

EmprendeCiencia

Una Publicación del CIIIE Pánuco
Tecnológico Nacional de México Campus Pánuco



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO.





EMPRENDECIENCIA, Año 2025, número 1, volumen 4, enero-julio 2025, Revista electrónica de publicación semestral emitida por el Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. Avenida Artículo Tercero Constitucional S/N Colonia Solidaridad, Panuco Veracruz C.P. 93990 teléfono 8462662898. <https://www.panuco.tecnm.mx>, emprendeciencia@panuco.tecnm.mx Editora Responsable Dra. Lilia Alejandra Alvarado Delfín, Número de reserva de derechos al uso exclusivo **04-2022-110414061500-102** y con **ISSN 2954-5129**. Otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Centro de Innovación e Incubación Empresarial, Dra. Lilia Alejandra Alvarado Delfín Avenida Artículo Tercero Constitucional S/N Colonia Solidaridad, Pánuco Veracruz C.P. 93990. Fecha de la última actualización 30 de diciembre del 2024.

EmprendeCiencia

Año 2025 vol. 4 núm. 1

ISSN 2954-5129

<https://www.panuco.tecnm.mx>

La Revista **EmprendeCiencia** es una publicación multidisciplinaria respaldada por el Centro de Innovación e Incubación Empresarial del Tecnológico Nacional de México Campus Pánuco. Su objetivo principal es proporcionar un espacio destinado a la difusión de trabajos y proyectos relacionados con áreas como el emprendedurismo, el desarrollo empresarial, el desarrollo tecnológico, la innovación educativa y la innovación social. Esta revista sirve como un foro para que los investigadores y profesionales compartan sus conocimientos, avances y experiencias en estos campos, contribuyendo así al intercambio de ideas y al desarrollo de estas áreas de interés.

Los escritos presentes en esta revista han pasado por un riguroso proceso de evaluación realizado por especialistas en el campo, y las perspectivas expresadas en ellos son completamente responsabilidad de los autores. Tanto el contenido de los artículos como la responsabilidad asociada recaen en los autores y sus respectivas instituciones. La reproducción parcial o total del material de esta revista está permitida, siempre y cuando se obtenga la autorización de los autores y se haga una adecuada referencia al contenido original.

Créditos

Directivos:

Lic. Joseph Cruz Martínez

Encargado de la Dirección General

Tecnológico Nacional de México Campus Pánuco

Ing. Taurino Vargas Plata

Encargado de la Sub dirección de Vinculación

Responsable del Centro de Innovación e Incubación Empresarial

Tecnológico Nacional de México Campus Pánuco

Consejo Editorial:

Dra. Lilia Alejandra Alvarado Delfín

Editora Responsable / Coordinadora General

Diseño de portada

M.C.A. Manuel Cornelio Torres Maza

Dr. Gil Santana Esparza

Dra. Violeta Jiménez Zarate

Coordinadores Editoriales

Equipo Técnico:

Dr. Eric Álvarez Baltierra

Diseño web

Ing. Ludivina Valdés Tovar

Asistente Administrativa

Comité Editorial:

M.C.A Samira King Delgado

M.F. Luz Ángela Hernández Rivera

M.C.A. Jesús Muñiz Blanco

M.A. Marlene Pérez Arteaga

TecNM Campus Pánuco

Comité Científico

Dr. Arturo Ernesto Mares Gardea
TecNM Campus Gustavo A. Madero

Dr. Arturo López Marure
Instituto Politécnico Nacional

Dr. Adrián Vázquez Vázquez
Universidad Politécnica Altamira

Dr. Ernesto Cavazos Reyes
Fundación Solidaridad Latinoamericana

Dr. Jarniel García Morales
Dra. María Yasmín Hernández Pérez
TecNM Campus CENIDET

Dra. Jessica Ivonne Hinojosa López
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Ángel José Martínez Salinas
Universidad Nacional Autónoma de
México

Dra. Violeta Jiménez Zarate
M.C.A. Manuel Cornelio Torres Maza
M.C.A. Samira King Delgado
M.F. Luz Ángela Hernández Rivera
Dra. Julia Patricia Melo Morín
Dra. María de los Ángeles Ahumada Cervantes

TecNM Campus Pánuco

Dr. Jorge Alberto Galaviz Pérez
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Dr. Juan Carlos Manjarrez López
Universidad Tecnológica de Puebla

Dra. Liz del Carmen Cruz Netro
Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey

Dr. Hugo Rojas Chávez
TecNM Campus Tláhuac II

M.I.T. Carlos Augusto Jiménez Zarate
Dra Mayra Elizabeth Brosing Rodríguez
Universidad Autónoma de Nuevo León

M.S.I. Rosa María Hernández Rejón
Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dr. Marco Antonio Ríos Medina
Universidad Santander México

Dr. Gil Santana Esparza
Dra. Lilia Alejandra Alvarado Delfín
M.C.A. Jesús Muñiz Blanco
Dr. Eric Álvarez Baltierra
Dra. Esmeralda Guadalupe Rivera García

Aplicación de prueba piloto y análisis de resultados del prototipo de reforzamiento de asignaturas de nivel superior mediante plataforma offline.

Sosa Trejo Santiago de Jesus, Hernández Rodríguez Patricia, Santana Esparza Gil

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Pánuco

Santiago.sosa@itspanuco.edu.mx, patricia.hernandez@itspanuco.edu.mx,

gil.santana@itspanuco.edu.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Plataforma educativa, offline, accesibilidad, recursos, Aprendizaje.

Este artículo presenta los resultados de la implementación de una plataforma educativa offline diseñada para reforzar el aprendizaje en la asignatura de Investigación de Operaciones, dirigida a estudiantes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. La plataforma incluye diversos materiales como lecturas, ejercicios, videos, retroalimentación, enlaces de interés y bibliografías recomendadas. Los estudiantes utilizaron la plataforma y posteriormente respondieron una encuesta que evaluó la facilidad de uso, satisfacción, aprendizaje, rendimiento y accesibilidad de la herramienta. Los resultados mostraron una respuesta favorable por parte de los alumnos, quienes valoraron positivamente el contenido y la facilidad de uso, destacando su utilidad para apoyar el desarrollo de la materia.

ABSTRACT

Keywords:

Educational platform, offline, accessibility, resources, Learning .

This article presents the results of the implementation of an offline educational platform designed to reinforce learning in the Operations Research course, aimed at students of the Computer Systems Engineering program at the Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. The platform includes various materials such as readings, exercises, videos, feedback, useful links, and recommended bibliographies. Students used the platform and subsequently completed a survey that evaluated the tool's ease of use, satisfaction, learning, performance, and accessibility. The results showed a favorable response from students, who positively valued the content and ease of use, highlighting its usefulness in supporting their development of the course.

INTRODUCCIÓN

La tecnología educativa ha transformado la forma en que los estudiantes acceden al conocimiento. Sin embargo, en países como México, el acceso a las tecnologías digitales sigue siendo una preocupación. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), obtenidos de la Encuesta Nacional sobre Acceso y Permanencia en la Educación (ENAPE) en 2021, el acceso a Internet en los hogares mexicanos varía significativamente según el nivel educativo de los estudiantes inscritos en el ciclo escolar 2021-2022. Estos datos resaltan la desigualdad en el acceso a las tecnologías y, por ende, el impacto que tiene este factor en el rendimiento académico de los estudiantes.

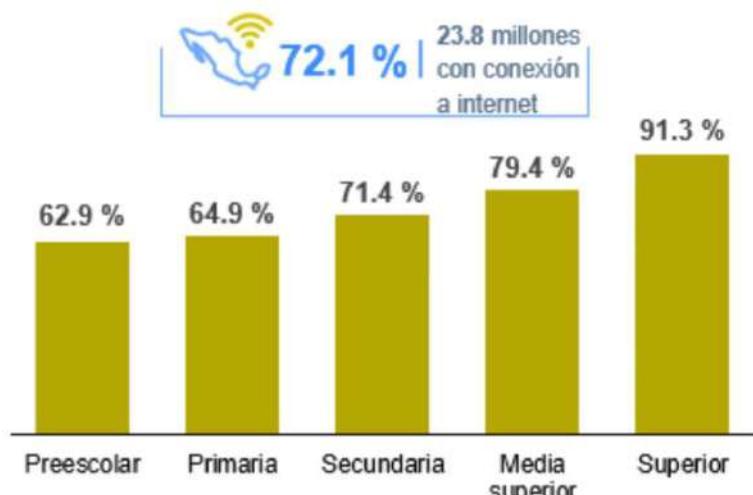


Imagen 1. Población de 3 a 29 años inscrita en el ciclo escolar 2021-2022 por nivel educativo, según conexión a internet en la vivienda

Fuente: INEGI. Encuesta Nacional sobre Acceso y Permanencia en la Educación (ENAPE) 2021.

De acuerdo con el INEGI (2022), la imagen muestra cómo el acceso a Internet en los hogares mexicanos varía según el nivel educativo de los estudiantes. Se observa que, a medida que los alumnos avanzan en su formación académica, la conectividad en sus hogares es mayor. En los niveles educativos más bajos, como preescolar y primaria, una menor proporción de estudiantes tiene acceso a Internet en casa, lo que puede representar una barrera para su desarrollo educativo.

En secundaria y nivel medio superior, el acceso a la red se incrementa, lo que sugiere que los estudiantes en estos niveles cuentan con mayores oportunidades para utilizar recursos digitales en sus estudios. Finalmente, en educación superior, la gran mayoría de los alumnos tiene conexión a Internet en su hogar, lo que facilita el acceso a materiales en línea, plataformas educativas y herramientas tecnológicas que complementan su formación.

Estos porcentajes muestran claramente que, a pesar de que el acceso a internet mejora conforme se avanza en el nivel educativo, aún existen desafíos significativos en los niveles educativos inferiores. Esto plantea un obstáculo para el desarrollo académico y el aprovechamiento de las tecnologías en los procesos de enseñanza-aprendizaje, especialmente para los estudiantes en áreas con conectividad limitada.

El rezago educativo es otro de los problemas importantes que afecta a la educación en México. Según Acosta (2023), el rezago educativo es un problema estructural que se ha visto acentuado por diversas crisis, siendo una de las más notorias la pandemia de COVID-19. En este contexto, el aprendizaje en línea, aunque útil, ha dejado en evidencia las profundas desigualdades en el acceso a tecnología y las capacidades pedagógicas en los hogares de los estudiantes.

Por su parte, Carro Olvera & Lima Gutiérrez (2022) explican que, durante la pandemia, los factores asociados al rezago educativo fueron diversos, entre ellos el abandono escolar, la falta de recursos tecnológicos y las dificultades familiares para apoyar el proceso educativo. Estos elementos han resultado en un retraso significativo en los aprendizajes de los estudiantes de diversos niveles educativos, acentuando las desigualdades en el acceso y la calidad educativa.

En este escenario, el uso de plataformas educativas offline emerge como una solución viable para aquellos estudiantes que no tienen acceso continuo a internet. La plataforma educativa offline que se presenta en este artículo fue diseñada para el reforzamiento de asignaturas en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Instituto Tecnológico Superior de Pánuco. Este prototipo integra diversos recursos de aprendizaje, como lecturas, ejercicios interactivos,

videos explicativos, bibliografía recomendada y enlaces de interés, permitiendo que los estudiantes accedan a materiales de estudio sin necesidad de conexión a internet.

La flexibilidad de esta plataforma permite su adaptación a cualquier nivel educativo y a cualquier materia, lo que la convierte en una herramienta útil no solo para estudiantes de ingeniería, sino también para otros campos del conocimiento, contribuyendo a una mayor inclusión educativa. Esta plataforma también ofrece una solución accesible para estudiantes en áreas rurales o marginadas, donde la conectividad a internet es limitada.

Los objetivos principales de la plataforma educativa offline son los siguientes:

1. **Reforzar el aprendizaje:** Proporcionar a los estudiantes materiales de estudio complementarios que fortalezcan los contenidos vistos en clase, permitiendo un aprendizaje autónomo.
2. **Fomentar la interactividad:** A través de ejercicios interactivos y videos explicativos, los estudiantes pueden participar activamente en su proceso de aprendizaje.
3. **Garantizar el acceso en áreas con conectividad limitada:** Facilitar el acceso a contenidos educativos de calidad, incluso sin conexión a internet, para estudiantes en regiones donde el acceso digital es insuficiente.
4. **Ofrecer retroalimentación:** Los estudiantes pueden recibir retroalimentación sobre sus respuestas y desempeño en los ejercicios propuestos, mejorando así su aprendizaje.
5. **Adaptabilidad a diferentes niveles y materias:** La plataforma es flexible y puede ser utilizada en distintos niveles educativos y para diversas asignaturas.

Para asegurar que la plataforma educativa offline cumpliera con sus objetivos y fuera efectiva en el proceso de enseñanza-aprendizaje, se llevó a cabo una prueba piloto con un grupo de estudiantes. Este procedimiento permitió evaluar el desempeño de la plataforma en un entorno real y obtener retroalimentación antes de su implementación definitiva.

Una prueba piloto es un procedimiento de evaluación preliminar que se lleva a cabo antes de la implementación definitiva de un proyecto, producto o sistema (Project Management Institute [PMI], 2021). Este proceso permite probar y validar su funcionalidad en un entorno controlado, con el objetivo de identificar posibles errores, realizar mejoras y asegurar su eficacia (Bates, 2015). En contextos como el desarrollo de software y la educación, una prueba piloto es esencial para analizar aspectos como la usabilidad, accesibilidad y eficacia de una plataforma o herramienta antes de su despliegue a gran escala (Nielsen, 1993).

Su objetivo es identificar posibles errores, validar su funcionalidad y recopilar información sobre la experiencia del usuario, con el fin de realizar mejoras y optimizar su desempeño. En el ámbito educativo y tecnológico, estas pruebas son fundamentales para garantizar que las herramientas digitales sean accesibles, usables y efectivas en el aprendizaje.

Para evaluar la efectividad de la plataforma, se llevó a cabo una encuesta dirigida a los estudiantes, utilizando una escala de Likert. Esta encuesta abarcó diversas categorías clave, tales como la instalación y accesibilidad, la usabilidad, el contenido educativo, las actividades y evaluación, la retroalimentación y referencias, así como la satisfacción general. Además, se incluyeron aspectos relacionados con la interactividad e interés, el rendimiento y accesibilidad técnica, el impacto en el aprendizaje y los aspectos técnicos y compatibilidad, lo que permitió obtener una visión integral sobre la efectividad de la plataforma desde diferentes perspectivas.

Los estudiantes calificaron cada uno de estos aspectos, lo que permitió obtener una visión detallada sobre la efectividad de la plataforma desde distintas perspectivas.

Estilos de Aprendizaje de la Plataforma Educativa Offline

El diseño de la plataforma educativa offline permite el desarrollo de diferentes estilos de aprendizaje entre los estudiantes. Según la teoría del aprendizaje experiencial de Kolb (1984), los estudiantes pueden desarrollar cuatro estilos principales de aprendizaje:

Aprendizaje basado en la conceptualización abstracta y la experimentación activa: Los estudiantes con este estilo de aprendizaje prefieren la resolución de problemas y la aplicación práctica de conceptos. La plataforma les permite reforzar estos aspectos a través de ejercicios y actividades interactivas.

Aprendizaje basado en la experiencia concreta y la observación reflexiva: Se enfoca en la observación y la recopilación de información. La plataforma ofrece materiales teóricos y referencias que favorecen la reflexión y el análisis.

Aprendizaje basado en la conceptualización abstracta y la observación reflexiva: Los estudiantes con este estilo aprenden mejor a través de la teoría y la conceptualización. Los textos y lecturas dentro de la plataforma facilitan la adquisición de conocimientos detallados.

Aprendizaje basado en la experiencia concreta y la experimentación activa: Se caracteriza por el aprendizaje a través de la experimentación y la acción. Los videos y ejercicios prácticos dentro de la plataforma apoyan este enfoque de aprendizaje activo.

La combinación de estos recursos permite que cada estudiante utilice la plataforma de acuerdo con su propio estilo de aprendizaje, optimizando así su proceso educativo.

DESARROLLO

La implementación de una plataforma educativa offline representa una solución innovadora para el aprendizaje en contextos con acceso limitado a internet. En este caso, la plataforma fue desarrollada con base en el software diseñado por el

Ingeniero en Sistemas Computacionales José Manuel Antonio Rivera, lo que permitió la creación de un entorno de aprendizaje estructurado para la materia de Investigación de Operaciones. Esta plataforma se diseñó con el propósito de proporcionar recursos educativos accesibles, organizados y adaptados a las necesidades de los estudiantes, facilitando su proceso de aprendizaje sin depender de una conexión a internet.

La plataforma educativa offline se organizó en diferentes secciones que permiten a los estudiantes acceder a los temas de la materia de manera clara y estructurada.

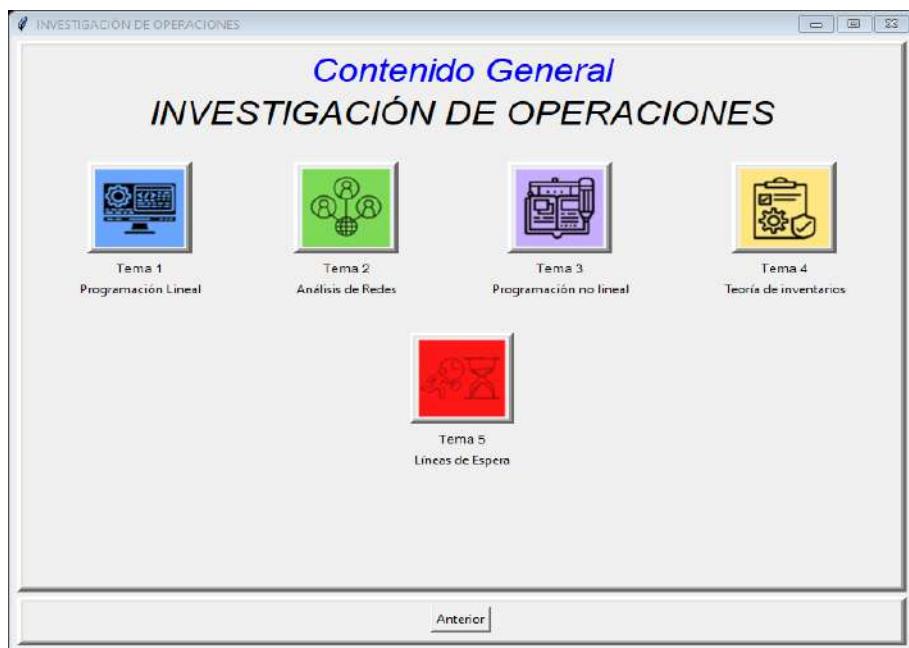


Imagen 2. Pantalla del contenido general de la plataforma educativa offline.

La primera sección de la plataforma presenta el contenido general de la materia de Investigación de Operaciones. Esta sección incluye las unidades temáticas que conforman la asignatura, organizadas de manera jerárquica para que los estudiantes puedan identificar los temas principales y acceder a cada uno de ellos según sus necesidades de estudio. Este diseño facilita la navegación dentro de la plataforma y permite que los alumnos sigan una secuencia lógica de aprendizaje.

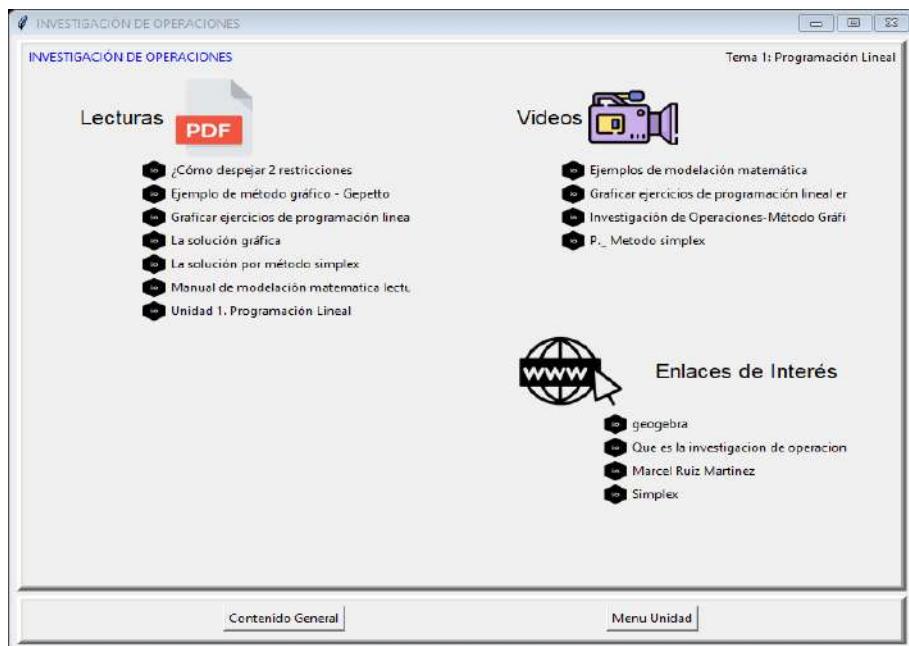


Imagen 3. Pantalla de algunos recursos educativos de la plataforma educativa offline.

En la segunda sección, la plataforma ofrece una variedad de recursos educativos diseñados para reforzar el aprendizaje de los estudiantes. Estos recursos incluyen lecturas, videos explicativos y enlaces de interés, cada uno seleccionado cuidadosamente para complementar el contenido teórico de la asignatura. Las lecturas proporcionan información detallada sobre cada tema, los videos facilitan la comprensión de conceptos a través de explicaciones visuales y los enlaces de interés ofrecen fuentes adicionales para profundizar en los contenidos.

El desarrollo de la plataforma educativa offline se basó en la utilización de diversas librerías de Python, seleccionadas por su funcionalidad y compatibilidad con los requerimientos del proyecto. Estas librerías permitieron implementar características clave como la interacción con la interfaz gráfica, el manejo de archivos, la navegación web, la manipulación de imágenes y la administración de bases de datos locales.

Entre las principales librerías utilizadas se encuentra Tkinter, la cual facilitó la creación de interfaces gráficas intuitivas y funcionales, permitiendo la inclusión de botones, campos de texto y otros elementos visuales necesarios para la interacción del usuario. Además, OS fue empleada para la gestión de operaciones relacionadas con el sistema operativo, como el acceso y manipulación de directorios y archivos.

Para la navegación web dentro de la plataforma, se integró la librería webbrowser, la cual posibilita la apertura y gestión de enlaces en un navegador web a través de código Python. En cuanto al tratamiento de imágenes, se utilizó PIL (Pillow), una herramienta ampliamente reconocida en el procesamiento de archivos gráficos, lo que permitió manejar imágenes dentro de la plataforma con facilidad.

El manejo de archivos fue abordado mediante la librería shutil, la cual proporciona funcionalidades para copiar, mover y eliminar archivos de manera eficiente. Asimismo, PyInstaller fue clave para la generación de ejecutables del software, permitiendo la distribución de la plataforma sin necesidad de instalar Python en cada dispositivo.

Por último, se empleó SQLite3 para la creación y administración de bases de datos locales, asegurando que la plataforma educativa pudiera almacenar información de manera estructurada y accesible sin necesidad de conexión a internet.

Escala de Likert para la Evaluación de la Plataforma

Para evaluar la efectividad de la plataforma educativa offline, se diseñó una encuesta basada en la escala de Likert. Esta escala es ampliamente utilizada en investigaciones educativas debido a su capacidad para medir percepciones, actitudes y satisfacción de los usuarios (Joshi, et al., 2015). Se eligió este método de evaluación porque permite recopilar respuestas detalladas y cuantificables sobre la experiencia de los estudiantes con la plataforma, facilitando así un análisis más preciso de su impacto en el aprendizaje.

Los criterios evaluados en la encuesta fueron los siguientes:

- Instalación y accesibilidad
- Usabilidad
- Contenido educativo
- Actividades y evaluación
- Retroalimentación y referencias
- Satisfacción general
- Interactividad e interés
- Rendimiento y accesibilidad técnica
- Impacto en el aprendizaje
- Aspectos técnicos y compatibilidad

El uso de la escala de Likert permitió obtener resultados detallados sobre la percepción de los estudiantes y proporcionó información clave para futuras mejoras de la plataforma.

RESULTADOS

La evaluación de la plataforma educativa offline a través de una encuesta basada en la escala de Likert (del 0 al 9), del 0 al 2 representando la insatisfacción del alumno, del 3 al 6 valorando que el alumno tuvo experiencia neutra con la plataforma y del 7 al 9 simboliza que el alumno estuvo muy satisfecho, y con ésto, permitió identificar su impacto en diferentes aspectos clave del proceso de aprendizaje. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes en cada categoría analizada.

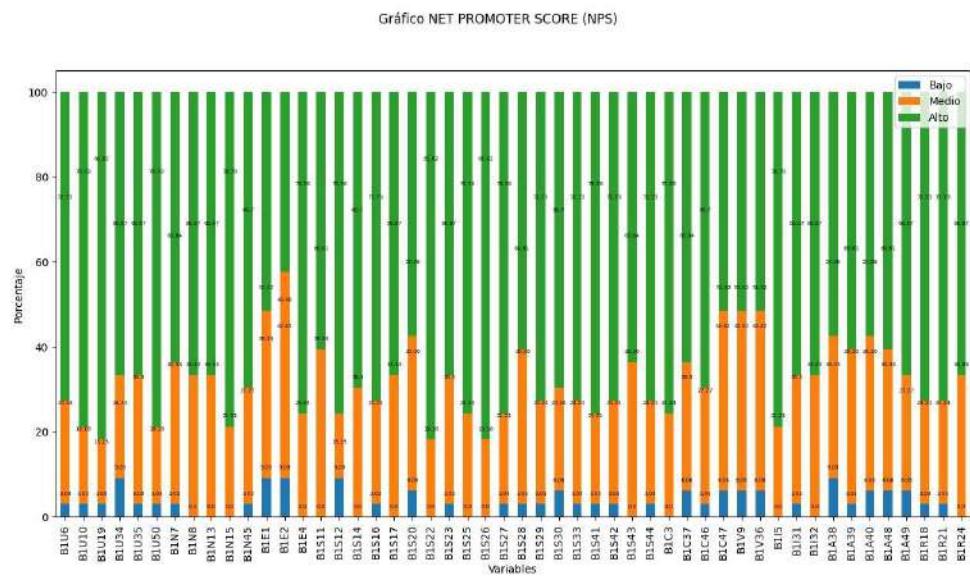


Figura 1. Grafica de los resultados de la encuesta evaluada en escala de likert.

En la Figura 1, se puede observar una alta satisfacción general por parte de los alumnos con la plataforma educativa offline. La mayoría de las variables presentan un porcentaje elevado en la categoría “Alto” (representado en verde), lo que indica una percepción positiva del software en distintos aspectos evaluados.

Si bien existen algunas variaciones en ciertos puntos donde los valores “Medio” (naranja) y “Bajo” (azul) tienen una presencia poco notable, estos no parecen ser predominantes. Esto sugiere que, en términos generales, la plataforma fue bien recibida y cumplió con las expectativas de los usuarios, aunque hay áreas de oportunidad para mejorar la experiencia en algunos aspectos específicos.

