investigaron la flotación selectiva de carbono orgánico en el circuito de flotación de Pb-Zn de la mina Century, Zinifex, Australia. La problemática de la investigación es la presencia de carbón orgánico contenido en la ganga del mineral, el cual disminuye la recuperación y contamina el concentrado. La composición química y mineralógica se determinó con técnicas de espectrometría de masas (e.g., fluorescencia de rayos-x, absorción atómica, ICP, etc.) como se describe en la Tabla 1.

Tabla1.

Leyes de alimentación al circuito de flotación de la planta.

C (%)	Zn (%)	Pb (%)	SiO ₂ (%)
3.6	12	2.16	48.3

Para enfrentar esta problemática Gredelj y col. (2009) definieron una etapa de separación previa a la flotación de minerales de Pb y Zn para segregar el carbono orgánico, a este proceso se le reconoce como pre-flotación. Los resultados experimentales de la pre-flotación



se muestran en la Tabla 2, se hace la aclaración que los datos disponibles solamente incluyen el análisis del Zn. El C_{Tot} se describe como la suma del contenido de carbono inorgánico (e.g., carbonatos) y orgánico (C_{Org}).

Tabla 2.
Resultados del balance de masa del caso de estudio 1.

Datos originales				Datos reconciliados		
Corriente	C_{Tot} (%)	C_{Org} (%)	Zn (%)	C_{Tot} (%)	C_{Org} (%)	Zn (%)
<i>f</i>	3.23	2.47	11.97	3.22	2.48	11.97
<i>c</i>	11.8	11.8	11.65	11.8	11.8	11.65
<i>t</i>	2.9	2.15	11.98	2.91	2.14	11.98
<i>R</i>	3.71	3.32	3.03	3.5	3.5	3.5
<i>Ri</i>	13.55	15.84	2.95	12.81	16.64	3.4

El balance de masa indicó que la recuperación de sólidos (*R*) varió de 3.03 a 3.71 %, por lo tanto, se aplicó el método de reconciliación de datos en exceso, los resultados indicaron que la *R* se normalizó en 3.5 %. Este resultado permite identificar que la recuperación de carbono orgánico en la pre-flotación es de 16.64 %. Esto significa que gran parte del C_{Org} aún permanece en el mineral de Pb-Zn. Otra observación es que, en la propia pre-flotación se recupera un porcentaje de la masa de Zn, particularmente 3.40 %, esta masa de Zn forma parte del rechazo junto con el C_{Org} .

Gredelj y col. (2009) concluyen que la baja recuperación de C_{Org} se debió a la oxidación de las partículas de materia carbonoso, lo cual influye de forma negativa en su flotabilidad. Por otra parte, la recuperación de zinc en la pre-flotación sigue el comportamiento de la recuperación de C_{Org} , debido probablemente a la presencia de partículas compuestas de esfalerita y material carbonoso.



CASO DE ESTUDIO 2

El caso de estudio 2 se obtuvo de la revisión de Konieczny y col., (2013), en este trabajo se evaluó la separación de carbono orgánico (C_{Org}) presente en un mineral de cobre (Cu) por medio de pre-flotación. El estudio de Konieczny y col. (2013) se desarrolló en la compañía minera KGHM Polska Miedź, Lubín, Polonia.

La problemática de la investigación se centra en la presencia de materia carbonosa en el mineral de alimentación, el cual tiene un efecto negativo en el proceso de flotación y, por consecuencia, en la recuperación y la calidad del concentrado de Cu. Para enfrentar esta problemática los autores establecieron dos esquemas de reactivos químicos, los cuales se describen en la Tabla 3, en la misma tabla se presenta la composición química del mineral, en particular el contenido de Cu y C_{Org} .

Tabla 3.

*Esquemas de reactivos químicos y composición química del mineral.
Colector Xantato; Espumante Corflot.*

Esquema	Acondicionamiento químico		Composición química	
	Colector (g/mg)	Espumante (g/mg)	Cu (%)	C_{Org} (%)
A	60	40	2.06	1.72
B	0	80	1.90	1.70

Los resultados experimentales de la pre-flotación se muestran en las tablas 4 y 5 que corresponden a los resultados del esquema de reactivos químicos A y B, respectivamente. El balance de masa en la Tabla 4 indicó que la recuperación de sólidos (R) varió de 3.11 a 3.50 %, por lo tanto, se aplicó el método de reconciliación de datos en exceso, los resultados demostraron que la R se normalizó a 3.31 %. Este resultado permitió identificar que la recuperación de C_{Org} en la pre-flotación es de 22.33 % bajo el esquema de acondicionamiento químico A.



Tabla 4.
Resultados del balance de masa
de la pre-flotación, esquema de reactivos A.

Corriente	Datos originales		Datos reconciliados	
	Cu (%)	Corg (%)	Cu (%)	Corg (%)
<i>f</i>	2.06	1.72	2.05	1.73
<i>c</i>	11.98	11.69	11.98	11.69
<i>t</i>	1.7	1.4	1.71	1.39
<i>R</i>	3.5	3.11	3.31	3.31
<i>Ri</i>	20.37	21.14	19.32	22.33

El balance de masa de la Tabla 5 reveló que la recuperación de sólidos (*R*) varió de 1.36 a 3.91 %, por lo tanto, se empleó el método de reconciliación de datos en exceso, los resultados demostraron que *R* se normalizó a 2.81 %. El análisis de resultados reportado por Konieczny y col. (2013) indicó que la pre-flotación se favorece con el esquema de acondicionamiento químico B. Este esquema permitió reducir el contenido de carbón orgánico en la alimentación del mineral de 1.63 a 1.28 %; mientras, los resultados del esquema A indicaron que, el contenido de C_{Org} disminuyó de 1.73 a 1.34 %. Asimismo, se reconoce que la aplicación del esquema B permitió una pérdida mínima de Cu del 16.15 % en la pre-flotación, significativamente menor en comparación con el esquema A, de 19.32 %.

Tabla 5.
Resultados del balance de masa
de la pre-flotación, esquema de reactivos B.

Corriente	Datos originales		Datos reconciliados	
	Cu (%)	Corg (%)	Cu (%)	Corg (%)
<i>f</i>	21.906	1.7	1.97	1.64
<i>c</i>	11.32	12.28	11.32	12.28
<i>t</i>	1.77	1.27	1.7	1.33
<i>R</i>	1.36	3.91	2.81	2.81
<i>Ri</i>	8.11	28.21	16.15	21.09



Los autores concluyen que, el problema del carbono orgánico es complejo y que influye en la efectividad económico-tecnológica de una planta de procesamiento de minerales. Por esta razón, este tema continúa siendo objeto de estudio.

CASO DE ESTUDIO 3

El caso de estudio 3 se obtuvo de la revisión de Tabatabaei y col. (2014) quienes evaluaron el efecto de los minerales ganga no sulfurosos (NSG) en la flotación de sulfuros, minerales tipo Carlin. Este tipo de minerales se distingue por la presencia de oro, razón por la cual se merece una atención particular. La problemática de la investigación se relaciona con el papel de los NSG especialmente la materia carbonosa y las arcillas, los cuales tienen un efecto adverso en la flotación de sulfuros y por consecuencia en la recuperación de oro. El estudio de Tabatabaei y col. (2014) se desarrolló en la compañía transnacional minera Barrick Gold Corporation, sede Australia. En la Tabla 6 se muestra la composición química y mineralógica del mineral de estudio. Las acciones experimentales que se proponen es procesar el mineral en dos etapas; separación por gravedad y flotación de espuma.

Tabla 6.
Composición química del caso de estudio 3.

S ²⁻ (%)	C _{Org} (%)	(CO ₃) ²⁻ (%)	SiO ₂ (%)	Al (%)
2.50	2.90	4.70	49.10	1.70

La separación por gravedad (en un sistema Mozley) se utilizó para separar el C_{Org} y las pruebas de flotación se orientaron para analizar la recuperación de sulfuros (S²⁻). Los resultados experimentales se presentan en la Tabla 7.



Tabla 7.
Resultados del balance de masa
de la separación por gravedad.

Datos originales						Datos reconciliados				
Corriente	S ²⁻	C _{Org}	(CO ₃) ²⁻	SiO ₂	Al	S ²⁻	C _{Org}	(CO ₃) ²⁻	SiO ₂	Al
f	2.50	2.90	4.70	49.10	1.70	2.36	3.06	4.76	48.26	1.82
c	25.00	1.50	5.00	43.30	0.70	25.01	1.49	5.00	43.34	0.69
t	1.10	3.30	4.80	47.70	2.00	1.23	3.14	4.75	48.50	1.88
R	5.86	22.22	-50.00	-31.82	23.08	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77
Ri	58.58	11.49	-53.19	-28.06	9.50	50.44	2.32	5.01	4.28	1.81

El balance de masa indicó que la recuperación de sólidos (R) varió entre -50 y 23.08 %, por lo tanto, se aplicó el método de reconciliación de datos en exceso, los resultados indicaron que la R se normalizó en 4.77 %. Este resultado permitió establecer las pruebas de flotación, en las cuales se varió la composición del mineral, ver Tabla 8; la prueba 1 y 5 corresponde al material de la corriente de concentrado y colas respectivamente de la Tabla 7 (datos reconciliados). En la misma tabla se presentan los resultados de las pruebas de flotación, que se describen en términos de la recuperación de sulfuros (R_s^{2-}).

Tabla 8.
Resultados de las pruebas de flotación
(Tabatabaei y col., 2014).

Prueba	S ²⁻ (%)	C _{Org} (%)	(CO ₃) ²⁻ (%)	SiO ₂ (%)	Al (%)	R _s ²⁻ (%)
1	25.00	1.49	4.99	43.34	0.69	89.87
5	1.23	3.14	4.74	48.50	1.88	31.33



Los resultados demuestran claramente que un incremento en la proporción de C_{Org} en la alimentación a la flotación tiene un gran efecto adverso en la recuperación de sulfuros. Por ejemplo, un incremento de 1.65 % en la proporción de C_{Org} en la alimentación de flotación da como resultado una disminución significativa en la recuperación de sulfuros (disminuye en 58.54 %). Los autores también complementan que los $(CO_3)^{2-}$ y SiO_2 no tienen un efecto directo en la recuperación de sulfuros. Tabatabaei y col. (2014) concluyen que los resultados proporcionan el contexto y la dirección para realizar estudios fundamentales orientados a la separación de la materia carbonosa, utilizando métodos de separación por gravedad.

DISCUSIÓN

Los resultados demostraron que la separación de carbón orgánico (C_{Org}) es un reto importante en la flotación de sulfuros de Pb, Zn y Cu (Pan y col., 2022). Asimismo, los resultados representan una visión general de las diversas estrategias que se han experimentado con el objetivo de disminuir el contenido de C_{Org} en minerales tipo sulfuros (Konieczny y col., 2013; Godirilwe, y col., 2021; Gupta, 2017).

En el presente trabajo se analizaron datos reportados en la literatura y se presentaron en forma de tres casos de estudio. Los datos analizados son mediciones que se obtuvieron de procesos industriales. Esto significa que la adquisición de los datos involucra un control riguroso de las variables que controlan el proceso. Sin embargo, la variación inherente del mismo (e.g., cambios en la ley de alimentación y flujo másico en la misma, etc.) y la variabilidad propia de los sistemas de control/medición propician datos inconsistentes que pueden afectar el análisis del balance de masa. Por lo tanto, estos problemas pueden reducir en gran medida el rendimiento y la rentabilidad del proceso de separación. En el contexto anterior los autores del presente trabajo utilizaron este



enfoque para analizar particularmente el balance de masa de la separación de C_{org} presente en minerales tipo sulfuros. Para enfrentar este reto se aplicó la reconciliación de datos en exceso, la cual se basa en ecuaciones de conservación de masa y energía (en estado estacionario).

Esta técnica de análisis de datos es aplicada con mucha frecuencia en la industria del procesamiento de minerales a través de softwares como Bilmat®, Matbal®, JKSim®, etc. En el presente trabajo se aplicó el método de minimización de suma de cuadrados de la clausura residual que se describe en (Wills y Napier, 2006). Los resultados indicaron que la diferencia, relativamente pequeña, entre la contabilidad metalúrgica del C_{org} para los datos reconciliados y los medidos permite desarrollar un balance de masa con un enfoque confiable, tal y como se observó en el caso de estudio 1 y 3. Sin embargo, en el caso de estudio 2 se encontró que la diferencia entre los datos de C_{org} medidos y los reconciliados es significativa, esto demuestra que, el método no está comprometido a ofrecer resultados inmediatamente satisfactorios. Sino más bien, el método proporciona argumentos significativamente congruentes para realizar un análisis crítico del balance de masa. Un tercer caso de estudio que describió la operación de un circuito de separación por gravedad reveló que el estado estacionario es una condición fundamental en la aplicación de la reconciliación de datos, lo cual mejora la precisión del balance de masa.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se desarrolló una revisión general sobre la separación de carbón orgánico contenido en minerales tipo sulfuros. La revisión muestra el impacto negativo del carbón orgánico en la flotación selectiva de sulfuros de Pb, Zn y Cu. Asimismo, la revisión ofrece una visión general de las diversas estrategias que se han reportado en la literatura para enfrentar este reto.



A través del análisis de tres casos de estudio se demostró la importancia del balance de masa del carbono orgánico en procesos metalúrgicos industriales. La precisión del balance de masa se analizó con la aplicación de un modelo fundamental de reconciliación de datos en exceso en estado estacionario. El método de reconciliación utilizado permitió observar el ajuste de los datos para satisfacer las condiciones del modelo de balance de masa y proporcionó estimaciones de recuperación de carbón orgánico independientemente del proceso metalúrgico utilizado.

No obstante, los resultados de este estudio sugieren profundizar en los fundamentos del balance de masa para analizar otros aspectos importantes como; la optimización técnica y económica de los procesos metalúrgicos utilizados para separar el carbón orgánico en minerales tipo sulfuros.

REFERENCIAS

- Behnami, A., Zoroufchi Benis, K., Shakerkhatibi, M., Fatehifar, E., Derafshi, S., & Chavoshbashi, M. M. (2019). Integrating data reconciliation into material flow cost accounting: The case of a petrochemical wastewater treatment plant. *Journal of Cleaner Production*, 218: 616–628.
- Cordeiro, P. F., Oliveira, C. G., Paniago, L. N., Romagna, G., & Santos, R. V. (2018). The carbonate-hosted MVT Morro Agudo Zn-Pb deposit, central Brazil. *Ore Geology Reviews*, 101: 437-452.
- Foszcz, D., & Drzymala, J. (2011). Differentiation of organic carbon, copper and other metals contents by segregating flotation of final Polish industrial copper concentrates in the presence of dextrin. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 47.
- Godirilwe, L. L., Magwaneng, R. S., Sagami, R., Haga, K., Batnasan, A., Aoki, S., Kawasaki, T., Matsuoka, H., Mitsuhashi, K., Kawata, M., & Shibayama, A. (2021). Extraction of copper from complex carbonaceous sulfide ore by direct high-pressure leaching. *Minerals Engineering*, 173(107181): 107181.



- Gredelj, S., Zanin, M., & Grano, S. R. (2009). Selective flotation of carbon in the Pb–Zn carbonaceous sulphide ores of Century Mine, Zinifex. *Minerals Engineering*, 22(3): 279-288.
- Gupta, N. (2017). Evaluation of graphite depressants in a poly-metallic sulfide flotation circuit. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(2): 285–292.
- Huang, Z., Wang, G., Li, N., Fu, Y., Lei, Q., & Mao, X. (2021). Genetic link between Mississippi Valley-Type (MVT) Zn-Pb mineralization and hydrocarbon accumulation in the Nanmushu, northern margin of Sichuan Basin, SW China. *Geochemistry*, 81(4): 125805.
- Izydorczyk, G., Mikula, K., Skrzypczak, D., Moustakas, K., Witek-Krowiak, A., & Chojnacka, K. (2021). Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management. *Environmental Research*, 197: 111050.
- Konieczny, A., Pawlos, W., Krzeminska, M., Kaleta, R., & Kurzydło, P. (2013). Evaluation of organic carbon separation from copper ore by pre-flotation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(1): 189-201.
- Pan, Z., Xiong, J., Cui, Y., Wei, Q., Jia, W., Zhang, Z., Jiao, F., & Qin, W. (2022). Effect mechanism of carbonaceous materials on the flotation separation of lead–zinc ore. *Separation and Purification Technology*, 294(121101): 121101.
- Tabatabaei, R. H., Nagaraj, D. R., Vianna, S. M. S. M., Napier-Munn, T. J., & Gorain, B. (2014). The effect of non-sulphide gangue minerals on the flotation of sulphide minerals from Carlin-type gold ores. *Minerals Engineering*, 60: 26–32.
- Vasebi, A., Poulin, É., & Hodouin, D. (2014). Selecting proper uncertainty model for steady-state data reconciliation – Application to mineral and metal processing industries. *Minerals Engineering*, 65: 130–144.
- Wills, B. A., & Napier-Munn, T. (2006). Wills' mineral processing technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery (7a ed.). Butterworth-Heinemann.