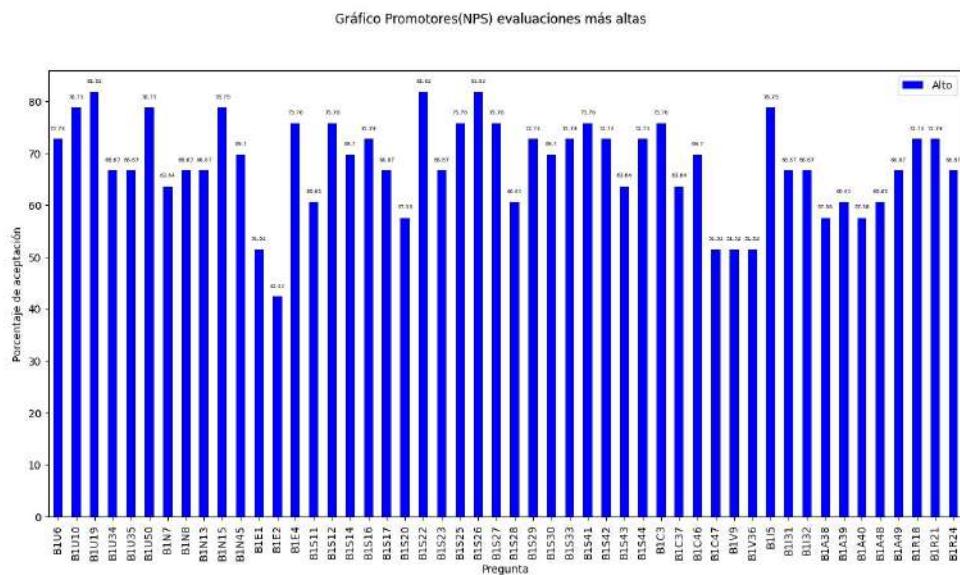


Figura 2. Grafica de los resultados positivos de cada una de las preguntas de la encuesta.

En la Figura 2, se observa el porcentaje de aceptación en la categoría “Alto” para las diferentes preguntas evaluadas. La mayoría de las variables presentan valores superiores al 60 %, lo que indica una percepción positiva de la plataforma educativa offline. Algunas preguntas destacan con niveles de aceptación por encima del 80 %, reflejando una alta satisfacción en ciertos aspectos clave.

Sin embargo, hay algunas variables con valores cercanos al 50 % o incluso menores, lo que sugiere que existen áreas específicas donde la percepción de los alumnos no fue tan favorable. Aun así, la tendencia general es positiva, reforzando que la plataforma cumple con las expectativas de los usuarios en gran medida.

Para evaluar la percepción y satisfacción de los estudiantes con la plataforma educativa offline, se utilizará el Net Promoter Score (NPS). Esta metodología permite medir la lealtad y recomendación de los usuarios mediante una escala de valoración, clasificándolos en promotores, pasivos y detractores. Esto de acuerdo a Reichheld & Markey (2011).

La evaluación de la plataforma a través del NPS permitirá conocer su impacto en aspectos clave como el aprendizaje, la usabilidad y el desempeño técnico, identificando fortalezas y áreas de mejora. Con estos resultados, se busca optimizar la experiencia de los estudiantes y garantizar que la plataforma cumpla con sus necesidades educativas.

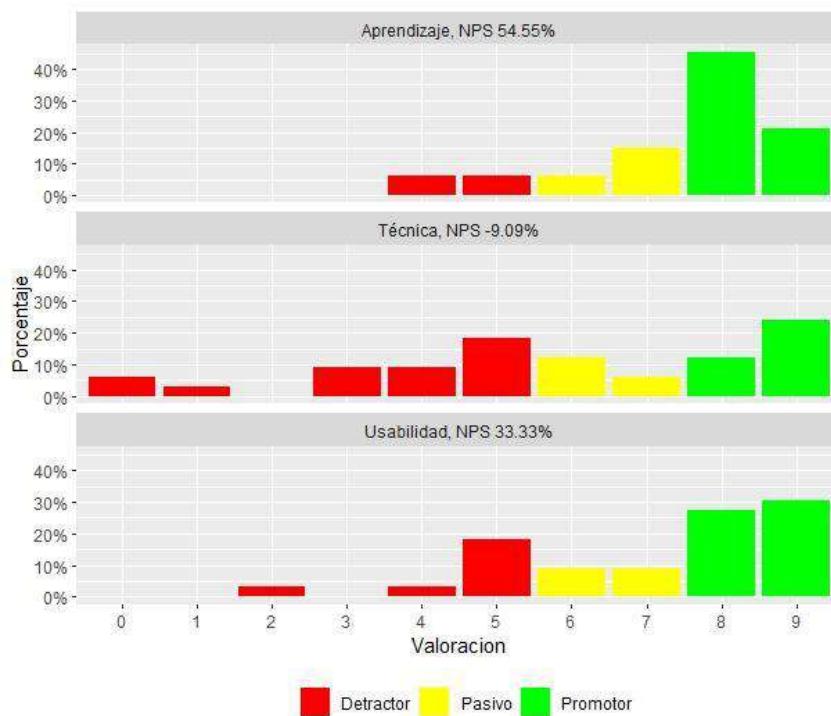


Figura 3. – Evaluación de la Plataforma Educativa Offline mediante Net Promoter Score (NPS)

En la Figura 3, se presentan los valores del Net Promoter Score (NPS) en tres categorías clave: Aprendizaje, Técnica y Usabilidad.

En la categoría de Aprendizaje, se obtuvo un NPS positivo de 54.55%, lo qué indica que la mayoría de los estudiantes considera que la plataforma les ayuda en su proceso de aprendizaje. La gran proporción de promotores, representados en verde, demuestra una alta aceptación en este aspecto, reflejando una experiencia satisfactoria para los usuarios en términos educativos.

En cuanto a la Usabilidad, se observa un NPS de 33.33%, lo que sugiere que, si bien la plataforma es funcional y accesible, existen áreas de oportunidad para mejorar la experiencia del usuario. Aunque hay una presencia considerable de promotores, también se identifican detractores y pasivos, lo que indica que algunos estudiantes encuentran aspectos que podrían optimizarse.

Por otro lado, la categoría Técnica muestra el desempeño más bajo, con un NPS negativo de -9.09%. Esto sugiere que hay problemas en aspectos técnicos que afectan la experiencia del usuario, ya sea en términos de rendimiento, compatibilidad o estabilidad de la plataforma. La presencia significativa de detractores en esta categoría evidencia la necesidad de realizar mejoras para garantizar un funcionamiento más eficiente y confiable.

En general, los resultados reflejan que la plataforma es bien recibida en términos de aprendizaje y usabilidad. Sin embargo, es fundamental atender los problemas técnicos para mejorar la satisfacción general de los estudiantes y optimizar su experiencia de uso.

CONCLUSIONES

La evaluación de la plataforma educativa offline confirma su efectividad como herramienta de apoyo para el aprendizaje en la materia de Investigación de Operaciones. Los resultados obtenidos reflejan una alta satisfacción por parte de los estudiantes, quienes destacaron su facilidad de uso, la calidad del contenido educativo y la utilidad de las actividades propuestas.

Uno de los aspectos más relevantes de la plataforma es su capacidad para operar sin conexión a Internet, lo que la convierte en una alternativa accesible para estudiantes con limitaciones en el acceso a la red. Esto es especialmente significativo en el contexto educativo actual, donde la brecha digital sigue siendo un desafío para muchos estudiantes de nivel superior.

Además, la estructura del software permite su adaptación a diferentes materias y niveles educativos, lo que amplía su potencial de aplicación en diversas áreas del conocimiento. La flexibilidad de la plataforma permite que pueda ser utilizada tanto en educación superior como en niveles básicos y medios, proporcionando una herramienta de aprendizaje efectiva en cualquier contexto académico.

A pesar de los resultados positivos, se identificaron áreas de mejora, especialmente en la optimización técnica del software y en la interactividad de los recursos. La implementación de mejoras en la interfaz y la compatibilidad con diferentes dispositivos podría potenciar aún más la experiencia del usuario y garantizar una adopción más amplia de la plataforma.

Finalmente, la encuesta aplicada con la escala de Likert permitió obtener datos precisos sobre la percepción de los estudiantes y sus experiencias con la plataforma. La evaluación reveló que, en términos generales, los usuarios consideran que la herramienta es eficaz para reforzar su aprendizaje, destacando su utilidad y facilidad de uso.

En conclusión, la plataforma educativa offline representa una solución innovadora y adaptable que responde a las necesidades actuales del ámbito educativo. Su implementación no solo ha demostrado ser efectiva en el aprendizaje de Investigación de Operaciones, sino que también abre la puerta a su aplicación en diversas disciplinas. Con futuras mejoras y ajustes, esta plataforma podría consolidarse como un recurso clave para la educación en contextos con limitaciones tecnológicas, contribuyendo significativamente a la reducción del rezago educativo.

REFERENCIAS

- Acosta Varela, B. J. (2023). El rezago educativo: una responsabilidad muy poco comprometida. En J. A. Trujillo Holguín, J. L. García Leos y L. A. Pérez Núñez (coords.), Desarrollo profesional docente: deserción y rezago educativo después de la pandemia [col. Textos del Posgrado n. 8] (pp. 67-77). Escuela Normal Superior Profr. José E. Medrano R. Recuperado de <https://ensech.edu.mx/wp-content/uploads/2024/01/TP8-1-5-Acosta.pdf>
- Bates, A. W. (2015). Teaching in a digital age: Guidelines for designing teaching and learning. Vancouver, Canadá: Tony Bates Associates Ltd.
- Carro Olvera, A., & Lima Gutiérrez, A. (2022). Pandemia, rezago y abandono escolar: Sus factores asociados. Revista Andina de Educación, 5(2), e208. DOI: <https://doi.org/10.32719/26312816.2022.5.2.10> Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/7300/730076302010/730076302010.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Encuesta Nacional sobre Acceso y Permanencia en la Educación (ENAPE) 2021. Comunicado de Prensa Núm. 709/22 Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/ENAPE/ENAPE2021.pdf>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. British Journal of Applied Science & Technology, 7(4), 396-403. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Liga vigente de recuperación de la Obra: <http://www.learningfromexperience.com/images/uploads/process-of-experiential-learning.pdf>
- Nielsen, J. (1993). Usability engineering. San Diego, Estados Unidos: Morgan Kaufmann.
- PMI. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). (7^a ed.). Newtown Square, Estados Unidos: Project Management Institute.
- Reichheld, F. & Markey, R. (2011). The ultimate question 2.0: How Net Promoter companies thrive in a customer-driven world. Boston, Estados Unidos: Harvard Business Review Press. Obtenido de <https://www.netpromotersystem.com/globalassets/net-promoter-system/content/books/april-2011---the-ultimate-question-2.0-excerpt.pdf>
- Rivera, J. M. A. (2022). Diseño de plataforma-software para el aprendizaje asistido por computadora.

Control del tamaño del LiFePO₄ mediante tratamiento mecánico en presencia de un agente de control de proceso

Rojas Chávez Hugo¹, Ramón Díaz de León Zapata², Marco I. Ramirez Sosa Moran³, Bautista Elivar Nazario⁴, Melo Banda José A.⁵

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tláhuac II, Departamento de Ingenierías, Camino Real 625, San Juan Ixtayopan, Alcaldía Tláhuac, CDMX 13550, México
hugo.rc@tlahuac2.tecnm.mx

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Departamento de Eléctrica, Electrónica, Mecatrónica, Av. Tecnológico s/n, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí 78437, San Luis Potosí, Mexico

³Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Nuevo León, Departamento de Ciencias Básicas, Av. Eloy Cavazos 2001, Tolteca, Guadalupe 67170, N.L., México

⁴Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Pachuca, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Pachuca 42082, Hidalgo, México

⁵Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. 1° de Mayo, Ciudad Madero 89440, México

RESUMEN

Palabras clave:
LiFePO₄, Nanoestructuras,
Baterías

El LiFePO₄ es ampliamente utilizado como un material catódico de referencia el cual se emplea para la generación de baterías de iones de litio. El LiFePO₄ tiene limitantes para alcanzar un desempeño teórico óptimo a temperatura ambiente, e.g., baja conductividad iónica/electrónica y la difusión de iones de Li es lenta durante el proceso de carga-descarga, por lo que se exploran teórica y experimentalmente diferentes estrategias para superar estas limitantes. La obtención de nanoestructuras es una de las estrategias de mayor interés la cual se explora en este trabajo. Por lo tanto, mediante el nanodimensionamiento de las partículas del LiFePO₄ se prevé que las nanopartículas del LiFePO₄ posean rutas de conducción iónica más cortas, lo que a su vez contribuiría a reducir la resistencia óhmica dentro de las partículas.

ABSTRACT

Keywords:
LiFePO₄, Nanostructures,
Batteries

LiFePO₄ is widely used as a reference cathode material for the generation of lithium-ion batteries. LiFePO₄ has limitations to achieve optimal theoretical performance at room temperature, e.g., low ionic/electronic conductivity and the Li ion diffusion is slow during the charge-discharge process, therefore, different theoretical and experimental strategies are explored to overcome such limitations. Obtaining nanostructures is one of the most interesting strategies which is explored in this work. Therefore, by nanosizing the LiFePO₄ particles, not only is expected that the material will be in full contact with the electrolyte, but also the LiFePO₄ nanoparticles are expected to have shorter ionic conduction paths,

which, in turn, would help to reduce the ohmic resistance within the particles.

INTRODUCCIÓN

Desde un enfoque científico y tecnológico, el fosfato de hierro y litio, LiFePO₄, es uno de los materiales más estudiados para aplicaciones como cátodo en las baterías de iones de litio, que energizan la mayoría de los dispositivos electrónicos portátiles y móviles actuales, incluidas las aplicaciones de alta potencia (**Mathew et al., 2014**). Este material tiene ventajas importantes como excelente estabilidad térmica, alta capacidad teórica (170 mAh·g⁻¹), larga ciclabilidad, seguridad y no presenta efecto memoria (**Huang et al., 2018**). Sin embargo, debido a su baja conductividad electrónica/iónica, el LiFePO₄ presenta un desempeño electroquímico limitado, particularmente una capacidad de velocidad deficiente (**Wang et al., 2011**).

Con el propósito de superar las limitaciones antes mencionadas, se han realizado numerosos esfuerzos en el área de investigación. Por ejemplo, entre las estrategias reportadas se encuentran el dopaje de este material, su recubrimiento con carbono, así como el control de la morfología y/o el tamaño de partícula para mejorar la reactividad electroquímica del LiFePO₄ (**Gao et al., 2017**). Respecto a la última estrategia, gran cantidad de investigadores/as han centrado su atención en cómo disminuir el tamaño de partícula y cómo controlar la morfología de éstas. Para ello, la comunidad científica ha utilizado diferentes enfoques debido a que estas estrategias juegan un papel importante en la mejora de la reactividad electroquímica de LiFePO₄.

Experimentalmente, en cuanto a desempeño se refiere, la principal barrera al disminuir el tamaño de partícula del LiFePO₄ es el efecto de dispersión de las nanopartículas porque no garantiza la conectividad entre éstas, lo que se traduciría como una falta de contacto eléctrico entre los granos (**Wang et al., 2011**). El tamaño del material en la escala nanométrica limita en gran medida la densidad de energía

volumétrica de LiFePO₄, pese a ser un método eficaz para mejorar su rendimiento energético.

Aunque las bases de este enfoque se han utilizado activamente para mejorar el desempeño del LiFePO₄, hasta ahora se siguen presentando desafíos al respecto para incrementar el desempeño del LiFePO₄ mediante una ruta sencilla, de bajo coste y escalable. En su lugar, se han propuesto enfoques que requieren tratamientos costosos o no convencionales, que no permiten una producción en masa eficiente (**Gao et al., 2017**). En este contexto, si bien el proceso de molienda de alta energía garantiza la conminución del material, la formación de defectos estructurales es un fenómeno asociado con este proceso, por lo que representa un desafío de investigación en curso.

De acuerdo con estudios previamente reportados en la literatura, se identificó que la disminución del tamaño de partícula del LiFePO₄ debía limitarse y, de forma paralela, evitarse la obtención de nanopartículas dispersas de LiFePO₄. Por lo tanto, en este trabajo se estudia el efecto de un modificador de superficie para cambiar la morfología del LiFePO₄, disminuyendo sus dimensiones, durante el tratamiento mecánico.

DESARROLLO

Para lograr el objetivo planteado se utilizaron polvos comerciales de fosfato de hierro y litio, LiFePO₄, con un tamaño de partícula promedio > 5 µm, según los datos del proveedor Sigma-Aldrich®. Los polvos comerciales fueron tratados mecánicamente en un molino vibratorio, modelo Mini-Mill Pulverisette 23, FRITSCH. El tratamiento mecánico se realizó añadiendo porcentajes controlados de un modificador de superficie analizado (etilenglicol, EG), con la intención de establecer preferentemente algunos planos cristalográficos específicos de la superficie del LiFePO₄. Se descartó el uso de alcoholes debido a que éstos aunque favorecen la conminución del material, también intensifican la formación de defectos estructurales (**Rojas-Chávez et al., 2020**).

Al finalizar el tratamiento mecánico, el producto principal fue un lodo que se recolectó y se procedió a centrifugar (5000 rpm) –en repetidas ocasiones– durante 10 min para descartar los residuos orgánicos (**Rojas-Chávez et al., 2024**). Luego, para su posterior caracterización, se lavó varias veces, con agua desionizada, y se secó en una mufla a 70 °C en una atmósfera de argón. Posteriormente, se extrajeron los polvos para su análisis.

Los detalles microestructurales de las muestras, a escala nanométrica, se obtuvieron mediante la realización de imágenes de campo claro utilizando un microscopio electrónico de transmisión JEOL (modelo JEM2100) con un voltaje de operación de 200 kV. Se obtuvieron imágenes en diferentes resoluciones, baja y alta, para analizar más a fondo los cambios en la estructura del LiFePO₄ con diferentes adiciones del agente de control de proceso. Para los estudios de microscopía de las nanoestructuras de LiFePO₄, las muestras recién tratadas mecánicamente se sumergieron en etanol absoluto. Posteriormente, la suspensión que contenía nanopartículas de LiFePO₄ se depositó en rejillas de cobre con carbono, malla 400, lo que permitió la evaporación del etanol.

RESULTADOS

En la Figura 1a-c se muestran los polvos de LiFePO₄ previo al tratamiento mecánico, en éstos se agregaron diferentes porcentajes de EG el cual fue utilizado como agente de control de proceso. En la Figura 1a-c se puede apreciar la cantidad de EG respecto a la muestra en polvo.

Una vez que concluido el tratamiento mecánico de la muestra en polvo con diferentes cantidades de EG, se aprecia el efecto de éste durante 3 h de procesamiento. En la Figura 1d se muestra un producto prácticamente homogéneo que se encuentra seco y con cierta cantidad de material aglomerado. En el caso de la Figura 1e, se muestra que el producto obtenido es heterogéneo; es decir, tiene dos tonalidades perfectamente distinguibles y en ambos casos su apariencia es

aparentemente de un producto seco. Sin embargo, cuando se utiliza 5% de EG, el producto es un lodo completamente homogéneo. Por inspección visual de las muestras, se puede inferir que en la medida en que se incrementa el contenido de EG, la apariencia del producto tratado mecánicamente tiende más a la formación de un lodo.

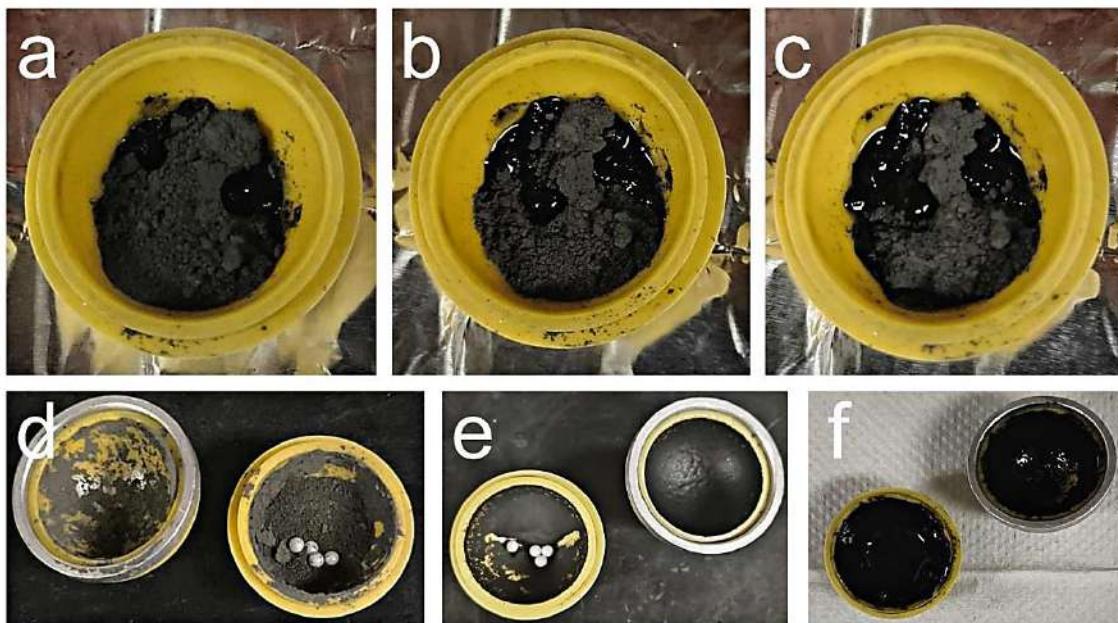


Figura 1: (a) Polvos de LiFePO_4 con 1% de EG. (b) Polvos de LiFePO_4 con 3% de EG. (c) Polvos de LiFePO_4 con 5% de EG. (d) Polvos de LiFePO_4 después del tratamiento mecánico con 1% de EG. (e) Polvos de LiFePO_4 después del tratamiento mecánico con 3% de EG. (f) Polvos de LiFePO_4 después del tratamiento mecánico con 5% de EG.

Para investigar más a fondo si la comminución ocurrió o no, si hubo presencia de defectos estructurales, si había fases cristalinas y/o amorfas en las muestras y para determinar el tamaño de partícula, se llevó a cabo un análisis mediante microscopía electrónica de transmisión, incluyendo imágenes en campo claro, en las nanoestructuras de LiFePO_4 procesadas mecánicamente con 5% de EG.

Como se muestra en la Figura 2a, las partículas de LiFePO_4 disminuyeron su tamaño promedio $> 5 \mu\text{m}$ hasta aproximadamente 150 nm. Además, se puede apreciar que estas partículas al menos una de sus dimensiones se encuentra por debajo de 100 nm, e.g., $L_1 = 145 \text{ nm}$ y $L_2 = 85 \text{ nm}$. Para investigar más a fondo la

morfología de las partículas, se realizó un acercamiento en las zonas etiquetadas como *i* y *ii*. En ambos casos se aprecia que se trata de partículas con bordes redondeados sin la presencia de morfologías facetadas, tal y como lo denota la línea discontinua en color negro, ver Figuras 2 b y c.

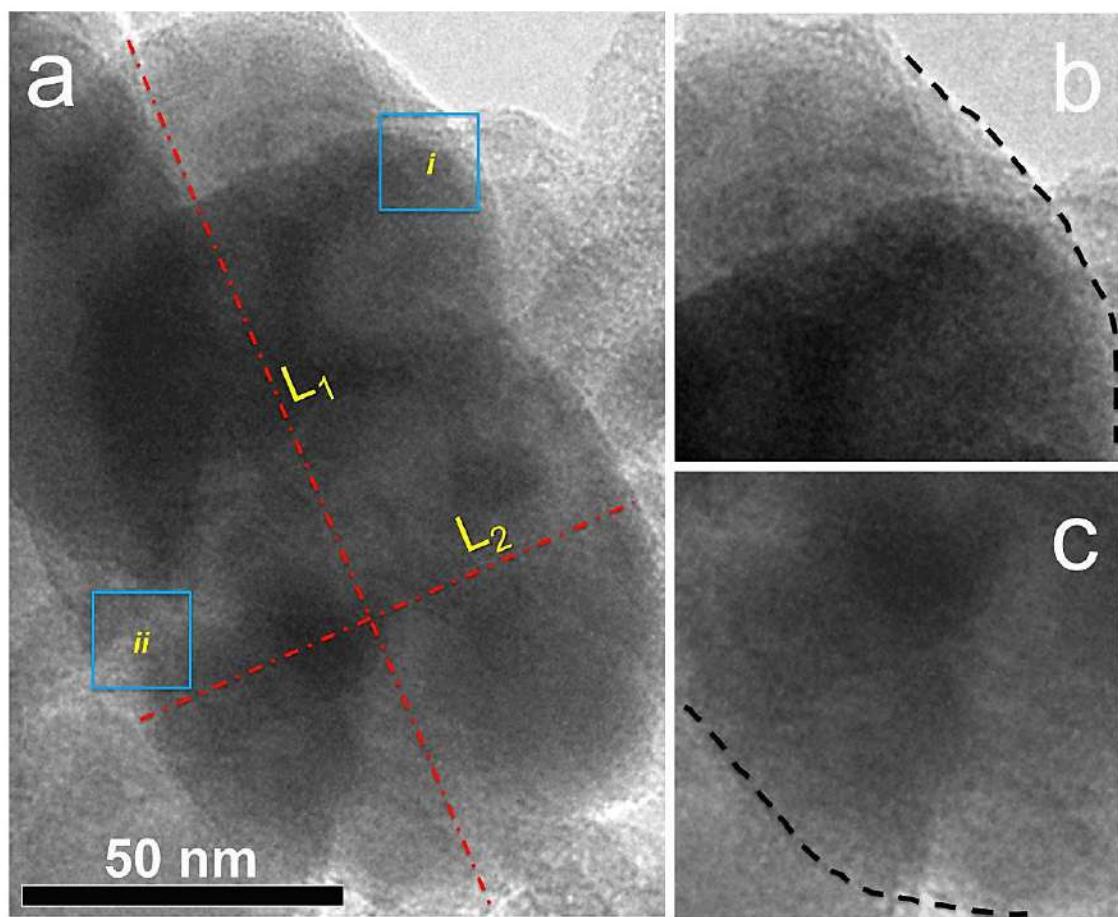


Figura 2: (a) Imagen de microscopía electrónica de transmisión de baja resolución. (b) Acercamiento a la parte superior derecha de la imagen principal. (c) Acercamiento a la parte inferior izquierda de la imagen principal.

Al analizar un área diferente, se aprecia que el tratamiento mecánico, en presencia de 5% de EG, dio lugar a la formación de partículas menores a 30 nm, ver Figura 3.

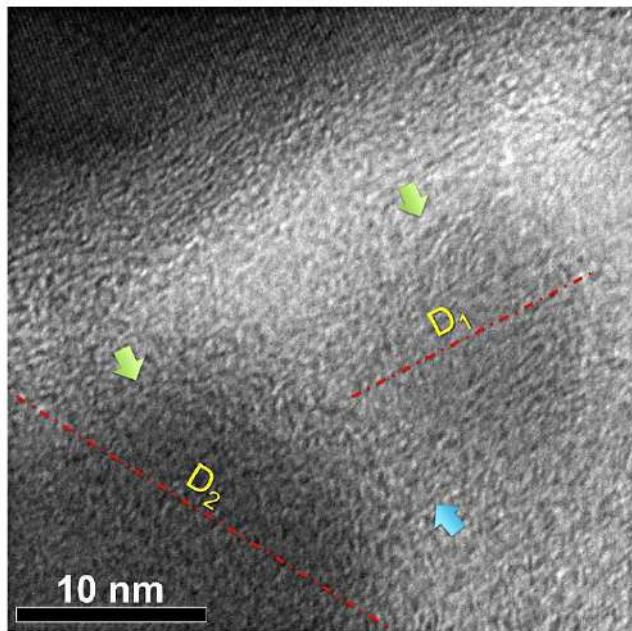


Figura 3: Imagen de microscopía electrónica de transmisión de alta resolución. (b) Acercamiento a la parte superior derecha de la imagen principal. (c) Acercamiento a la parte inferior izquierda de la imagen principal.

Las flechas en color verde denotan un par de partículas redondeadas cuyos diámetros son $D_1 = 15 \text{ nm}$ y $D_2 = 25 \text{ nm}$. Además, como se muestra en la flecha de color azul, las partículas tienden a no dispersarse, lo cual es un efecto deseable.