AVANCES EN LA APLICACIÓN DE ÓXIDOS METÁLICOS COMO RECUBRIMIENTOS FOTOCATALÍTICOS: UNA REVISIÓN

ADVANCES IN THE APPLICATION OF METAL OXIDES AS
PHOTOCATALYTIC COATINGS: A REVIEW

JESÚS R. VILLARREAL-FLORES¹

ANTONIA MARTÍNEZ-LUÉVANOS¹

LORENA FARÍAS-CEPEDA¹

LUIS ALFONSO GARCÍA-CERDA²

SOFÍA ESTRADA-FLORES²

RESUMEN

La problemática de la contaminación hídrica constituye un desafío de gran magnitud en la actualidad. Entre los enfoques empleados para abordar esta problemática, destaca el empleo de la fotocatálisis como método de tratamiento de agua. No obstante, esta técnica presenta consideraciones que ameritan atención. Una de ellas es la implementación de un fotocatalizador en forma de partículas finas, lo cual conlleva a complicaciones en su recuperación eficiente. Otro aspecto limitante se relaciona con la capacidad de absorción de luz del fotocatalizador utilizado, la cual, generalmente está restringida al espectro no visible de la radiación electromagnética. Lo que lleva a considerar la alternativa de utilizar los óxidos metálicos en forma de recubrimientos, en lugar de polvos. Los métodos de recubrimiento son técnicas altamente versátiles que permiten aplicar capas protectoras o funcionales sobre una superficie, mejorando su rendimiento y durabilidad. En este trabajo se presenta cómo los recubrimientos fotocatalíticos superan las limitaciones de los materiales en polvo, ofreciendo una solución efectiva para diversos desafíos en la degradación de contaminantes. Además, se examinan algunos fotocatalizadores y los métodos actuales más utilizados para aplicarlos como recubrimientos.

Palabras clave: fotocatálisis; recubrimientos; óxidos metálicos.

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

2. Centro de Investigación en
Química Aplicada.

Correspondencia
s_estrada@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-4706-3984

Recepción de artículo
21 de noviembre de 2023.

Artículo aceptado
29 de mayo de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

The problem of water pollution is a challenge of great magnitude today. Among the approaches used to address this problem, the use of photocatalysis as a treatment method stands out. However, this technique presents considerations that deserve attention. One of them is the use of a photocatalyst in the form of fine particles, which entails complications in its efficiency. Likewise, another limiting aspect is related to the absorption capacity of these photocatalyst, which is restricted to the non-visible spectrum of electromagnetic radiation. This leads to consider the alternative of using them in the form of coatings instead of powders. Coating methods are highly versatile techniques that allow protective or functional layers to be applied to a surface, thus improving its performance and durability. In this context, we will explore how photocatalytic coatings overcome the limitations of powdered materials, offering an effective solution to various challenges in contaminant degradation and other applications. In this review article, we will examine today's most used photocatalysts and coating methods, along with their key applications.

Keywords: photocatalyst; coatings; metal oxides.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el creciente problema de la contaminación agua y aire se vuelve cada vez más desafiante a causa de la mala gestión de recursos y la generación de grandes cantidades de residuos. Debido a esto, la academia enfoca sus esfuerzos en el desarrollo de nuevos métodos para el tratamiento de aguas grises. Uno de estos métodos se encuentra en el uso de semiconductores como fotocatalizadores para la degradación de contaminantes orgánicos.

Los semiconductores son materiales con propiedades entre un aislante y un conductor, y son ampliamente utilizados, no solo en



aplicaciones medioambientales sino también en equipos optoelectrónicos, razón por la cual sus propiedades físicas y químicas deben ser cuidadosamente estudiadas y adecuadas, dependiendo del uso que se les pretende dar.

En cuanto a los semiconductores fotocatalíticos, se busca mejorar su rendimiento mediante diferentes técnicas como, por ejemplo, realizar recubrimientos sobre un sustrato para ser utilizado en el tratamiento de efluentes y que sea fácilmente recuperado.

A continuación, se presenta el concepto general de la fotocatalisis y se brinda una perspectiva de cómo los semiconductores pueden ser utilizados en forma de recubrimiento para degradar contaminantes en medios acuosos.

1. USO DE ÓXIDOS METÁLICOS SEMICONDUCTORES COMO FOTOCATALIZADORES

1.1. FOTOCATÁLISIS

La fotocatalisis es una técnica para el tratamiento de soluciones acuosas contaminadas con sustancias tóxicas que se basa en el uso de fotocatalizadores, materiales que, al absorber la luz solar, desencadenan reacciones químicas que descomponen los contaminantes presentes en el aire y el agua. Los fotocatalizadores son capaces de producir transformaciones de las especies químicas involucradas en una reacción en la presencia de luz, y se regeneran después de cada ciclo de interacciones (Braslavsky, 2007).

Esto se logra porque la absorción de luz excita a los electrones (e^-) de la banda de valencia, produciendo un hueco (h^+) en la misma banda y electrones pasan a la banda de conducción (Figura 1). Esta excitación energética pone en marcha inmediatamente reacciones de fotoreducción. Para que la fotocatalisis sea eficiente, es necesario que el contaminante y catalizador estén muy cerca o en contacto y que estén expuestos a una fuente de iluminación adecuada (Ibhadon y Fitzpatrick, 2013).

La fotocatalisis heterogénea es llamada así debido a que el fotocatalizador es un sólido semiconductor que actúa en la degrada-



ción de compuestos en solución, esta es una de las técnicas más versátiles para la remoción de una gran cantidad de contaminantes, incluyendo aquellos de origen biológico, orgánico e inorgánico. Además, su bajo costo y su capacidad para degradar una amplia gama de contaminantes hacen de ella una herramienta útil para la descontaminación de agua y aire en todo el mundo. Los fotocatalizadores ideales deberían ser fáciles de producir y usar, ser activados eficientemente por la luz solar y capaces de catalizar reacciones de manera eficiente y sin riesgos para el medio ambiente o los humanos (Carp, 2004).

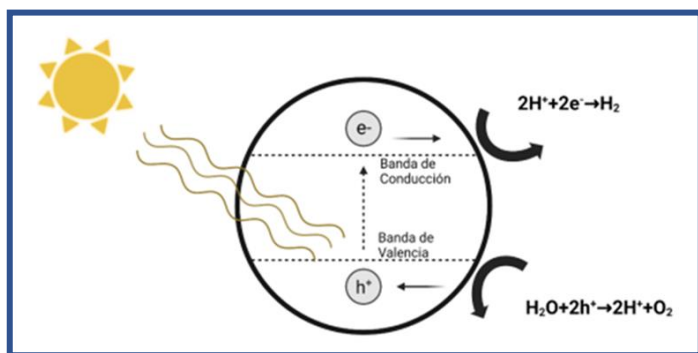


Figura 1. Esquema de la fotocatalisis heterogénea en un semiconductor. Creado en BioRender.com

1.2. PRINCIPALES FOTOCATALIZADORES

La mayoría de los estudios referentes a la evaluación de fotocatalizadores de la década pasada se centran en dos fotocatalizadores, el dióxido de titanio (TiO_2) y el óxido de zinc (ZnO). Sin embargo, existen otros compuestos de interés que se han empleado con menor éxito, siendo más de 130 materiales inorgánicos y sus derivados los que han sido descubiertos como catalizadores empleados para distintos fines (Osterloh, 2008). En la Tabla 1 se muestran las características de algunos de los fotocatalizadores más empleados, así como el método para obtenerlos y sus principales aplicaciones.



Tabla 1.
Óxidos metálicos más usados como fotocatalizadores.

Fotocatalizador	Métodos de síntesis	Características	Aplicación
Dióxido de titanio (TiO_2)	Sol-Gel, síntesis hidrotérmica	Inerte, estable, fácil de producir, de fácil manejo y sin riesgos para el medio ambiente	Sistemas de purificación de aire y agua, superficies autolimpiantes, esterilización, evolución de hidrógeno y conversión fotoelectroquímica.
Óxido de zinc (ZnO)	Sol-Gel, síntesis hidrotérmica, microemulsión	Fuerte poder de oxidación, bajo costo, no tóxico	Optoelectrónica, transistores de efecto de campo, celdas solares, dispositivos de fotoluminiscencia.
Pentóxido de niobio (Nb_2O_5)	Pechini	Buena estabilidad química, no tóxico, alta disponibilidad	Celdas solares
Dióxido de estaño (SnO_2)	Sol-Gel, precipitación homogénea	Bajo costo, alta estabilidad térmica, alta área superficial	Sensor de gas, purificación de agua
El Óxido de hierro (III) (Fe_2O_3)	Mecano-síntesis, Sol-Gel, síntesis hidrotérmica, condensación de fase de vapor	Alta absorción de luz, abundante, no tóxico	Aplicaciones biomédicas, fotodegradación, nanofibras

El TiO_2 es un polvo blanco que es utilizado como fotocatalizador y es el que se emplea en la mayoría de los estudios para la desintoxicación de agua residual. Esto se debe principalmente a que cumple con casi todas las características de un fotocatalizador ideal, es decir, es inerte, estable, fácil de producir, de fácil manejo y sin riesgos para el medio ambiente o para el usuario (Nakata y Fujishima, 2012). Una de sus desventajas es que no absorbe luz visible debido a su ancha brecha energética (band gap) (3.2 eV), lo que constituye entre el 3-4% de la luz solar que choca con la superficie de la Tierra (Yuan y col., 2019), y el hecho de que muestre una baja actividad fotocatalítica en la remoción de algunos contaminantes a muy bajas concentraciones, como por ejemplo los fenoles



producidos por las industrias de los plásticos, así como en la petrolera y los colorantes orgánicos. (Chen y col., 2020). Su baja actividad fotocatalítica es causada por su pequeña área superficial específica y baja habilidad de adsorción (Carp, 2004; Y. Zhang y col., 2011), razón por la cual este óxido se ha utilizado en conjunto con otros óxidos metálicos en forma de composito o heteroestructura (Estrada-Flores y col., 2023) o dopado con iones metálicos (Tian y col., 2024).

El ZnO es otro fotocatalizador popular para la fotodegradación de contaminantes debido a sus excelentes propiedades (Qi y col., 2017; Sharma y col., 2022), entre ellas su fuerte poder de oxidación, bajo costo y su no toxicidad. Comparado al TiO_2 , el ZnO puede exhibir un desempeño fotocatalítico aún mayor en la degradación de ciertos contaminantes orgánicos, como el fenol y sus derivados (Gouvêa y col., 2000; Li y col., 2008). Por otra parte, el ZnO presenta tres grandes desventajas. La primera es la fotocorrosión, en donde tanto los electrones como los huecos pueden participar en la descomposición del mismo semiconductor, (Kudo y Miseki, 2009; Weng y col., 2019), la segunda es su bajo rendimiento en presencia de luz solar debido a su ancha brecha energética (Ong y col., 2018) y finalmente su susceptibilidad de disolverse en pH extremos (Thampi y col., 1983; L. Zhang y col., 2009) lo que disminuye su aplicación fotocatalítica en solución acuosa.

El Nb_2O_5 , que es un óxido metálico semiconductor de transición tipo n comúnmente obtenido por el método Pechini (Taques Tractz y col., 2021). A pesar de ser poco utilizado, se presenta como una alternativa viable al TiO_2 , esto ya que son similares en su semiconductividad, tiene una buena estabilidad química y no es tóxico; generalmente se utiliza en la elaboración de paneles solares (Souza y col., 2016; Su y col., 2021).

El SnO_2 es un material semiconductor transparente que cuenta con una gran estabilidad química y mecánica. Este óxido posee una fase estable que se caracteriza por una estructura cristalina tetragonal, de tipo rutilo, la cual es denominada como casiterita (Do Nascimento y col., 2022; Montenegro Hernández y col., 2016), normalmente es sintetizado por los métodos sol-gel y precipitación homogénea.



Además de su empleo como fotocatalizador en la reducción de contaminantes, el óxido de estaño también despliega una aplicación significativa como sensor de gases. Este último papel se deriva de las alteraciones suscitadas en su superficie debido a la absorción química de moléculas gaseosas. En particular, el óxido de estaño se ha aplicado de manera extensiva para detectar gases como el monóxido de carbono (CO), etanol (C₂H₅OH) y metanol (CH₃OH) (Rella y col., 1997).

El Fe₂O₃ es otro fotocatalizador que ha sido ampliamente estudiado, consiste en diferentes estructuras cristalinas, entre ellas el α -Fe₂O₃, γ -Fe₂O₃, ϵ -Fe₂O₃ (Hitam y Jalil, 2020; Srivastava y col., 2010). Siendo el α -Fe₂O₃ el que más se ha probado como fotocatalizador, presenta una estrecha brecha energética (2.2 eV), una de las mayores ventajas que presenta frente a otros fotocatalizadores comunes es el hecho de que puede absorber luz de hasta 600 nm, aprovechando alrededor del 40% de la luz que golpea la superficie de la tierra (Zeng y col., 2015). Además, es muy abundante y no tóxico, sin embargo, no es eficiente para usos prácticos debido a su alto nivel de recombinación de huecos (h⁺) y electrones (e⁻) que limitan su eficiencia, así como su baja transferencia de carga (Hu y col., 2009).

Estos fotocatalizadores comparten la problemática de ser difícilmente recuperables cuando se emplean en el tratamiento de agua, pues suelen quedar esparcidos en el medio. Una alternativa para solucionar dicho problema es usarlos en forma de recubrimiento, ya que al ser adheridos a la superficie de un sustrato con buenas propiedades ópticas podrían ser utilizados con mayor eficiencia. Para esto, existen distintos métodos, los cuales se describen a continuación.

2. DESARROLLO DE RECUBRIMIENTOS FOTOCATALÍTICOS Y TÉCNICAS DE APLICACIÓN

2.1. RECUBRIMIENTOS DE FOTOCATALIZADORES

Existen distintas técnicas o métodos por los cuales es posible recubrir un material empleado como sustrato. Cada cual cuenta con sus



propias ventajas y desventajas, como el costo, la homogeneidad de las capas, la capacidad para recubrir por ambas caras del sustrato, el tiempo que tardan y la adherencia que pueden dar. Los métodos que a continuación se exponen son algunos de los más empleados debido a su alta efectividad.

2.2. RECUBRIMIENTO POR INMERSIÓN

La técnica de recubrimiento por inmersión (dip – coating) consiste en una serie de pasos para lograr una adherencia del material del recubrimiento al sustrato. La técnica consiste en varios pasos, el primero es la inmersión del sustrato (vidrio con óxido de estaño (FTO)) en la solución que contiene el material del recubrimiento a una velocidad constante. Después de permanecer el sustrato dentro de la solución por un tiempo, se retira el sustrato a una velocidad constante, el cual contendrá una capa delgada de material. Finalmente, el exceso de líquido se drena del soporte y se evapora el solvente, formando una capa de recubrimiento sobre el sustrato (ver Figura 2). Una de las principales ventajas del método es que con él es posible producir recubrimientos sobre sustratos de múltiples composiciones y complejidad en cuanto a estructura. Las propiedades y el espesor de la capa dependen de una serie de factores, como el tiempo de inmersión, velocidad de extracción, número de inmersiones ciclos, composición de la solución, concentración y temperatura, humedad ambiental, entre otros (Lončarević y Čupić, 2019).

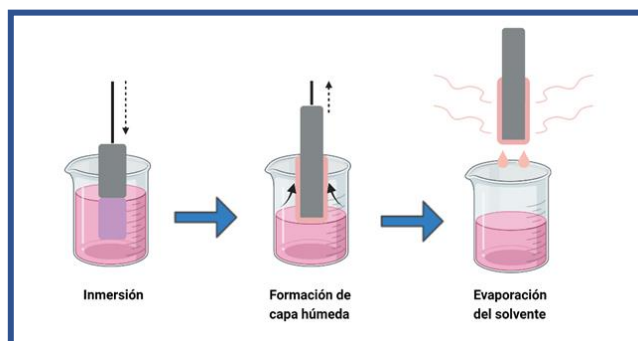


Figura 2. Esquema del procedimiento del recubrimiento por inmersión.



2.3. RECUBRIMIENTO POR ROTACIÓN

El recubrimiento por rotación (spin – coating) consiste en depositar una pequeña cantidad de una solución que se desea adherir en el centro de la superficie de un sustrato plano. Dicho sustrato se rota a alta velocidad (aprox. 3000 rpm) hasta que la solución se distribuya uniformemente en la superficie. Al igual que el recubrimiento por inmersión, el recubrimiento por rotación se utiliza para la fabricación de películas delgadas de recubrimientos uniformes de materiales sobre superficies planas. Siendo entonces los pasos: deposición, centrifugado hacia arriba y hacia fuera, y evaporación, como se muestra en la Figura 3 (Yilbas y col., 2019).

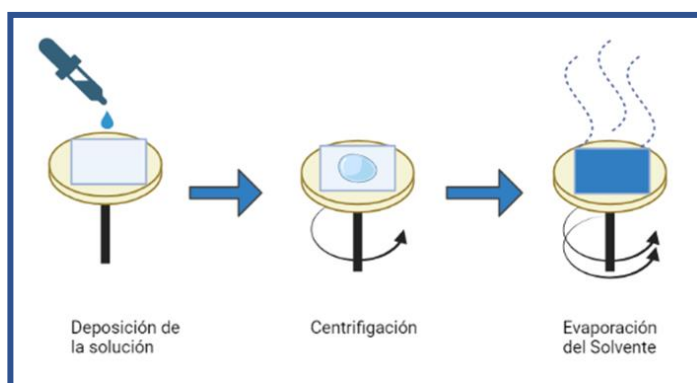


Figura 3. Esquema del procedimiento de recubrimiento por rotación, creado en BioRender.com

2.4. RECUBRIMIENTO POR MÉTODO DOCTOR BLADE

Uno de los métodos más comunes empleados para lograr capas de grosor bien definido es el método Doctor Blade. Este enfoque sobresale por su alta precisión. Su metodología se muestra en la Figura 4 la cual, implica situar una cuchilla afilada a una distancia determinada sobre el material que se pretende recubrir. La solución que se aplicará se coloca frente a esta cuchilla y, al moverse sobre el material, se distribuye uniformemente. Sin embargo, una de las limitaciones principales es que se requiere tiempo para encontrar las condiciones óptimas para cada experimento, buscando que esta búsqueda no conlleve una pérdida de solución superior al 5% (Cherrington y Liang, 2016). La separación entre la cuchilla puede ser modificada mediante soportes de alta precisión en un rango de



+/- 10 μm . El depósito que contiene la solución para el recubrimiento puede llenarse mediante una bomba continua para prevenir la formación de burbujas en el depósito. El proceso de Doctor Blade puede operar a velocidades de hasta varios metros por minuto y es adecuado para aplicar recubrimientos de película húmeda de grosores que pueden ir desde los 20 μm (Berni y col., 2004).

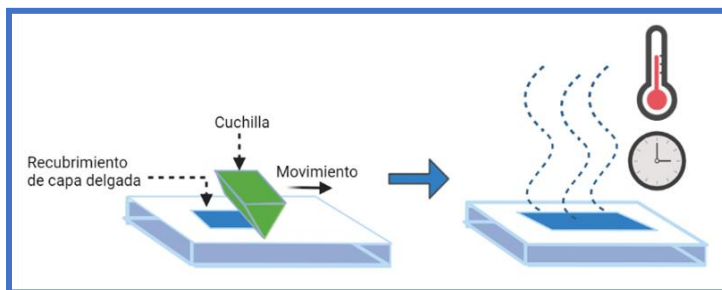


Figura 4. Esquema del recubrimiento por el método Doctor Blade. Creado en Biernder.com

3. AVANCES EN LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS CON TiO_2 Y ZnO

El TiO_2 y el ZnO son los dos principales fotocatalizadores utilizados para fines medioambientales; en esta sección se abordarán los avances recientes en la aplicación de recubrimientos de estos óxidos, así como las posibles aplicaciones de estos.

Sonawane y colaboradores depositaron películas delgadas de TiO_2 en distintos tipos de sustratos mediante la técnica de recubrimiento por inmersión. Los sustratos fueron recubiertos con una solución precursora de $\text{Ti}(\text{O}_2)_2$ de viscosidad controlada con una velocidad de 1 mm/s, y las secaron al aire, posteriormente las calentaron a 400 °C para obtener películas uniformes con buena adhesión al sustrato. Las películas de TiO_2 depositadas por esta técnica tenían un grosor de 20-100 nm con un tamaño de partícula de 4-10 nm y estructura de anatasa. Estas películas mostraron una alta actividad fotocatalítica para la descomposición de ácido salicílico y azul de metileno. Este método resulta efectivo para el depósito de películas delgadas de TiO_2 en diversos sustratos como placas de vidrio, placas de sílice, placas de acero inoxidable y hélices de vidrio. Las películas que



obtuvieron fueron transparentes, homogéneas y uniformes, y mostraron una excelente adherencia a todos los sustratos; además encontraron que el grosor de la película depende de la concentración de titanio y la viscosidad del sol (Sonawane y col., 2003).

Por otra parte, también se ha reportado la formación de películas de ZnO por el método sol-gel y la técnica de recubrimiento por inmersión sobre sustratos de vidrio. Wojtasik y colaboradores analizaron el impacto de la duración del envejecimiento (64 días) del sol en las propiedades de las películas de ZnO. Estos estudios revelaron que las propiedades fisicoquímicas de las capas varían según la duración del envejecimiento. Las capas envejecidas por más de 30 días mostraron la mayor actividad fotocatalítica y porosidad, con un ángulo de contacto de agua máximo de 68.53° . Estas capas de ZnO, por su destacada actividad fotocatalítica, podrían tener aplicaciones en la protección medioambiental para la degradación de contaminantes orgánicos (Wojtasik y col., 2023).

Por otro lado, se desarrolló un novedoso recubrimiento de TiO_2 sobre concreto, el cual tiene capacidad de autolimpiarse, esto para combatir los impactos nocivos de la contaminación del aire sobre el concreto. El revestimiento no sólo protege los materiales de construcción del deterioro, sino que también promete mitigar los problemas de salud relacionados con la contaminación. El estudio se centró en la síntesis de fotocatalizadores mesoporosos de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, diseñados para uso en exteriores, y su aplicación a superficies de concreto. Estos recubrimientos exhibieron una fuerte actividad fotocatalítica, que mejoró a medida que aumentó la concentración de TiO_2 . En consecuencia, los recubrimientos eliminaron eficazmente contaminantes como el azul de metileno (MB) y el hollín, al tiempo que redujeron los óxidos de nitrógeno. En comparación, un fotocatalizador comercial mostró un rendimiento inferior, lo que provocó superficies agrietadas y una menor degradación de los contaminantes. Es importante destacar que los recubrimientos de $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ demostraron una eficacia duradera incluso después de la exposición a condiciones del mundo real. Esta



durabilidad se confirmó mediante pruebas en interiores y exteriores, que revelaron sólo una degradación mínima en su eficiencia fotocatalítica. Los resultados del estudio afirman la confiabilidad y eficacia de los recubrimientos para abordar los problemas de contaminación del aire (Khannyra y col., 2022).

Para abordar la urgente necesidad de desinfectantes para espacios de trabajo a causa de la pandemia de SARS-CoV-2, un grupo de investigadores probaron el uso de recubrimientos fotocatalizadores de TiO_2/Ti , conocidos por sus propiedades purificadoras y antibacterianas. Estos recubrimientos se probaron contra SARS-CoV-2, el virus de la influenza, acetaldehído y formaldehído. Los resultados mostraron que los recubrimientos de TiO_2/Ti tenían una alta actividad fotocatalítica y lograron inactivar eficazmente el virus de la influenza y el SARS-CoV-2. La fabricación de los recubrimientos involucró el uso de una técnica de recubrimiento mecánico (MCT) y tratamiento térmico. La caracterización de los recubrimientos se realizó mediante difracción de rayos X (XRD), lo que reveló la estructura cristalina del TiO_2 fase anatasa. Además de la inactivación viral, los recubrimientos también demostraron eficacia en la purificación del aire, especialmente en la eliminación de acetaldehído y formaldehído. Estos resultados sugieren que los recubrimientos de TiO_2/Ti tienen un gran potencial como herramientas efectivas para abordar la inactivación viral y la purificación ambiental (Lu y col., 2022).

Cabe destacar que el ZnO y el TiO_2 también son comúnmente utilizados en conjunto con otros óxidos, esto para mejorar sus propiedades ópticas. Koysuren y colaboradores realizaron recubrimientos sobre vidrio de ZnO combinado con WO_3 y SiO_2 , obteniendo como resultado recubrimientos capaces de absorber luz en la región visible y ultravioleta del espectro electromagnético (Koysuren y col., 2024).

También es común encontrar composites con metales, por ejemplo, Sajjadnejad y colaboradores realizaron recubrimientos con composites de $\text{Zn} - \text{TiO}_2$. La presencia del TiO_2 logró un cambio en la forma del crecimiento de los cristales sobre el sustrato, así mismo, ellos



encontraron una disminución en el tamaño de cristalita provocado por el aumento en la cantidad de TiO_2 . Estos recubrimientos fueron realizados mediante electrodeposición y también encontraron que al aumentar la densidad de corriente en la deposición se obtenían cristales más pequeños sobre el sustrato (Sajjadnejad y col., 2024).

CONCLUSIONES

La alternativa de usar los fotocatalizadores en forma de recubrimiento y no como polvo, presenta muchas ventajas, entre ellas siendo quizá la más importante el hecho de la fácil recuperación de los óxidos metálicos empleados para degradar los contaminantes orgánicos. Por mucho, el fotocatalizador más empleado es el TiO_2 , el cual, si es sensibilizado o utilizado como composito presenta una alta eficiencia de degradación y un bajo costo. Por otra parte, los métodos usados para la aplicación de recubrimientos dip y spin – coating suelen ser los más empleados para aplicar recubrimientos sobre sustratos a nivel laboratorio, ya que presentan un bajo costo y son pocas las variables que se deben controlar para obtener recubrimientos homogéneos.

AGRADECIMIENTOS

Jesús Ricardo Villarreal agradece al CONHACYT por la beca No. 813036 para realizar sus estudios de posgrado.

REFERENCIAS

Braslavsky, S. E. (2007). Glossary of terms used in photochemistry, 3rd edition (IUPAC Recommendations 2006). *Pure and Applied Chemistry*. 79(3): 293-465. <https://doi.org/10.1351/pac200779030293>



- Carp, O. (2004). Photoinduced reactivity of titanium dioxide. *Progress in Solid State Chemistry*. 32(1-2): 33-177. <https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2004.08.001>
- Chen, D., Cheng, Y., Zhou, N., Chen, P., Wang, Y., Li, K., Huo, S., Cheng, P., Peng, P., Zhang, R., Wang, L., Liu, H., Liu, Y., & Ruan, R. (2020). Photocatalytic degradation of organic pollutants using TiO₂-based photocatalysts: A review. *Journal of Cleaner Production*. 268: 121725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121725>
- Cherrington, R., & Liang, J. (2016). Materials and Deposition Processes for Multifunctionality. En V. Goodship, B. Middleton & R. Cherrington (Eds.), *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality* (pp. 19-51). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-34061-8.00002-8>
- Do Nascimento, J. L. A., Chantelle, L., Dos Santos, I. M. G., Menezes De Oliveira, A. L., & Alves, M. C. F. (2022). The Influence of Synthesis Methods and Experimental Conditions on the Photocatalytic Properties of SnO₂: A Review. *Catalysts*. 12(4): 428. <https://doi.org/10.3390/catal12040428>
- Estrada-Flores, S., Martínez-Luévanos A., Aguilera-González, E.N. (2023). Obtención del compuesto TiO₂ – Fe₂O₃ por mecanosíntesis y su uso en la fotodegradación de azul de metileno y diclofenaco con luz solar. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*. 10: 83-91. <https://doi.org/10.29057/aactm.v10i10.11422>
- Gouvêa, C. A. K., Wypych, F., Moraes, S. G., Durán, N., Nagata, N., & Peralta-Zamora, P. (2000). Semiconductor-assisted photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous solution. *Chemosphere*. 40(4): 433-440. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00313-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00313-6)
- Hitam, C. N. C., & Jalil, A. A. (2020). A review on exploration of Fe₂O₃ photocatalyst towards degradation of dyes and organic contaminants. *Journal of Environmental Management*. 258: 110050. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110050>
- Hu, Y.-S., Kleiman-Shwarsstein, A., Stucky, G. D., & McFarland, E. W. (2009). Improved photoelectrochemical performance of Ti-doped α -Fe₂O₃ thin films by surface modification with fluoride. *Chemical Communications*. 19: 2652. <https://doi.org/10.1039/b901135h>



- Ibhadon, A., & Fitzpatrick, P. (2013). Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications. *Catalysts*. 3(1): 189-218. <https://doi.org/10.3390/catal3010189>
- Khannyra, S., Luna, M., Gil, M. L. A., Addou, M., & Mosquera, M. J. (2022). Self-cleaning durability assessment of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ photocatalysts coated concrete: Effect of indoor and outdoor conditions on the photocatalytic activity. *Building and Environment*. 211: 108743. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108743>
- Koysuren, O., Dhoska, K., Koysuren, H.N., Markja, I., Yaglikci, S., Tuncel, B., Bebi, E. (2024). $\text{SiO}_2/\text{WO}_3/\text{ZnO}$ based self-cleaning coatings for solar cells. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 110: 183-203. <https://doi.org/10.1007/s10971-024-06351-7>
- Kudo, A., & Miseki, Y. (2009). Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting. *Chem. Soc. Rev.* 38(1): 253-278. <https://doi.org/10.1039/B800489G>
- Li, S., Ma, Z., Zhang, J., Wu, Y., & Gong, Y. (2008). A comparative study of photocatalytic degradation of phenol of TiO_2 and ZnO in the presence of manganese dioxides. *Catalysis Today*. 139(1-2): 109-112. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2008.08.012>
- Lončarević, D., & Čupić, Ž. (2019). The perspective of using nanocatalysts in the environmental requirements and energy needs of industry. En S. Thomas, Y. Grohens & Y.B. Pottathara (Eds.), *Industrial Applications of Nanomaterials, a volume in micro and nanotechnologies* (pp. 91-122). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815749-7.00004-9>
- Lu, Y., Guan, S., Hao, L., Yoshida, H., Nakada, S., Takisawa, T., & Itoi, T. (2022). Inactivation of SARS-CoV-2 and photocatalytic degradation by TiO_2 photocatalyst coatings. *Scientific Reports*. 12(1): 16038. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20459-2>
- Montenegro Hernández, A., S. Castro, M., & Rodríguez Paez, J. E. (2006). Nanopartículas de SnO_2 Obtenidas por el Método de Precipitación Controlada. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 26(1-2): 51-60. Recuperado en 11 de octubre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522006000100006&lng=es&tlng=es



- Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO₂ photocatalysis: Design and applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. 13(3): 169-189. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001>
- Ong, C. B., Ng, L. Y., & Mohammad, A. W. (2018). A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 81: 536-551. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.020>
- Osterloh, F. E. (2008). Inorganic Materials as Catalysts for Photochemical Splitting of Water. *Chemistry of Materials*. 20(1): 35-54. <https://doi.org/10.1021/cm7024203>
- Qi, K., Cheng, B., Yu, J., & Ho, W. (2017). Review on the improvement of the photocatalytic and antibacterial activities of ZnO. *Journal of Alloys and Compounds*. 727: 792-820. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.08.142>
- Rella, R., Serra, A., Siciliano, P., Vasanelli, L., De, G., Licciulli, A., & Quirini, A. (1997). Tin oxide-based gas sensors prepared by the sol-gel process. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 44(1-3): 462-467. [https://doi.org/10.1016/S09254005\(97\)00205-0](https://doi.org/10.1016/S09254005(97)00205-0)
- Sajjadnejad, M., Karkon, S., Haghshenas, S.M. (2024). Corrosion Characteristics of Zn-TiO₂ Nanocomposite Coatings Fabricated by Electro-Codeposition Process. *Advanced Journal of Chemistry, Section A*. 7(2): 209-226. <https://doi.org/10.48309/ajca.2024.418391.1425>
- Sharma, D. K., Shukla, S., Sharma, K. K., & Kumar, V. (2022). A review on ZnO: Fundamental properties and applications. *Materials Today: Proceedings*. 49: 3028-3035. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.238>
- Sonawane, R. S., Hegde, S. G., & Dongare, M. K. (2003). Preparation of titanium (IV) oxide thin film photocatalyst by sol-gel dip coating. *Materials Chemistry and Physics*. 77(3): 744-750. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00138-4](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00138-4)
- Souza, R. P., Freitas, T. K. F. S., Domingues, F. S., Pezoti, O., Ambrosio, E., Ferrari-Lima, A. M., & Garcia, J. C. (2016). Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 329: 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2016.06.013>