CONCLUSIONES

La formación de partículas nanométricas de LiFePO₄ afectan el desempeño de este material si éstas se encuentran dispersas, por lo que se vuelve la principal barrera del LiFePO₄ al no garantizarse su conectividad, teniendo como consecuencia una falta de contacto eléctrico entre los granos del material. Por lo tanto, es necesario desarrollar partículas secundarias de tamaño micrométrico las cuales estén compuestas por una gran cantidad de partículas primarias de LiFePO₄ de tamaño nanométrico.

Es necesario realizar estudios complementarios que permitan establecer los parámetros idóneos de procesamiento para mejorar el desempeño del LiFePO₄, estos incluyen estudios teórico y experimentales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue realizado gracias a que el proyecto 19342.24-P fue aprobado en la "Convocatoria Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2024 de los Institutos Tecnológicos Federales y Centros".

REFERENCIAS

- Gao, Y., Chen, K., Chen, H., Hu, X., Deng, Z., Wei, Z. (2017). Surfactant assisted solvothermal synthesis of LiFePO₄ nanorods for lithium-ion batteries. *Journal of energy chemistry*, from <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2016.10.016>
- Huang, X., Yao, Y., Liang, F., Dai, Y. (2018). Concentration-controlled morphology of LiFePO₄ crystals with an exposed (100) facet and their enhanced performance for use in lithium-ion batteries. *Journal of Alloys and Compounds*, from <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.02.048>
- Mathew, V., Alfaruqi, M. H., Gim, J., Song, J., Kim, S., Ahn, D., Kim, J. (2014). Morphology-controlled LiFePO₄ cathodes by a simple polyol reaction for Li-ion batteries. *Materials characterization*, from <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2014.01.004>
- Rojas-Chávez, H., Juárez-García, J. M., Herrera-Rivera, R., Flores-Rojas, E., González-Domínguez, J. L., Cruz-Orea, A., Mondragón-Sánchez, M. L. (2020). The high-energy milling process as a synergistic approach to minimize the thermal conductivity of PbTe nanostructures. *Journal of Alloys and Compounds*, from <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153167>
- Rojas-Chávez, H., Miralrio, A., Cruz-Martínez, H., Carbajal-Franco, G., & Valdés-Madrigal, M. A. (2024). Linking experimental findings and theoretical insights on the mechanochemical synthesis of PbTe quantum dots: The effect of ethylene glycol. *Materials Today Communications*, from <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.108124>
- Wang, Y., He, P., Zhou, H. (2011). Olivine LiFePO₄: development and future. *Energy & Environmental Science*, from <https://doi.org/10.1039/C0EE00176G>
- Wang, Y., Sun, B., Park, J., Kim, W. S., Kim, H. S., Wang, G. (2011). Morphology control and electrochemical properties of nanosize LiFePO₄ cathode material synthesized by co-precipitation combined with in situ polymerization. *Journal of Alloys and Compounds*, from <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.08.161>

Nanotecnología para la reducción de E-Waste: Diseños duraderos y eficientes para un futuro sostenible

Cordero Pérez Jonathan

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez
192S4018@alumno.ujat.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Nanotecnología, basura electrónica, impacto ambiental.

El presente trabajo tiene como objetivo principal explorar y analizar cómo la nanotecnología puede desempeñar un papel crucial en la reducción del impacto ambiental del E-Waste (desechos electrónicos), considerado uno de los problemas más urgentes dentro de la industria tecnológica. La acumulación masiva de residuos electrónicos no solo amenaza el medio ambiente, sino que también plantea riesgos significativos para la salud humana, debido a la liberación de sustancias tóxicas durante la disposición inadecuada de estos desechos. A través de esta investigación, se pretende profundizar en las innovaciones relacionadas con los materiales, los procesos de fabricación, y el diseño de componentes electrónicos que integren principios avanzados de nanotecnología, con el fin de lograr dispositivos que no solo sean más duraderos y eficientes, sino que también faciliten su desensamblaje y reciclaje al final de su vida útil. En este contexto, la nanotecnología emerge como una solución innovadora y prometedora, capaz de transformar tanto el diseño como la fabricación de dispositivos electrónicos.

ABSTRACT

Keywords:

Nanotechnology, e-waste, environmental impact.

The main objective of this work is to explore and analyze how nanotechnology can play a crucial role in reducing the environmental impact of E-Waste (electronic waste), considered one of the most urgent problems within the technology industry. The massive accumulation of electronic waste not only threatens the environment but also poses significant risks to human health due to the release of toxic substances during the improper disposal of these materials.

Through this research, the aim is to delve into innovations related to materials, manufacturing processes, and the design of electronic components that integrate advanced nanotechnology principles, in order to develop devices that are not only more durable and efficient but also facilitate disassembly and recycling at the end of their life cycle. In this context, nanotechnology emerges as an innovative and promising solution capable of transforming both the design and manufacturing of electronic devices.

INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea se encuentra inmersa en una era digital marcada por una constante evolución de dispositivos electrónicos que han revolucionado la forma en que nos comunicamos, trabajamos y nos entretenemos. Esta progresiva dependencia tecnológica ha generado un incremento exponencial en la generación de desechos electrónicos, conocidos como E-Waste, planteando una problemática ambiental y de sostenibilidad de alcance global. [1]

El vertiginoso avance tecnológico conlleva a una rápida obsolescencia de los dispositivos electrónicos, provocando que millones de toneladas de equipos computacionales, teléfonos móviles, electrodomésticos y otros dispositivos sean desechados cada año. Según estadísticas de la Plataforma StEP (Solving the E-Waste Problem), se estima que en 2019 se generaron alrededor de 53.6 millones de toneladas de desechos electrónicos a nivel mundial, cifra que se prevé aumentará en los próximos años si no se implementan medidas efectivas para su manejo y reducción. [1]

El problema del E-Waste no solo se limita a la cantidad masiva de dispositivos descartados, sino que también abarca las consecuencias ambientales y sociales derivadas de su gestión inadecuada. Estos desechos contienen materiales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio y otros metales pesados, así como compuestos químicos nocivos que representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente si no son tratados correctamente. [1]

La gestión inapropiada del E-Waste conlleva a la contaminación de suelos, aguas subterráneas y aire, poniendo en peligro la salud de comunidades enteras que están expuestas a estos residuos. Además, la disposición incorrecta de estos materiales conlleva a la pérdida de recursos valiosos, ya que los dispositivos electrónicos contienen metales preciosos y otros materiales recuperables que podrían ser reutilizados si se implementaran procesos de reciclaje adecuados. [2]

El E-Waste representa no solo un problema de contaminación ambiental, sino también de pérdida de recursos valiosos. Estos desechos contienen materiales

como metales pesados, plásticos y sustancias químicas nocivas que, al ser desechados de manera inapropiada, pueden filtrarse al suelo y al agua, contaminando ecosistemas enteros y representando un riesgo para la salud humana. Además, el descarte masivo de estos dispositivos implica una pérdida significativa de materias primas valiosas, como el oro, la plata y el cobre, que podrían ser recuperadas mediante un enfoque más eficiente en su gestión. [2]

Ante este desafío creciente, la aplicación de la nanotecnología se presenta como una prometedora solución para abordar el problema del E-Waste desde su raíz. La nanotecnología, que opera a escala nanométrica manipulando materiales en dimensiones extremadamente pequeñas, ofrece la posibilidad de diseñar componentes electrónicos más duraderos, eficientes y sustentables. La capacidad de trabajar a nivel molecular permite la creación de materiales más resistentes y ligeros, así como el desarrollo de dispositivos con menor consumo energético y mayor vida útil. [3]

En este contexto, la justificación de este estudio radica en la necesidad urgente de encontrar soluciones innovadoras y sostenibles para reducir la generación de desechos electrónicos y promover una gestión más eficiente de los recursos. La aplicación de la nanotecnología en la industria electrónica no solo podría reducir la cantidad de residuos generados, sino que también podría impulsar la transición hacia un modelo más circular y responsable, contribuyendo así a la construcción de un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. [3]

La aplicación de la nanotecnología para la reducción del E-Waste no solo tiene el potencial de mitigar un problema ambiental urgente, sino que también puede fomentar un cambio paradigmático hacia un modelo de consumo más consciente y sostenible. En este contexto, este estudio se propone explorar cómo la nanotecnología puede desempeñar un papel fundamental en la creación de diseños de dispositivos electrónicos que sean duraderos, eficientes y amigables con el entorno, allanando así el camino hacia un futuro más sostenible para las generaciones venideras. [3]

DESARROLLO

La problemática creciente del E-Waste (desechos electrónicos) ha despertado un interés considerable en encontrar soluciones innovadoras para reducir su impacto ambiental y promover un futuro más sostenible. La convergencia de la nanotecnología y la gestión de residuos electrónicos ha sido objeto de numerosos estudios e investigaciones, explorando cómo esta disciplina puede transformar la producción y el diseño de dispositivos para mitigar el problema del E-Waste. [4]

La nanotecnología, que se enfoca en manipular materiales a escala nanométrica, ha brindado nuevas oportunidades para desarrollar tecnologías más eficientes, resistentes y sostenibles. Uno de los campos más prometedores es su aplicación en la fabricación de dispositivos electrónicos. La capacidad de la nanotecnología para diseñar y modificar materiales a niveles atómicos y moleculares ha abierto un abanico de posibilidades para crear componentes electrónicos más duraderos y eficientes. [4]

En el ámbito de la nanoelectrónica, la miniaturización y la fabricación de componentes a escala nanométrica han sido objeto de estudios exhaustivos. Se están explorando materiales nanoestructurados, como nanotubos de carbono, grafeno y nanopartículas, para sustituir los materiales convencionales en dispositivos electrónicos. Estos materiales presentan propiedades únicas, como alta conductividad eléctrica, resistencia mecánica y ligereza, lo que los hace ideales para mejorar la eficiencia y durabilidad de dispositivos como teléfonos móviles, computadoras y electrodomésticos. [4]

Además, la nanotecnología está revolucionando los procesos de fabricación, permitiendo la creación de circuitos más pequeños y eficientes, lo que resulta en dispositivos con un menor consumo de energía. Las técnicas de fabricación a nivel nanométrico también están abriendo puertas para dispositivos "inteligentes", capaces de auto-repararse o adaptarse a diferentes condiciones de uso, prolongando así su vida útil. [5]

En cuanto al reciclaje y la gestión de desechos electrónicos, la nanotecnología ha sido un área de interés para recuperar y reutilizar los valiosos materiales presentes en estos dispositivos descartados. Se están investigando métodos nanotecnológicos para separar y recuperar eficientemente los metales preciosos, como oro, plata y cobre, así como otros materiales valiosos de los desechos electrónicos. Esta aproximación promete reducir la necesidad de extraer nuevos recursos y disminuir la dependencia de la minería. [5]

A nivel regulatorio y de políticas, se han propuesto iniciativas que buscan integrar la nanotecnología en la gestión de residuos electrónicos. Instituciones gubernamentales y organizaciones internacionales han reconocido el potencial de la nanotecnología para abordar el problema del E-Waste y han comenzado a implementar programas de investigación y desarrollo centrados en soluciones innovadoras basadas en esta disciplina. [6]

Sin embargo, a pesar del progreso y el potencial prometedor, existen desafíos considerables que deben abordarse para una implementación efectiva de la nanotecnología en la reducción del E-Waste. La seguridad ambiental y la salud humana son preocupaciones clave, ya que algunos materiales nanoestructurados pueden presentar riesgos desconocidos en su manipulación y eliminación. Se necesitan investigaciones adicionales para evaluar completamente los posibles impactos ambientales y de salud asociados con la nanotecnología utilizada en la gestión de desechos electrónicos. [6]

Asimismo, la viabilidad económica y la escalabilidad de las tecnologías nanotecnológicas para el reciclaje y la fabricación masiva de dispositivos electrónicos también son aspectos que requieren atención. Los costos de producción y los métodos de recuperación deben ser evaluados en términos de su eficacia y rentabilidad a largo plazo. [7]

Fundamento teórico

La nanotecnología ha revolucionado el campo de la electrónica al ofrecer innovaciones significativas mediante la manipulación y control de la materia a escala nanométrica. Este fundamento teórico examina los conceptos fundamentales y los avances clave en la aplicación de la nanotecnología en la electrónica, destacando su impacto en el diseño, fabricación y rendimiento de dispositivos electrónicos. Además, la reducción de desechos electrónicos (E-Waste) se presenta como un área crucial de investigación y desarrollo para abordar el creciente impacto ambiental de los residuos tecnológicos. Este documento explora cómo la nanotecnología puede ser clave para diseñar dispositivos más duraderos, eficientes y sostenibles, con el objetivo de mitigar el impacto del E-Waste y fomentar un futuro más sostenible. [7]

Nanotecnología y su aplicación en la electrónica

La nanotecnología está transformando la electrónica al permitir la manipulación de materiales y estructuras a escalas nanométricas, lo que otorga propiedades únicas que pueden ser explotadas en una amplia gama de aplicaciones. En el ámbito de la electrónica, esta tecnología ha permitido el desarrollo de componentes más pequeños y eficientes, lo que ha llevado a avances significativos en la velocidad y el rendimiento de dispositivos electrónicos. [8]

Uno de los principales beneficios de la nanotecnología en este campo es la creación de transistores a escala nanométrica. Estos transistores no solo son más pequeños, sino que también ofrecen un rendimiento superior en comparación con los transistores tradicionales. La reducción del tamaño permite una mayor densidad de integración, lo que significa que se pueden colocar más componentes en un solo chip, aumentando así la capacidad de procesamiento. Por ejemplo, la investigación en el uso de materiales como el grafeno y los nanotubos de carbono ha demostrado un potencial significativo para mejorar la conductividad y la velocidad de los transistores, facilitando el desarrollo de dispositivos más rápidos y eficientes. [9]

Además, la nanotecnología ha facilitado la creación de materiales innovadores que pueden adaptarse a diversas aplicaciones en la electrónica. Los materiales flexibles y transparentes a nanos escala permiten la fabricación de pantallas enrollables y dispositivos portátiles, transformando la forma en que interactuamos con la tecnología. Estos desarrollos están impulsando la creación de dispositivos electrónicos que son no solo más livianos y delgados, sino también más duraderos y funcionales. [9]

Otro aspecto notable es el impacto de la nanotecnología en la eficiencia energética de los dispositivos. Al integrar nanomateriales en baterías y capacitores, se ha mejorado la capacidad de almacenamiento y la velocidad de carga, lo que resulta en dispositivos que pueden funcionar por períodos más largos sin necesidad de recarga. Esta innovación es especialmente importante en un mundo donde la demanda de dispositivos móviles y conectados continúa en aumento. [10]

Además de los componentes electrónicos tradicionales, la nanotecnología también ha permitido el desarrollo de sensores avanzados. Estos sensores, que son capaces de detectar cambios sutiles en el entorno, están revolucionando aplicaciones en campos como la medicina, la seguridad y la industria automotriz. Los sensores basados en nanotecnología pueden proporcionar datos más precisos y en tiempo real, mejorando la eficacia de los sistemas de monitoreo y control. [10]

Sin embargo, a pesar de las prometedoras aplicaciones, la nanotecnología en la electrónica también enfrenta desafíos. La fabricación de dispositivos a nanos escala a menudo implica procesos complejos y costosos, lo que puede limitar la adopción generalizada de estas tecnologías. Además, existen preocupaciones sobre la toxicidad y el manejo de materiales a nanos escala, lo que requiere una evaluación cuidadosa para garantizar su seguridad. [10]

Residuos electrónicos y su impacto ambiental

Este tipo de residuos se ha convertido en un problema ambiental crítico, ya que su cantidad está aumentando rápidamente debido al crecimiento del consumo de

tecnología y la obsolescencia programada. Se estima que, en 2022, el mundo generó aproximadamente 62 millones de toneladas de e-waste, y se proyecta que esta cifra seguirá aumentando. [11]

Uno de los principales problemas ambientales asociados con el e-waste es la toxicidad de sus componentes. Los dispositivos electrónicos suelen contener metales pesados como plomo, mercurio, cadmio y cromo, así como sustancias químicas peligrosas que pueden liberarse al medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. Estos materiales pueden contaminar el suelo y el agua, afectando no solo la salud del ecosistema, sino también la salud humana. La exposición a estas toxinas puede provocar una serie de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias, problemas neurológicos y cáncer. [11]

El reciclaje de e-waste es fundamental para mitigar estos impactos ambientales. La recuperación de materiales valiosos, como metales preciosos y plásticos, no solo reduce la necesidad de extraer nuevos recursos, sino que también evita la liberación de sustancias tóxicas. Sin embargo, la tasa de reciclaje a nivel mundial es alarmantemente baja; en 2022, solo el 22.3% del e-waste generado fue documentado como recolectado y reciclado de manera adecuada. Esto resalta la necesidad de desarrollar mejores infraestructuras de reciclaje y fomentar la educación del consumidor para asegurar que los dispositivos electrónicos se manejen de manera responsable al final de su vida útil. [12]

Además, la creciente acumulación de e-waste representa un desafío para la economía circular. El e-waste no solo contiene materiales recuperables, sino que también está vinculado a una mayor generación de residuos si no se gestionan adecuadamente. Las iniciativas para abordar este problema deben incluir políticas que incentiven el reciclaje, así como el diseño de productos que faciliten la recuperación de materiales y la reutilización. [12]

Economía circular y sostenibilidad

El concepto de economía circular se fundamenta en la escuela ecologista y sugiere un cambio del paradigma tradicional de "reducir, reutilizar y reciclar" hacia una transformación más profunda y sostenible. Este modelo busca disminuir el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente al otorgar un papel central a los residuos, promoviendo su reutilización inteligente, ya sea de materiales orgánicos o tecnológicos. Actualmente, muchos países y empresas están adoptando este enfoque, que presenta claras ventajas al combinar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental. [13]

Para convertir en acciones concretas los principios de este sistema y lograr eficiencia en la recuperación y valoración de los residuos, es necesario fomentar la motivación, el conocimiento y la capacidad de innovación. Los proyectos que han tenido éxito se apoyan en la investigación y cuentan con la participación de profesionales de diversas disciplinas, como ingenieros, tecnólogos, microbiólogos, arquitectos, ecólogos, sociólogos y educadores. Además, es crucial que el Estado desempeñe un papel significativo a través de la implementación y auditoría de normativas que incentiven a la población a participar en procesos de reciclaje y que promuevan a las empresas involucradas en políticas ambientales. [13]

El modelo de economía circular busca redefinir la forma en que se diseñan y producen los productos desde su origen, integrando consideraciones de sostenibilidad y minimizando los riesgos asociados con la volatilidad de los precios de las materias primas. Con el pronóstico de que para 2030 habrá un aumento de tres mil millones de consumidores, es esencial cambiar la mentalidad de simplemente desechar los residuos por una que valore su reutilización. [14]

Un ejemplo de esta práctica es la empresa automotriz Renault, que aplica principios de economía circular en su planta de Choisy-le-Roi, Francia. Allí, se reingenierizan autopartes usadas a un costo de entre el 50% y el 70% del precio original. Aunque la planta emplea más trabajadores que la producción tradicional de autopartes, los costos se mantienen favorables debido a la reducción del impacto de los materiales

en el costo final. Como resultado, Renault ha logrado reducir el consumo de energía en un 80%, el uso de agua en un 88% y la generación de residuos en un 77% en comparación con sus métodos de producción tradicionales. [14]

Innovación tecnológica y desarrollo de materiales

Tradicionalmente, el descubrimiento y diseño de nuevos materiales han sido procesos lentos y que requieren muchos recursos, basados principalmente en métodos experimentales de prueba y error. Sin embargo, la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado este enfoque al permitir la creación de modelos predictivos, análisis basados en datos y un proceso acelerado de selección de materiales. A través del uso de IA y métodos automatizados, por ejemplo, se logró sintetizar cinco veces más cristales de perovskita de haluro metálico utilizando un proceso de cristalización inversa por temperatura. [15]

Los algoritmos de aprendizaje automático, en particular el aprendizaje profundo, han demostrado una capacidad notable para predecir las propiedades de los materiales, permitiendo el análisis de enormes cantidades de datos estructurales, electrónicos y termodinámicos, lo que permite identificar patrones y correlaciones que serían difíciles de detectar mediante métodos tradicionales. [15]

Esto ha facilitado a los investigadores identificar materiales prometedores con propiedades específicas, como baterías de alto rendimiento, superconductores o compuestos livianos. La nanotecnología se distingue por su capacidad para diseñar materiales a escala nanométrica, donde emergen propiedades físicas y químicas únicas. [16]

La IA complementa esta capacidad al proporcionar un control preciso sobre el diseño de nanomateriales para aplicaciones específicas. Un ejemplo de ello es el uso de redes neuronales convolucionales de grafos cristalinos, que permiten diseñar nanomateriales con propiedades específicas mediante la predicción precisa de sus características utilizando la teoría funcional de la densidad y conocimientos químicos a nivel atómico. [16]

Los algoritmos de IA optimizan la composición, estructura y propiedades de los nanomateriales para cumplir con criterios específicos. En el desarrollo de catalizadores más eficientes, por ejemplo, la IA puede diseñar nanopartículas con estructuras superficiales ajustadas para mejorar la actividad catalítica. [17]

De manera similar, en la nanoelectrónica, el diseño guiado por IA puede crear semiconductores con las brechas de banda electrónica necesarias para mejorar el rendimiento de dispositivos avanzados. Esta integración entre IA y nanotecnología fomenta la colaboración interdisciplinaria entre científicos de materiales y expertos en IA, lo que ha llevado a innovaciones como recetas generadas por IA para acelerar la creación de materiales avanzados con funcionalidades específicas. [17]

Gestión de residuos y reciclaje

Los desechos electrónicos (e-waste) contienen metales valiosos y raros, lo que los convierte en una fuente potencial para la obtención de nanopartículas. Sin embargo, aunque el reciclaje de e-waste es crucial para la sostenibilidad, es fundamental considerar los riesgos asociados con estos procesos para maximizar su impacto positivo en el medio ambiente. [18]

Los dispositivos electrónicos contienen sustancias tóxicas como metales pesados y elementos raros, que, si no se gestionan adecuadamente, pueden liberarse al medio ambiente. Por esta razón, el reciclaje de e-waste es esencial para evitar que estas sustancias peligrosas contaminen el entorno. No obstante, las tecnologías actuales de reciclaje de desechos electrónicos no siempre son sostenibles, ya que suelen emitir gases de efecto invernadero y requieren grandes cantidades de energía, como ocurre en los procesos de fusión de componentes. [18]

Para transformar el e-waste en nanopartículas, se necesita un sistema organizado de recolección, seguido de procesos como la separación magnética y el corte de los materiales. Posteriormente, se emplean métodos como la bioleaching (biolixiviación) y biosorción, y finalmente, una síntesis sostenible mediante recursos naturales como microorganismos y extractos de plantas. [18]

Aunque algunos estudios muestran resultados prometedores al utilizar estos métodos respetuosos con el medio ambiente, aún se requiere más investigación para que estas tecnologías sean viables a gran escala. Los investigadores concluyen que la síntesis sostenible de nanopartículas metálicas a partir de desechos electrónicos, especialmente de placas de circuitos impresos (WPCBs), podría ofrecer soluciones tecnológicas y ambientales importantes. [19]

Por último, aunque el reciclaje de e-waste para la producción de nanopartículas metálicas es una innovación con potencial, aún queda mucho por hacer antes de que estas tecnologías puedan aplicarse de manera generalizada en la industria. Las principales áreas que deben abordarse incluyen la creación de un sistema eficiente de recolección y tratamiento de residuos, así como garantizar que estos procesos cumplan con criterios de sostenibilidad económica y social. [19]

Resultados esperados

El análisis del potencial de la nanotecnología en el ámbito de los residuos electrónicos proyecta una evaluación exhaustiva sobre su eficacia en el reciclaje y recuperación de componentes valiosos. Este estudio podría revelar una mayor eficiencia en la extracción de materiales, posiblemente llevando a una reducción significativa en la cantidad total de desechos electrónicos y una disminución de elementos nocivos presentes en estos residuos gracias a la implementación de métodos nanoestructurados. Además, se anticipa que este análisis brinde una visión más clara sobre cómo la nanotecnología podría contribuir a la promoción de una economía circular, facilitando la reintegración más efectiva de materiales recuperados en la cadena de producción. Se espera obtener información detallada acerca del impacto ambiental y económico de la nanotecnología en la gestión de residuos electrónicos, incluyendo posibles reducciones en la huella de carbono y evaluaciones de costos y beneficios. Finalmente, se prevé que estos resultados den pautas y sugerencias para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas, identificando áreas clave para un estudio más profundo y proporcionando orientación sobre la implementación exitosa de la nanotecnología en este campo.

Conclusiones preliminares

La exploración del potencial de la nanotecnología en la gestión de residuos electrónicos ha revelado perspectivas prometedoras para abordar los desafíos actuales en este campo. Los hallazgos preliminares sugieren que la aplicación de materiales nanoestructurados en el reciclaje y recuperación de componentes de desechos electrónicos puede tener un impacto significativo. Se vislumbra la posibilidad de reducir la cantidad total de desechos electrónicos, así como de disminuir la presencia de materiales tóxicos en estos residuos, lo que podría conducir a prácticas más sostenibles y menos dañinas para el medio ambiente. Además, se ha destacado el potencial para fomentar la economía circular al reintegrar eficientemente materiales recuperados en la cadena de producción. Estos resultados iniciales subrayan la importancia de profundizar en esta investigación para comprender mejor el verdadero alcance y las posibilidades de la nanotecnología en la gestión de residuos electrónicos, ofreciendo la oportunidad de desarrollar estrategias más efectivas y sostenibles en el manejo de desechos tecnológicos.

REFERENCIAS

- [1] Jain, M., Kumar, D., Chaudhary, J., Kumar, S., Sharma, S., & Verma, A. S. (2023). Review on E-waste management and its impact on the environment and society. *Waste Management Bulletin*, 1(3), 34-44. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.06.004>
- [2] Thukral, S., & Cosnier, S. (2023). An Exploratory Study on Producer's Perspective towards e-waste Management: A case of Emerging Markets. *Cleaner waste systems*, 5, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100090>
- [3] Zhang, Y., Wu, L., Ma, J., & Cui, G. (2023). Nanotechnology in solid state batteries, what's next? *Next Nanotechnology*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.nxnano.2023.100011>
- [4] AbdelHamid, A. A., Mendoza-Garcia, A., & Ying, J. Y. (2022). Advances in and prospects of nanomaterials' morphological control for lithium rechargeable batteries. *Nano Energy*, 93, 106860. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106860>
- [5] Nanotechnology for electronic materials and devices. (2006b). *Materials Today*, 9(12), 63. [https://doi.org/10.1016/s1369-7021\(06\)71746-1](https://doi.org/10.1016/s1369-7021(06)71746-1)
- [6] Chethipuzha, M., Abraham, A. R., Kalarikkal, N., Thomas, S., & Sreeja, S. (2021). Embracing nanotechnology concepts in the electronics industry. En *Elsevier eBooks* (pp. 405-421). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822352-9.00004-3>

- [7] Li, W., & Achal, V. (2020). Environmental and health impacts due to e-waste disposal in China – A review. *The Science Of The Total Environment*, 737, 139745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139745>
- [8] Ma, Y., Konečná, E., Cline-Cole, R., Harrad, S., & Abdallah, M. A. (2023). Are UK e-waste recycling facilities a source of environmental contamination and occupational exposure to brominated flame retardants? *Science of The Total Environment*, 898, 165403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165403>
- [9] Manikandan, S., Inbakandan, D., Nachiyar, C. V., & S, K. R. N. (2023). Towards sustainable metal recovery from e-waste: A mini review. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 2, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100001>
- [10] Gong, H., & Andersen, A. D. (2023). The role of material resources for rapid technology diffusion in net-zero transitions: Insights from EV lithium-ion battery Technological Innovation System in China. *Technological Forecasting And Social Change*, 200, 123141. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123141>
- [11] Thukral, S., & Singh, M. (2023). An exploratory study on producer's perspective towards E-waste management: A case of emerging markets. *Cleaner Waste Systems*, 5, 100090. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100090>
- [12] Olawade, D. B., Ige, A. O., Olaremu, A. G., Ijiwade, J., & Adeola, A. O. (2024). The Synergy of Artificial Intelligence and Nanotechnology Towards Advancing Innovation and Sustainability-A Mini-Review. *Nano Trends*, 100052. <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2024.100052>
- [13] Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 1-2. [https://doi.org/10.1016/s0325-7541\(14\)70039-2](https://doi.org/10.1016/s0325-7541(14)70039-2)
- [14] Bhavan, J. S., Joy, J., & Ashwath, P. (2023). Identification and recovery of rare earth elements from electronic waste: Material characterization and recovery strategies. *Materials today communications*, 106921. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106921>
- [15] Turner, A., & Filella, M. (2023). Chemical characteristics of artificial plastic plants and the presence of hazardous elements from the recycling of electrical and electronic waste. *Science of The Total Environment*, 903, 166083. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166083>
- [16] Taha, T. B., Barzinjy, A. A., Hussain, F. H. S., & Nurtayeva, T. (2022). Nanotechnology and Computer Science: Trends and advances. *Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.memori.2022.100011>
- [17] Donaldson, L. (2010). Silicon nanowires could mean even smaller electronic devices. *Materials Today*, 12, 9. [https://doi.org/10.1016/s1369-7021\(10\)70139-5](https://doi.org/10.1016/s1369-7021(10)70139-5)
- [18] Evertsen, P. H., Rasmussen, E., & Nenadić, O. (2022). Commercializing Circular Economy Innovations: A Taxonomy of Academic Spin-offs. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122102. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122102>
- [19] Pavoski, G., Botelho, A. B., Chaves, R. M., Maraschin, T. G., Oviedo, L. R., Martins, T. A. G., Da Silva, W. L., Bertuol, D. A., & Espinosa, D. C. R. (2022). Nanotechnology and recycling, remanufacturing, and reusing battery. En Elsevier eBooks (pp. 53- 78). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91134-4.00022->

El Huerto Escolar Agroecológico como Estrategia de Enseñanza-Aprendizaje en el TecNM Campus Cosamaloapan

Heribia Virués Arturo, Rodríguez Chiunti Miguel Ángel, Vidal Gamboa Adán.

TecNM-Cosamaloapan
arturo.hv@itsco.edu.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Huertos Escolares, Cultura Ambiental, Sustentabilidad.

En este trabajo se describe la experiencia del establecimiento de un “Huerto Escolar Agroecológico” en las instalaciones del Instituto tecnológico Superior de Cosamaloapan, con la finalidad fue promover en los estudiantes del programa académico de ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, la identidad y pertenencia Institucional, así como desarrollar la creatividad, la cooperación, la responsabilidad, y el respeto; para generar una alfabetización del cuidado del medio ambiente. El objetivo fue la proyección de un huerto escolar agroecológico, con la participación de los estudiantes, para dar cumplimiento a la autonomía curricular. Se cultivaron hortalizas en almácigos, a cielo abierto y en macro-túneles, con la participación de alumnos y docentes. Los resultados indican que, se logró empoderar valores ambientales como: a) La Creatividad; b) La Cooperación, ya que los estudiantes crearon equipos de trabajo; c) La Responsabilidad, al desarrollar tareas de cuidado y manejo de las hortalizas; y d) El respeto, al crear con el trabajo, un ambiente amigable. Finalmente, los huertos escolares agroecológicos son una estrategia eficaz, que empodera a los estudiantes hacia una cultura ecológica, el cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad en el manejo de los recursos naturales; logrando una educación integral de los estudiantes del Tecnm-Campus Cosamaloapan.

ABSTRACT

Keywords:

Huertos Escolares, Cultura Ambiental, Sustentabilidad.

This work describes the experience of establishing an “Agroecological School Garden” in the facilities of the Higher Technological Institute of Cosamaloapan, with the purpose of promoting institutional identity and belonging in the students of the academic engineering program in Sustainable Agricultural Innovation. as well as developing creativity, cooperation, responsibility, and respect; to generate literacy in caring for the environment. The objective was the projection of an agroecological school garden, with the participation of students, to comply with curricular autonomy. Vegetables were grown in seedbeds, in the open air and in macro-tunnels, with the participation of students and teachers. The results indicate that it was possible to empower environmental values such as: a) Creativity; b) Cooperation, since the students created work teams; c) Responsibility, when

developing tasks of care and management of vegetables; and d) Respect, by creating a friendly environment at work. Finally, agroecological school gardens are an effective strategy that empowers students towards an ecological culture, care for the environment and sustainability in the management of natural resources; achieving a comprehensive education for the students of the Tecnm-Campus Cosamaloapan.

INTRODUCCIÓN

El derecho de todo ciudadano mexicano a la educación, se encuentra establecida en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en su Artículo 3º dice que: “Toda persona tiene derecho a recibir educación...” y el derecho a disfrutar de un medio ambiente sano está establecido en el Artículo 4º que a la letra dice: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar”.

Considerando que la educación que hoy reciben las y los estudiantes del sistema Tecnológico Nacional de México será decisiva en su futuro y en el de sus comunidades, debemos preocuparnos y ocuparnos por brindar una educación de excelencia y con sentido humano, tal y como se propone en la Nueva Escuela Mexicana (NEM) que, a partir del año 2019, busca dar al Sistema Educativo Mexicano un enfoque crítico, humanista y comunitario para formar ciudadanos con una visión integral, donde el estudiante no solo adquiera conocimientos y habilidades cognitivas sino también para:

... ”1) conocerse, cuidarse y valorarse a sí mismos; 2) aprender acerca de cómo pensar y no en qué pensar; 3) ejercer el diálogo como base para relacionarse y convivir con los demás; 4) adquirir valores éticos y democráticos; y 5) colaborar e integrarse en comunidad para lograr la transformación social” (SEP, 2023).

Con base en la NEM y con la primicia de formar ciudadanos autónomos, con sentido humano y crítico, capaz de construir su propio futuro en sociedad, se plantea la creación de un huerto escolar universitario con la finalidad de fortalecer los valores y actitudes positivas de los alumnos llevando a cabo el trabajo colaborativo, fomentando la sana convivencia y la mejora de sus aprendizajes, contribuyendo a

ampliar la formación académica, potenciar el desarrollo personal y social de los educandos, desarrollar nuevos contenidos relevantes, la adquisición de conocimientos regionales y la creación de proyectos de impacto académico y social. El presente trabajo tuvo como finalidad promover en los discentes, la identidad y pertenencia institucional que les permita un desarrollo de experiencias con su entorno, crear conciencia, desarrollar la creatividad, la cooperación, la responsabilidad, y el respeto; para generar una alfabetización alimentaria, teniendo como directriz el cuidado y disfrute de un medio ambiente sano. El objetivo planteado, además de dar cumplimiento a la autonomía curricular, está en correspondencia a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados en la agenda 2030, tales como "Hambre cero", "Salud y Bienestar", "Educación de Calidad", entre otros (ONU, 2015), y se alinea cabalmente con la "Agenda estratégica de autosuficiencia alimentaria y rescate del campo mexicano" (Tecnm, 2024), propuesta por el Tecnológico Nacional de México.

DESARROLLO

El presente trabajo se realizó durante el ciclo escolar ciclo 2023-2024, considerando dos etapas. La primera etapa abarcó el semestre agosto-diciembre/2023, considerando para la siembra cultivos de hoja ancha como acelgas (*Beta vulgaris var. cicla*), lechugas (*Lactuca sativa*), rábano (*Raphanus sativus*) y Col (*Brassica oleracea var. capitata*). En la segunda etapa, semestre febrero-junio/2024, se consideraron cultivos como Tomate (*Solanum lycopersicum*), Chile habanero (*Capsicum chinense*), Pepino (*Cucumis sativus*) y Girasol (*Helianthus annuus*).



Figura 1. Limpieza de Terreno.

Nota: Alumnos limpiando el área de trabajo. Trabajo propio.

En ambas etapas se contó con la participación activa de los alumnos del programa académico de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, especialmente de los alumnos de nuevo ingreso, quienes mostraron mayor empatía y colaboración.



Figura 2. Preparación del Terreno

Nota: Preparando las “camas” de cultivo. Trabajo propio.

Como parte del programa de capacitación a alumnos, se realizaron diversas pláticas técnicas, con la finalidad de facultar a los jóvenes sobre la producción y manejo de hortalizas y facilitando la toma de decisiones al interior de los equipos de trabajo, con esta estrategia, se pudo conseguir que las y los alumnos no abandonaran las aulas durante la jornada académica, y que en su tiempo libre se ocuparan del trabajo colaborativo y la programación de actividades en campo, dando como resultados la convivencia y la participación individual y grupal, también se trabajaron valores ambientales como el respeto, la cooperación, la responsabilidad, la tolerancia, la dignidad, etc. haciendo énfasis en la equidad de género entre los discentes y la defensa y promoción del derecho humano a disfrutar de un medio ambiente sano.

Para llevar a cabo el presente trabajo, se planteó el siguiente calendario de actividades, considerando un Modelo agronómico para el establecimiento de cultivos:

Una vez capacitados los estudiantes, se realizó la medición de las parcelas, para formar equipos y asignar espacios de trabajo. Al mismo tiempo que se establecía el proyecto de huertos escolares, se construía un compostero para la fertilización orgánica de los cultivos, con material de residuo de cocina de los hogares de los alumnos, algunos desechos orgánicos de las verdulerías de la comunidad, desperdicios orgánicos de la cafetería de la institución y se enriqueció con estiércol de vaca y hojas secas que recolectaron los estudiantes, así como se capacitó a los estudiantes en la elaboración de caldo sulfocálcico para el control de plagas y enfermedades. Cabe señalar, que la elaboración de composta surgió como propuesta de las y los alumnos para la nutrición orgánica de los cultivos

Tabla 1. Calendario de actividades. Elaboración propia.

Nota: se muestra el calendario de actividades y la temporalidad de cada una.

| ACTIVIDAD | 2022 | | | | | 2023 | | | | | |
|---------------------------------|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN |
| ELABORACIÓN DEL PROYECTO | | | | | | | | | | | |
| PRESENTACIÓN DEL PROYECTO | | | | | | | | | | | |
| CAPACITACIÓN A ALUMNOS | | | | | | | | | | | |
| ESTABLECIMIENTO DEL ALMACIGO | | | | | | | | | | | |
| LIMPIEZA DE TERRENO | | | | | | | | | | | |
| ESTABLECIMIENTO DE LA HUERTO | | | | | | | | | | | |
| ESTABLECIMIENTO DEL COMPOSTARIO | | | | | | | | | | | |
| FORMADO DE CAMA DE CULTIVO | | | | | | | | | | | |
| DISEÑO DE MACROTÚNELES | | | | | | | | | | | |
| TRANSPLANTE | | | | | | | | | | | |
| LABORES DE CULTIVO | | | | | | | | | | | |
| LABORES DE COSECHA | | | | | | | | | | | |
| PRESENTACIÓN DE RESULTADOS | | | | | | | | | | | |

**.Figura 3.** Elaboración de Caldo Sulfocálcico para el control de plagas y enfermedades.

Nota: Elaboración de productos biológicos para el control de plagas. Trabajo propio.

Considerando las condiciones de manejo inicial del cultivo, se propuso el uso de charolas de germinación, las cuales fueron lavadas y desinfectadas con una solución de 0.1 % de Hipoclorito de Sodio, con la previa capacitación respecto a la importancia del uso de charolas de germinación, requerimientos de la semilla para la germinación, problemas fitosanitarios del almácigo, así como el manejo de plántula en almácigo.



Figura 4. Almacigo.

Nota: Plántulas de Chile Habanero (*Capsicum chinense*) y Pepino (*Cucumis sativus*) en charola de germinación. Trabajo propio.

Para la construcción de la estructura de los macro túneles (arcos), se utilizó material de la región, tal es el caso de la jimba (*Olmeca recta*), este género está presente sólo en México y recibe su nombre como homenaje a “Los Olmecas”, una de las primeras civilizaciones mexicanas, la cual floreció entre los 700 y 400 A.C., habitando la zona selvática donde se encuentra este bambú (Reservaeleden.org, 2019). El nombre de la especie, recta, hace referencia a los tallos de la planta, que crecen de forma recta y vertical, llegando a alcanzar los 4 a 5 metros de largo, con la ventaja de ser muy flexible y durable.



Figura 5. Estructura de Macrotúnel construido con Jimba (Olmeca erecta).

Nota: Construyendo el Macrotúneles en equipo. Trabajo propio.

Cabe mencionar, que al inicio del proyecto hubo indiferencia por parte de los estudiantes, debido a que en la región no se cultivan hortalizas, ya que existe establecido el monocultivo de la caña de azúcar, el Municipio de Cosamaloapan (lugar donde nos encontramos), junto con los municipios de Pánuco y Tres Valles son los que poseen la mayor superficie sembrada de caña de azúcar en el Estado, tan solo en la zafra 2018-2019, se cultivaron más de 300 mil hectáreas (SEDARPA, 2019).

La educación es factor de progreso y tiene repercusiones en la calidad de vida; en la igualdad social; en las normas y prácticas de la convivencia humana, influye en el desarrollo social, en la capacidad y creatividad de las personas y las comunidades. El nivel educativo en mujeres y hombres tiene consecuencias directas en sus posibilidades y condiciones de vida. Las mujeres especialmente en las zonas rurales y marginadas del país, han visto limitadas sus posibilidades en este rubro, no obstante, se insertan cada vez más al sistema educativo, con lo cual las diferencias entre hombres y mujeres se han reducido.



Figura 6. Equidad de género. Nota: El trabajo integrador y equitativo.

Hoy la brecha de género en la tasa de alfabetismo se reduce de manera constante del año 2000 al 2008. A partir del año 2009 y hasta 2017 para las mujeres jóvenes supera ligeramente a la de los hombres de esa edad aun en 0.1 puntos porcentuales, en promedio. En 2017 la asistencia escolar femenina de 3 a 14 años de edad supera a la masculina en 20 estados del país, destacan Michoacán, Baja California, Jalisco y Chihuahua con diferencias de 3.7, 3.1, 2.9 y 2.8 puntos porcentuales respectivamente. En Veracruz la asistencia escolar de hombres es superior a la de mujeres por 3.3 puntos porcentuales (Instituto Nacional de Estadística, 2018). Por lo anterior, fue muy importante haber incluido a alumnas en el proyecto de huertos escolares con el propósito de empoderar a la mujer en una alfabetización ambiental con rostro humano.



Figura 7. Trabajo en equipo.

Nota: Trasplante de plántulas con acolchado, fertiriego y mallasombra. Trabajo propio.

RESULTADOS

Con base en observaciones a profundidad y la interacción directa con la comunidad escolar; así como con la cosecha de hortalizas, los resultados indican que se logró de manera cualitativa el empoderamiento de valores ambientales, tales como: a) La Creatividad al generar ideas de qué tipo de hortalizas y donde querían cultivar; b) La Cooperación ya que los estudiantes crearon equipos de trabajo; c) La Responsabilidad ya que desarrollaron tareas de cuidado y manejo de las hortalizas; y d) El Respeto ya que se logró trabajar con estudiantes de ambos sexos, creando un ambiente de amistad y cordialidad. Debemos recalcar que fue fundamental el trabajo en equipo y la equidad de género para realizar el presente proyecto.

Hoy más que nunca debemos construir escenarios deseables, posibles y factibles para concientizar a la comunidad estudiantil de los graves efectos que puede acarrear el deterioro ambiental. Por lo que tenemos que modificar nuestros hábitos de consumo y de nuestra relación con la naturaleza. Por tanto, la academia debe ocuparse de formar un nuevo ciudadano con alfabetización ambiental e involucrar a toda la comunidad estudiantil, Directivos, administrativos, docentes, personal de apoyo, etcétera; ya que los problemas ambientales nos afectan a todos.



Figura 8. Macrotúnel con malla sombra listo para la siembra de hortalizas.

Nota: Uso de malasombra para contrarrestar el efecto de la radiación solar en el cultivo. Trabajo propio.



Figura 9. Control de plagas con Caldo Sulfocálcico.

Nota: aplicación foliar de productos agroecológicos. Trabajo propio.

Por lo anterior, tenemos que reflexionar y diseñar estrategias para tratar de atenuar el deterioro ambiental. Si la naturaleza nos ha dado todo, pues es obligación de

conducirse con creatividad, responsabilidad, respeto, cooperación. Por lo tanto; debemos hacer un contrato natural.



Figura 10. Resultados del aprendizaje.

Nota: Cosechando resultados. Trabajo propio.

CONCLUSIONES

Finalmente, podemos concluir, que los huertos escolares agroecológicos como estrategia de enseñanza aprendizaje de la Nueva Escuela Mexicana, son una herramienta eficaz y eficiente, ya que empodera a los estudiantes hacia una cultura ambiental que fortalece la conciencia de los discentes hacia el manejo sustentable de los recursos naturales; así como tener una relación más armónica en la relación naturaleza-ser humano y desarrollar actitudes positivas y más amigables con el ambiente natural, social y construido; logrando una educación de calidad y más

integral en los estudiantes del programa educativo de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, pero que puede ser aplicable a cualquier programa ofertado en nuestra institución.

Los huertos escolares agroecológicos deben ser una herramienta potencial para educar con perspectiva de género; en valores ambientales y hacer énfasis en la defensa y promoción del derecho humano a disfrutar de un medio ambiente sano. Por lo tanto, es importante recalcar de la importancia de la ambientalización curricular en todos los niveles educativos del Sistema Educativo Mexicano.

REFERENCIAS

- Instituto Nacional de Estadística, G. e. (2018). *Mujeres y hombres en México 2018*. México: INEGI-INMUJERES.
- ONU. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org>: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopt-a-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/#>
- Reservaeleden.org. (25 de 02 de 2019). <http://reservaeleden.org>. Obtenido de <http://reservaeleden.org/plantasloc/fichas/fichasres/olmecarecta.html>
- SEDARPA. (21 de 02 de 2019). *Veracruz, líder en producción de caña de azúcar*. Obtenido de <http://www.veracruz.gob.mx>.
- SEP. (2023). *La Nueva Escuela Mexicana (NEM): orientaciones para padres y comunidad en general*. Obtenido de sep.gob.mx :
- https://educacionmediasuperior.sep.gob.mx/work/models/sems/Resource/13634/1/images/030623_La%20Nueva%20Escuela%20Mexicana_orientaciones%20para%20padres%20y%20comunidad%20en%20general_COSFAC.pdf
- Tecnm. (27 de 07 de 2024). <https://itchina.edu.mx/>. Obtenido de <https://itchina.edu.mx/wp-content/uploads/2023/03/AGENDA-ESTRATEGICA-AUTOSUFICIENCIA-ALIMENTARIA-2023.pdf>

Nanofiltración

Alonzo Pulido Reyna María, Gordillo de la Cruz Jose Isaías.

*División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez
152s4120@egresados.ujat.mx*

RESUMEN

Palabras clave:

Nanofiltración, membranas, aplicaciones.

Esta revisión analizará de manera integral los avances recientes en la investigación de membranas de nanofiltración, además de una descripción de los materiales nuevos más desarrollados. Además, hablaremos acerca de la nanofiltración, el cual es un método prometedor para la eliminación de iones de metales pesados realizado por medio de membranas. Las aplicaciones se encuentran típicamente en la purificación de agua, alimentos, químicos, pulpa y papel y las industrias textiles. Los Nanofiltros tienen propiedades que nos ayudan a combatir la propagación de contaminantes ya sea en el aire como en el agua, este método de nanofiltración puede mejorar un poco el problema de la alta concentración; sin embargo, aún persisten una serie de desafíos en su aplicación, como las dificultades para controlar la suciedad y el tamaño de los poros de la membrana, así como la biodegradabilidad del material con la que se fabricara.

ABSTRACT

Keywords:
Nanofiltration, membranes, applications.

This review will take a comprehensive look at recent advances in nanofiltration membrane research, as well as a description of the most developed new materials. In addition, we will discuss nanofiltration, which is a promising method for membrane-based removal of heavy metal ions. Applications are typically found in water purification, food, chemical, pulp and paper and textile industries. Nanofilters have properties that help us to combat the spread of pollutants in both air and water, this method of nanofiltration can somewhat improve the problem of high concentration; however, there are still a number of challenges in its application, such as difficulties in controlling the fouling and pore size of the membrane, as well as the biodegradability of the material from which it is made.

En la actualidad existe la exposición de toda la población humana a partículas exógenas de dimensiones muy pequeñas lo cual se puede considerar omnipresente, estas partículas se encuentran en el aire que respiramos y también en los productos de consumo que utilizamos casi a diario.

La nanofiltración es un método de separación por membrana que se utiliza para purificar, separar o concentrar una solución, eliminando contaminantes como iones inorgánicos del agua. (**Dun et al., 2024**) Sin embargo, la preparación de membranas de nanofiltración de alto rendimiento con alta permeabilidad y selectividad es un gran desafío. Las membranas de nanofiltración desempeñan un papel crucial en el tratamiento avanzado del agua; sin embargo, aún persisten una serie de desafíos en su aplicación, como las dificultades para controlar la suciedad y el tamaño de los poros de la membrana, así como la biodegradabilidad del material de la membrana. Las tecnologías de separación basadas en membranas han ido surgiendo en el tratamiento de aguas residuales, especialmente en la desalinización, en las últimas décadas a costa de un mayor consumo de energía a pesar de contar con métodos de recuperación de energía integrados en la tecnología de separación. Por lo tanto, las membranas utilizadas en estas tecnologías de separación se modifican para proporcionar un alto rechazo y un flujo de alta permeabilidad al agua a expensas de menores requisitos de energía. (**Reddy et al., 2022**)

La tecnología de separación por membranas es un método desarrollado recientemente que exhibe una practicidad significativa, alta eficiencia y conservación de energía. La aplicación de esta tecnología es extensa y abarca diversos sectores como la biotecnología, el sector farmacéutico, la desalinización de agua de mar, la purificación de aguas superficiales, el tratamiento de aguas residuales y otros campos relacionados (**Zheng et al., 2024**) El mercado global de membranas de nanofiltración está impulsado por sus aplicaciones y la demanda de los usuarios finales, que incluyen el tratamiento de aguas y aguas residuales, alimentos y bebidas, productos químicos y petroquímicos, farmacéuticos y biomédicos, industria textil y metalúrgica.

Tecnología Recientes De Membranas De Nanofiltración

se han utilizado membranas de nanofiltración, en muchas aplicaciones interesantes, especialmente en el tratamiento y desalinización de agua y aguas residuales. Otras aplicaciones incluyen aquellas en aplicaciones farmacéuticas y biotecnológicas, alimentarias y no acuosas. El uso exitoso de las membranas de nanofiltración se ha debido a su singularidad en tener selectividad entre la separación prevista dependiendo de la aplicación de interés, las membranas de nanofiltración seguirán encontrando nuevos aplicaciones en diversas áreas, especialmente para el tratamiento de agua y aguas residuales, desalinización de agua, pre tratamiento en desalinización de agua de mar, separación de pequeños compuestos orgánicos, aplicaciones farmacéuticas, biotecnológicas y alimentarias. Definitivamente habrá aplicaciones más interesantes que se explorarán en el futuro.

Avances en la nanotecnología ha empujado el límite en términos de fabricación de Membranas TFC y TFN NF de película delgada obtenidas a través del método de polimerización interacial. Otros métodos como UV o foto injerto, irradiación con haz de electrones, injerto de plasma y estratificación los métodos por capas encontrarán su nicho en términos de desarrollo a pequeña escala; Sin embargo, estas técnicas tendrán su limitación y problemas cuando se requiere la producción a gran escala de membranas, También se explorarán nanomateriales y otros tipos de aditivos para determinar el efecto de estos nuevos materiales sobre las propiedades de la membrana y rendimiento (**Shi Li et al., 2022**).

Caracterización De Membranas De Nanofiltración.

Hay diversos análisis o técnicas para emplear en dichas membranas, pero las más comunes a utilizar son las siguientes mencionadas líneas abajo:

- Técnica de adsorción-desorción de gas: también conocida como Brunauer, este método Emmett-Teller (BET), permite la medición directa de una distribución del tamaño de poro.

- Microscopía de fuerza atómica (AFM): permite la medición directa de tamaño y distribución de los poros, rugosidad de la superficie, topografía y fuerza interacciones entre la membrana y los coloides.
- El uso de estudios y modelos de rechazo de solutos neutros, permite medición exacta del tamaño de poro (y distribución si se combina con otras técnicas).
- Impregnación superficial inversa acoplada con Electrón de Transmisión Microscopía (TEM), permite la medición directa del tamaño de poro y distribución.

Cada una de las metodologías mencionadas anteriormente sirven para proporcionar información útil si se emplea correctamente. Sin embargo, debido a las escalas de longitud y las diversas imperfecciones asociadas con cada método, siempre se recomienda la combinación de metodologías, así como la aplicación de la razón lógica. La Medición de las propiedades de carga de membranas NF es la otra variable clave requerida para el proceso permanente y estos varían dependiendo de la naturaleza de la solución de contacto, la concentración y el pH. Otra medición de caracterización útiles para las membranas NF y más útil es la microscopía (SEM) que nos ayuda a obtener imágenes de la superficie de la membrana, cruces entre membrana y sección, así como capas de ensuciamiento. Otras técnicas incluyen simples métodos con equipos de costo relativamente bajo, como el ángulo de contacto para hidrofilicidad/hidrofobicidad. técnicas de coste para morfología de membranas y análisis estructural tales como métodos de espectroscopia, pero la clave del éxito es elegir la técnica adecuada, con la resolución adecuada para el propósito final deseado. (**Shi Li et al., 2022**).

Las membranas incorporadas con nanopartículas han ganado atención debido a su capacidad para aumentar la permeabilidad de la membrana. Las nanopartículas han recibido mucha atención debido a sus propiedades únicas en términos de fotoemisión, antimicrobianas y actividad catalítica.

Algunos ejemplos con los que se han implementado las membranas de nanofiltración son dióxido de titanio (TiO₂), silicio y óxido de zinc (ZnO). Existen otro

tipos de nanomateriales para la fabricación de membranas como lo son nanotubos de carbono funcionada de haloisita y nanofibra electro hilada. El objetivo hacia una mejora importante de las membranas de nanofiltración y otros tipos de membranas se pueden lograr en un futuro próximo.

Impacto Ambiental

La nanofiltración es una tecnología de filtración que puede considerarse un verdadero cambio de paradigma en la ciencia de las membranas, Ya que se pueden utilizar para una amplia gama de aplicaciones debido a sus propiedades únicas las cuales podrían utilizarse para abordar los principales problemas globales de una manera sostenible y ecológica. Esta técnica tiene un gran potencial para problemáticas globales como lo es la purificación de Agua. Sin embargo, la aplicación industrial depende del desarrollo de membranas eficientes y confiables, la optimización de procesos, la comprensión de los mecanismos de separación y las justificaciones en términos de energía y economía.



figura 1: Tratamiento de agua

El futuro es prometedor con técnicas avanzadas de purificación que mejoran la calidad y la disponibilidad del agua, lo que subraya la necesidad de una

conservación y gestión responsables del agua para un futuro sostenible. (**Joseph, T. M.2023**)

Hoy en día, el uso de nanomateriales en membranas compuestas es un enfoque actual en el campo, haciendo que los investigadores propongan nuevos materiales inorgánicos de tamaño nanométrico, estos nanomateriales han empezado a aplicarse en membranas que persiguen la purificación y desalinización del agua, o el tratamiento de aguas residuales y esto se debe a las propiedades específicas basadas en sus estructuras.