- Srivastava, M., Ojha, A. K., Chaubey, S., Singh, J., Sharma, P. K., & Pandey, A. C. (2010). Investigation on magnetic properties of α -Fe₂O₃ nanoparticles synthesized under surfactant-free condition by hydrothermal process. *Journal of Alloys and Compounds*. 500(2): 206-210. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.03.245>
- Su, K., Liu, H., Gao, Z., Fornasiero, P., & Wang, F. (2021). Nb₂O₅ -Based Photocatalysts. *Advanced Science*. 8(8): 2003156. <https://doi.org/10.1002/advs.202003156>
- Taques Tractz, G., Staciaki Da Luz, F., Masetto Antunes, S.R., Do Prado Banczek, E., Taras Da Cunha, M., & Pinto Rodrigues, P.R. (2021). Nb₂O₅ synthesis and characterization by Pechini method to the application as electron transport material in a solar device. *Solar Energy*. 216: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.sol.ener.2021.01.029>
- Thampi, K., Varahala Reddy, T., Ramakrishnan, V., & Kuriacose, J. C. (1983). Mechanism of photoelectrocatalytic dehydrogenation of 2-propanol on a polycrystalline ZnO photoelectrode. *Electrochimica Acta*. 28(12): 1869-1874. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(83\)87028-5](https://doi.org/10.1016/0013-4686(83)87028-5)
- Tian, T., Zhang, J., Ge, S., Zhai, Z. (2024). Photocatalytic Degradation of Gaseous Benzene Using Cu/Fe-Doped TiO₂ Nanocatalysts under Visible Light. *Molecules*. 29: 144. <https://doi.org/10.3390/molecules29010144>
- Weng, B., Qi, M.-Y., Han, C., Tang, Z.-R., & Xu, Y.-J. (2019). Photocorrosion Inhibition of Semiconductor-Based Photocatalysts: Basic Principle, Current Development, and Future Perspective. *ACS Catalysis*. 9(5): 4642-4687. <https://doi.org/10.1021/acscatal.9b00313>
- Wojtasik, K., Zięba, M., Tyszkiewicz, C., Pakieła, W., Żak, G., Jeremiasz, O., Gondek, E., Drabczyk, K., & Karasiński, P. (2023). Zinc Oxide Films Fabricated via Sol-Gel Method and Dip-Coating Technique—Effect of Sol Aging on Optical Properties, Morphology and Photocatalytic Activity. *Materials*. 16(5): 1898. <https://doi.org/10.3390/ma16051898>
- Yilbas, B. S., Al-Sharafi, A., & Ali, H. (2019). Surfaces for Self-Cleaning. En Self-Cleaning of Surfaces and Water Droplet Mobility (pp. 45-98). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814776-4.00003-3>
- Yuan, X., Floresyona, D., Aubert, P.-H., Bui, T.-T., Remita, S., Ghosh, S., Brisset, F., Goubard, F., & Remita, H. (2019). Photocatalytic degradation of organic pollutant with polypyrrole nanostructures under UV and visible



light. *Applied Catalysis B: Environmental*. 242: 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.10.002>

Zeng, J., Li, J., Zhong, J., Yang, H., Lu, Y., & Wang, G. (2015). Improved Sun light photocatalytic activity of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ prepared with the assistance of CTAB. *Materials Letters*. 160: 526-528. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.08.037>

Zhang, L., Cheng, H., Zong, R., & Zhu, Y. (2009). Photocorrosion Suppression of ZnO Nanoparticles via Hybridization with Graphite-like Carbon and Enhanced Photocatalytic Activity. *Journal of Physical Chemistry C*. 113(6): 2368-2374. <https://doi.org/10.1021/jp807778r>

Zhang, Y., Wang, D., & Zhang, G. (2011). Photocatalytic degradation of organic contaminants by TiO_2 /sepiolite composites prepared at low temperature. *Chemical Engineering Journal*. 173(1): 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.028>



HÁBITOS ALIMENTICIOS QUE PRESENTAN LOS ESTUDIANTES DE POSGRADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

THE DIETARY HABITS OBSERVED AMONG POSTGRADUATE STUDENTS IN THE FACULTY OF CHEMICAL SCIENCES, AUTONOMOUS UNIVERSITY OF COAHUILA

ROSA M. MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ¹

MARIO A. CRUZ-HERNÁNDEZ²

ARACELI LOREDO-TREVIÑO¹

ROSA M. RODRÍGUEZ-JASSO¹

HÉCTOR ARTURO RUIZ-LEZA¹

RUTH E. BELMARES-CERDA¹

RESUMEN

El objetivo de este artículo se basa en esclarecer los nuevos hábitos alimenticios que acompañan a los jóvenes estudiantes pertenecientes a un mismo estrato social, tras la pandemia. En la "nueva normalidad" muchos hábitos se modificaron o adaptaron a las circunstancias contemporáneas, generando un nuevo patrón alimenticio íntimamente relacionado con el estado de salud en general. Por lo tanto, es necesario conocer los hábitos actuales para desarrollar nuevas estrategias en materia de salud que permitan reducir o detener el creciente aumento en la población joven de las enfermedades metabólicas crónicas no transmisibles.

Palabras clave: hábitos; alimentación; actividad física; ENSANUT.

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

2. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Correspondencia
ruthbelmares@uadec.edu.mx
ORCID: 0000-0003-1362-4691

ABSTRACT

The aim of this outreach article is to clarify the new dietary habits that accompany young students from the same social stratum after the pandemic. In the "new normal," many habits were modified or adapted to contemporary circumstances, generating a new dietary pattern closely related to overall health. Therefore, it is essential to understand current habits to develop new health strategies that can

Recepción de artículo
13 de febrero de 2024.

Artículo aceptado
12 de junio de 2024.



CienciAcierta

reduce or stop the growing prevalence in chronic non-communicable metabolic diseases in the young population.

Keywords: *habits; alimentation; physical activity; ENSANUT.*

INTRODUCCIÓN

El estado de salud en general presenta una relación íntima con los hábitos alimenticios que se vayan desarrollando a lo largo de la vida, los cuales según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2020) suelen consolidarse en la adolescencia y reafirmarse en la adultez. No obstante, han existido diversos factores sociales, políticos y de salubridad que han obligado a la población a modificar estos hábitos y adaptarlos (Borghi-Silva y col., 2022). Cuando comenzó la cuarentena por el COVID-19, la Secretaría de Salud de México puso en marcha un plan de acción y contingencia denominado “Nueva Normalidad”, en donde se evaluaba el tipo de actividad, riesgo, área de trabajo y características internas para determinar qué actividad económica sería permitida (Centeno, 2020).

En general, se restringieron actividades al aire libre, moderaron el aforo máximo en lugares públicos y la industria restaurantera, segundo mayor generador de empleo en México, fue una de las más afectadas, presentando un declive en sus ventas de hasta un 90% (Sandoval y col., 2021). Esto generó un aumento en los servicios compra en línea y entrega a domicilio o *delivery*. La Asociación Mexicana de Venta Online (AMVO, 2020) reporta que solo el 20% de la población encuestada ha recuperado la rutina diaria anterior a la pandemia tras los levantamientos de ciertas restricciones y en su última encuesta reportaron que más del 50% de la población mexicana adquiere sus bienes y servicios en línea (AMVO & OPENPAY, 2023).

Estos cambios repercutieron en los hábitos alimenticios, en la frecuencia de la actividad física y en el psique individual y social del



mundo y, aunque las restricciones sanitarias en su mayoría han sido retiradas, la nueva normalidad nos acompaña. Un estudio que se realizó en 2022 en Brasil determinó que el 58.2% de los mayores de edad presentaron cambios en el número de comidas, siendo el 31.8% del grupo los que aumentaron el número de éstas. Además, se presentó un patrón muy interesante donde hubo un aumento en el consumo de vegetales de hoja verde y productos de panadería, así como en el uso del *delivery* o entrega a domicilio (Ayer & Calep, 2022).

En México se tiene una herramienta titulada Encuesta de Salud y Nutrición (ENSANUT CONTINUA, 2022), encargada de actualizar las estadísticas sobre prevalencia de enfermedades, condiciones de vida, hábitos, estado nutricional, así como indicadores que proporcionan información relevante al formar nuevas estrategias en materia de salud pública. Esta herramienta nos brindó datos muy interesantes sobre población mexicana y sus hábitos alimenticios, así como la frecuencia en actividad física o el consumo de los diferentes grupos de alimentos (Gaona-Pinesa y col., 2023; Ramírez-Toscano y col., 2023).

La población mexicana abarca muchos estratos sociales que afectan la percepción del individuo, por ende, el objetivo de este artículo se basa en esclarecer los hábitos que actualmente presentan los adultos jóvenes pertenecientes a un posgrado en la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Autónoma de Coahuila y determinar si las estadísticas promedio se aplican a este sector poblacional, el de los futuros científicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto fue revisado por el Comité Científico Institucional de Ética para el desarrollo científico de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila y aprobado bajo el número de registro: TDCYTA-20-10-22-1. Todos los voluntarios



fueron informados del protocolo de forma oral y mediante un consentimiento informado impreso que firmaron al aceptar participar en el estudio. Se encuestaron 28 estudiantes pertenecientes a un posgrado con un rango de edad de 22 a 40 años, de ambos sexos. Los datos que fueron recopilados se muestran en la Figura 1, donde se asignó un número de folio a cada voluntario para asegurar la privacidad.

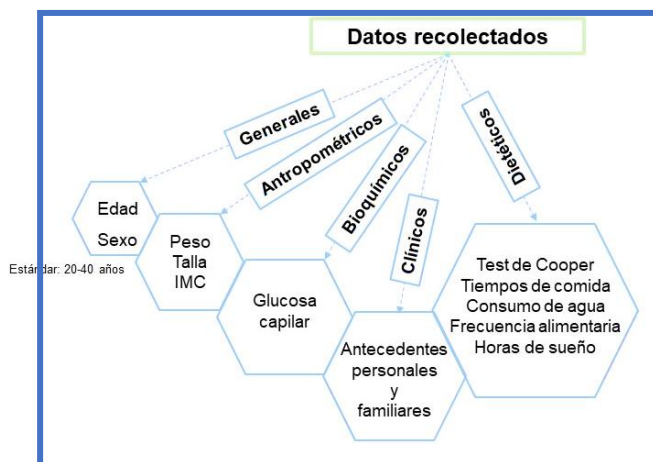


Figura 1. Datos recopilados.

Los datos generales y clínicos se recopilaron tras una encuesta oral, y los antropométricos tras mediciones por triplicado. Para los datos bioquímicos se solicitó un ayuno de ocho horas y se empleó un SD LipidoCare® Analyzer (Marca: SD Biosensor, INC, Elaborado: Kana Undesa S.A. de C.V., México) con tirillas LipidoCare® (Marca: SD Biosensor, INC, Tipo: Blood Glucose Test Strip, Elaborado: Kana Undesa S.A. de C.V., México) para medir los niveles de glucosa capilar, cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-087-SEMARNAT-1995, 1995) para el manejo adecuado de residuos peligrosos biológico-infecciosos.

En los datos dietéticos, se realizó el Test de Cooper por metros, midiendo el tiempo que tardaban en recorrer 2414 m, los hombres, y 2172 m las mujeres, según protocolo establecido por el Instituto de Ciencias de la Salud y la Actividad Física (ISAF, 2022), mientras, para la frecuencia alimentaria se dividieron en dos grupos los



alimentos: recomendados y no recomendados, con cinco subcategorías cada una de acuerdo con el (ENSANUT CONTINUA, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

La edad promedio de asistencia fue de 27 años, mayoritariamente mujeres. Los datos antropométricos, bioquímicos y clínicos se presentan en la Figura 2, donde se observa un índice de masa corporal (IMC) normal en las féminas y sobrepeso en los hombres, según la clasificación del Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC, 2022). Aunque el IMC ha sido una herramienta de correlación entre peso y talla ampliamente usada para estimar la grasa corporal, no es un marcador claro de la salud, en general, del individuo. Un artículo escrito por Adele Jackson-Gibson en 2021 expone que solo el 53% de la población con exceso de peso presenta algún tipo de enfermedad metabólica, siendo el 47% categorizado como metabólicamente saludable (Jackson-Gibson, 2021).

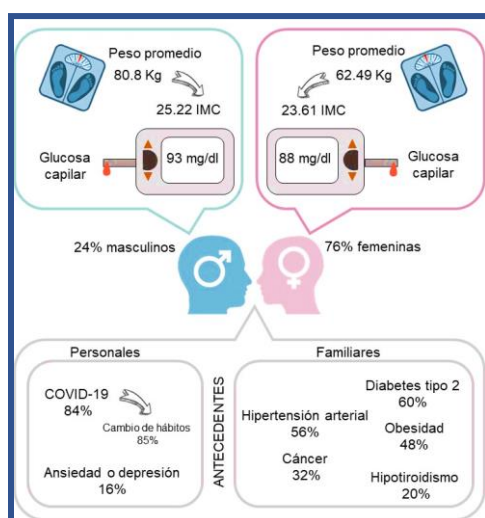


Figura 2. Resultados antropométricos, bioquímicos y clínicos.

La glucosa en ayunas es otro estándar muy empleado para detectar posibles alteraciones metabólicas y suele aumentar cada cuatro años



0.75% en masculinos y 0.65% en fémininas (Palliyaguru y col., 2021). Aunque existen hormonas que aumentan la glicemia (como cortisol y la hormona del crecimiento), mantener niveles normales es importante en la prevención primaria y secundaria de enfermedades cardiometabólicas (Khalafi y col., 2023). En este estudio ambos sexos muestran una glucosa normal en ayuno, que abarca de 60 a 100 mg/dl, según la NOM-015-SSA-2010.

El historial familiar revela una alta incidencia en *diabetes mellitus* tipo 2, hipertensión arterial y obesidad, no obstante, los números de familiares con algún tipo de cáncer o con hipotiroidismo son alarmantes. Según el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en México se tiene una prevalencia del 1% en hipotiroidismo primario, y hasta 8% en hipotiroidismo subclínico (2016), no obstante, este grupo de estudio reporta más incidencia, casi triplicándola. Con respecto al historial personal, eliminando la sensación de incertidumbre, la ansiedad diagnosticada de los voluntarios se podría asociar a malos hábitos y sedentarismo durante la pandemia ((Christofaro y col., 2022), además, es relevante que más del 80% de los voluntarios padecieron COVID-19 en algún momento, desde que empezó la pandemia, y solo el 15% aseguraba haber retomado los hábitos pre-pandemia que incluyen tiempos de comida, horario de sueño y actividad física al aire libre o en espacios con aforo máximo.

La pandemia trajo consigo una “nueva normalidad” y ésta se observa en los cambios dietéticos. Las recomendaciones para buenos hábitos alimenticios son muchas: equilibrar tu dieta, buena hidratación, meditación, actividad física y sueño de calidad, por mencionar algunas (Abbas & Kamel, 2023). En la Figura 3 se muestran los hábitos dietéticos generales, es evidente que los hábitos de la nueva normalidad no se ajustaron del todo a estas recomendaciones en los voluntarios.



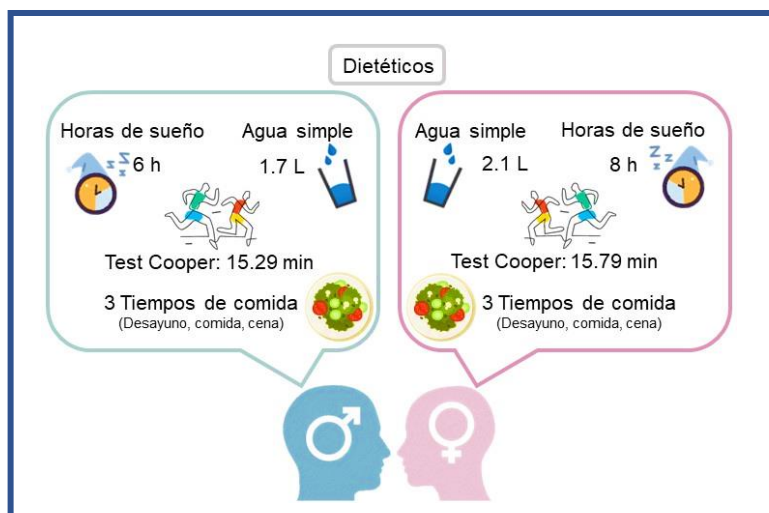


Figura 3. Datos dietéticos generales.

La Norma Oficial Mexicana recomienda un consumo de 1.5 a 2 L de agua por día, así como tres tiempos de comida con dos colaciones (NOM-043-SSA2-2012, 2013); los voluntarios cumplían únicamente con el consumo de agua y mostraron rechazo a las colaciones, pues solo aumentan la cantidad de comida ingerida, sobrepasando el requerimiento calórico. En este sentido, los voluntarios refieren disfrutar más consumir comida abundante y variada en tres ocasiones que en cinco con alimentos limitados que no los satisfacen. Con respecto a las horas de sueño, se estipula que un adulto debe dormir entre siete y ocho horas diarias, no obstante, se han determinado diferentes patrones de sueño de acuerdo con el ciclo circadiano que se presenta en el individuo, generando así patrones de sueño corto (5h), intermedio (7-8h) y largo (>9h), presentando en este estudio patrones cortos e intermedios para masculinos y féminas respectivamente (Contreras, 2013).

A nivel mundial, se presentó una disminución de la actividad física y, por ende, un aumento en las conductas sedentarias de la Población (Stockwell y col., 2021). Durante y después de la pandemia, la frecuencia e intensidad de la actividad física realizada por los voluntarios se vio drásticamente disminuida y esto se demostró con el Test de Cooper, siendo categorizados como "Mala" y "Muy mala" en masculinos y féminas respectivamente, no obstante, el Instituto de



Ciencias de la Salud y la Actividad Física explica que aproximadamente el 80% de la población mundial se encuentra en las categorías de “Muy mala, Mala y Regular” siendo “Regular” la categoría deseable (ISAF, 2022).