CONCLUSION

Existen fundamentos para decir que las membranas de nanofiltración de las variedades que existen funcionaran para los diferentes objetivos que se han establecido a lo largo de los años, lo que se busca es que sean de los más natural posible, aunque sea sintéticos y que pueda interactuar con el medio que los rodea sin contaminar. El futuro es prometedor y se extiende cada día dentro de los mercados globales pues van aumentando su demanda para las diferentes industrias.

REFERENCIAS

- Dun, R., Wang, Y., Liu, B. S., Shen, H., Wang, D., Wei, J., & Nie, R. (2024). Study on the nanofiltration membrane fouling control and cleaning efficiency of micro-and nanobubbles. Desalination And Water Treatment, 100297. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100297>
- Reddy, A. S., Kalla, S., & Murthy, Z. V. P. (2022). Biomimetic membranes:Advancements and applications — A minireview. Bioresource Technology Reports,18, 101047. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101047>
- Zheng, W., Chen, Y., Xu, X., Xing, P., Niu, Y. F., Xu, P., & Li, T. (2024b). Research on the factors influencing nanofiltration membrane fouling and the prediction of membrane fouling. Journal Of Water Process Engineering, 59, 104876. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104876>
- Li, S., Wang, X., Guo, Y., Hu, J., Lin, S., Tu, Y., Chen, L., Ni, Y., & Huang, L. (2022a).Recent advances on cellulose-based nanofiltration membranes and their in drinkingapplications water purification: A review. Journal of Cleaner Production, 333,130171.<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130171>
- Wei, X., Liu, Y., Zhang, Z., Zhao, F., Li, Z., Fan, C., Yang, Y., & Jiang, Z. (2024). Membrana de nanofiltración de vermiculita 2D con nanopartículas de TiO₂ como intercalador versátil para <https://www.panuco.tecnm.mx/>

mejorar la purificación del agua. Revista de Ciencia de Membranas, 695(122461), 122461.
<https://doi.org/10.1016/j.memsci.2024.122461>

Joseph, T. M., Al-Hazmi, H. E., Śniatała, B., Esmaeili, A., & Habibzadeh, S. (2023). Nanopartículas y nanofiltración para el tratamiento de aguas residuales: De agua contaminada a agua dulce. Investigación Ambiental, 238(117114), 117114.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117114>

Síntesis y caracterización de Nanohidrogeles sensibles al pH para su posible uso en la liberación de fármacos

Sandoval Bedolla Jesus Alonso*, Santillán Pérez Ricardo*, González García Dulce María*, Jiménez Gallegos Rodrigo**

*Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional.
Departamento de Ingeniería Química Industrial, México
**Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional.
Maestría en Ingeniería de Hidrocarburos y sus Energéticos Asociados, México
rojimenezg@ipn.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Nanogeles, Hidrogeles Inteligentes, Respuesta a estímulos, Nanopartículas

La búsqueda de materiales que permitan facilitar la calidad de vida de los humanos ha llevado al desarrollo de sistemas que por un lado cumplen una función específica y por otro lado al terminar dicha función puedan degradarse, uno de estos materiales son los nanohidrogeles “inteligentes” que pueden ser usados para encapsular y posteriormente liberar algún tipo de fármaco, esto en respuesta a un estímulo externo como el pH, la temperatura entre otros. En este trabajo se presenta una revisión de este tipo de materiales y un ejemplo de su obtención, así como su caracterización.

ABSTRACT

Keywords:

Nanogels, Smart Hydrogels, Stimuli-responsive polymers, Nanoparticules

The search for materials that can improve the quality of life of humans has led to the development of systems that, on the one hand, fulfill a specific function and, on the other hand, can degrade when this function is finished. One of these materials is “smart” nanohydrogels that can be used to encapsulate and subsequently release some type of drug, in response to an external stimulus such as pH, temperature, among others. This work presents a review of this type of materials and an example of their production, as well as their characterization.

INTRODUCCIÓN

Los polímeros termoplásticos son cadenas constituidas por varias unidades de repetición procedentes de los llamados monómeros, estas cadenas se obtienen

haciendo reaccionar dichos monómeros con ellos mismos o con otros en condiciones adecuadas. Dichas cadenas (figura 1), dependiendo del método de síntesis, pueden ser ramificadas o lineales, los primeros (polímeros ramificados) por lo general son amorfos con cierto grado de cristalinidad (figura 1 a)), en cambio los segundos (polímeros lineales) pueden ser amorfos o semicristalinos, dependiendo de la morfología y constitución de la cadena (figura 1 b)), en todos los casos se les denomina cadenas lineales^[1].

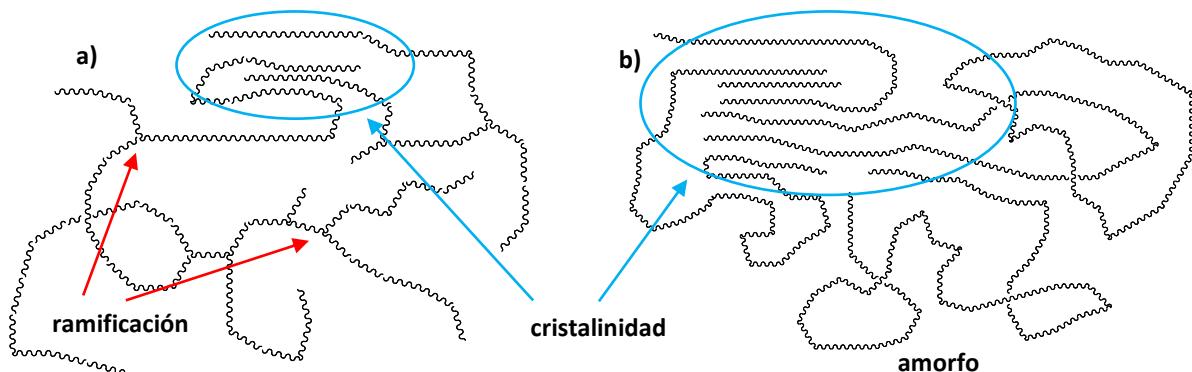


figura 1: Tipos de polímeros termoplásticos a)ramificados, b) lineales

Cuando a esas cadenas lineales se les entrecruza, se genera una red interconectada de celdas (retículas) en las cuales pueden acceder sustancias orgánicas de menor tamaño que el de las propias cadenas. Esta red interconectada se le conoce como gel Figura 2. Cuando el gel se obtiene a partir de polímeros solubles en agua se le llama hidrogel, en caso de otros solventes sólo se le conoce como gel^[2].

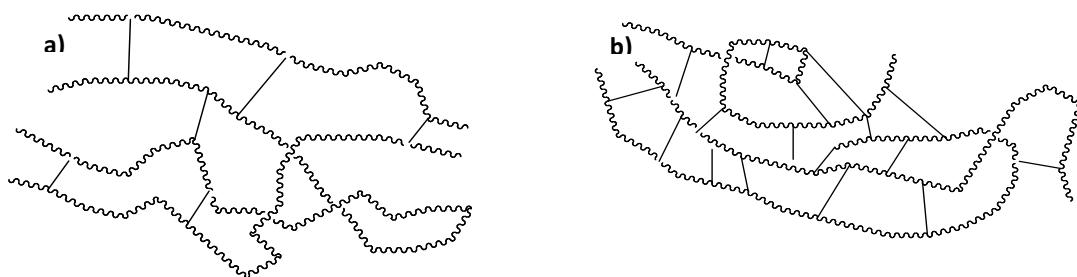


figura 2: Cadenas de polímeros reticuladas a) baja densidad de reticulación, b) alta densidad de reticulación

En los hidrogeles, dependiendo de la densidad de reticulación (entretejido) será la cantidad de sustancia que absorberá, además, dependerá también de los grupos funcionales que sean polares tales como: -OH, -COOH, -NH₂, -CONH₂, -SO₃H. Se espera que entre más entretejido este el hidrogele, absorberá menos agua, contrario a una red poco reticulada en la que se espera que el hidrogele absorba más cantidad de agua, de igual forma los grupos colgantes juegan un papel muy importante en la absorción de agua, entre más polar sea el grupo funcional, más afín al agua será por lo que absorberá más ya que son hidrofílicos.

Hay varias formas de clasificar a los hidrogeles como se describe a continuación.

Con base en su origen pueden ser de origen natural o sintético. Aquellos de origen natural son los obtenidos a partir de polímeros de origen natural como alginato, colágeno, quitosano, ciclodextrina, gelatina, entre otros muchos que son principalmente polisacáridos o proteínas^[3,4]. Los geles de origen sintético se obtienen a partir de polímeros sintéticos tales como poli acrilamida, ácido poliacrílico, alcohol polivinílico, poli metil metacrilato, Poli(2-hidroxietil methacrilato y demás polímeros termoplásticos^[5-7].

Otra forma de clasificar a los hidrogeles es por su tipo de enlace de entretejido, el cual puede ser enlace físico o enlace químico. Los hidrogeles físicamente reticulados también se les puede conocer como gel reversible y sus “enlaces” más bien son interacciones moleculares que pueden ser desde fuerzas de van der Waals hasta puentes de hidrógeno)^[8,9]. En cambio los hidrogeles químicamente reticulados son aquellos en los que si existe un enlace químico, principalmente covalente, son más estables debido a este enlace, es decir, la reticulación es permanente^[10].

Una clasificación más es en función de su carga, es decir pueden ser hidrogeles neutros en los que los grupos colgantes de la cadena principal son no ionizables,

hidrogeles iónicos que pueden ser aniónicos o catiónicos dependiendo si el grupo colgante es aniónico o catiónico, por ejemplo, los geles basados en ácido acrílico o los basados en acrilamida. De igual forma están los geles anfotéricos y los zwiteriónicos, los primeros están conformados por unidades de repetición aniónicas y catiónicas, en cambio los zwiteriónicos están constituidos por grupos de repetición en los que el grupo colgante puede fungir como aniónico o como catiónico, dependiendo de la carga en su alrededor^[11].

De igual forma se pueden clasificar con respecto a su degradabilidad, en este sentido la gran mayoría de los geles obtenidos de polímero naturales son degradables por la acción de algunas encimas y/o microorganismos en ciertas condiciones ambientales. En cambio los hidrogeles no degradables son aquellos que son resistentes y estables física, químicamente a pesar de las condiciones ambientales^[11].

El tamaño del hidrogel es otra de las formas en las que se les puede clasificar, pueden ser geles macroscópicos o en volumen y estos son los geles “convencionales” pueden ser de diferentes tamaños por arriba de 10 µm, para considerarlo microgel debe tener dimensiones entre 1 y 10 µm, en cambio se puede considerar como nanogel a aquellos que presentan un tamaño menor a 1 µm^[12].

Existen los llamados hidrogeles avanzados, los cuales se pueden dividir en hidrogeles sensibles a estímulos, hidrogeles de memoria de forma y los hidrogeles auto-reparables^[13]. Los hidrogeles sensibles a estímulos pueden subclasicarse en función de su capacidad de respuesta a dichos estímulos como sigue.

Hidrogeles sensibles al pH, sensibles a la temperatura, sensibles a la luz, sensibles a campo magnético, sensibles a campo eléctrico y sensibles a analitos^[14]; la consecuencia a la respuesta a estos estímulos por parte de los hidrogeles es la

variación en el grado de hinchamiento y dicha respuesta está condicionada al tipo de polímero que se utiliza para obtener al hidrogel.

Los hidrogeles sensibles al pH cambian su volumen cuando el pH del ambiente que lo rodea cambia, por lo general este tipo de geles se obtienen a partir de polímeros con grupos colgantes ácidos (-COOH) o grupos alcalinos (-NH₂). El grado de ionización de estos grupos cambia con el pH, con lo cual cambia la densidad de carga, dependiendo del grupo ionizante en medio ácido podría contraerse o hincharse el gel y en medio alcalino ocurrirá el fenómeno contrario, esto permite que los geles sensibles a pH puedan ser utilizados como liberadores de fármacos^[15].

Para el caso de este trabajo es importante entender a los hidrogeles sensibles a pH y con un tamaño nanométrico ya que se sintetizaron hidrogenes reticulados químicamente con tamaño menor a 1μm y con respuesta a estímulos de pH.

DESARROLLO

A continuación, se describen la forma en la que se sintetizaron los geles de interés, así como el polímero sin reticular con la intención de observar la diferencia entre el polímero sin reticular y los hidrogeles. Además, se presentan los reactivos utilizados y se describen los métodos de caracterización utilizados en el análisis de los materiales.

Reactivos.

Para la síntesis tanto del copolímero como del hidrogel se utilizaron, metil metacrilato (MMA, 99 %, Sigma-Aldrich), ácido acrílico (AA, 99 %, Sigma-Aldrich), N, N'-Metilenbis acrilamida (MBA, 99%, Sigma-Aldrich), persulfato de potasio (KPS, mayor a 99%, Sigma-Aldrich), Twin® 80 (Sigma-Aldrich), Lauril Sulfato de Sodio (LSS, mayor a 99%, Meyer), agua destilada.

Síntesis de hidrogeles.

La síntesis tanto del copolímero no reticulado como del hidrogel se realizó vía polimerización en emulsión como se describe a continuación.

En un reactor de vidrio de 100 mL se adiciona el agua, los monómeros (MMA y AA proporción 80/15), los emulsificantes (LLS+Twin®80, 1 % en peso), en el caso de los geles se adicionó BAM como entrecruzante (2 y 4 % peso), se agita a 250 RPM y se calienta a 75 °C. Una vez homogenizada la mezcla de monómeros, emulsificante y entrecruzante, se adiciona el iniciador (KPS, 1 % en peso) en este punto se comienza la reacción y se deja por 5 horas, asegurando que se ha llegado a la máxima conversión, la cual se comprobó con el estudio cinético. Las diferentes composiciones de la mezcla de reacción se presentan en la Tabla 1.

tabla 1: nomenclatura y composición de los geles

| Muestra | % peso MMA | % peso AA | % peso BAM |
|---------|---------------|--------------|---------------|
| M0 | 80 | 15 | 0 |
| M2 | | | 2 |
| M4 | | | 4 |

Caracterización.

Con el fin de comprobar si existe algún efecto de la cantidad e agente entrecruzante en la velocidad y conversión de la síntesis, se determinó la cinética de la reacción de manera gravimétrica. Para ello se tomaron muestras de la reacción a diferentes tiempos y se colocaron en canastillas de aluminio, un minuto antes de colocar la muestra, se agregaron 0.5 mL aproximadamente de solución de hidroquinona (inhibidor) a cada recipiente, se pesó y anotó el resultado del peso de las canastillas con el inhibidor (W_{ch}), una vez agregada la alícuota del material, se agitó para

detener la reacción, pesando la muestra y apuntando este valor (W_a), posteriormente se dejaron secar por 24 horas para secar el látex y quedará sólo el material sólido (W_p , partículas de nanohidrogel).

Para obtener el valor de la conversión (X) se utilizó la ecuación 1

$$X = \frac{T_s}{T_{st}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde X es la conversión, T_s la tasa de sólidos experimental y T_{st} es la tasa de sólidos teórica. La tasa de sólidos experimental se obtuvo con la ecuación 2

$$T_s = \frac{W_p}{w_l} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde W_p es la masa de las partículas de gel y w_l es la masa del latex la cual se obtiene $w_l = w_{ch} - w_a$.

Con el dato de la conversión y el tiempo se realiza una grafica en la que se observa el comportamiento de la síntesis.

La caracterización de los diferentes materiales se realizó por medio de:

Con la intención de comprobar y revisar los diferentes grupos funcionales que constituyen a los polímeros base, se utilizó la Espectroscopía Infrarroja (FT-IR), usando un espectrofotómetro marca Perkin-Elmer, que cuenta con un dispositivo de reflectancia totalmente atenuada (ATR) modelo miracle en el intervalo de número de onda 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} , con 16 escaneos y una velocidad de barrido de $2 \text{ cm}^{-1}/\text{min}$.

El historial térmico de los materiales se evaluó en un Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), la principal intención fue determinar la temperatura de transición vítrea, la cual permite comprobar la rigidez o elasticidad del material, para lo cual se utilizó un calorímetro marca Perkin-Elmer, modelo DSC 4000, el intervalo de barrido fue de 20 °C a 250 °C con una velocidad de escaneo de 10 °/min.

Se determinó el grado de hinchamiento (G.H.) en función del pH con la intención de observar como se comportan los materiales con el cambio de reticulación y con el estímulo externo, esto se midió de manera indirecta evaluando el tamaño de partícula, de igual forma se evaluó la estabilidad de la emulsión con el potencial z, ambas pruebas se realizaron utilizando un equipo de dispersión de luz. Además, se obtuvieron las cinéticas de los tres materiales, de igual forma, con la intención de observar el efecto del grado de reticulación en la síntesis.

RESULTADOS

En la figura 3 se muestran las cinéticas de reacción para los tres materiales sintetizados, es decir, el copolímero sin reticular (M0), y los hidrogeles con diferentes grados de reticulación (M2 y M4).

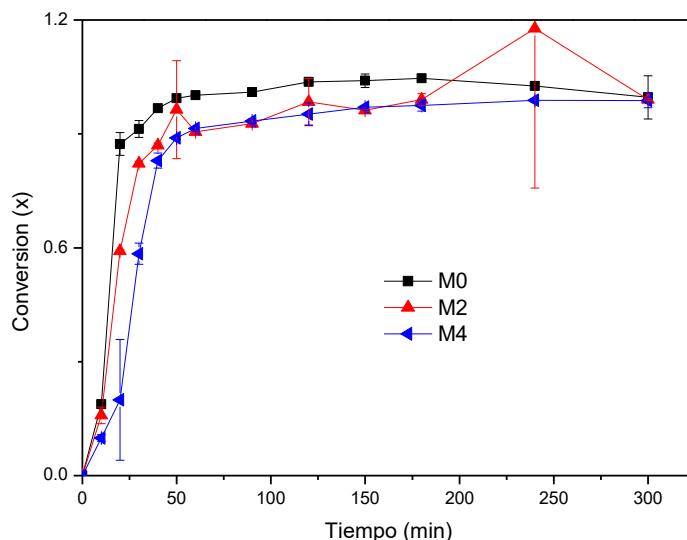


figura 3: Cinética de los diferentes materiales

El comportamiento de una reacción por emulsión consta de tres intervalos, nucleación (intervalo I), crecimiento (intervalo II) y terminación (intervalo III), en donde el intervalo I se caracteriza por la generación de nuevas partículas debido a la difusión de los radicales en la fase acuosa, seguido de la entrada de radicales libres a las micelas o por la precipitación de los oligómeros de la fase acuosa, las cuales, al llegar a un tamaño crítico, precipitan. Debido a que la rapidez de reacción es proporcional al número de partículas, en este intervalo, la rapidez de reacción se incrementa. Cuando el período de nucleación cesa, el número de partículas se mantiene constante y empieza el intervalo II, en este la concentración de monómero dentro de la partícula es constante debido a que el monómero es suministrado continuamente por las gotas de monómero emulsificadas, de ahí que en esta etapa se observe un período de reacción constante. El intervalo III continúa a una velocidad constantemente decreciente a medida que disminuye la concentración de monómero en las partículas de polímero hinchado con monómero^[16]. En el caso de las tres muestras el primer intervalo se lleva a cabo muy rápido, es decir, existe una aceleración en la nucleación, posteriormente en el intervalo II el crecimiento es más rápido para el copolímero sin reticular y disminuye conforme se aumenta la reticulación, esto se debe al efecto del entrecruzante en la velocidad de reacción de los monómeros que conforman al nanogel, por último en el intervalo III es el que dura más tiempo y que prácticamente es el que consume más tiempo de reacción, ósea que la terminación de la polimerización es muy lenta. Todas las síntesis tuvieron 100% de conversión, por lo que los nanogeles obtenidos no presentarían monómero residual que pueda afectar a la absorción o liberación de fármacos en un futuro.

En cuanto a la espectroscopia infrarroja de los diferentes materiales se muestran en la figura 4.

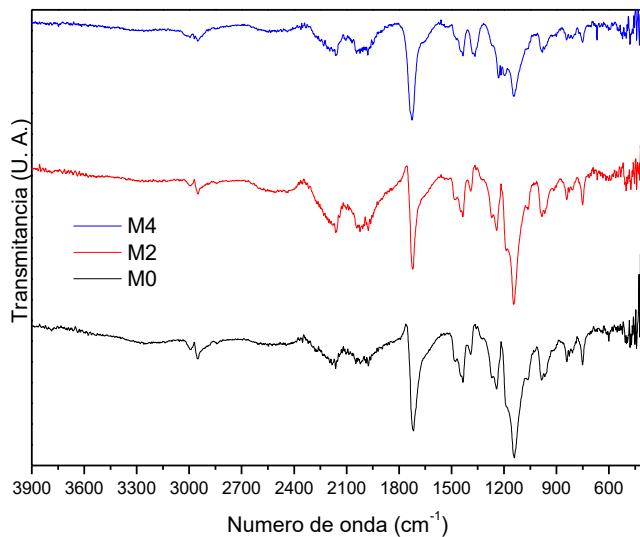


figura 4: Espectros infrarrojos de los nanogeles y del copolímero lineal

Las primeras bandas de absorción vistas en 2997 cm⁻¹ y 2948 cm⁻¹ están relacionadas con el enlace C-H presente en los grupos -CH₂- y -CH₃. Luego en ~1726 cm⁻¹ aparece la banda de absorción del grupo carbonilo (C=O) de los grupos colgantes de la cadena principal constituida de polimetil metacrilato (PMMA) y poliácido acrílico (PAA) y en el caso de los geles del entrecruzante (BAM). En 1270 cm⁻¹ y 1145 cm⁻¹ correspondiente al enlace C-O presentes en los grupos acrilato y ácido de las cadenas poliméricas. Lo anterior corrobora la presencia de los componentes de PMMA, PAA y BAM en las estructuras de los geles^[17].

Por otro lado, se muestran en la figura 5 y en la tabla 2, las temperaturas de transición vítreas (T_g) para los tres materiales analizados.

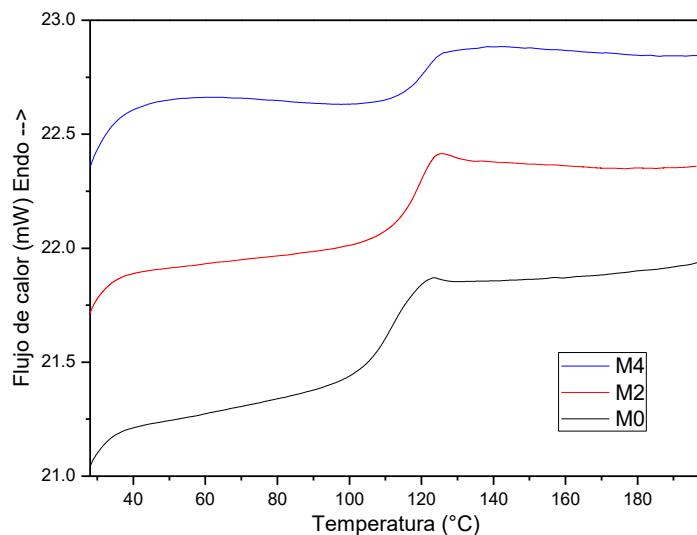


Tabla Tg de los nanogeles

| Muestra | Tg (°C) |
|---------|---------|
| M0 | 112.8 |
| M2 | 119.8 |
| M4 | 122.6 |

figura 5: DSC de los nanogeles y del copolímero lineal

Como se puede apreciar tanto en la figura 5 como en la tabla 2, las temperaturas de transición vítrea se incrementan al aumentar la cantidad de entrecruzante, esto es indicativo que al ser más reticulado el nanogel se hace más rígido, por lo que se puede comprobar la mayor reticulación de los materiales.

En cuanto al hinchamiento de la partícula (nanogeles) y su estabilidad coloidal, en las figuras 6 y 7 se pueden apreciar las variaciones de estos parámetros en función del pH, lo cual permite demostrar que los hidrogeles responden al estímulo externo.

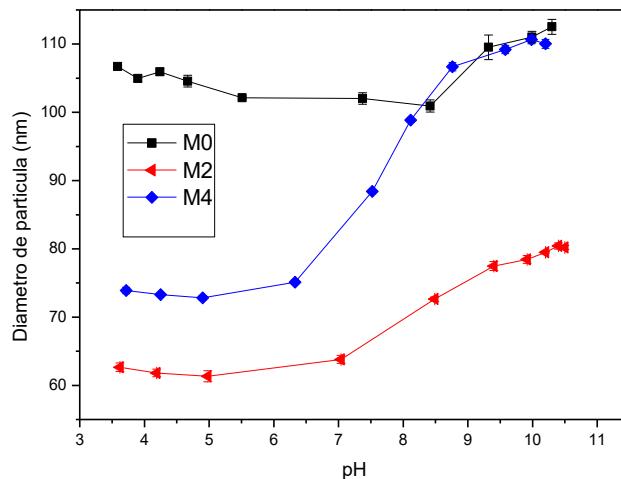


figura 6: Variación del tamaño de partícula en función del pH

La variación del tamaño de partícula mostrado en la figura 6 está relacionada con el cambio del pH, los geles están constituidos por una parte de poliácido acrílico el cual tiene como grupo colgante un grupo ácido que se puede ionizar hasta cierto grado, entonces partiendo de un ambiente ácido al ir aumentando el pH la nube electrónica del grupo colgante va incrementando y el grado de ionización también incrementa a tal grado que el tamaño va aumentando y se hace aún más afín al agua como consecuencia del intercambio iónico de un hidrogeno a sodio^[18]. Lo anterior permite que el agua pueda entrar en el volumen que queda libre debido a este fenómeno y por lo tanto los nanogeles quedan hinchados.

Por otro lado, al analizar la estabilidad de las nanopartículas (nanogeles) en función del pH se puede ver que en el caso de los geles en todo momento son estables ya que la condición para que un látex el valor de potencial para considerarlo estable debe ser mayor o igual que +/- 30 mV. Se puede ver en la figura 7 la emulsión más inestable es cuando no hay entrecruzamiento y el material más estable es el que tiene 2 % de entrecruzante, con esto se puede decir que la reticulación hace que los grupos ácidos no puedan moverse libremente por lo que el intercambio iónico de estos grupos es menor, cuando se retícula más los grupos colgantes están más impedido por lo que la capa eléctrica es menos energética. El punto más bajo de las curvas representa la mayor estabilidad de la emulsión, esto quiere decir que no se precipitarían los nanogeles en mucho tiempo.

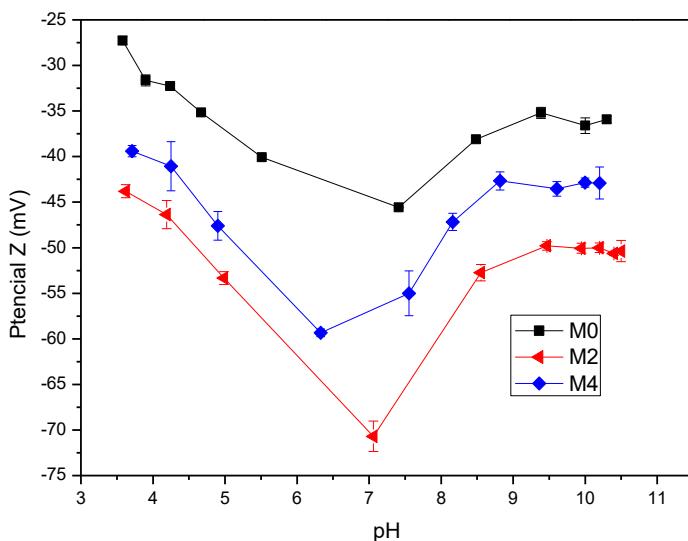


figura 7: Variación del potencial z en función del pH

CONCLUSIONES

Se sintetizaron nanohidrogeles inteligentes sensibles al pH, con diferentes grados de entrecruzamiento, mostrando el efecto de la reticulación en sus características estructurales y térmicas, así como en el desempeño en función del pH.

La cantidad de entrecruzante afecta la cinética de la reacción, siendo más lenta a mayor cantidad de entrecruzante. El tamaño de partícula aumenta al incrementar el pH, debido al cambio de la carga en los grupos colgantes, además el potencial z demostró que la reticulación incrementa la estabilidad de las partículas en emulsión dando la mejor estabilidad con 2 % de entrecruzante y con pH de 7.

REFERENCIAS

- [1] Carraher, C.E. (2008). Polymer Chemistry. Seventh Edition. Boca Raton, Florida, U.S.A. CRC Press.
- [2] Seymour, R. B., Carraher C.E. (2002). Introducción a la Química de los Polímeros. Segunda Edición. Barcelona, España. Editorial Reverté S.A. de C.V.
- [3] Dang, J. M. y Leong, K. W. (2006). Natural Polymer for Gene Delivery and Tissue Engineering. Advanced Drug Delivery Reviews 58, 487-499. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.addr.2006.03.001>

- [4] George, A., Shah, P. A., Shrivastav, P. S.(2019). Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review. International Journal of Pharmaceutics 561, 244-264. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.03.011>
- [5] Pan, J., Jin, Y., Lai, S., Shi, L., Fan, W., Shen, Y. (2019). An antibacterial hydrogel with desirable mechanical, self-healing and recyclable properties based on triple-Physical crosslinking. Chemical Engineering Journal 370, 1228-1238. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.001>
- [6] Bolto, B., Tran, T., Hoang, M., Xie, Z. (2009). Crosslinked poly(vinyl alcohol) membranes. Progress in Polymer Science 34, 969-981. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.05.003>
- [7] He, C., Kim, S. W., Lee, D. S. (2008). In Situ gelling stimuli-sensitive block copolymer hydrogels for drug delivery. Journal of Controlled Release 127, 189-207. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.iconrel.2008.01.005>
- [8] Lin, Y., Zhang, H., Liao, H., Zhao, Y., Li K. (2019). A physically crosslinked, self-healing hydrogel electrolyte for nano-wire PANI flexible supercapacitors. Chemical Engineering Journal 367, 139-148. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.064>
- [9] Feng, Z., Hongli, Z., Gao, W., Ning, N., Tian, M., Zhang, L. (2018). A robust, self-healable, and shape memory supramolecular hydrogel by multiple hydrogen bonding interactions. Macromolecular Rapid Communications 39, 1800138. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi/epdf/10.1002/marc.201800138>
- [10] Hennink, W. E. y van Nostrum, C. F. (2002). Novel crosslinking methods to design hydrogels. Advanced Drug Delivery Reviews 54, 13-36. Obtenido en la Red Mundial en (2024): [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(01\)00240-X](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(01)00240-X)
- [11] Lee, K. Y., Mooney, D. J. (2001). Hydrogels for Tissue Engineering. Chemical Review 101 1869-1880. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1021/cr000108x>
- [12] Yallapu, M. M., Jaggi, M., Chauhan, S. C. (2011). Design and engineering of nanogels for cancer treatment. Drug Discovery Today 16, 457-463. Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2011.03.004>
- [13] Echeverria, C. (2023). Hidrogeles Avanzados. Revista de Plásticos Modernos 126, 24-30.
- [14] Aguilar, M. R., San Román, J. (2014). Smart Polymers and their Applications.
- [15] Puranik, A. S., Pao, L. P., White, V. M., Peppas, N. A. (2016). Synthesis and characterization of pH-responsive nanoscale hydrogels for oral delivery of hydrophobic therapeutics. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics 18, 196-213.Obtenido en la Red Mundial en (2024): <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.09.007>

- [16] Lovell, P. A., Schork, F. J. (2020).Fundamentals of Emulsion Polymerization. Biomacromolecules 21, 4339-4441. Obtenida en la Red Mundial en (2022): <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00769>
- [17] Nagai, H. (1963). Infrared spectra of stereoregular polymethyl methacrylate. Journal of applied Polymer Science 7, 1697-1714. Obtenido en la Red en (2019): <https://doi.org/10.1002/app.1963.070070512>
- [18] Santillan, R., Nieves, E., Alejandre, P., Pérez, E., del Río J. M., Corea, M. (2014). Comparative thermodynamics study of functional polymeric latex particles with different morphologies. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 444, 189-208. Obtenido en la Red (2023). <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2013.12.004>

Una Visión General Sobre Alternativas Para Nanoestructuras Basadas En Carbono y Sus Aplicaciones

Romero Herrera Juan Alberto, Pérez Galaviz Jorge Alberto

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Academia de Ingeniería en Nanotecnología, Jalpa de Méndez, Tabasco, México
152S4066@egresado.ujat.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Nanotecnología
Nanoestructura
Nanotubos

El descubrimiento y la aparición de nanoestructuras de carbono han impactado y remodelado muchos aspectos de la nanotecnología y han impulsado avances en física, electrónica, óptica, mecánica, biología y medicina desde la década de 1990. Con diferencia, las nanoestructuras de carbono descubiertas o sintéticas incluyen estructuras 0-D (es decir, fullerenos, partículas de diamante y negro de humo), estructuras 1-D (es decir, nanotubos o nanofibras de carbono y nanobarras de diamante), estructuras 2-D (es decir, grafeno, láminas de grafito y nanopletelets de diamante) y estructuras tridimensionales (es decir, andamios/recubrimientos de diamante nanocrystalino, andamios/recubrimientos de carbono nanoestructurados tipo diamante y fullerita). Debido a sus extraordinarias propiedades y su estado diferenciado de hibridación de carbono (p. ej., hibridación sp₂, sp₃), muchas nanoestructuras de carbono han atraído una atención cada vez mayor en diferentes campos de la biología y la medicina.

ABSTRACT

Keywords:

Nanotechnology
Nanostructure
Nanotubes

The discovery and emergence of carbon nanostructures have impacted and reshaped many aspects of nanotechnology and have driven advances in physics, electronics, optics, mechanics, biology and medicine since the 1990s. By far, the most recently discovered or synthetic carbon nanostructures include 0-D structures (i.e., fullerenes, diamond particles, and carbon black), 1-D structures (i.e., carbon nanotubes or nanofibers, and diamond nanorods), 2-D structures (i.e., graphene, graphite sheets, and diamond nanoplatelets), and 3-D structures (i.e., nanocrystalline diamond scaffolds/coatings, diamond-like nanostructured carbon scaffolds/coatings, and fullerite). Due to their extraordinary properties and differentiated carbon hybridization state (e.g., sp₂, sp₃ hybridization), many carbon nanostructures have attracted increasing attention in different fields of biology and medicine.

INTRODUCCIÓN

Los científicos descubrieron dos alótropos del carbono hace doscientos años: el diamante duro y transparente y el grafito blando y negro. A principios del siglo XX, los científicos identificaron la disposición de los átomos de carbono en el diamante y el grafito mediante difracción de rayos X, y así proporcionaron la explicación estructural de la diferencia entre ellos. El descubrimiento del C₆₀ y otros fullerenos es un prólogo de muchos materiales de nanocarbono. Posteriormente, el descubrimiento de los nanotubos de carbono (en 1992) y la exitosa exfoliación del grafeno (en 2004) han generado un gran entusiasmo entre los científicos. Los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno tienen propiedades únicas. Por ejemplo, la molécula C₆₀ puede absorber la mayor parte del espectro solar. Debido a su propiedad semiconductor, el C₆₀ se puede utilizar en células solares orgánicas de bajo coste.¹

Los nanotubos de carbono se pueden clasificar en semiconductores o metálicos según su estructura atómica. Los nanotubos de carbono también tienen excelentes propiedades mecánicas y son los materiales unidimensionales más resistentes. El grafeno se ha convertido en un nanomaterial estelar debido a su extremadamente alta resistencia a la tracción, conductividad eléctrica, transparencia y ser el material bidimensional más delgado del mundo. Los nanomateriales a base de carbono se han aplicado en muchos campos. Además de las células solares orgánicas basadas en C₆₀ mencionadas anteriormente, los nanotubos de carbono se pueden utilizar para mejorar las propiedades mecánicas de polímeros o metales. Pero parece haber algunas exageraciones sobre los nanomateriales de carbono. Muchos investigadores y empresas predijeron que los nanotubos de carbono serían el material de próxima generación en transistores que reemplazaría al silicio después de su descubrimiento. Sin embargo, después de 30 años de investigación, este objetivo no se ha logrado. La razón principal es la dificultad de integrar una cantidad tan grande de nanotubos de carbono a escala microscópica. Después de su aparición, muchos medios de comunicación consideraron rápidamente el grafeno

como un material que cambiaría el mundo. Los científicos también pronosticaron que la investigación del grafeno daría como resultado procesadores informáticos de alto rendimiento, pantallas flexibles y transparentes y baterías de alta capacidad. Pero las aplicaciones a gran escala del grafeno aún no han aparecido. Quizás sea demasiado pronto para concluir sobre las perspectivas del grafeno y otros tipos de nanomateriales de carbono. Después de todo, han sido necesarios más de cien años para que el silicio se utilice ampliamente en los transistores. Necesitamos esperar y ver si los nanomateriales de carbono algún día cambiarán el mundo.^{2,3}

El grafito es uno de los alótropos más comunes del carbono y la forma más estable de carbono en condiciones estándar. Sin embargo, a pesar de su conductividad eléctrica, que suele estar asociada a efectos estimulantes sobre la colonización y el funcionamiento de las células, el grafito no modificado es bastante bioinerte, es decir, menos adhesivo para las células. Esto se debe a una capacidad relativamente baja del grafito para adsorber proteínas mediadoras de la adhesión celular del suplemento sérico del medio de cultivo y también proteínas morfogenéticas óseas (BMP), es decir, factores que favorecen la diferenciación celular osteogénica. Los fullerenos son moléculas esferoidales y están formadas exclusivamente por átomos de carbono (por ejemplo, C₆₀, C₇₀).⁴ Su forma única de jaula hueca y su analogía estructural con las vesículas recubiertas de clatrina en las células respaldan la idea del uso potencial de los fullerenos como fármacos o agentes de administración de genes.

Los fullerenos muestran una amplia gama de actividad biológica, que surge de su reactividad, debido a la presencia de dobles enlaces y la flexión de los átomos de carbono con hibridación sp₂, lo que produce tensión angular. Los fullerenos pueden actuar como aceptores o donadores de electrones.⁵ Cuando se irradian con luz ultravioleta o visible, los fullerenos pueden convertir el oxígeno molecular en oxígeno singlete altamente reactivo. Por lo tanto, tienen el potencial de infligir daño fotodinámico en los sistemas biológicos, incluido daño a las membranas celulares, inhibición de diversas enzimas o escisión del ADN. Este efecto nocivo puede

aprovecharse para la terapia fotodinámica de tumores, virus, incluido el VIH-1, un amplio espectro de bacterias y hongos. Por otro lado, se considera que el C60 es el eliminador de radicales más eficaz del mundo. Esto se debe al número relativamente grande de dobles enlaces conjugados en la molécula de fullereno, que pueden ser atacados por especies radicales.^{3,5}

Por lo tanto, los fullerenos serían adecuados para aplicaciones en la extinción de los radicales de oxígeno y así prevenir reacciones inflamatorias y alérgicas y daños a diversos tejidos y órganos, incluidos los vasos sanguíneos y el cerebro. Finalmente, los nanotubos de carbono están formados por una única lámina de grafeno de forma cilíndrica (nanotubos de carbono de pared simple, denominados habitualmente SWNT o SWCNT) o varias láminas de grafeno dispuestas concéntricamente (nanotubos de carbono de paredes múltiples, denominados MWNT o MWCNT). Los nanotubos de carbono tienen excelentes propiedades mecánicas, principalmente debido a los enlaces sp₂. La resistencia a la tracción de los nanotubos de pared simple es aproximadamente cien veces mayor que la del acero, mientras que su peso específico es aproximadamente seis veces menor. Por tanto, los nanotubos de carbono podrían utilizarse en cirugía de tejidos duros, por ejemplo, para reforzar implantes óseos artificiales, en particular estructuras para ingeniería de tejido óseo hechas de polímeros naturales o sintéticos relativamente blandos. En nuestros estudios anteriores, los nanotubos se combinaron con termoplastos de politetrafluoroetileno, polivinildifluoruro y polipropileno, lo que mejoró significativamente el atractivo de los sustratos basados en nanotubos para la colonización con células derivadas de hueso.

Recientemente, la nanotecnología ha ganado mucha atención en la investigación para desarrollar nuevos materiales a base de carbono con propiedades únicas.¹¹ La nanotecnología se puede definir en términos generales como la creación, procesamiento, caracterización y uso de materiales, dispositivos y sistemas con dimensiones en el rango de 0,1 a 100 nm, que exhiben propiedades, funciones, fenómenos y procesos físicos, químicos y biológicos novedosos o significativamente

mejorados, debido a su tamaño a nanoscala.⁶ Las películas de carbono ultrafinas se pueden utilizar para aplicaciones analíticas, p. microarrays de carbono para microscopía electrónica de transmisión, microscopía de alta resolución, sistemas microelectromecánicos o electrodos para aplicaciones de sensores de corrosión a altas temperaturas.^{12, 13} Los “compuestos de carbono” han atraído un interés cada vez mayor debido a sus propiedades únicas y sus numerosas aplicaciones potenciales en las industrias automotriz, aeroespacial, de la construcción y electrónica. Las películas a base de carbono tipo diamante sobre sustratos poliméricos pueden influir fuertemente en el rendimiento de la barrera contra gases. Los sistemas de nanopartículas de polímero/carbono se pueden utilizar como sensores de vapor polar. Para la construcción de células solares híbridas se utilizan películas delgadas a base de polímero-fullereno.⁴ Las intensas investigaciones sobre nanocapas de carbono y nanocomuestos de carbono/polímero, estimuladas notablemente por el descubrimiento de nanotubos de carbono, fullerenos y capas de grafeno, llevaron a la conclusión de que el carácter de las conexiones de los átomos de carbono en la capa de carbono tiene una importancia crucial para la estructura y las propiedades de nanopartículas de carbono y capas delgadas. Las estructuras de carbono pulverizadas o evaporadas pueden crear nanoestructuras con diferentes propiedades eléctricas o morfológicas.¹⁴ Las oportunidades para la investigación sistemática de estructuras de nanocapas son muy prometedoras para nuevas aplicaciones tanto en electrónica como en nanoingeniería y biomedicina.⁸

DESARROLLO

La presente investigación se describirá cada uno de las aportaciones del estudio de los nanomateriales, desde el descubrimiento de los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno, estos materiales han demostrado propiedades únicas que los convierten en candidatos prometedores para diversas aplicaciones. A continuación, se presentan los avances más significativos en este campo y sus aplicaciones más relevantes.

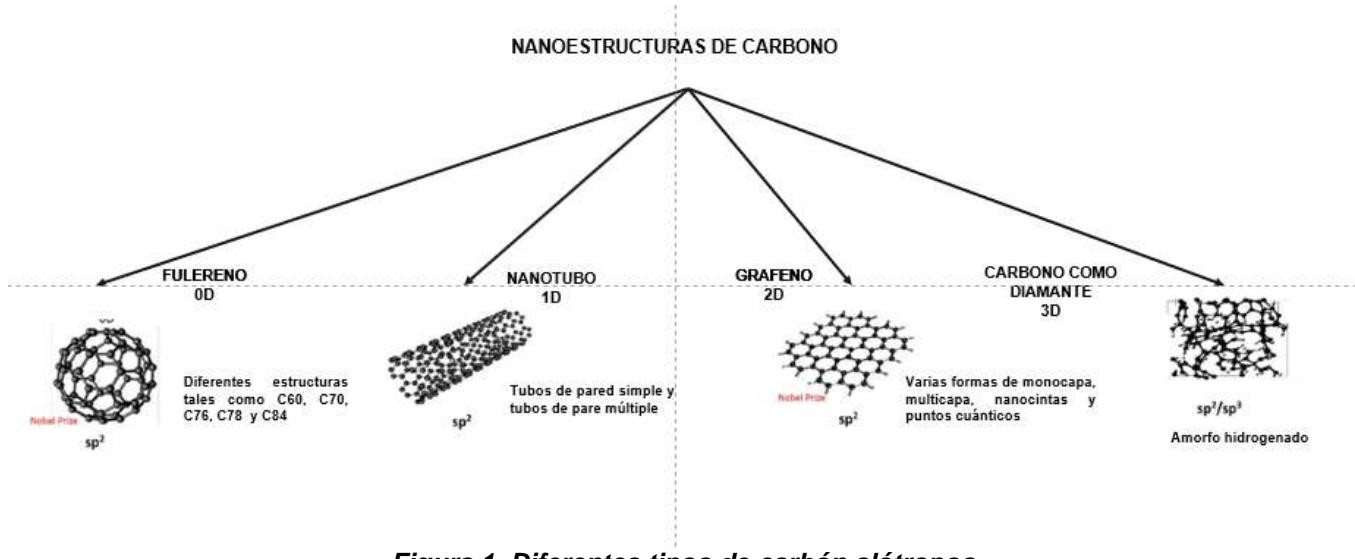


Figura 1. Diferentes tipos de carbón alótropos

Nanotubo de carbono (CNT)

Un nanotubo de carbono es una estructura cilíndrica formada por una o varias capas de grafeno enrolladas sobre sí mismas. Existen dos tipos principales: nanotubos de pared simple (SWCNT), que consisten en una sola capa de grafeno enrollada en un cilindro perfecto, y nanotubos de paredes múltiples (MWCNT), compuestos por varias capas concéntricas de grafeno.⁹ Estas nanoestructuras poseen enlaces de tipo sp², lo que les otorga una resistencia mecánica excepcional y propiedades eléctricas únicas ^{1,6}.

Fulereno

Un fullero es una molécula de carbono que adopta una forma esférica, similar a una jaula cerrada.¹⁰ El más representativo es el C₆₀, cuya estructura se asemeja a un balón de fútbol, formada por hexágonos y pentágonos de átomos de carbono. También existen otras variantes, como el C₇₀, que tiene una estructura más alargada. Los fullerenos pertenecen a los alótropos del carbono, junto con el grafito,

el diamante y el grafeno, y presentan propiedades químicas y físicas que los hacen útiles en diversas aplicaciones tecnológicas y biomédicas^{15,16}.

Grafeno

El grafeno es un material bidimensional compuesto por una sola capa de átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal. Destaca por ser el material más delgado conocido, con un grosor de un solo átomo, pero al mismo tiempo es extremadamente resistente, flexible y un excelente conductor de electricidad y calor.²¹ Gracias a estas propiedades, el grafeno tiene aplicaciones prometedoras en electrónica, almacenamiento de energía, biomedicina y materiales avanzados²².

Aplicaciones

Nanotubos de TiO₂ y WO₃ dopados electroquímicamente: Avances en fotocatálisis y aplicaciones ambientales

El interés por los nanotubos de TiO₂ ha dado lugar a numerosos estudios que incluyen los efectos de diversos parámetros sobre las propiedades y el rendimiento para diferentes aplicaciones.^{17,18} Este estudio investigó el efecto de la anodización a baja temperatura sobre las propiedades y el rendimiento fotoelectroquímico. Se estudiaron los efectos de diferentes configuraciones de anodización sobre la morfología, la cristalinidad y la respuesta PEC. La anodización a baja temperatura dio como resultado un diámetro de poro más pequeño y una longitud de tubo más corta.²⁰ La temperatura de recocido afectó la presencia de diversas fases de TiO₂, como la prominencia de anatasa y las cantidades de rutilo y TiO₂ amorfo a 125 °C. Para observar la respuesta fotoelectroquímica, es necesario el recocido a 450 °C.²³ Sin embargo, se observó una respuesta catódica para nanotubos de TiO₂ sintetizados con bajo voltaje a baja temperatura. Por lo tanto, los nanotubos de titania amorfos recocidos a 125 °C con el espesor logrado en la anodización pueden ser un material potencial utilizado para aplicaciones fotocatalíticas debido a su determinada respuesta fotoelectroquímica catódica.⁴¹.

El polvo de nanotubos de titanio (TNT) se preparó mediante anodización por descomposición rápida (RBA) en un electrolito de ácido perclórico. La eficiencia photocatalítica de los polvos preparados y recocidos a temperaturas entre 250 y 550 °C se probó bajo radiación ultravioleta y solar natural mediante la decoloración de colorantes orgánicos aniónicos y catiónicos, es decir, naranja de metilo (MO) y rodamina B (RhB), como contaminantes modelo.²⁴ La estructura tubular de los nanotubos se mantuvo hasta 250 °C, mientras que a 350 °C y más, los nanotubos se transformaron en nanobarras y nanopartículas. Dependiendo de la temperatura de recocido, los TNT constan de fases anatasa, anatasa/brookita mixta o anatasa/rutilo. La banda prohibida de los nanotubos preparados es de 3,04 eV y se desplaza hacia la región de luz visible tras el recocido.^{25,26} Los resultados de la espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS) muestran la presencia de óxido de titanio e impurezas, incluido el cloro, en la superficie de los TNT. La relación atómica de Ti/O permanece inalterada en los TNT recocidos, pero la concentración de cloro disminuye con la temperatura. La fotoluminiscencia (PL) indica una alta recombinación electrón-hueco para los TNT recién preparados, probablemente debido a las impurezas residuales, la baja cristalinidad y las vacantes en la estructura, mientras que la fotocorriente más alta se observó para la muestra de TNT recocida a 450 °C.²⁷ Los TNT inducen una pequeña degradación de los colorantes bajo la luz ultravioleta; sin embargo, a diferencia de los informes anteriores, se observa una decoloración completa de los colorantes bajo la luz solar. Todas las muestras de TNT mostraron tasas de decoloración más altas bajo la irradiación solar que bajo la luz ultravioleta. La tasa de reacción más alta para las muestras de TNT se obtuvo para la muestra de polvo de TNT recién preparada bajo la luz solar utilizando RhB ($k_1 = 1,29 \text{ h}^{-1}$).²⁸ Esto se atribuye a la banda prohibida, al área de superficie específica y a la estructura cristalina de los nanotubos. Los TNT preparados en su estado original tuvieron el rendimiento más eficiente para la decoloración de RhB y superaron al polvo de anatasa de referencia bajo la irradiación de la luz solar.²⁹ Esto podría atribuirse a la abundancia de sitios reactivos,

a una mayor área de superficie específica y al mecanismo de degradación de RhB. Estos polvos fotocatalizadores de TNT de RBA demuestran un uso más eficiente del espectro de la luz solar, lo que los hace viables para la remediación ambiental. En este estudio, se desarrolló una película compuesta de nanotubos de WO₃/TiO₂ autodopados electroquímicamente (R-WO₃/TNT) para la degradación fotocatalítica de gases residuales.^{30,31} La dopación de vacantes de oxígeno (OV) en la heterojunción de WO₃/TNT se llevó a cabo mediante un enfoque electroquímico simple, mediante el cual la cantidad y distribución de OV en la superficie y en el volumen se adaptaron con respecto al potencial catódico aplicado y la duración del tratamiento.³² Con un aumento del potencial catódico aplicado, así como de la duración, se observó que la cantidad de OV en WO₃/TNT aumentaba de manera constante, mientras que los presentados en la superficie aumentaban inicialmente y mostraban además una tendencia a la meseta a medida que la duración se extendía a un potencial fijo.³³ La incorporación de OV en WO₃/TNT mejoró la resistencia al transporte de carga y redujo la recombinación electrón-hueco, mostrando así un rendimiento fotocatalítico mejorado. Los R-WO₃/TNT preparados mediante el proceso de polarización electroquímica a -1,4 V (frente a SCE) exhibieron una densidad de photocurrent 12 veces mayor y, obviamente, una eficiencia mejorada en la degradación fotocatalítica de COV con una fotoestabilidad prolongada en comparación con la de los WO₃/TNT prístinos, bajo una irradiación de luz solar simulada. El ensayo de purificación de una sola vez demostró la eficacia del compuesto R-WO₃/TNTs en el tratamiento de los COV para la aplicación práctica. ³⁴

Integración de nanopartículas de SiO₂ en matrices de nanotubos de titanio: un enfoque innovador para implantes óseos

Un avance reciente en terapias óseas es el desarrollo de implantes avanzados a partir de matrices de nanotubos de titanio, que se fabrican mediante anodización electroquímica autoordenada de un sustrato de titanio. ³⁵ Hemos fabricado una interfaz novedosa recubriendo un sustrato de titanio anodizado con polidopamina.

Esta interfaz es adecuada para la incorporación eficiente de nanopartículas de SiO₂ en la capa porosa de nanotubos de TiO₂ formada sobre el sustrato de Ti subyacente.³⁶ Los resultados de diferentes pruebas de caracterización indican que las nanopartículas se incorporan de manera uniforme en las matrices de nanotubos de titanio. Las curvas de polarización potenciodinámica y las mediciones de los espectros de impedancia electroquímica en una solución de fluido corporal simulado indican que la capa compuesta de nanopartículas de SiO₂ y las matrices de nanotubos de titanio eran más resistentes a la corrosión que la capa de matrices de nanotubos de titanio.³⁷ Sus propiedades hidrófilas y la rugosidad de la superficie se mejoran con la incorporación de nanopartículas de SiO₂. Como se muestra en ensayos celulares in vitro, la adhesión celular y la actividad de fosfato alcalino en dicha capa compuesta mejoraron.³⁸ El tratamiento de polidopamina/anodización de los sustratos de titanio permite la rápida integración de SiO₂ con nanotubos de titanio para aumentar la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad del sustrato de titanio. Este podría ser un nuevo enfoque para investigar los efectos colectivos de la química local de los compuestos, por ejemplo, SiO₂, y de la topografía local de los nanotubos de titanio.³⁹

Como se muestra en ensayos celulares in vitro, la adhesión celular y la actividad de fosfato alcalino en dicha capa compuesta mejoraron.^{40, 41} El tratamiento de polidopamina/anodización de los sustratos de titanio permite la rápida integración de SiO₂ con nanotubos de titanio para aumentar la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad del sustrato de titanio.⁴² Este podría ser un nuevo enfoque para investigar los efectos colectivos de la química local de los compuestos, por ejemplo, SiO₂, y de la topografía local de los nanotubos de titanio.⁴³ Los resultados de diferentes pruebas de caracterización indican que las nanopartículas se incorporan de manera uniforme en las matrices de nanotubos de titanio. Las curvas de polarización potenciodinámica y las mediciones de los espectros de impedancia electroquímica en una solución de fluido corporal simulado indican que la capa compuesta de nanopartículas de SiO₂ y las matrices de nanotubos de titanio fueron

más resistentes a la corrosión que la capa de matrices de nanotubos de titanio.^{44,45} Sus propiedades hidrófilas y la rugosidad de la superficie se mejoran con la incorporación de nanopartículas de SiO₂.⁴⁶ Como se muestra en ensayos celulares in vitro, la adhesión celular y la actividad de fosfato alcalino en dicha capa compuesta mejoraron.⁴⁷ El tratamiento de polidopamina/anodización de los sustratos de titanio permite la rápida integración de SiO₂ con nanotubos de titanio para aumentar la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad del sustrato de titanio. Este podría ser un nuevo enfoque para investigar los efectos colectivos de la química local de los compuestos, por ejemplo, SiO₂, y de la topografía local de los nanotubos de titanio.