Los cambios en los hábitos dietéticos abarcan un espectro muy grande. En un reciente estudio de Malasia se determinó que, tras la pandemia, más del 90% de jóvenes adultos leen las etiquetas nutrimentales de los productos antes de comprarlos, porcentajes fuera del promedio pre-pandemia (Joseph & Tan, 2023). Otro artículo escrito por Angélica Espinoza en 2021 asegura que los cambios de alimentación durante la pandemia en los mexicanos se relacionaban principalmente con el nivel educativo y, posteriormente, con el nivel socioeconómico, presentando mayoritariamente un aumento de frutas y verduras, así como una reducción en el consumo de bebidas alcohólicas (Espinoza-Ortega y col., 2021). Este patrón se observa en la frecuencia alimentaria de los voluntarios, la cual se presenta en la Figura 4.

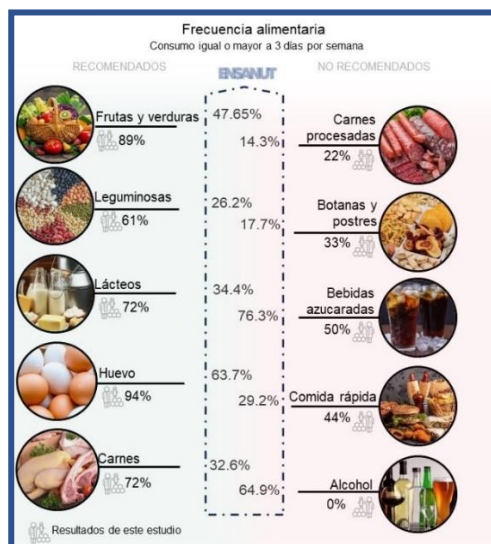


Figura 4. Frecuencia alimentaria.

Los estudiantes de posgrado muestran porcentajes mayores de consumo en casi todos los grupos de alimentos, más notablemente en el grupo de alimentos recomendados. Como regla general, se



estipula que el consumo de frutas y verduras, así como carnes (blancas y rojas) sea diario, no obstante, más de la mitad de la población mexicana no los consume por más de tres días a la semana, cifras alarmantemente bajas, caso contrario a los de este grupo en estudio. El consumo casi diario de frutas y verduras de los voluntarios se debe principalmente a los beneficios que proporcionan a la salud, pues la necesidad de mantener una buena salud en tiempos de pandemia era indispensable, mientras que el consumo de carne se procura principalmente por preferencia alimentaria. Por otro lado, observamos alto consumo de leguminosas comparado con el promedio general, siendo idóneo su consumo regular, pues se ha demostrado que el consumo >2 días por semana reduce el riesgo de mortalidad cardiovascular en adultos (Russell & Flood, 2014). Las leguminosas son una fuente excelente de fibra, proteína, micronutrientes y con una cantidad despreciable de grasa, por lo que son ampliamente recomendados en una dieta saludable (Kumar y col., 2022).

El consumo elevado de lácteos en este grupo se le atribuyó a la leche que agregan al café diario y a productos fermentados como yogurt y queso. El consumo de leche ha sido controversial entre los consumidores y la población en general, no obstante, artículos relacionan el consumo regular de lácteos con un riesgo menor de hipertensión (Chen y col., 2022) y, en general, a un bajo riesgo de sobrepeso u obesidad (Feng y col., 2022). Respecto al consumo de huevo, en promedio, los voluntarios lo consumen cuatro veces a la semana, siendo recomendable su consumo diario limitado a una pieza (Instituto Nacional Avícola, 2020). No obstante, una revisión sistemática de 2022 concluyó que la ingesta adicional de un huevo a la semana se relaciona con un mayor riesgo de mortalidad por todas las causas, incluyendo cáncer, por lo que sugiere su consumo en cantidades ≤ 1 huevo/día (Mousavi y col., 2022).

Por otra parte, los alimentos no recomendados muestran porcentajes diversos: superiores a los nacionales en el consumo de carnes procesadas, comida rápida, botanas y postres e inferiores en refresco y, extraordinariamente, en el consumo de alcohol. La



Organización Mundial de la Salud (2015) declaró que la carne procesada se clasifica como un carcinógeno del Grupo 1, por lo que debe limitarse su consumo a <2 veces por semana, mientras que el consumo de botanas y postres, así como de comida rápida, debería evitarse en la medida de lo posible. Los voluntarios expresan que “La comida rápida es sencilla, económica y rápida de adquirir por plataformas *online*”, por lo que su consumo aumentó desde el inicio de la pandemia, además, el consumo de alcohol se redujo como “medida compensatoria” ante el exceso de calorías presentes en las comidas rápidas.

CONCLUSIONES

Esta nueva normalidad que los estudiantes exponen muestra una intención de mantener una alimentación muy variada y saludable, no obstante, caen en el consumo de alimentos no recomendados, traduciéndose en una dieta “híbrida” que intenta mantener la salud sin sacrificar o eliminar lo que en exceso es perjudicial. Aunque ya se determinó como “normalidad”, se siguen presentando contradicciones e incógnitas sobre el trasfondo de estos cambios desde una perspectiva holística en el individuo, por lo que se espera seguir trabajando y recopilando información que nos sea útil en la nueva generación de estrategias en materia de Salud y Nutrición.

REFERENCIAS

- Abbas, A.M., &Kamel, M.M. (2020). Dietary habits in adults during quarantine in the contexto f covid-19 pandemic. *Obesity Medicine*, 19: 100254. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2020.100254>.
- AMVO, Asociación Mexicana de Venta Online, A.C. (2020). ¿Qué hay de nuevo en el Reporte 3.0 sobre el impacto del covid-19 eb Venta Online en México?, México, en AMVO publicaciones. [En línea]. Disponible en: <https://amvo.org.mx/blog/que-hay-de-nuevo-en-el-reporte-3-0-sobre->



el-impacto-del-covid-19-en-venta-online-en-mexico/ Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2023.

AMVO & OPENPAY. Asociación Mexicana de Venta Online, A.C. (2023). Compras físicas, en línea o híbridas ¿qué prefieren los consumidores?, México, en AMVO publicaciones. [En línea]. Disponible en: <https://amvo.org.mx/blog/compras-físicas-en-línea-o-híbridas-que-prefieren-los-consumidores/> Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2023.

Andrea Contreras, S. (2013). Sueño a lo largo de la vida y sus implicaciones en salud. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 24(3): 341-349. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70171-8](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70171-8).

Ayer, C., & Calep, A.G.S. (2022) Assessment of dietary habits and use of nutritional supplements in COVID-19: A cross-sectional study. *PharmaNutrition*, 22: 100309. <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2022.100309>.

Borghi-Silva, A., Back, G. D., Garcia de Araújo, A. S., Oliveira, M. R., da Luz Goulart, C., Silva, R. N., Bassi, D., Mendes, R. G., & Arena, R. (2022). COVID-19 seen from a syndemic perspective: Impact of unhealthy habits and future perspectives to combat these negative interactions in Latin America. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 71: 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2022.04.006>.

CDC, Centers of Disease Control and Prevention. (2022). *About Adult BMI*. Center for Disease Control and Prevention, EUA, en Health Topics, Healthy weight. [En línea]. Disponible en: https://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/adult_bmi/index.html Fecha de consulta: 14 de noviembre del 2023.

Centeno, J.-E. (2020). LA NUEVA "Normalidad" en México. *Revista de Salud Pública*, 24: 87-90. <https://doi.org/10.31052/1853.1180.v0.n0.28963>.

Chen, Z., Ahmed, M., Ha, V., Jefferson, K., Malik, V., Ribeiro, P. A. B., Zuchinali, P., & Drouin-Chartier, J.-P. (2022). Dairy Product Consumption and Cardiovascular Health: A Systematic Review and Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Advances in Nutrition*, 13(2): 439-454. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab118>.

Christofaro, D. G. D., Tebar, W. R., Silva, G. C. R., Lofrano-Prado, M. C., Botero, J. P., Cucato, G. G., Malik, N., Hollands, K., Correia, M. A., Ritti-Dias, R. M., & Prado, W. L. (2022). Anxiety is more related to inadequate eating habits in inactive than in physically active adults during COVID-19 quarantine. *Clinical Nutrition ESPEN*, 51: 301-306. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.08.010>.



ENSANUT CONTINUA, *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición* (2022), México, en Documentos analíticos. [En línea]. Disponible en: https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/documentos_analiticos.php Fecha de consulta: 28 de octubre del 2023.

Espinoza-Ortega, A., Martínez-García, C. G., Rojas-Rivas, E., Fernández-Sánchez, Y., Escobar-López, S. Y., & Sánchez-Vegas, L. (2021). Consumer and food changes in Mexican households during maximal contingency in the COVID-19 pandemic. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24: 100357. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100357>.

Feng, Y., Zhao, Y., Liu, J., Huang, Z., Yang, X., Qin, P., Chen, C., Luo, X., Li, Y., Wu, Y., Li, X., Huang, H., Hu, F., Hu, D., Liu, Y., & Zhang, M. (2022). Consumption of Dairy Products and the Risk of Overweight or Obesity, Hypertension, and Type 2 Diabetes Mellitus: A Dose-Response Meta-Analysis and Systematic Review of Cohort Studies. *Advances in Nutrition*, 13(6): 2165-2179. <https://doi.org/10.1093/advances/nma0096>.

Gaona-Pineda, E. B., Rodríguez-Ramírez, S., Medina-Zacarías, M. C., Valenzuela-Bravo, D. G., Martínez-Tapia, B., & Arango-Angarita, A. (2023). Consumidores de grupos de alimentos en población mexicana. *Ensanut Continua 2020-2022. Salud Pública de México*, 65: 248-258. <https://doi.org/10.21149/14785>.

IMSS, Instituto Mexicano del Seguro Social. (2016). Diagnóstico y tratamiento de HIPOTIROIDISMO PRIMARIO Y SUBCLÍNICO en el adulto. En Coordinación Técnica de Excelencia Clínica & Coordinación de Unidades Médicas de Alta Especialidad (Eds.), *Evidencias y Recomendaciones Catálogo Maestro de Guías de Práctica Clínica: IMSS-265-10*. México. [En línea]. Disponible en: <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/265GER.pdf> Fecha de consulta: 14 de noviembre del 2023.

<https://www.gob.mx/agricultura/yucatan/articulos/comer-huevo-todos-los-dias-es-saludable?idiom=es> Fecha de consulta: 14 de noviembre del 2023.

ISAF, Instituto de Ciencias de la Salud y la Actividad Física. (2022). *Pruebas y Tests de la Resistencia Aeróbica* (12.ª ed.). [En línea]. Disponible en: <https://blog.institutoisaf.es/wpcontent/uploads/2022/09/Test-deresistencia-aerobica-EBOOK-ok.pdf> Fecha de consulta: 28 de octubre del 2023.

Jackson-Gibson, A. (2021). The Racist and Problematic History of the Body Mass Index. *Good Housekeeping*. New York, EUA, en Health, Diet & Nutrition. [En línea]. Disponible en: <https://www.goodhousekeeping.com/health>



/dietnutrition/a35047103/bmi-racist-history/ Fecha de consulta: 14 de noviembre del 2023.

Joseph, J., & Tan, S. T. (2023). Food label reading habits and their correlations with food choice motives among young consumers during the transition to the endemic phase of COVID-19. *Measurement: Food*, 12: 100115. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2023.100115>.

Khalafi, M., Symonds, M. E., Ghasemi, F., Rosenkranz, S. K., Rohani, H., & Sakhaei, M. H. (2023). The effects of exercise training on postprandial glycemia and insulinemia in adults with overweight or obesity and with cardiometabolic disorders: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 201: 110741. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110741>.

Kumar, S., Bamboriya, S. D., Rani, K., Meena, R. S., Sheoran, S., Loyal, A., Kumawat, A., & Jhariya, M. K. (2022). Grain legumes: A diversified diet for sustainable livelihood, food, and nutritional security. R.S. Meena and S. Kumar (Eds.), *Advances in Legumes for Sustainable Intensification*, (pp. 157-178). New Delhi, India, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85797-0.00007-0>.

Mousavi, S. M., Zargarzadeh, N., Rigi, S., Persad, E., Pizarro, A. B., Hasani-Ranjbar, S., Larijani, B., Willett, W. C., & Esmailzadeh, A. (2022). Egg Consumption and Risk of All-Cause and Cause-Specific Mortality: A Systematic Review and Dose-Response Meta-analysis of Prospective Studies. *Advances in Nutrition*, 13(5): 1762-1773. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac040>.

NOM-015-SSA2-2010. (2010). *Norma Oficial Mexicana. Para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus*. Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Salud. México. [En línea]. Disponible en: [https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/VIH/Leyes y normas y reglamentos/Norma Oficial Mexicana/NOM-015-SSA2-2010.pdf](https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Programas/VIH/Leyes%20y%20normas%20y%20reglamentos/Norma%20Oficial%20Mexicana/NOM-015-SSA2-2010.pdf) Fecha de consulta: 10 de octubre del 2023.

NOM-043-SSA2-2012. (2013). *NORMA Oficial Mexicana. Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación*. En *Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Salud*. México. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013#gsc.tab=0 Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2023.



NOM-087-SEMARNAT-1995. (1995). Norma Oficial Mexicana: requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica. En *Diario Oficial de la Federación*. México. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=4884397&fecha=07/11/1995&cod_diario=209403 Fecha de consulta: 14 de noviembre del 2023.

Palliyaguru, D. L., Shiroma, E. J., Nam, J. K., Duregon, E., Vieira Ligo Teixeira, C., Price, N. L., Bernier, M., Camandola, S., Vaughan, K. L., Colman, R. J., Deighan, A., Korstanje, R., Peters, L. L., Dickinson, S. L., Ejima, K., Simonsick, E. M., Launer, L. J., Chia, C. W., Egan, J., de Cabo, R. (2021). Fasting blood glucose as a predictor of mortality: Lost in translation. *Cell Metabolism*, 33(11): 2189-2200. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.08.013>.

Ramírez-Toscano, Y., Canto-Osorio, F., Carnalla, M., Colchero, M. A., Reynales-Shigematsu, L. M., Barrientos-Gutiérrez, T., & López-Olmedo, N. (2023). Patrones de consumo de alcohol en adolescentes y adultos mexicanos: Ensanut Continua 2022. *Salud Pública de México*, 65: 75-83. <https://doi.org/10.21149/14817>.

Russell, J., & Flood, V. (2014). Regular consumption of legumes reduces the risk of cardiovascular mortality. *Journal of Nutrition & Intermediary Metabolism*, 1: 18-19. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2014.10.059>.

Sandoval Damián, J. M., Serralde Coloapa, J. L., & Acosta Gonzaga, E. (2021). Apps de entrega a domicilio en CDMX: estrategia restaurantera de ventas para sobrevivir a la pandemia. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12: 23. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1104>.

Stockwell, S., Trott, M., Tully, M., Shin, J., Barnett, Y., Butler, L., McDermott, D., Schuch, F., & Smith, L. (2021). Changes in physical activity and sedentary behaviours from before to during the COVID-19 pandemic lockdown: a systematic review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 7(1): e000960. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000960>.



ESTRATEGIA ACADÉMICA TRANSVERSAL DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN, EJERCICIO Y PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS HUMANOS DE LAS PERSONAS LGBTI EN LA COMUNIDAD DE LA UAdeC

TRANSVERSAL ACADEMIC STRATEGY FOR THE PROMOTION, DISSEMINATION,
EXERCISE AND PROTECTION OF THE HUMAN RIGHTS OF LGBTI PERSONS IN THE
UAdeC COMMUNITY

SAMUEL CEPEDA-TOVAR¹
ORCID: 0000-0002-0228-2908

BLANCA M. CORTEZ-GLORIA¹

LUCÍA GALVÁN-DÍAZ¹

MIGUEL ÁNGEL QUIRARTE-
LUGO²

RESUMEN

Desde el 2011 nuestra constitución mexicana prohíbe la discriminación por razones de religión, estado civil, opiniones, preferencias sexuales entre otras; sin embargo, esta última sigue presente y las causas pueden ser varias, entre ellas la heteronormatividad, el androcentrismo y la masculinidad hegemónica, así como el que no se reconoce ni se educa en los planteles educativos sobre la identidad de tres tipos: la sexual, la de género y la erótica-sexual, o bien la falta del conocimiento del marco legal que protege a las minorías, como en este caso a las personas con orientación sexual diversa como lo son los miembros LGBTI (lesbianas, gays, bisexuales, transexuales, intersexuales, etc.).

En este artículo se presenta la propuesta de una estrategia académica transversal para instituciones educativas en la UAdeC mediante actividades específicas cuyo objetivo es concientizar y disminuir la discriminación a esta comunidad, generando un ambiente de tolerancia y de respeto a los derechos humanos de minorías dentro de nuestra máxima casa de estudios.

Palabras clave: LGBTI; género; discriminación; transversalidad.