Optimización de un biosensor plasmónico de superficie con nanomateriales 2D para la detección de formalina

En este artículo, se desarrolla numéricamente un biosensor de resonancia plasmónica de superficie (SPR) basado en grafeno-MOS₂ con estructura híbrida TiO₂eSiO₂ para la detección de formalina. Basándonos en el método de reflexión total atenuada (ATR), utilizamos la técnica de interrogación angular para detectar la presencia de formalina observando el cambio de “reflectancia mínima con respecto al ángulo SPR” y “transmitancia máxima con respecto a la frecuencia de resonancia plasmónica de superficie (SPRF)”.^{53,52} En este trabajo, utilizamos quitosano como analito de prueba para realizar una reacción química con formalina (formaldehído), que se considera el analito objetivo. Los resultados de la simulación muestran una variación insignificante del ángulo SPRF y SPR en el caso de una detección incorrecta de formalina que confirma la ausencia de formalina, mientras que, en el caso de una detección adecuada, la variación es considerablemente contable, lo que confirma la presencia de formalina.⁵⁴ A continuación, se realiza una comparación de la sensibilidad para diferentes estructuras de sensores. Se observa que la sensibilidad sin TiO₂, SiO₂, MoS₂ y grafeno (estructura convencional) es muy pobre y del 73,67%, mientras que la sensibilidad con grafeno, pero sin capas de TiO₂, SiO₂ y MoS₂ es 74,67% consistentemente mejor que la estructura

convencional. Esto se debe a la pérdida de electrones del grafeno, que acompaña a la constante dieléctrica imaginaria. Además, la sensibilidad sin TiO₂, SiO₂ y grafeno, pero con una capa de MoS₂ es del 79,167%.⁵⁵ Despues de más, si se utilizan tanto grafeno como MoS₂ y no se utilizan capas de TiO₂ y SiO₂, la sensibilidad mejora al 80,5%. Este rendimiento superior al anterior se debe a la capacidad de absorción y las características ópticas de las biomoléculas de grafeno y a la alta capacidad de extinción de la fluorescencia del MoS₂.^{57,61} Además, si se utiliza una capa compuesta de TiO₂eSiO₂ con grafeno-MoS₂, la sensibilidad aumenta del 80,5 % al 82,5 %. Finalmente, se ha llevado a cabo la sensibilidad para la estructura propuesta y el resultado es del 82,83 %, el valor más alto entre todas las estructuras anteriores para integrar las ventajas del grafeno, MoS₂, TiO₂ y SiO₂.^{57,58}

Los nanomateriales en capas bidimensionales (2D) han suscitado un intenso interés debido a sus fascinantes propiedades fisicoquímicas y a las excepcionales características físicas, ópticas y eléctricas que se desprenden del efecto de tamaño cuántico de su estructura ultradelgada. Entre la familia de nanomateriales 2D, el disulfuro de molibdeno (MoS₂) presenta características distintivas relacionadas con la existencia de una banda prohibida de energía directa, que reduce significativamente la corriente de fuga y supera a otros materiales 2D. En esta descripción general, explicamos las nuevas estrategias para sintetizar MoS₂ que cubren técnicas como exfoliación líquida, deposición química de vapor, exfoliación mecánica, reacción hidrotermal y crecimiento epitaxial de Van Der Waal en el sustrato. Ampliamos el debate sobre los recientes avances en aplicaciones de biodetección del MoS₂ producido, destacando la importante relación superficie-volumen de la estructura ultradelgada del MoS₂, que mejora el rendimiento general de los dispositivos. Además, imaginamos la pieza faltante en los biosensores actuales basados en MoS₂ para el desarrollo de estrategias futuras.^{59, 60}

Conclusión

En conclusión, los estudios sobre nanotubos de TiO₂ y otros nanomateriales avanzados han demostrado su gran potencial en diversas aplicaciones, desde la fotocatálisis hasta la biomedicina y la detección de contaminantes. Se ha evidenciado que parámetros como la temperatura de recocido, la morfología y la presencia de heteroestructuras influyen significativamente en su eficiencia fotoelectroquímica y en la capacidad de degradación de contaminantes. Además, la combinación de nanotubos con otros materiales como WO₃, MoS₂, grafeno y nanopartículas de SiO₂ ha mejorado su rendimiento en diversas aplicaciones, incluyendo biosensores y sistemas de purificación ambiental. Estos avances subrayan la importancia del desarrollo de nanomateriales funcionales con propiedades ajustables para su implementación en tecnologías emergentes, proporcionando soluciones innovadoras en el ámbito energético, ambiental y biomédico.

REFERENCIAS

- [1] Zhou, X., Hsia, F.-C., Xue, Y., Tang, D.-M., Cretu, O., Zhang, C., ... Golberg, D. (2018). Tunable Mechanical and Electrical Properties of Coaxial BN-C Nanotubes. *Physica Status Solidi (RRL) - Rapid Research Letters*, 1800576. doi:10.1002/pssr.201800576
- [2] Chaudhuri, P., Lima, C. N., Frota, H. O., & Ghosh, A. (2019). First-principles study of nanotubes of carbon, boron and nitrogen. *Applied Surface Science*. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.05.212
- [3] Zhongwen Li, Rui-Juan Xiao, Peng Xu, Chunhui Zhu, Shuaishuai Sun, Dingguo Zheng, Hong Wang, Ming Zhang, Huanfang Tian, Huai-Xin Yang, and Jian-Qi Li ACS Nano 2019 13 (10), 11623-11631 DOI: 10.1021/acsnano.9b05466
- [4] Xiao, M., Li, X., Du, B., Han, T., Li, Z., Li, J., & Xing, Y. (2019). Electronic and optical properties of C-doped BN nanotubes by adsorption of typical decomposition products of C3F7CN gas. *Applied Surface Science*. doi: 10.1016/j.apsusc.2019.05.248
- [5] Mananghaya, M. R. (2018). Hydrogen saturation limit of Ti-doped BN nanotube with B-N defects: An insight from DFT calculations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(22), 10368–10375. doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.04.037
- [6] Wang, H., Zhang, S., Li, Y., Wang, W., Wang, H., & Fu, Z. (2019). Defect-induced formation mechanism for boron nitride nanosheets-nanotubes hybrid structures. *Scripta Materialia*, 171, 16–20. doi: 10.1016/j.scriptamat.2019.06.017
- [7] Kumar, V., Lahiri, D., & Lahiri, I. (2018). Synthesis of Boron Nitride Nanotubes and Boron Nitride Nanoflakes with Potential Application in Bioimaging. *Materials Today: Proceedings*, 5(8), 16756–16762. doi: 10.1016/j.matpr.2018.06.037
- [8] Weber, M., Iatsunskyi, I., Coy, E., Miele, P., Cornu, D., & Bechelany, M. (2018). Novel

- and Facile Route for the Synthesis of Tunable Boron Nitride Nanotubes Combining Atomic Layer Deposition and Annealing Processes for Water Purification. *Advanced Materials Interfaces*, 5(16), 1800056. doi:10.1002/admi.201800056
- [9] Kumar, V., Maity, P. C., Lahiri, D., & Lahiri, I. (2018). Copper catalyzed growth of hexagonal boron nitride nanotubes on a tungsten substrate. *Cystectomy*, 20(19), 2713–2719.
- [10] Wang, Y., Wei, W., Wang, H., Huang, B., & Dai, Y. (2019). The diverse electronic properties of C/BN heteronanotubes with polar discontinuity. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 52(21), 215302. doi:10.1088/1361-6463/ab035f
- [11] Makiabadi, B., Zakarianezhad, M., Ekrami-Kakhki, M. S., & Zareye, S. (2018). Adsorption of the nitrosamine and thionitrosamine molecules as carcinogen compounds on the BN and B₃Al N nanotubes: A DFT study. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 1–17. doi:10.1080/10426507.2018.1487431
- [12] Wang, H., Wang, W., Wang, H., Zhang, F., Li, Y., & Fu, Z. (2018). Synthesis of boron nitride nanotubes by combining citrate-nitrate combustion reaction and catalytic chemical vapor deposition. *Ceramics International*, 44(12), 13959–13966. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.04.245
- [13] Rahmani, A. (2018). Raman active modes of single-wall boron nitride nanotubes inside carbon nanotubes. *Materials and Devices*, 3(2). Retrieved from <http://caip.co-ac.com/index.php/materialsanddevices/article/view/64/34>
- [14] Choyal, V. K., Choyal, V., Nevhal, S., Bergaley, A., & Kundalwal, S. I. (2019). Effect of aspects ratio on Young's modulus of boron nitride nanotubes: A molecular dynamics study. *Materials Today: Proceedings*. doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.347
- [15] Wei, A., Shen, L., Chen, S., Guo, L., & Chen, W. (2019). Facile synthesis of novel cage-like porous Ag-decorated silica nanotubes with enhanced catalytic activity. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 135, 109106. doi: 10.1016/j.jpcs.2019.109106
- [16] Yari, H., Pakizeh, M., & Namvar-Mahboub, M. (2019). Effect of silica nanotubes on characteristic and performance of PVDF nanocomposite membrane for nitrate removal application. *Journal of Nanoparticle Research*, 21(5). doi:10.1007/s11051-019-4511-8
- [17] Glotov, A., Levshakov, N., Stavitskaya, A. V., Artemova, M., Gushchin, P., Ivanov, E. V., Lvov, Y. M. (2019). Templated self-assembly of ordered mesoporous silica on clay nanotubes. *Chemical Communications*. doi:10.1039/c9cc01935a
- [18] Yuan, C., Jiang, J., Wang, D., Hu, Y., & Liu, M. (2019). In Situ Growth of Chiral Gold Nanoparticles in Confined Silica Nanotube. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(5), 2789–2793. doi:10.1166/jnn.2019.16027
- [19] Sikora, P., Abd Elrahman, M., Chung, S.-Y., Cendrowski, K., Mijowska, E., & Stephan, D. (2018). Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core-shell structures, exposed to elevated temperature. *Cement and Concrete Composites*. doi:10.1016/j.cemconcomp.2018.11.006
- [20] Daub, C. D., Cann, N., Bratko, D., & Iuzar, alenka. (2018). Electrokinetic flow of aqueous electrolyte in amorphous silica nanotubes. *Physical Chemistry Chemical Physics*. doi:10.1039/c8cp03791d
- [21] Tian, M., Long, Y., Xu, D., Wei, S., & Dong, Z. (2018). Hollow mesoporous silica nanotubes modified with palladium nanoparticles for environmental catalytic applications. *Journal of Colloid and Interface Science*, 521, 132–140. doi:10.1016/j.jcis.2018.03.041
- [22] Akpotu, S. O., & Moodley, B. (2018). Encapsulation of Silica Nanotubes from Elephant Grass with Graphene Oxide/Reduced Graphene Oxide and Its Application in Remediation of Sulfamethoxazole from Aqueous Media. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(4), 4539–4548. doi:10.1021/acssuschemeng.7b02861
- [23] Du, A., Wang, H., Zhou, B., Zhang, C., Wu, X., Ge, Y., ... Shen, J. (2018). Multifunctional Silica Nanotube Aerogels (SNTAs) Inspired by Polar Bear Hair for Light Management and Thermal Insulation. *Chemistry of Materials*. doi:10.1021/acs.chemmater.8b02926

- [24] Eguílaz, M., Villalonga, R., & Rivas, G. (2018). Electrochemical biointerfaces based on carbon nanotubes-mesoporous silica hybrid material: Bioelectrocatalysis of hemoglobin and biosensing applications. *Biosensors and Bioelectronics*, 111, 144–151. doi:10.1016/j.bios.2018.04.004
- [25] Kong, J., Sun, J., Tong, Y., Dou, Q., Wei, Y., Thitsartarn, W., ... He, C. (2018). Carbon nanotubes-bridged-fumed silica as an effective binary nanofillers for reinforcement of silicone elastomers. *Composites Science and Technology*. doi: 10.1016/j.compscitech.2018.11.006
- [26] W. Krätschmer, L. D. Lamb, K. Fostiroupolous, and D. A. Hoffmann, *Nature* 347, 354 (1990).
- [27] K. George Thomas, V. Biju, DM Guldi, Prashant V. Kamat y MV George. Separación de carga fotoinducida y estabilización en grupos de una diada de fullereno-anilina. *The Journal of Physical Chemistry B* 1999, 103 (42), 8864-8869. DOI: 10.1021 / jp9915679.
- [28] Zhongmin Zhou, Ziyue Qiang, Takumi Sakamaki, Izuru Takei, Rui Shang, Eiichi Nakamura. El dopaje de semiconductores de tipo p híbrido orgánico / inorgánico permite que las células solares de perovskita de película delgada libre de capa delgada de transporte de agujeros con alta estabilidad. *Interfaces y materiales aplicados de ACS* 2019, 11 (25), 22603-22611. DOI: 10.1021 / acsami.9b06513.
- [29] Ding L-Ping, Shao P, Sun WG, Zhang F-Hui, Lu C, Micromechanism study on electronic and magnetic properties of silicone regulated by oxygen, *Journal of Materials Science and amp; Technology* (2019), <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.03.032>
- [30] Y-F. Li, K-C. Zhang, Y. Liu, Structural, magnetic and topological properties in rare-earth adsorbed silicene system, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2019.165606>
- [31] M.W. Chuan, K.L. Wong, A. Hamzah, S. Rusli, N.E. Alias, C.S. Lim, M.L. Peng Tan, Electronic properties and carrier transport properties of low dimensional aluminium doped silicone nanostructure, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2019.113731>.
- [32] M.D. Özdemir, H.C. Çekil, Ö. Atasever, B. Özdemir, Z. Yarar, M. Özdemir, Electron transport properties of silicene: Intrinsic and dirty cases with screening effects, *Journal of Molecular Structure* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.126878>.
- [33] R. Chandiramouli, V. Nagarajan, Silicene nanosheet device with nanopore to identify the nucleobases – A first-principles perspective, *Chemical Physics Letters* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.05.038>
- [34] J. Princy Maria, R. Bhuvaneswari, V. Nagarajan, R. Chandiramouli, Diethanolamine and quaternium-15 interaction studies on antimonene nanosheet based on first principles studies, *Computational & Theoretical Chemistry* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2019.04.007>
- [35] V. Nagarajan, R. Chandiramouli, Detection of trace level of hazardous phosgene gas on antimonene nanotube based on first-principles method, *Journal of Molecular Graphics and Modelling* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2018.12.005>.
- [36] S. Dai, W. Zhou, Y. Liu, Y-L. Lu, L. Sun, P. Wu, Tunable electronic and magnetic properties of antimonene system via Fe doping and defect complex: A first principles perspective, *Applied Surface Science* (2018), doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.135>
- [37] S. Kansara, J. Shah, Y. Sonvane, S.K. Gupta, Conjugation of Biomolecules onto Antimonene Surface for Biomedical Prospects: A DFT Study, *Chemical Physics Letters* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.11.027>
- [38] S-K. Zhang, T. Zhang, C-E. Hu, Y. Cheng, Q-F. Chen, The effects of oxidation on the electronic, thermal and mechanical properties of antimonene: First principles study, *Chemical Physics Letters* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2018.11.013>
- [39] J. Su, T. Duan, W. Li, B. Xiao, G. Zhou, Y. Pei, X. Wang, A first-principles study of 2D antimonene electrodes for Li ion storage, *Applied Surface Science* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.010>
- [40] S. Dai, Y-L. Lu, P. Wu, Tuning electronic, magnetic and optical properties of Cr-doped

- antimonene via biaxial strain engineering, *Applied Surface Science* (2018), doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.08.252>
- [41] Mercado, C. C., Lubrin, M. E. L., Hernandez, H. A. J., & Carubio, R. A. (2019). Comparison of Photoelectrochemical Current in Amorphous and Crystalline Anodized TiO₂ Nanotube Electrodes. *International Journal of Photoenergy*, 2019, 1–8. doi:10.1155/2019/9848740
- [42] Ali, S., Granbohm, H., Lahtinen, J., & Hannula, S.-P. (2018). Titania nanotubes prepared by rapid breakdown anodization for photocatalytic decolorization of organic dyes under UV and natural solar light. *Nanoscale Research Letters*, 13(1). doi:10.1186/s11671-018-2591-5
- [43] Wang, X., Sun, M., Murugananthan, M., Zhang, Y., & Zhang, L. (2019). Electrochemically Self-Doped WO₃/TiO₂ Nanotubes or Photocatalytic Degradation of Volatile Organic Compounds. *Applied Catalysis B: Environmental*, 118205. doi:10.1016/j.apcatb.2019.118205
- [44] Zu, G., Li, H., Liu, S., Li, D., Wang, J., & Zhao, J. (2018). Highly efficient mass determination of TiO₂ nanotube arrays and its application in lithium-ion batteries. *Sustainable Materials and Technologies*, e00079. doi:10.1016/j.susmat.2018.e00079
- [45] Niu, D., Han, A., Cheng, H., Ma, S., Tian, M., & Liu, L. (2019). Effects of organic solvents in anodization electrolytes on the morphology and tube-to-tube spacing of TiO₂ nanotubes. *Chemical Physics Letters*, 136776. doi:10.1016/j.cplett.2019.136776
- [46] Qiao, H., Xiao, H., Huang, Y., Yuan, C., Zhang, X., Bu, X., ... Zhang, X. (2019). SiO₂ loading into polydopamine-functionalized TiO₂ nanotubes for biomedical applications. *Surface and Coatings Technology*. doi:10.1016/j.surfcoat.2019.02.089
- [47] Peighambardoust, N. S., Asl, S. K., Mohammadpour, R., & Asl, S. K. (2019). Improved efficiency in front-side illuminated dye sensitized solar cells based on free-standing one-dimensional TiO₂ nanotube array electrodes. *Solar Energy*, 184, 115–126. doi:10.1016/j.solener.2019.03.073
- [48] Abdelnasser, S., Kim, S., Yoon, H., Toth, R., Pal, K., & Bechelany, M. (2019). Sodium-assisted TiO₂ nanotube arrays of novel electrodes for photochemical sensing platform. *Organic Electronics*, 105443. doi:10.1016/j.orgel.2019.105443
- [49] Krabal, M., Ng, S., Motola, M., Hromadko, L., Dvorak, F., Prokop, V., ... Macak, J. M. (2019). Sulfur treated 1D anodic TiO₂ nanotube layers for significant photo- and electroactivity enhancement. *Applied Materials Today*, 17, 104–111. doi:10.1016/j.apmt.2019.07.018
- [50] Ghani, T., Mujahid, M., Mehmood, M., Zhang, G., & Naz, S. (2019). Highly ordered combined structure of anodic TiO₂ nanotubes and TiO₂ nanoparticles prepared by a novel route for dye-sensitized solar cells. *Journal of Saudi Chemical Society*. doi:10.1016/j.jscs.2019.08.003
- [51] Marien, C. B. D., Cottineau, T., Robert, D., & Drogui, P. (2016). TiO₂ Nanotube arrays: Influence of tube length on the photocatalytic degradation of Paraquat. *Applied Catalysis B: Environmental*, 194, 1–6. doi:10.1016/j.apcatb.2016.04.040
- [52] Mazare, A., Park, J., Simons, S., Mohajernia, S., Hwang, I., Yoo, J. E., ... Schmuki, P. (2019). Black TiO₂ nanotubes: Efficient electrodes for triggering electric field-induced stimulation of stem cell growth. *Acta Biomaterialia*. doi:10.1016/j.actbio.2019.08.021
- [53] Ridene, S. (2018). Large optical gain from the 2D-transition metal dichalcogenides of MoS₂/WSe₂ quantum wells. *Superlattices and Microstructure* 114, 379–385. doi:10.1016/j.spmi.2017.12.060
- [54] Wu, C., Ou, J. Z., He, F., Ding, J., Luo, W., Wu, M., & Zhang, H. (2019). Three-dimensional MoS₂/Carbon sandwiched architecture for boosted lithium storage capability. *Nano Energy*, 104061. doi:10.1016/j.nanoen.2019.104061
- [55] Rahmati, B., Hajzadeh, I., Taheri, M., Karimzadeh, R., Mohajerzadeh, S., & Mohseni, S.

- M. (2019). Plasmonic improvement photoresponse of vertical-MoS₂ nanostructure photodetector by Au nanoparticles. *Applied Surface Science*, 490, 165–171. doi:10.1016/j.apsusc.2019.06.058
- [56] Hossain, M. B., Rana, M. M., Abdulrazak, L. F., Mitra, S., & Rahman, M. (2019). Graphene- MoS₂ with TiO₂SiO₂ layers based surface plasmon resonance biosensor: Numerical development for formalin detection. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 18, 100639. doi:10.1016/j.bbrep.2019.100639
- [57] Liu, F., Zhang, Y., Wang, H., Li, L., Zhao, W., Shen, J.-W., & Liang, L. (2020). Study on the adsorption orientation of DNA on two-dimensional MoS₂ surface via molecular dynamics simulation: A vertical orientation phenomenon. *Chemical Physics*, 529, 110546. doi:10.1016/j.chemphys.2019.110546
- [58] N. Dalila R, M.K. Md Arshad, Subash C.B. Gopinath, W.M.W. Norhaimi and M.F.M. Fathil, Current and Future Envision on Developing Biosensors Aided by 2D Molybdenum Disulfide (MoS₂) P r o d u c t i o n s, *Biosensors and Bioelectronic*, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.03.005>
- [59] Zhao, X., Lei, Y., Fang, P., Li, H., Han, Q., Hu, W., & He, C. (2019). Piezotronic effect of single/few-layers MoS₂ nanosheets composite with TiO₂ nanorod heterojunction. *Nano Energy*, 104168. doi:10.1016/j.nanoen.2019.104168
- [60] Huang, M., Chen, H., He, J., An, B., Sun, L., Li, Y., ... Zhang, P. (2019). Ultra small few layer MoS₂ embedded into three-dimensional macro-micro-mesoporous carbon as a high performance lithium ion batteries anode with superior lithium storage capacity. *Electrochimica Acta*, 317, 638– 647. doi:10.1016/j.electacta.2019.06.025
- [61] Zhang, F.-J., Li, X., Sun, X.-Y., Kong, C., Xie, W.-J., Li, Z., & Liu, J. (2019). Surface partially oxidized MoS₂ nanosheets as a higher efficient cocatalyst for photocatalytic hydrogen production. *Applied Surface Science*. doi:10.1016/j.apsusc.2019.04.258

Evaluación De Normativas De Calidad En Productos De La Canasta Básica Y Su Cumplimiento En El Mercado

Zumaya García Emmanuel Ángel, Díaz Ramírez Fernanda Itzel, Trejo Aguilar Leidy Celeste

Instituto Tecnológico Superior de Pánuco
angel.zumaya@itspanuco.edu.mx

RESUMEN

Palabras clave:

Control de calidad en productos básicos, Impacto en la salud de los consumidores, Falta de supervisión y normas claras, Educación para consumidores y productores

"Este reporte analiza el seguimiento de las regulaciones de calidad en los artículos de primera necesidad en México" y resalta su repercusión en la salud pública y la economía doméstica. Los expertos investigan asuntos como la descripción engañosa en los envases, la carencia de supervisión y los obstáculos que enfrentan los pequeños productores para acatar los estándares establecidos. También examinan cómo estas deficiencias impactan a los consumidores, especialmente a segmentos vulnerables como infantes e individuos de escasos recursos económicos.

El informe está dividido en tres secciones principales: en primer lugar, se aborda el problema y se plantean cuestiones fundamentales; luego se examina el marco teórico utilizando directrices como la NOM 043 SSA 2012 y datos proporcionados por la FAO y la OMS; finalmente se propone una metodología para verificar el cumplimiento de dichos lineamientos. Entre las soluciones propuestas se destacan mejoras en la supervisión regulatoria y el empleo de tecnologías de seguimiento junto a campañas educativas tanto para consumidores como para productores.

ABSTRACT

Keywords:

Quality control in basic products. Impact on consumer health. Lack of oversight and clear standards. Education for consumers and producers.

"This report analyzes the monitoring of quality regulations for basic necessities in Mexico" and highlights its impact on public health and the domestic economy. Experts investigate issues such as misleading packaging descriptions, lack of oversight, and the obstacles small producers face in complying with established standards. They also examine how these deficiencies impact consumers, especially vulnerable segments such as infants and low-income individuals.

The report is divided into three main sections: first, it addresses the problem and raises key questions; then, it examines the theoretical framework using guidelines such as NOM 043 SSA 2012 and data provided by the FAO and WHO; finally, it proposes a methodology to verify compliance with these guidelines. Proposed solutions include improvements in regulatory oversight and the use of monitoring technologies, along with educational campaigns for both consumers and producers.

INTRODUCCIÓN

Con respecto a la calidad de los productos de la canasta básica en México, se analizará el grado de cumplimiento de las normativas y su impacto en los consumidores, en particular, en los sectores más vulnerables.

El tema del texto se centra en la seguridad alimentaria y la salud pública, áreas directamente influenciadas por la calidad de los alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (**FAO, 2021**), el incumplimiento de dichas normativas puede acarrear riesgos sanitarios significativos, como intoxicaciones o enfermedades crónicas.

En relación con las medidas regulatorias, a pesar de su existencia, estudios recientes continúan señalando problemas como el etiquetado engañoso, la adulteración de productos y la escasa fiscalización (**Alimentarius, 2020**); (**OMS, 2019**).

Otro punto es la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, la cual establece criterios de inocuidad y valor nutricional. (**México, 2012**). No obstante, informes de la (**COFECE, 2025**), evidencian obstáculos estructurales que dificultan su implementación efectiva. Esto genera asimetrías en la competencia comercial y pone en riesgo el derecho de los consumidores a acceder a productos seguros (**PROFECO, 2021**).

En definitiva, este texto propone analizar el cumplimiento de dichas normativas y plantear medidas para mejorar los mecanismos de control, tomando como referencia experiencias internacionales que equilibren la calidad, la accesibilidad y la transparencia alimentaria como las directrices de la (**Europea, 2020**), en materia de legislación alimentaria.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En cuanto a recolección de datos, para llevarlo a cabo, se realizó un análisis documental en el que se revisaron normativas oficiales como la NOM-043-SSA2-2012 y la NOM-051, así como informes recientes emitidos por PROFECO y la FAO. (**FAO, Etiquetado nutricional y orientación al consumidor en América Latina y el Caribe., 2021**) Esta revisión permitió establecer una base normativa sólida sobre la cual desarrollar el instrumento de evaluación. (**PROFECO, Estudio de calidad de productos de la canasta básica. Procuraduría Federal del Consumidor., 2021**)

Además, como parte del proceso, se diseñó un checklist estandarizado con diez criterios clave, todos ellos basados en lo establecido por la NOM-043-SSA2-2012. Este instrumento se enfocó en tres aspectos principales: primero, el etiquetado nutricional, considerando la claridad de la tabla nutrimental, la especificación de porciones y el contenido energético; segundo, la información educativa, evaluando la presencia de leyendas orientadas a una alimentación saludable, así como el uso de un lenguaje accesible; y tercero, la integridad del producto, asegurando la ausencia de información engañosa y la inclusión de recomendaciones adecuadas para diferentes grupos de edad. (**(DOF), 2020**)

A continuación, la aplicación del instrumento se realizó mediante observación directa en sucursales de tiendas como Aurrerá y Soriana. Se seleccionaron veinte productos representativos de la canasta básica, de acuerdo con los criterios establecidos por el CONEVAL. Estos productos fueron distribuidos en cinco categorías generales: verduras y frutas (como jitomate, cebolla y plátano); cereales (como arroz, tortilla y harina de trigo); leguminosas (frijol y lenteja); productos de origen animal (como huevo, leche y pollo); y finalmente, otros productos comunes como aceite, azúcar y café. Para ser incluidos en el estudio, los productos debían estar envasados y contar con etiquetado obligatorio, además de estar disponibles en ambas sucursales visitadas.

Tabla de verificación de productos de la Canasta Básica Alimentaria (según CONEVAL) y cumplimiento de la NOM-043-SSA2-2012

La escala de evaluación utilizada en este estudio va del 1 al 10, donde 1 representa el cumplimiento mínimo o inexistente de los criterios establecidos por la NOM-043-SSA2-2012, y 10 representa el cumplimiento total. Los puntajes fueron asignados considerando tres aspectos: información nutrimental, orientación educativa, y claridad visual del etiquetado. Por ejemplo, un producto con etiquetado completo, lenguaje accesible y orientación por grupo etario recibiría una puntuación cercana a 10, mientras que la ausencia total de dicha información se calificaría con 1.