1. Escuela de Bachilleres "Dr. y
Gral. Jaime Lozano Benavides",
Unidad Norte, UAdeC.

2. Universidad Autónoma del
Noreste,
Piedras Negras, UAdeC.

Correspondencia
luciagalvandiaz@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
20 de junio de 2023.

Artículo aceptado
6 de junio de 2024.



CienciAcierta

ABSTRACT

Since 2011 our Mexican Constitution prohibits discrimination for different reasons such as religion, marital status, opinions, sexual preferences , among others; however, the latter is still present, and the causes may vary, including heteronormativity, androcentrism and hegemonic masculinity, as well as the fact that sexual identity it is not recognized or educated in educational establishments about sexual identity can be identified in three: sexual, that of gender and erotic-sexual; another reason is the lack of knowledge of the legal framework that protects minorities, as in this case people with diverse sexual orientation such as LGBTI people (lesbians, gays, bisexuals, transsexuals, intersexes, etc.).

Keywords: LGBTI; gender; discrimination; transversality.

INTRODUCCIÓN

En el año del 2011 nuestra Constitución fue reformada en su artículo primero agregando por vez primera la “preferencia sexual” dentro del contenido de dicho precepto; quedando de la siguiente manera:

[...] Queda prohibida toda discriminación motivada por origen étnico o nacional, el género, la edad, las discapacidades, la condición social, las condiciones de salud, la religión, las opiniones, *las preferencias sexuales*, el estado civil o cualquier otra que atente contra la dignidad humana y tenga por objeto anular o menoscabar los derechos y libertades de las personas [...] (CPEUM, 2011).

Al ser reconocido este derecho dentro de nuestra Carta Magna, el Estado debe garantizar su protección, aunque la realidad es muy diferente, en primer lugar, por desconocimiento de la ley, y en segundo lugar por la formación heteronormativa con que han crecido muchas personas que se niegan a aceptar la diversidad



sexual, ya ni siquiera como un derecho, sino como algo común en la actualidad.

López (2018) dice que a partir de la cultura judeocristiana, esencialmente pronatalista, ("creced y multiplicaos", dice La Biblia) se formuló un dogma en que toda actividad sexual que no llevara potencialmente a la reproducción sería considerada pecaminosa, por ello, esta puede considerarse una variable contundente dentro del esquema de mentalidad conservadora que no acepta la diversidad sexual, asimismo, vivimos dentro de una masculinidad hegemónica que choca contra la diversidad sexual, siendo ésta otra variable más y sobre la cual Lozano (2011) señala que en la cultura occidental debe existir una concordancia entre tres identidades: la sexual (hombre o mujer), la de género (masculino o femenino) y la erótico-sexual (hombres que prefieren relacionarse erótica y afectivamente con mujeres y viceversa específicamente), ya que éste es el mandato social. Y como mandato debe obedecerse y educarse a la infancia bajo esos preceptos culturales que son eminentemente formativos y que terminan chocando con la legalidad que en la actualidad protege a la diversidad sexual.

Finalmente, una tercera variable es el desconocimiento de todo el andamiaje legal que protege la diversidad sexual y que por ello mantiene a muchas personas en total desconocimiento de los derechos de las minorías, particularmente de las personas con orientación sexual diversa. Al respecto, según los resultados de la Tercera Encuesta Nacional de Cultura Constitucional: los mexicanos y su Constitución, elaborada por especialistas del Instituto de Investigaciones Jurídicas (IIJ) en 2017, el 84 % de los mexicanos considera que la Constitución se cumple poco o nada; 56.1 % dice conocer poco de la Carta Magna y 52.7% desconoce el año en que se aprobó. Según la misma encuesta, uno de cada cuatro mexicanos piensa que "violar la ley no es tan malo, lo malo es que te sorprendan".

Esta cultura de la legalidad paupérrima nos deja en claro que el conocimiento de las leyes y el respeto hacia ellas no es parte de la idiosincrasia cultural del mexicano. Una mezcla de estas tres



variables glosadas nos deja en claro parte de la explicación del origen de la discriminación que en la actualidad afecta a las minorías, particularmente en el tema de la diversidad sexual. Es preciso señalar que no me refiero exclusivamente a la homosexualidad, pues en la actualidad existen personas que no se identifican con homosexuales sino con otra orientación como la pansexualidad, la transexualidad, etc., por lo que se enfatiza en el término de diversidad sexual tal cual lo señala la CONAPRED dentro de su glosario de la diversidad sexual (*Glosario de la diversidad sexual*; 2016). Ahora bien, no solo se trata de identificar variables causales, sino de precisar la realidad sobre este tipo de discriminación en nuestro país, al respecto, la UNESCO afirma que la discriminación y el acoso contra estudiantes lesbianas, gays, bisexuales, transgénero e intersexuales (LGBTI) sigue siendo generalizado en las escuelas.

DESARROLLO

Si bien es cierto han existido avances en la materia, éstos han iniciado no tanto por la idea de modificar la cultura de los mexicanos hacia la tolerancia con respecto a la diversidad, sino por cuestiones de carácter social y económico, tal cual sucedió en 1998 cuando la Asamblea Legislativa del entonces Distrito Federal organizó el Primer Foro Legislativo sobre Diversidad Sexual, donde se reivindicó por primera vez ante las autoridades la necesidad de reconocer a las parejas del mismo sexo, sobre todo ante la circunstancia de que el SIDA había provocado que muchos hombres gays quedaran en el desamparo al morir sus parejas por la falta de reconocimiento civil de su relación. Lo cual no es para nada una nimiedad, sin embargo, poco se ha hecho por trabajar en la cultura del respeto hacia la diversidad sexual y el resultado son los altos índices de discriminación que actualmente padecemos.

Para combatir frontalmente la discriminación y la violencia verbal en las escuelas, es preciso generar una cultura de respeto por parte de docentes y estudiantes ante la diversidad sexual mediante estrategias académicas transversales y directrices institucionales que generen un



ambiente de tolerancia hacia la comunidad LGBTI y el pleno respeto a sus derechos humanos. Esto se puede lograr a través de acciones específicas tales como:

- I. Diseñar e implementar una estrategia transversal académica para que cada docente lleve a cabo acciones, por lo menos una vez por examen parcial, tendientes al respeto a la diversidad sexual.
- II. Elaborar e implementar un programa semestral por parte de la dirección de la institución con acciones tendientes a promover y proteger los derechos de la comunidad LGBTI en la institución.
- III. Programar e implementar acciones tendientes a concientizar a la comunidad docente y estudiantil sobre los derechos humanos en razón de género.

La pertinencia de un proyecto de intervención que abarque las acciones antes mencionadas se sustenta en las siguientes gráficas que demuestran el problema que sufren las personas LGBTI en nuestro país. Los siguientes datos provienen de la Segunda encuesta sobre discriminación por motivos de orientación sexual e identidad de género 2018 que realizó la CONAPRED en conjunto con la CNDH.

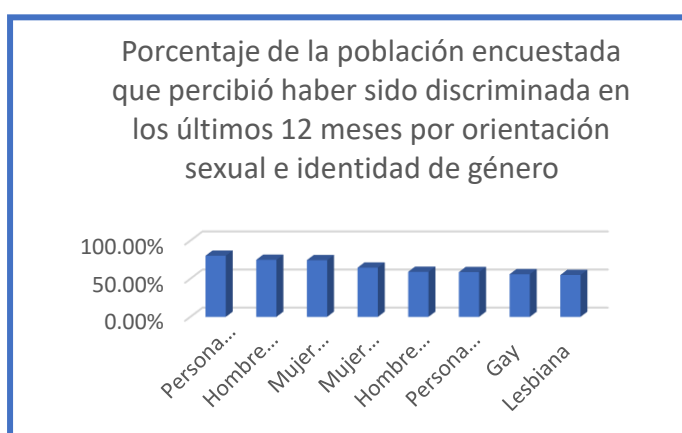


Figura1. Percepción sobre discriminación (CONAPRED-CNDH).



La figura 1 nos muestra que 8 de cada 10 personas encuestadas manifiestan haber percibido algún tipo de discriminación por orientación sexual e identidad de género.

Ante las siguientes aseveraciones en relación con experiencias vividas, según investigación CONAPRED-CNDH, los resultados fueron los siguientes:

- I. Tuvo que esconder su orientación sexual o identidad de género.
- II. Conductas de burla o molestia hacia otra persona por su orientación sexual.
- III. Escuchó comentarios negativos/ofensivos por su orientación sexual.
- IV. Agresión física por su orientación sexual o identidad de género.
- V. Abuso o violencia sexual.

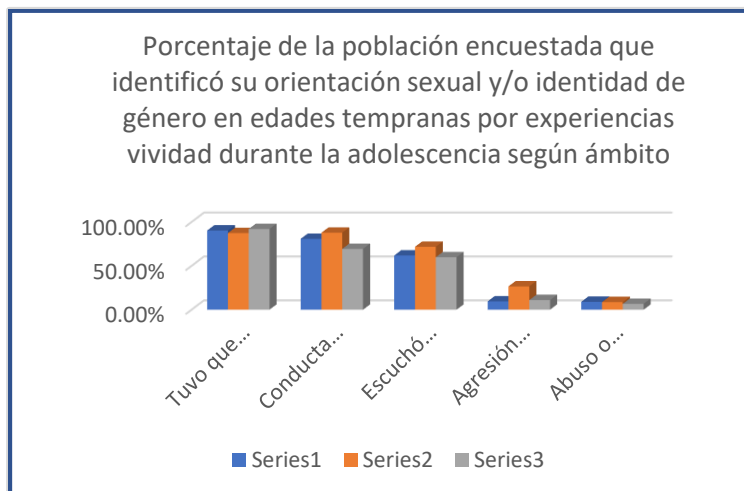


Figura 2. Agravios señalados por estudiantes (CONAPRED-CNDH).

La figura 2 nos permite conocer los altos porcentajes de alumnos que han manifestado agravios en razón de género en temas como agresiones físicas, verbales y que les han orillado a esconder sus



orientaciones sexuales. En resumidas cuentas, las gráficas anteriores nos dejan ver un problema enquistado en las instituciones educativas relacionados con violencia verbal en razón de género y que requiere atención por parte de las autoridades educativas en todos los ámbitos de la educación.

Podemos seguir presentando estadísticas, pero es una realidad innegable y para ello se recomienda revisar los siguientes informes disponibles en la web: *Violencia escolar contra alumnos LGBT en México*, publicado en 2020 por la CNDH; *Informe especial sobre la situación de los Derechos Humanos de las personas LGBTI en México*, publicado en 2019 por la CNDH y *No mires hacia otro lado: no a la exclusión del alumnado LGTBI*, publicado por la UNESCO en 2020.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia de intervención tendría su origen en la asignatura de Ciudadanía del nivel de Bachillerato, debido a que en la cuarta unidad se aborda el tema de género, de manera que la propuesta consistió en que los alumnos realizaran un proyecto en todas sus fases (diseño, implementación, evaluación de resultados), tanto en la estrategia académica transversal como en la directiva glosada, dentro de los objetivos específicos. Cabe precisar que la inclusión de este proyecto sería permanente en la asignatura y se ampliaría hacia los derechos de las mujeres en una segunda etapa.

El inicio se plantea con el uso de un instrumento para diagnosticar el problema dentro de las instituciones de la UAdeC, acompañado de un marco de acción ligado a los objetivos general y específicos, que serían supervisado mediante una rúbrica aplicada a tres ámbitos: el docente, el directivo y el curricular al final de cada semestre, para medir el impacto del proyecto en la comunidad estudiantil.

El diagnóstico para la definición y delimitación del problema se basa en una encuesta sobre la percepción de la comunidad estudiantil



sobre la discriminación o agresiones verbales por parte de personal docente de la institución contra estudiantes con orientación sexual diversa. Asimismo, una pregunta exclusiva para estudiantes que han visitado el departamento de evaluación psicológica de la escuela. En la Tabla 1 se muestran los reactivos considerados.

Tabla 1.
Banco de Reactivos

Reactivos
• ¿Conoces el significado de igualdad y equidad de género? • ¿Has sentido discriminación o un trato diferente y perjudicial por parte de personal docente dentro de la escuela, debido a raza, sexo, preferencias sexuales, etc.?
• ¿Cuáles tipos de violencia conoces que se hayan ejercido contra las personas LGBTI (lesbianas, gay, bisexuales, travestis, intersexuales)? • ¿Los docentes y alumnos son respetuosos, es decir reconocen, aceptan y valoran las preferencias sexuales de los estudiantes?
• ¿Has sufrido violencia verbal por parte de algún docente en razón de género? • ¿Conoces la importancia del lenguaje inclusivo y su significado real? • ¿Consideras que la violencia verbal contra la comunidad LGBTI está normalizada en tu entorno?
• ¿Conoces tus derechos en materia de Derechos Humanos en razón de género? • ¿Qué acciones crees que se requieren en la escuela para promover la igualdad, la inclusión, el respeto y la equidad de género?

PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN

El tipo de proyecto que se elaboró y se presenta en este artículo es de intervención académica con enfoque transversal, se denominó *Promoción y respeto de los Derechos Humanos de la comunidad LGBT* y su objetivo es: generar una cultura de respeto por parte de docentes y estudiantes ante la diversidad sexual mediante estrategias académicas transversales y directrices institucionales que generen un



ambiente de tolerancia hacia la comunidad LGBTI y el pleno respeto a sus derechos humanos. La Tabla 2 presenta el desglose de este proyecto de intervención en la comunidad Jaime Lozano Benavides.

Tabla 2.

Desglose del proyecto Promoción y respeto de los Derechos Humanos de la comunidad LGBTI.

Definición de etapas y evidencias	
Tipo de proyecto	Intervención académica con enfoque transversal.
Lista de verificación: Lista de cotejo para analizarlas diversas etapas del proyecto: diagnóstica, operativa, y funcional.	
Criterio de evaluación: Encuesta final para alumnos, rúbrica de evaluación para actividades desarrolladas por la dirección, rúbrica de evaluación para actividades desarrolladas por alumnos y encuesta de implementación de actividades para docentes.	
Etapas	Evidencia
Inicio	
Creación de equipos ene-ago-23	Conformar listados de equipos de estudiantes por asignatura y docentes por academias.
Planteamientos iniciales dic-22	Antecedentes de problemáticas reales en la institución sobre exclusión, discriminación, violencia verbal y desigualdad de género.
Organización y planificación ene-23	Cronograma de actividades a realizar por parcial durante dos semestres, 8 etapas.
Recolección de la información ene-23	Diagnóstico inicial mediante encuestas sobre inclusión y género; marco teórico, marco conceptual, diseño de instrumentos para recolección de información.
Procesamiento de información ene-23	Tablas en Excel, gráficas en Forms.
Análisis de resultados jun-23	Redacción de interpretación objetiva sobre las gráficas y elaboración de conclusión y recomendaciones generales para la institución.
Presentación de resultados dic-23	Presentación de resultados finales a la comunidad de la JLB.



Relación con los temas de la materia (ene 2023)

Los temas de igualdad de género se desarrollan en la asignatura (unidad IV: Género y derechos humanos) y con las demás asignaturas, de manera transversal, algunos ejemplos a continuación.

Taller de lectura y redacción: uso de lenguaje incluyente.

Ciudadanía: presentación y difusión del glosario de diversidad sexual.

Informática: desarrollo de competencias en manejo de plataformas y apps para la protección de derechos humanos a través de denuncias digitales.

Introducción a la ciencia jurídica: marco legal para la protección de los derechos de las mujeres y la comunidad LGBTI.

Historia universal e Historia de México: cronología del avance en los derechos de las mujeres y las minorías LGBTI en los países democráticos a lo largo de la historia; en el mundo y en nuestro país, respectivamente.

Orientación profesigráfica: búsqueda de pautas para la conciliación e incorporación de la mujer y comunidad LGBTI al mercado laboral y a todos los ámbitos de la sociedad.

Actividad: realizar una presentación de las minorías y comunidad LGBTI en el mercado laboral en México (datos de IMCO, INEGI).

Antropología: definición de la interpretación cultural e histórica que cada sociedad elabora en torno a la diferenciación sexual.

Educación física: fomento a la creación de equipos deportivos femeniles y apoyo en la participación en ligas locales; así inclusión de la comunidad LGBTI en las justas deportivas.

Filosofía: abordaje temático de las aportaciones filosóficas de las mujeres griegas y su aporte al desarrollo del pensamiento humano

Biología: puntualizar el énfasis en diferenciar el sexo biológico, la orientación sexual y el enfoque de género.

Liderazgo y emprendimiento: importancia del liderazgo en beneficio de las minorías y su impacto en el bien común.

Actividad: matriz de líderes y logros alcanzados hacia minorías LGBTI.

Física y Matemáticas: análisis de las aportaciones de mujeres en ciencia y tecnología, revisión del informe *Mujeres latinoamericanas en ciencia y tecnología. Sus perspectivas sobre el tema de género en las oportunidades del desarrollo científico*.

Esta propuesta es factible porque se contaría con el apoyo de la dirección de la institución, además de no suponer costos que vayan más allá de la intervención de la dirección en la organización de foros y conferencias, pues la parte esencial del proyecto se basa en



la transversalidad de actividades a través del currículo de la institución. Es viable porque va en sintonía con leyes federales y estatales en la materia y con la política institucional en razón de género que promueve la UAdeC a través de la Coordinación de Igualdad de Género.

Los actores involucrados en el proyecto serían los siguientes:

- Docentes: incluirán en sus planeaciones una actividad por cada evaluación parcial, sobre derechos humanos en razón de género para impactar de manera directa a los alumnos, además de que ellos mismos reforzarán conocimientos sobre estos temas.
- Directivos: participarán en la coordinación e implementación de actividades programadas para fortalecer la promoción de derechos humanos en razón de género creando impacto en la comunidad en general y cumpliendo con la agenda de género de la UAdeC.
- Alumnos: participarán en todas las etapas del proyecto, lo que impactará en su formación metodológica como evaluadores del proyecto y reforzará su papel como promotores de Derechos Humanos.

El seguimiento será mediante las rúbricas aplicadas a cada ámbito contemplado en la estrategia, se presentan a continuación.

RÚBRICA DE PROYECTO DE INTERVENCIÓN

Este proyecto de intervención es una estrategia transversal e integral, ya que atraviesa toda la malla curricular de nuestro bachillerato y, al mismo tiempo, involucra a toda la comunidad en la aprehensión de conocimiento sobre igualdad y equidad de género y la implementación de acciones tendientes a la promoción y aplicación de acciones en el respeto a los derechos humanos con enfoque de género. Los actores involucrados, que serán evaluados, son:



- Dirección
- Docentes
- Alumnos de asignatura

A la dirección le corresponde:

1. Instruir a los docentes a integrar en sus actividades académicas contenidos temáticos con enfoque de género en cada parcial con, por lo menos, una actividad referente al tema.
2. Implementar durante el semestre, obligatoriamente, un taller para docentes, personal manual y administrativo con enfoque de género.
3. Ofrecer una conferencia semestral para alumnos sobre inclusión y género.
4. Celebrar un foro semestral sobre derechos humanos con enfoque de género para toda la comunidad JLB.
5. Llevar a cabo un concurso de ensayo entre alumnos sobre inclusión y derechos humanos con premio en efectivo al primer lugar para incentivar la participación.
6. Implementar, durante una tutoría, semestralmente una actividad sobre equidad de género.

A los docentes les corresponde:

1. Incluir en sus programas, por parciales, contenidos temáticos con, al menos, una actividad.
2. Desarrollar actividades sobre inclusión y equidad de género con sus correspondientes evidencias.
3. Aplicar la actividad sobre equidad de género que se les encomiende en el Programa Institucional de Tutorías.

A los alumnos les corresponde:

1. En la asignatura de Ciudadanía, presentar un proyecto integral, en equipo, por semestre sobre un caso de discriminación, exclusión o inequidad de género del cual tengan conocimiento y presentar una estrategia de solución.



2. Presentar, en una plenaria ante la comunidad estudiantil, su proyecto de resolución de problema o caso real y las recomendaciones generales para la prevención de los problemas abordados.
3. Participar en las etapas de evaluación del proyecto en general.

En la Figura 3 se muestra la estrategia, que abarca dos grandes dimensiones: la académica y la directiva, apoyada por alumnos en el papel de evaluadores en sus diversas etapas: diagnóstico, implementación y evaluación final.



Figura 3. *Estrategia de intervención.*

CONCLUSIONES

Como se señaló al inicio, un gran número de personas crecen con atavismos mentales que, con los años, se vuelven difíciles de erradicar; estos “roles predeterminados” (Cepeda, 2015) les son inculcados desde pequeñas y se arraigan de tal manera que se vuelven parte de la idiosincrasia de una sociedad, lo que deviene en males como masculinidad hegemónica, androcentrismo, machismo, misoginia, misandria, etc., para afrontar este problema dentro de una comunidad estudiantil se pretende sensibilizar las mentes de docentes, cuyos pensamientos pudieran ser inveterados, y de



alumnos con probables atavismos mentales, producto de educación heteronormativa, realizando acciones que fortalezcan la promoción, difusión, ejercicio y protección de los derechos humanos de las minorías; en este caso, de estudiantes que sufren de violencia verbal o discriminación por diversidad sexual; por ello las acciones son transversales, a través del currículo; van más allá de la simple presentación de contenidos temáticos en una asignatura que además es nueva, aunque no garantiza que vaya a revolucionar a una sociedad. Se requieren acciones en comparsa, aplicadas en un contexto delimitado con el fin de obtener resultados que puedan ser replicados en otros lares para comenzar con cambios verdaderos. Al final del 2024 se presentarán los resultados de este proyecto, entones será posible emitir conclusiones y recomendaciones para la mejora de lo que pretende ser una política pública institucional, pues una de las características principales de las políticas públicas es su amplio margen temporal de aplicación, es decir, son a largo plazo y, por ello, derivado de la evaluación anual se deberán mejorar procedimientos para sugerir su implementación en otras dependencias de nuestra universidad.

Referencias

- Cámara de Diputados (2022). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Centro de estudios legislativos. México. [En línea]. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Cepeda, S. (2015). Aciago panorama: la mujer oprimida en México. En Revista *CienciaAcierta*; UAdeC, México. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/23344104-Colabora-dores-rcc.html>.
- CPEUM, Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2022). Cámara de diputados. México. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- CONAPRED-CNDH, Consejo Nacional Para Prevenir la Discriminación-Comisión Nacional de Derechos Humanos (2018) Encuesta sobre discriminación por motivos de Orientación Sexual e Identidad de Género. CONAPRED. México. [En línea]. Disponible en: <https://www.conapred.org.mx/userfiles/files/ENDOSIG%20141218%20%281%29.pdf>.



CONAPRED, Consejo Nacional Para Prevenir la Discriminación (2016). Diccionario de la diversidad sexual, de género y características sexuales. SEGOB, México. [En línea]. Disponible en: https://www.conapred.org.mx/documentos_cedoc/Glosario_TDSyG_WEB.pdf

Instituto de investigaciones jurídicas (2017). *Tercera Encuesta Nacional de Cultura Constitucional: los mexicanos y su Constitución*. Boletín UNAM-DGCS-083. UNAM, México. [En línea]. Disponible en: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2017_083.html.

López, M. (2018). Diversidad sexual y derechos humanos. CNDH. México. [En línea]. Disponible en: <http://appweb.cndh.org.mx/biblioteca/archivos/pdfs/36-Cartilla-Diversidad-sexual-dh.pdf>.

Lozano V., I., Rocha, T. (2011). *La homofobia y su relación con la masculinidad hegemónica en México*. Revista Puertorriqueña de Psicología. [En línea]. Disponible en: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1946-20262011000100005&lng=pt&tlng=e



REVISIÓN. USO DE FLUORACIÓN DE MATERIALES 2D PARA SU APLICACIÓN EN ESPINTRÓNICA

REVISION: 2D MATERIALS FLUORINATION FOR SPINTRONICS APPLICATIONS

MARÍA FERNANDA RODRÍGUEZ-FLORES¹

MARÍA TERESA ROMERO-DE LA CRUZ²

YULIANA ELIZABETH ÁVILA-ALVARADO³

RESUMEN

La espintrónica es un área de estudio que recientemente ha incrementado el interés de la comunidad científica. La manipulación del espín del electrón, como propiedad del material, podrá generar avances en sistemas de tecnología cuántica, sensores magnéticos y discos duros más rápidos y de mayor capacidad. En esta área es necesario producir dispositivos electrónicos de bajo voltaje con materiales que permitan generar, transportar y manipular el espín. Los materiales bidimensionales de monocapa pueden obtener propiedades espintrónicas siendo halogenados. La halogenación es un proceso en el que se adicionan uno o varios átomos del grupo 17 (comúnmente flúor o cloro) sobre un material. En este trabajo se presenta un panorama general de los materiales bidimensionales fluorados para aplicaciones en espintrónica.

Palabras clave: materiales 2D; fluoración; aplicaciones en espintrónica.

ABSTRACT

Spintronics is a study area that has recently increased the scientific community interest. Electron spin manipulation, as a material property, would allow advances in quantic technology, magnetic sensors and faster, higher-capacity hard drives. It is necessary to

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

2. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Unidad Saltillo, UAdeC.

3. Facultad de Sistemas, Unidad Saltillo, UAdeC.

Correspondencia
teresa.romero.cruz@uadec.edu.mx

Recepción de artículo
2 de enero de 2024.

Artículo aceptado
6 de junio de 2024.



CienciAcierta

fabricate low voltage electronic devices with materials that could generate, transport, and manipulate the electrons spin. Bidimensional monolayer materials may obtain spintronic properties by halogenation. Halogenation is the process in which one or more atoms of the group 17 (fluorine or chlorine, commonly) are added onto a material. In this work, a general view of fluorinated bidimensional materials for applications in spintronics is presented.

Keywords: 2D materials; fluorination; spintronic applications.

INTRODUCCIÓN

Al hablar de los materiales en dos dimensiones (2D) podríamos imaginarnos una hoja de papel muy delgada, que tiene el espesor de algunos átomos. Los átomos se unen en una red, casi siempre en forma de panal de abeja y, ese acomodo, les confiere propiedades que no tienen en su forma volumétrica. Los materiales 2D más comunes, como el grafeno y el siliceno, además de otros como fosforeno y nitruro de boro, se han estudiado para lograr su conformación más estable y, sobre todo, la que mejor permita el aprovechamiento de sus propiedades electrónicas, ópticas y magnéticas; las cuales tienen aplicaciones en nanotecnología (Cao y col., 2022).

Para modular estas propiedades, desde 2010 se ha estudiado la modificación de los materiales 2D mediante dopaje o funcionalización, es decir, “agregarle” a la red átomos de otro elemento. Uno de los métodos que se utilizan para funcionalizar es la fluoración, que consiste en unir átomos de flúor a los materiales base. El interés de aplicar este método en el grafeno surgió porque el carbono muestra mayor reactividad en 2D que en 3D (Nair y col., 2010).

La fluoración del grafeno permite controlar las propiedades de transporte de electrones para su uso en espintrónica, es decir, le permite manipular el espín de los electrones para modificar su



conductividad. La fluoración también afecta propiedades ópticas y magnéticas del grafeno (Liu y col., 2012). Estas propiedades son útiles para producir electrodos y baterías de litio (Xu y col., 2014), además de transistores y dispositivos optoelectrónicos (Bulusheva y Okotrub, 2017).

De la misma forma, se mejoran las propiedades del siliceno. Por ejemplo, Wang y col. realizaron, en 2015, una comparación simulada de tres estructuras de siliceno parcialmente-fluorado, donde se encontró que sí obtienen propiedades magnéticas y electrónicas. Años después, otro estudio de Gani y col., en 2023, mencionó que teóricamente, este material fluorado es útil en la composición de sensores magnéticos.

Por otro lado, en 2017 un estudio de Yang y col., predice, por simulación, la fluoración de una monocapa de fósforo azul, asegurando que se puede usar a temperatura ambiente. Posteriormente, Deng y col. (2019) investigaron, también por simulación, sus propiedades de vibración comparadas con el fósforo negro; y Plutnar y col lograron la fluoración de este material en el 2018 como alternativa al uso del grafeno. En el mismo año, Tang y col. (2018) realizaron un estudio similar con el método de exfoliación electroquímica, para mejorar la estabilidad y la tolerancia electrónica, una cualidad muy importante en nanofotónica y nanoelectrónica.

Estas metodologías y logros de la continua búsqueda de nuevos materiales 2D modificados, específicamente por fluoración, se destacan en este escrito.

1. FLUORACIÓN

El proceso de fluoración puede ser total o parcial, distinguiendo entre ellos la cantidad de átomos del halógeno que se agrega a la red. La elección de uno u otro se hace con el fin de ajustar las propiedades del material final, tomando en cuenta la aplicación que se busca. Diferentes trabajos se han reportado en la literatura para



las fluoraciones de materiales 2D, algunos de ellos se mencionan a continuación.

1.1. FLUORACIONES EXPERIMENTALES

Cuando se realiza un estudio de fluoración, además del propio método, se llevan a cabo distintos análisis de la estabilidad de los materiales. Estos pueden ser: de configuración, es decir, la forma en la que se acomodaron los átomos; estabilidad ambiental, cómo se comportan a temperatura ambiente, y estabilidad fototérmica, qué tanto pueden producir de calor a partir de la luz que se les incide; entre otros.

La premisa de que el flúor y el carbono presentan una alta energía de enlace sirvió como base para lograr la primera halogenación de un material 2D, el grafeno. Los pioneros de la fluoración de una monocapa de grafeno fueron científicos guiados por Andre Geim y Kostya Novoselov. Este método fue realizado en fase de gas usando fluoruro de xenón (XeF_2) a una temperatura de 200°C con una base de níquel (Nair y col., 2010). A partir de entonces, se ha llevado a cabo a 120°C (Withers y col., 2010) con una exfoliación mecánica posterior para formar monocapas; a 70°C (Bulusheva y Okotrub, 2017) e incluso a temperatura ambiente (Shin y col., 2023). El uso de una menor temperatura simplifica los procesos y conlleva un ahorro de recursos y energía. Así, con distintos ajustes, se ha logrado obtener el fluorografeno térmicamente estable en temperaturas de hasta 400°C .

Otro método de fluoración del grafeno es la reacción hidrotérmica entre óxido de grafeno (GO) y ácido fluorhídrico (HF), que se realiza en un medio acuoso, dentro de una autoclave (con una alta presión) a una temperatura de 180°C por 30 horas (Wang y col., 2012). Se confirmó que la brecha energética del grafeno se amplía desde 1.8 hasta 3 eV, logrando un comportamiento de semiconductor. Con el mismo método, aunque usando el tetrafluoroborato de sodio (NaBF_4) como fuente del flúor, Cao y col., (2022), lograron la fluoración del grafeno para usarlo en un súper capacitor.



En la Figura 1 se ejemplifica gráficamente la brecha energética (también llamada banda prohibida o *bandgap*), que es la diferencia entre la energía de los electrones de valencia y la requerida para que el material sea conductor. La diferencia entre una brecha energética directa e indirecta es la forma en la que el electrón llega a la banda de conducción al ser excitado (Trejo García, 2016). En el primer caso, sólo se necesita ganar la cantidad de energía igual al ancho de banda prohibida, mientras que en el segundo, además del proceso anterior es necesario cambiar el vector de onda del electrón.

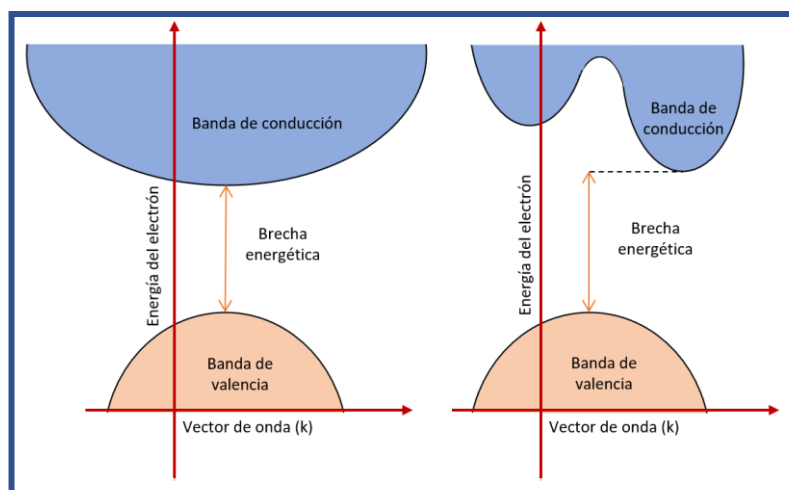


Figura1. Esquema de una brecha energética directa (izquierda) e indirecta (derecha) de los materiales semiconductores.

Otros métodos de fluoración en materiales 2D incluyen: reacción en cadena de radicales, que se ha realizado en vacío con una mezcla de gases de flúor y nitrógeno moleculares a una temperatura de 180°C por 30 minutos (Lai y col., 2018), para tener un alto grado de fluoración en el grafeno; fluoración fotoquímica (Gao y col., 2019) como método ecológico por irradiación con láser UV, con lo que se adquiere la propiedad de luminiscencia y solubilidad en agua; y fluoración en plasma a presión atmosférica, para transferencia rápida de carga electroquímica y su uso como supercapacitor (Sim y col., 2022), usando nitrógeno (N_2), trifluoruro de nitrógeno (NF_3) e hidrógeno (H_2).



Además del carbono, el fósforo también puede formar estructuras bidimensionales, llamadas fosforenos, que forman hexágonos regulares (fósforo azul) e irregulares (fósforo negro), como se muestra en la Figura 2. En el 2017, Tang y col. usaron una exfoliación electroquímica y simultánea al proceso de fluoración del fosforeno. Esto se hace dentro de una celda electroquímica sellada de tres electrodos. Estas celdas funcionan como una batería con polos positivo y negativo, y en este caso, uno neutro; y se llenan con un líquido llamado electrolito, el cual permite el flujo de los electrones. En este estudio se usó platino para el ánodo, plata para el espacio neutro y fósforo negro (BF) en el cátodo. Los análisis de estabilidad ambiental y fototérmica mostraron que el fosforeno fluorado se mantiene sin problema en el ambiente y permite convertir el 27% de la luz en calor.

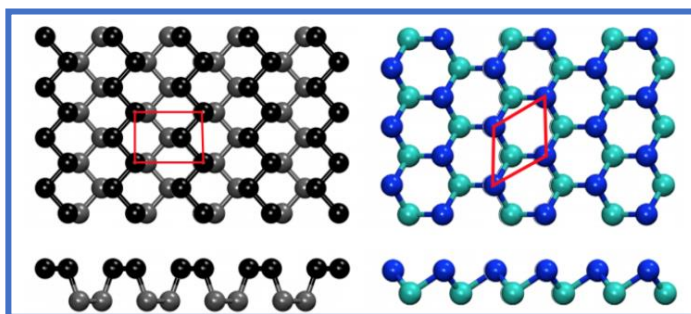


Figura 2. Estructuras del fosforeno (Villatoro, 2018) A la izquierda fósforo negro, a la derecha fósforo azul.

Usando el mismo método que en 2017, Tang y col., (2018), alcanzaron un 68% de eficiencia en la fluoración de fósforo negro. Más tarde, en 2018, Plutnar y col. usaron una modificación covalente, la cual se realizó a una temperatura de -78°C y presión de 500 mbar, burbujeando una mezcla al 20% de flúor elemental con nitrógeno como gas portador. El logro específico en este trabajo fue evitar una reacción violenta de combustión y, por lo tanto, la destrucción del material.

Para la fluoración del nitruro de boro hexagonal (h-BN) se ha utilizado la degradación de Nafión, que es un polímero que contiene



flúor. Este procedimiento se realiza dentro de un reactor a 200°C por 12 h; mientras el Nafión se va degradando, el flúor liberado se une al BN (Radhakrishnan y col., 2017). A temperatura ambiente la propiedad de ferromagnetismo alcanzada fue débil, pero su estabilidad química y térmica, junto con la reducción de la brecha energética permiten su uso como semiconductor magnético.

1.2. FLUORACIONES SIMULADAS

La Teoría del Funcional de Densidad (*Density Functional Theory*, DFT por sus siglas en inglés) es un método de simulación del tipo *ab initio* (de primeros principios), donde se usan las reglas de mecánica cuántica, también llamadas Hamiltonianas, para calcular la energía total de un sistema (Payne y col., 1992) y, a partir de ésta, determinar otras propiedades, como los son las propiedades estructurales y electrónicas. Este método ha sido comprobado experimentalmente para modelar desde un átomo, hasta una molécula compleja y permite ahorrar tiempo y recursos en la creación de nuevos materiales. En el estudio de los materiales 2D existen trabajos por DFT de la fluoración del grafeno, siliceno, fosforeno, entre otros.

Con el fin de mejorar las propiedades magnéticas del siliceno, Wang y col. usaron en 2015 la simulación por DFT para comparar tres conformaciones distintas de las hojas de siliceno parcialmente fluorado: zigzag, bote y silla (Figura 3). Usando el paquete computacional CASTEP se modelaron celdas de la estructura nanométrica del silicio. Los resultados mostraron que las tres conformaciones son semiconductores de gap directo, además, las dos primeras no presentan comportamiento magnético, mientras que la de tipo silla tiene propiedades antiferromagnéticas.

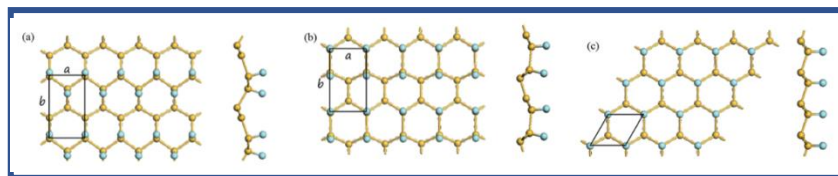


Figura 3. Conformaciones del siliceno parcialmente fluorado: a) zigzag, b) bote y c) silla (Wang y col. 2015).



Recientemente, el equipo de Gani y col. estudió la estabilidad de las configuraciones de zigzag y de silla del siliceno completamente-fluorado y parcialmente-fluorado, con el software Atomistic Tool Kit (ATK), que utiliza DFT para los cálculos de transporte. El resultado fue un 100% de eficiencia en la inyección de espín, es decir, permitir el paso de un tipo específico de espín, y una razón de magnetorresistencia casi 20 mil veces más alta que la del siliceno puro (Gani y col., 2023).

Por otra parte, el fosforeno azul, como el grafeno, tiene una configuración de panal de abeja, pero con una vista lateral de zigzag, la cual se estudió por Yang y col. (2017) repitiendo una celda unitaria, como la que se muestra en la Figura 4. Se realizó el modelado con el paquete Vienna de simulación *ab initio* (VASP) y, a diferencia del siliceno, se demostró que este compuesto es un semiconductor de gap indirecto.

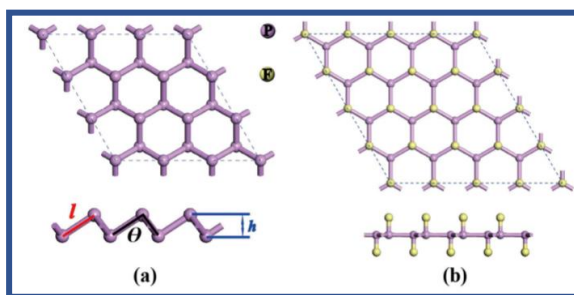


Figura 4. Vistas superior y lateral del fósforo azul original (a) y fluorado (b) (Yang y col 2017).

La optimización de la estructura cristalina del fosforeno azul se realizó después, también por DFT, usando el paquete Quantum Espresso, para estudiar las propiedades vibracionales y el espectro Raman, un tipo de espectroscopía que da información de la estructura química, la morfología, la cristalinidad de los compuestos y las interacciones entre las moléculas. En este trabajo se demostró la estabilidad de las estructuras pura y fluorada (Deng y col., 2019).



1.3. APLICACIONES

La fluoración de los materiales bidimensionales les confiere propiedades distintas a las originales. Tang y col. (2021) mencionan que estos materiales presentan aplicaciones electrónicas, espintrónicas, fotoluminiscentes, magnéticas, catalíticas, biomédicas, entre otras. Se exponen a continuación algunas aplicaciones resaltadas en el área de electrónica en los estudios previamente comentados.

Como se mencionó anteriormente, la espintrónica o electrónica de espín es una rama de la electrónica que se encarga de manipular el estado cuántico de los electrones. A diferencia de un dispositivo electrónico, en donde las corrientes electrónicas tienen espín aleatorio, en un dispositivo espintrónico las corrientes electrónicas tienen un espín polarizado, lo que confiere un grado de libertad adicional. Esta característica es relevante en aplicaciones de transferencia y almacenamiento de información, ya que se pueden diseñar dispositivos con mayores capacidades.

Con heteroestructuras de grafeno (Nair y col., 2010) y de siliceno (Gani y col., 2023) se pueden formar túneles para tener dispositivos nanoelectrónicos con mayor capacidad de almacenamiento. Estos túneles son estructuras formadas por dos capas externas de materiales 2D ferromagnéticos y una interna que funciona como barrera, por ejemplo, el grafeno fluorado puede utilizarse como aislante eléctrico y como barrera de túnel (Withers y col., 2010). Por estas propiedades, estos materiales fluorados 2D pueden usarse como electrodos y baterías de litio (Xu y col., 2014), transistores y dispositivos optoelectrónicos (Bulusheva y Okotrub, 2017).

Otro ejemplo de fluoración es la del h-BN, que lo convierte en un semiconductor y esto permite su uso en dispositivos electrónicos y sensores (Radhakrishnan y col., 2017), además le confiere una transferencia rápida de carga electroquímica como súper capacitor (Sim y col., 2022). De manera similar, el siliceno parcialmente fluorado, en sus conformaciones de zigzag y de bote, tiene propiedades de semiconductor de gap directo, y, por otro lado, la



conformación de silla tiene la propiedad de antiferromagnetismo (X. Wang y col., 2015).

CONCLUSIONES

La fluoración de materiales 2D, como el grafeno y siliceno, es un área de estudio importante que busca modificar y mejorar sus propiedades a nivel atómico. A través de métodos experimentales y simulaciones teóricas, se han explorado diversas técnicas para introducir átomos de flúor en estas estructuras, lo que resulta en propiedades físicas potencialmente aplicadas en espintrónica. Algunos beneficios logrados son su resistencia a altas temperaturas y a la degradación química, también el cambio de brecha energética para su uso como semiconductor en los campos de electrónica, espintrónica, fotocatálisis, entre otras.

En general, la modulación de las propiedades únicas de estos materiales 2D por fluoración representa un paso importante en el desarrollo de tecnologías innovadoras en nanotecnología y electrónica avanzada, por lo que la fluoración es una metodología importante esta área de investigación.

REFERENCIAS

- Bulusheva, L. G., & Okotrub, A. V. (2017). Electronic structure of fluorinated graphene. En Olga V. Boltalina, Tsuyoshi Nakajima (Eds.), *New Fluorinated Carbons: Fundamentals and Applications* (pp. 177–213). Novosibirsk: Elsevier Inc., Rusia.
- Cao, N., Wang, T., Boukherroub, R., Cai, Y., Qin, Y., Li, F., Liu, P., Shao, Q., Liu, M., & Zang, X. (2022). Facile and secure synthesis of porous partially fluorinated graphene employing weakly coordinating anion for enhanced high-performance symmetric supercapacitor. *Journal of Materiomics*. 8(1): 113–122. DOI: 10.1016/J.JMAT.20 21.04.012



- Deng, Z., Li, Z., Wang, W., & She, J. (2019). Vibrational properties and Raman spectra of pristine and fluorinated blue phosphorene. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 21(3): 1059–1066. DOI: 10.1039/c8cp05699d
- Gani, M., Parah, S. A., Shah, K. A., & Misra, P. (2023). Performance analysis of fluorinated silicene based magnetic tunnel junction. *Chinese Journal of Physics*. 85: 445–454. DOI: 10.1016/j.cjph.2023.07.020
- Gao, F., Liu, F., Bai, X., Xu, X., Kong, W., Liu, J., Lv, F., Long, L., Yang, Y., & Li, M. (2019). Tuning the photoluminescence of graphene oxide quantum dots by photochemical fluorination. *Carbon*. 141: 331–338. DOI: 10.1016/J.CARBON.2018.09.068
- Lai, W., Wang, X., Fu, J., Chen, T., Fan, K., & Liu, X. (2018). Radical chain reaction mechanism of graphene fluorination. *Carbon*. 137: 451–457. DOI: 10.1016/j.carbon.2018.05.005
- Liu, H. Y., Hou, Z. F., Hu, C. H., Yang, Y. & Zhu, Z. Z. (2012). Electronic and Magnetic Properties of Fluorinated Graphene with Different Coverage of Fluorine. *The Journal of Physical Chemistry C*. 116(34): 18193-18201. DOI: 10.1021/jp30 3279r
- Nair, R. R., Ren, W., Jalil, R., Riaz, I., Kravets, V. G., Britnell, L., Blake, P., Schedin, F., Mayorov, A. S., Yuan, S., Katsnelson, M. I., Cheng, H. M., Strupinski, W., Bulusheva, L. G., Okotrub, A. V., Grigorieva, I. V., Grigorenko, A. N., Novoselov, K. S., & Geim, A. K. (2010). Fluorographene: A two-dimensional counterpart of Teflon. *Small*. 6(24): 2877–2884. DOI: 10.1002/sml.201001555
- Payne, M. C., Teter, M. P., Allan, D. C., Arias, T. A., & Joannopoulos, J. D. (1992). Iterative minimization techniques for *ab initio* total-energy calculations: molecular dynamics and conjugate gradients. *Reviews of Modern Physics*. 64(4): 1045-1097. DOI: 10.1103/ RevModPhys.64.1045
- Plutnar, J., Šturala, J., Mazánek, V., Sofer, Z., & Pumera, M. (2018). Fluorination of Black Phosphorus—Will Black Phosphorus Burn Down in the Elemental Fluorine? *Advanced Functional Materials*. 28(35). DOI: 10.1002/adfm.201801438
- Radhakrishnan, S., Das, D., Samanta, A., De Los Reyes, C. A., Deng, L., Alemany, L. B., Weldeghiorghis, T. K., Khabashesku, V. N., Kochat, V., Jin, Z., Sudeep, P. M., Martí, A. A., Chu, C. W., Roy, A., Tiwary, C. S., Singh, A. K., & Ajayan, P. M. (2017). Fluorinated h-BN As a magnetic semiconductor. *Science Advances*. 3(7). DOI: 10.1126/SCIADV.1700842
- Shin, Y., Shin, S., Sung, D., Cha, J., Choi, H.-K., Jeong, Y., Ji Im, M., Hui Kim, Y., Ahn, S., Bae, S., Lim, J., Han, E., Huang, P. Y., van der Zande, A. M., Hong, S., Lee, G.-H., & Son, J. (2024). Facilitated fluorination and etching of 2D materials. *Applied Surface Science*. 645. DOI: 10.1016/J.APSUSC.2023.1 58857



- Sim, Y., Surendran, S., Cha, H., Choi, H., Je, M., Yoo, S., Chan Seok, D., Ho Jung, Y., Jeon, C., Jin Kim, D., Han, M. K., Choi, H., Sim, U., & Moon, J. (2022). Fluorine-doped graphene oxide prepared by direct plasma treatment for supercapacitor application. *Chemical Engineering Journal*. 428. DOI: 10.1016/J.CEJ.2021.132086
- Tang, X., Chen, H., Ponraj, J. S., Dhanabalan, S. C., Xiao, Q., Fan, D., & Zhang, H. (2018). Fluorination-Enhanced Ambient Stability and Electronic Tolerance of Black Phosphorus Quantum Dots. *Advanced Science*. 5(9). DOI: 10.1002/advs.201800420
- Tang, X., Fan, T., Wang, C., & Zhang, H. (2021). Halogen Functionalization in the 2D Material Flatland: Strategies, Properties, and Applications. *Small*. 17(24). DOI: 10.1002/sml.202005640
- Tang, X., Liang, W., Zhao, J., Li, Z., Qiu, M., Fan, T., Luo, C. S., Zhou, Y., Li, Y., Guo, Z., Fan, D., & Zhang, H. (2017). Fluorinated Phosphorene: Electrochemical Synthesis, Atomistic Fluorination, and Enhanced Stability. *Small*. 13(47). DOI: 10.1002/SMLL.201702739
- Trejo García, P. (2016). *Propiedades ópticas de tetraborato de litio (Li₂B₄O₇) impurificado con iones de manganeso (Mn²⁺) y europio (Eu³⁺)*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Villatoro, F. R. (2018). Síntesis epitaxial de una nueva fase del fosforeno azul, en *La Ciencia de la Mula Francis*. [En línea]. Disponible en: <https://francis.naukas.com/2018/11/14/sintesis-epitaxial-de-una-nueva-fase-del-fosforeno-azul/> Fecha de consulta: 29 de enero de 2024.
- Wang, R., Xu, M.-S., & Pi, X.-D. (2015). Chemical modification of silicene*. *Chinese Physics B*. 24(8). DOI: 10.1088/1674-1056/24/8/086807
- Wang, X., Liu, H., & Tu, S. T. (2015). First-principles study of half-fluorinated silicene sheets. *RSC Advances*. 5(9): 6238–6245. DOI: 10.1039/c4ra12257g
- Wang, Z., Wang, J., Li, Z., Gong, P., Liu, X., Zhang, L., Ren, J., Wang, H., & Yang, S. (2012). Synthesis of fluorinated graphene with tunable degree of fluorination. *Carbon*. 50(15): 5403–5410. DOI: 10.1016/j.carbon.2012.07.026
- Withers, F., Dubois, M., & Savchenko, A. K. (2010). Electron properties of fluorinated single-layer graphene transistors. *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*. 82(7). DOI: 10.1103/PhysRevB.82.073403
- Xu, J., Jeon, I. Y., Seo, J. M., Dou, S., Dai, L., & Baek, J. B. (2014). Edge-Selectively Halogenated Graphene Nanoplatelets (XGnPs, X = Cl, Br, or I) Prepared by Ball-Milling and Used as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries.



Advanced Materials. 26(43): 7317–7323. DOI: 10.1002/ADMA.201402987

Yang, G., Xu, Z., Liu, Z., Jin, S., Zhang, H., & Ding, Z. (2017). Strain- and Fluorination-Induced Quantum Spin Hall Insulators in Blue Phosphorene: A First-Principles Study. *Journal of Physical Chemistry C*. 121(23): 12945–12952. DOI: 10.1021/ACS.JPCC.7B03808