“El valor más alto (10) indica un cumplimiento óptimo, mientras que el valor más bajo (1) refleja una carencia total de los elementos evaluados.”

Tabla 1: Tabla de verificación de productos

| Grupo Alimenticio | Producto | Marca | Lugar de Compra | Cumple NOM-043 (Sí/No) | Puntaje (0–10) | Observaciones |
|-------------------|-----------|----------------|-----------------|------------------------|----------------|--|
| Verduras y Frutas | Jitomate | Saladet | Aurrera | No | 2 | No cuenta con tabla nutrimental, información energética ni orientación para una alimentación correcta. |
| | Cebolla | Cebolla blanca | Aurrera | No | 2 | Falta información nutrimental y educativa, sin orientación visual. |
| | Zanahoria | Aurrera | Aurrera | No | 2 | No tiene tabla nutrimental ni especificaciones de macronutrientes. |
| | Plátano | Chiapas | Aurrera | No | 2 | Información incompleta en nutrientes y energía, sin leyenda educativa. |
| | Manzana | La instancia | Aurrera | Si | 4 | Cumple parcialmente con criterios |

| | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|---------|----|---|---|
| | | | | | | nutrimentales, pero carece de orientación alimentaria. |
| | Papaya | Aurreera | Aurrera | No | 1 | Información ausente o insuficiente en criterios nutrimentales. |
| | Naranja | Granel | Aurrera | No | 2 | No presenta tabla nutrimental clara ni guía alimentaria. |
| | Limón | Limon agrio | Aurrera | No | 1 | Falta tabla nutrimental y guía visual para alimentación correcta. |
| | Sandía | Aurrera | Aurrera | No | 1 | No hay información nutrimental ni educativa. |
| Cereales | Tortilla de maíz | Soriana | Soriana | No | 2 | Información incompleta sobre macronutrientes y contenido energético. |
| | Arroz | Nor-ver | Aurrera | Si | 6 | Cumple con criterios básicos, pero no ofrece orientación por grupo de edad. |
| | Pan blanco / bolillo | Bimbo | Aurrera | No | 2 | Información nutricional limitada, sin guía alimentaria clara. |
| | Harina de trigo | Great value | Aurrera | Si | 8 | Falta leyenda educativa y orientación visual para el consumidor. |
| | Avena | Quaker | Aurrera | Si | 9 | Información nutrimental completa, pero sin recomendaciones específicas. |
| Leguminosas | Frijol | Nor-ver | Aurrera | Si | 6 | Presenta datos adecuados, aunque podría incluir más detalles sobre porciones. |
| | Lenteja | Verde valle | Aurrera | Si | 7 | Cumple con la mayoría de los criterios, aunque sin orientación visual. |

| | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|-------------|----------|----|---|--|
| Origen Animal | Huevo | Tehuacan | Aurrera | Si | 6 | Información nutrimental aceptable, pero sin detalles sobre recomendaciones alimentarias. |
| | Leche (entera/en polvo) | Lala | Aurrera | Si | 7 | Falta orientación visual y leyenda educativa. |
| | Carne de res | Soriana | Soriana | Si | 2 | No cuentan con tabla nutrimental ni información sobre contenido energético. |
| | Pollo | Soriana | Soriana | No | 2 | No cuentan con tabla nutrimental ni información sobre contenido energético. |
| | Atún enlatado / sardinas | El dorado | Subodega | Si | 8 | Cumple en gran parte con la norma, aunque sin orientación por grupo de edad. |
| Aceites y Azúcares | Aceite vegetal | Patrona | Subodega | Si | 7 | No cumple con algunos criterios nutrimentales clave. |
| | Mantecavegetal | Inca | Aurrera | Si | 8 | Información adecuada, aunque sin enfoque educativo. |
| | Azúcar estándar | Aurrera | Aurrera | No | 3 | Falta Información clara sobre nutrientes y consumo recomendado |
| Otros | Pasta para sopa | La moderna | Subodega | Si | 9 | Cumple con los requisitos, pero sin guía alimentaria específica. |
| | Café soluble | Great value | Subodega | No | 4 | No cumple con ciertos criterios nutrimentales ni de orientación alimentaria. |
| | Sal yodada | Oso blanco | Subodega | Si | 8 | Información adecuada, pero sin enfoque educativo claro. |
| | Consomé de pollo en polvo | Know | Subodega | Si | 8 | Información incompleta en nutrientes y sin |

| | | | | | | |
|--|----------------------|------------|---------|----|---|--|
| | | | | | | orientación por grupo de edad. |
| | Chile seco | Precissimo | Aurrera | Si | 8 | No presenta leyenda educativa ni guía alimentaria. |
| | Galletas tipo Marías | Marias | Aurrera | Si | 8 | Falta leyenda educativa y orientación por grupo de edad. |

Tabla 2: Resultados de la tabla de verificación de productos

| Verduras y Frutas | | Cereales | | Leguminosas | | Origen Animal | | Aceites y Azúcares | | Otros | |
|-------------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| Producto | Puntaje (10) | Producto | Puntaje (10) | Producto | Puntaje (10) | Producto | Puntaje (10) | Producto | Puntaje (10) | Producto | Puntaje (10) |
| Jitomate | 9 | Tortilla de maíz | 2 | Frijol | 6 | Huevo | 6 | Aceite vegetal | 7 | Pasta para sopa | 9 |
| Cebolla | 2 | Arroz | 6 | Lenteja | 7 | Leche (entera/en polvo) | 7 | Manteca vegetal | 8 | Café soluble | 4 |
| Zanahoria | 2 | Pan blanco / bolillo | 2 | | | Carne de res | 2 | Azúcar estandar | 3 | Sal yodada | 8 |
| Plátano | 2 | Harina de trigo | 8 | | | Pollo | 2 | | | Consomé de pollo en polvo | 8 |
| Manzana | 4 | Avena | 9 | | | Atún enlatado / sardinas | 8 | | | Chile seco | 8 |
| Papaya | 1 | | | | | | | | | Galletas tipo Marías | 8 |
| Naranja | 2 | | | | | | | | | | |
| Limón | 1 | | | | | | | | | | |
| Sandía | 1 | | | | | | | | | | |
| TOTAL | 24 | TOTAL | 27 | TOTAL | 13 | TOTAL | 25 | TOTAL | 18 | TOTAL | 45 |

Informe del cumplimiento de la NOM-043-SSA2-2012 en Productos de la Canasta Básica

El acceso a alimentos saludables y seguros no solo depende de su disponibilidad en el mercado, sino también de la calidad de la información proporcionada al consumidor. En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012 establece criterios fundamentales para el etiquetado y la orientación alimentaria en productos procesados, con el objetivo de promover decisiones informadas que

mejoren la nutrición de la población ((DOF), NOM-043-SSA2-2012. **Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria.**, 2013). Sin embargo, a pesar de su existencia, múltiples estudios y revisiones revelan deficiencias importantes en el cumplimiento de estas normativas, especialmente en los productos de la canasta básica.

Este análisis, basado en una evaluación de 32 productos representativos, expone hallazgos relevantes sobre la calidad del etiquetado, la presencia (o ausencia) de información nutricional clara y la falta de orientación educativa en alimentos que son parte del consumo diario de millones de personas. Se agruparon los productos en categorías: verduras y frutas, cereales, leguminosas, alimentos de origen animal, aceites, azúcares y otros, observando notables diferencias en el grado de cumplimiento.

Cumplimiento General y Observaciones Relevantes:

Por un lado, uno de los hallazgos más destacados fue el contraste entre productos procesados y frescos. Alimentos como harina de trigo, avena, atún enlatado, pasta para sopa y sal yodada obtuvieron puntajes altos (entre 8 y 9 de 10), debido a la inclusión de tablas nutricionales completas, lenguaje claro y presencia de ejemplos visuales. Por el contrario, productos frescos como papaya, limón, sandía, carne de res y pollo, mostraron un nivel de cumplimiento muy bajo (1 a 3 puntos), principalmente por la ausencia total de etiquetado nutricional y recomendaciones de consumo.

Sin embargo, en cuanto a las deficiencias más comunes, se identificó la falta de tablas nutricionales legibles en productos como jitomate, cebolla, zanahoria, plátano, naranja, tortilla de maíz, pan blanco y café soluble. Además, en la mayoría de las frutas y verduras no se encontró información energética ni de macronutrientes. Esta omisión contrasta con los principios de la NOM-043, que recomienda informar de manera accesible sobre el contenido energético, grasas, proteínas, carbohidratos y micronutrientes esenciales. ((SSA), 2012)

Además, también se destacó la falta de orientación educativa. Solo unos pocos productos, como la avena o las galletas tipo Marías, incluyeron ejemplos de platillos o guías visuales para su consumo. En general, se evidenció una ausencia sistemática de leyendas educativas que orienten al consumidor sobre hábitos alimenticios saludables o recomendaciones por grupo de edad, algo especialmente importante en contextos de alta prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles como obesidad y diabetes. (**Barquera, 2016**)

Evaluación por Categoría:

Verduras y Frutas: Esta categoría mostró el menor cumplimiento en términos de etiquetado nutricional. Salvo la manzana, que presentó información parcialmente adecuada, los demás productos carecían de toda orientación visual o educativa. La falta de etiquetado en productos frescos representa una brecha en las políticas de información al consumidor, considerando su importancia en la dieta diaria.

Cereales: Se observó una alta variabilidad. La harina de trigo y la avena se destacaron por cumplir casi todos los criterios, mientras que la tortilla de maíz y el pan blanco/bolillo presentaron deficiencias importantes, principalmente por no incluir micronutrientes como hierro o vitaminas del complejo B.

Leguminosas: El frijol y la lenteja mostraron un cumplimiento aceptable en cuanto a tablas nutricionales y lenguaje comprensible, pero adolecieron de elementos visuales o mensajes educativos, fundamentales para fomentar su incorporación en una dieta balanceada.

Alimentos de Origen Animal: Se encontró una gran diferencia entre productos procesados como el atún enlatado y productos frescos como la carne de res y el pollo. Mientras los primeros cumplieron adecuadamente con la norma, los segundos no incluyeron siquiera la información básica de macronutrientes.

Aceites y Azúcares: Aunque el aceite vegetal y la manteca cumplieron en cuanto a contenido nutricional, no ofrecieron ningún tipo de orientación educativa. Por otro lado, el azúcar estándar resultó deficiente en casi todos los aspectos evaluados.

Otros productos: Algunos productos como el consomé de pollo en polvo, la sal yodada y la pasta para sopa destacaron por su cumplimiento, mostrando que es posible aplicar la normativa de manera efectiva, incluso en productos altamente procesados.

Recomendaciones Fundamentales:

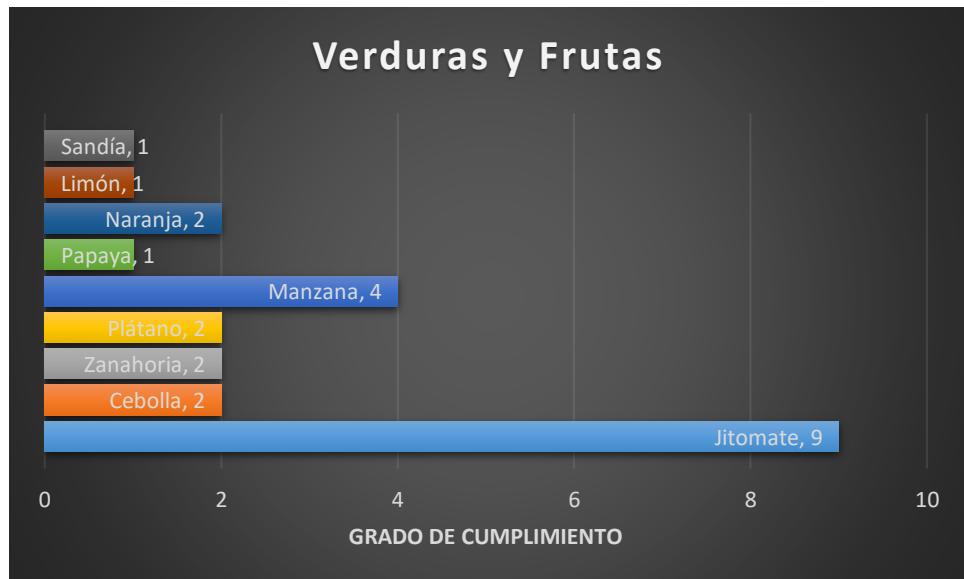
En definitiva, para cerrar las brechas encontradas, se proponen varias estrategias. En primer lugar, es urgente que todos los productos, incluidos los frescos, cuenten con información nutricional accesible. Esto podría lograrse mediante el uso de etiquetas en anaqueles o empaques secundarios, especialmente en puntos de venta al consumidor.

Asimismo, debe incorporarse orientación educativa en el etiquetado, no solo para fomentar hábitos saludables, sino también para informar sobre porciones adecuadas y recomendaciones por grupo etario. Este enfoque ha demostrado ser efectivo en otros países, donde la educación alimentaria a través del etiquetado ha contribuido a mejorar la calidad de la dieta (**Campos, 2011**)

Además, también se recomienda capacitar a productores, comerciantes y distribuidores en la aplicación de la NOM-043-SSA2-2012, así como establecer auditorías periódicas por parte de las autoridades sanitarias para asegurar su cumplimiento.

Para concluir, finalmente se propone un enfoque diferenciado para los productos frescos. Si bien estos no cuentan con empaques, pueden beneficiarse de señalización en los puntos de venta que informe sobre su valor nutricional, origen y forma de preparación saludable.

Graficas



Gráfica 1: Grado de cumplimiento de las verduras y frutas.

Muestra variaciones en el cumplimiento de productos como jitomate (alto puntaje) frente a otros como cebolla o zanahoria (puntajes bajos), lo que indica desigualdad en esta categoría.



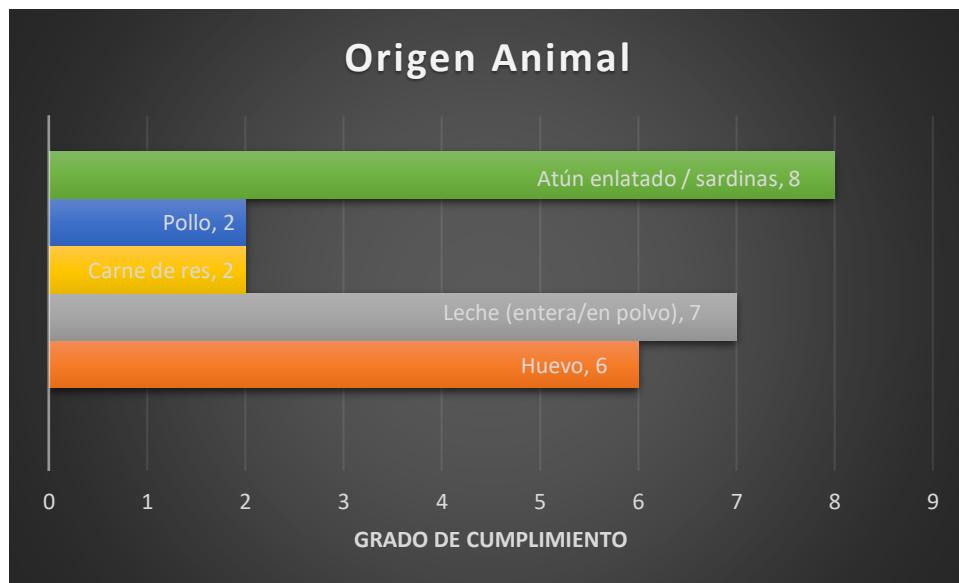
Gráfica 2: Grado de cumplimiento de los cereales.

Presenta un cumplimiento mixto, destacando productos como harina de trigo con puntajes altos, mientras que tortilla de maíz y pan blanco muestran bajo desempeño.



Gráfica 3: Grado de cumplimiento de las leguminosas.

Se observa un cumplimiento moderado, con productos como lenteja y frijol alcanzando puntajes aceptables, aunque es una de las categorías con menor suma total.



Gráfica 4: Grado de cumplimiento de los productos de origen animal.

Exhibe un cumplimiento variado, donde productos como leche y huevo tienen buen puntaje, en contraste con carne de res y pollo, que se encuentran en niveles bajos.



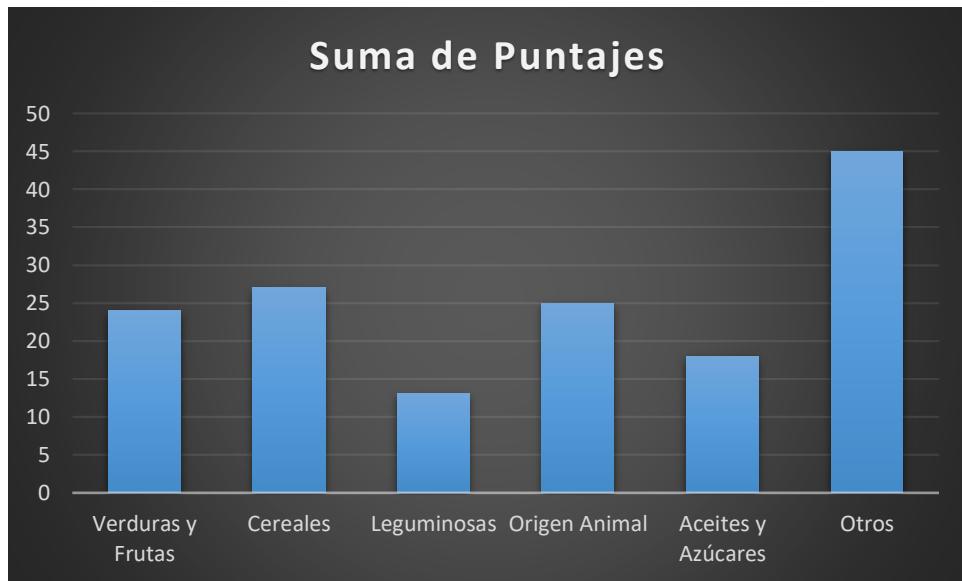
Gráfica 5: Grado de cumplimiento de los aceites y azucares.

Muestra un desempeño desigual; manteca vegetal y aceite tienen puntajes altos, mientras que azúcar estándar se queda por debajo, reflejando inconsistencia.



Gráfica 6: Grado de cumplimiento de otros productos básicos.

Es la categoría con el mayor puntaje acumulado; productos como pasta para sopa, sal yodada y consomé de pollo destacan por su alto cumplimiento general.



Gráfica 7: Total de la suma de todos los puntajes.

La gráfica de barras muestra la suma total de puntajes obtenidos por cada categoría de productos según su nivel de cumplimiento. Se observa que la

categoría "Otros" destaca con el mayor puntaje acumulado (90 puntos), lo cual indica un alto nivel de cumplimiento en ese grupo. Le siguen Cereales (54 puntos) y Origen Animal (50 puntos). Por otro lado, la categoría con menor puntaje es Leguminosas (26 puntos), lo que sugiere un menor desempeño o cumplimiento en ese rubro.

Esta visualización permite identificar de manera clara en qué áreas se tiene mejor o peor cumplimiento, ayudando a enfocar esfuerzos de mejora.

CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio pone en evidencia varias fallas importantes en el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, especialmente en los productos de la canasta básica que se venden en el mercado mexicano. A través de un enfoque cualitativo y el uso de un checklist basado en la normativa, se observó una falta generalizada de información nutricional clara, orientación alimentaria y mensajes educativos en el etiquetado, particularmente en productos no procesados o vendidos a granel.

No obstante, aunque algunos productos empacados muestran cierto nivel de cumplimiento, la mayoría sigue sin ofrecer la información necesaria para que los consumidores puedan tomar decisiones informadas sobre su alimentación. Esto resulta especialmente preocupante para los sectores más vulnerables de la población, que suelen tener menos acceso a información confiable sobre salud y nutrición.

Además, se detectaron obstáculos estructurales como la informalidad en los canales de distribución, la falta de vigilancia regulatoria y una débil aplicación de las normativas existentes. Estos factores complican seriamente la implementación

de políticas públicas eficaces que garanticen alimentos más seguros y con mejor información al consumidor.

Por todo esto, se vuelve urgente reforzar los mecanismos de vigilancia y control, capacitar a productores y vendedores sobre temas de etiquetado y nutrición, y desarrollar campañas educativas accesibles y claras para la población. Solo a través de un esfuerzo conjunto “que combine regulación, educación y tecnología” será posible avanzar hacia un sistema alimentario más justo, transparente y saludable en México.

REFERENCIAS

- FAO. (2021). The state of food security and nutrition in the world.<https://doi.org/10.4060/cb4474en>
- Codex Alimentarius. (2020). General principles of food hygiene.<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>
- OMS. (2019). Food safety and quality: An essential guide. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241515528>
- Secretaría de Salud de México (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012.<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales>
- COFECE. (2025). Accesibilidad y precios: Evaluación de la canasta básica. <https://www.cofece.mx>
- PROFECO. (2021). Derechos del consumidor y calidad de productos básicos. <https://www.gob.mx/profeco>
- Comisión Europea. (2020). Legislación alimentaria de la UE. https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/general-food-law_es
- PROFECO. (2021). *Estudio de calidad de productos de la canasta básica*. Procuraduría Federal del Consumidor. <https://www.gob.mx/profeco/documentos/estudios-de-calidad>
- FAO. (2021). *Etiquetado nutricional y orientación al consumidor en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/CB4933ES>
- PROFECO. (2021). *Estudio de calidad de productos de la canasta básica*. Procuraduría Federal del Consumidor. <https://www.gob.mx/profeco/documentos/estudios-de-calidad>

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). NOM-051-SCFI/SSA1-2010. *Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados.*
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5593392&fecha=27/03/2020
- CONEVAL. (2022). *Canasta alimentaria y no alimentaria por ámbito geográfico.* Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
<https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Canasta-Basica.aspx>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2013). NOM-043-SSA2-2012. *Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria.*
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285370&fecha=22/08/2013
- Secretaría de Salud (SSA). (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012.*
<https://www.gob.mx/salud/documentos/nom-043-ssa2-2012>
- Barquera, S., Campos, I., & Rivera, J. A. (2016). *México y la obesidad: un país en crisis.* Salud Pública de México, 58(6), 586–592.
<https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7857>
- Campos, S., Doxey, J., & Hammond, D. (2011). *Nutrition labels on pre-packaged foods: a systematic review.* Public Health Nutrition, 14(8), 1496–1506.
<https://doi.org/10.1017/S1368980010003290>

Evaluación De Normativas De Calidad En Productos De La Canasta Básica Y Su Cumplimiento En El Mercado

Zumaya García Emmanuel Ángel, Díaz Ramírez Fernanda Itzel, Trejo Aguilar Leidy Celeste

Instituto Tecnológico Superior de Pánuco
angel.zumaya@itspanuco.edu.mx

IA conversacional para Equidad Sanitaria mediante Mensajería Móvil

Ahumada Cervantes María de los Angeles, Álvarez Baltierra Eric, Melo Morín, Julia Patricia

Instituto Tecnológico Superior de Pánuco
angeles.ahumada@itspanuco.edu.mx

RESUMEN

Palabras clave:
salud digital, inteligencia artificial, equidad.

La presente investigación describe un sistema inteligente de apoyo a la salud que integra modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), para brindar asesoramiento remoto y personalizado a comunidades marginadas. Utiliza una interfaz de mensajería que interpreta síntomas, genera diagnósticos preliminares y diseña planes de seguimiento de salud disponible 24/7 con recordatorios. Para favorecer su adopción y usabilidad, el diseño se apoya en marcos de aceptación tecnológica y en un enfoque centrado en el usuario. Para mitigar la brecha digital, emplea móviles de bajo requerimiento y flujos simples para conectividad limitada. La seguridad clínica incluye umbrales de confianza, verificación humana y protocolos de derivación a profesionales ante casos complejos o síntomas de alarma. Se proponen mecanismos de registro y seguimiento de la salud para el paciente y la evaluación de los resultados. El análisis técnico-económico, confirma viabilidad con costos contenidos, beneficio neto mensual y recuperación temprana de la inversión, el mercado inicial prioriza embarazadas, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas en zonas rurales. En conjunto, la solución fortalece la equidad sanitaria, optimiza recursos y ofrece un camino escalable y replicable para la salud digital en contextos de infraestructura limitada.

ABSTRACT

Keywords:
digital health, artificial intelligence, equity

This study describes an intelligent health-support system that integrates large language models (LLMs) to deliver remote, personalized guidance to marginalized communities. It uses a messaging interface that interprets symptoms, generates preliminary diagnoses, and designs health follow-up plans, available 24/7 with automated reminders. To enhance adoption and usability, the design draws on technology-acceptance

frameworks and a user-centered approach. To mitigate the digital divide, it relies on low-spec mobile devices and streamlined workflows suited to limited connectivity. Clinical safety features include confidence thresholds, human-in-the-loop verification, and referral protocols to healthcare professionals for complex cases or red-flag symptoms. The proposal includes mechanisms for patient record-keeping, longitudinal follow-up, and outcome evaluation. A techno-economic analysis confirms feasibility with contained costs, a positive monthly net benefit, and early return on investment; the initial target population prioritizes pregnant women, older adults, and individuals with chronic diseases in rural areas. Overall, the solution strengthens health equity, optimizes resource use, and offers a scalable, replicable pathway for digital health in low-infrastructure settings.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, Sistema Inteligente de Apoyo a la Salud, se centra en una solución tecnológica diseñada para mitigar las brechas estructurales que enfrentan comunidades marginadas en el acceso a servicios de salud. Esta propuesta se fundamenta en la integración de Inteligencia Artificial mediante modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para generar atención médica personalizada y remota, con un enfoque accesible y escalable.

De acuerdo con los principios internacionales sobre innovación (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2023), una solución innovadora debe aportar valor tangible, presentar mejoras significativas en relación con prácticas previas y adaptarse a contextos reales de aplicación. En este sentido, la propuesta se destaca por su compatibilidad cultural, facilidad de adopción y bajo requerimiento técnico, permitiendo su implementación incluso en entornos con infraestructura limitada.

En el ámbito de la salud, muchas comunidades marginadas enfrentan barreras estructurales que limitan el acceso a servicios médicos básicos. Según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2022), en Veracruz casi la mitad de la población (49.2 %) carece de acceso sanitario adecuado, lo que impide la realización de diagnósticos oportunos y el seguimiento de tratamientos crónicos.

La ausencia de herramientas que permitan asistencia remota y personalizada incrementa la morbilidad asociada a enfermedades prevenibles y complica la gestión de pacientes crónicos. Adicionalmente, el retraso en la atención sanitaria repercute negativamente en indicadores de calidad de vida y eleva los costos del sistema de salud pública (CONEVAL, 2022).

Desde el enfoque de la Organización Mundial de la Salud, la salud digital representa una herramienta clave para avanzar hacia sistemas sanitarios más equitativos, eficientes y centrados en las personas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021a). En este marco, la propuesta se alinea con los principios de accesibilidad, escalabilidad y sostenibilidad, al utilizar tecnologías ya incorporadas en la vida cotidiana de los usuarios, sin requerir dispositivos especializados ni conocimientos técnicos avanzados.

La innovación propuesta en este proyecto se basa técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) para interpretar los síntomas descritos por los pacientes, generar diagnósticos preliminares y diseñar planes de seguimiento adaptados a cada caso. La interfaz conversacional, basada en mensajería instantánea, permite una interacción fluida, respetuosa y contextualizada, lo que favorece la confianza del usuario y la adherencia al tratamiento (Alemán Acuña et al., 2024).

Además, la utilización de plataformas de mensajería instantánea como WhatsApp facilita la interfaz con el usuario final, reduciendo costos de implementación y aprovechando una tecnología ya incorporada en la vida cotidiana de gran parte de la población (Malagón-Rojas et al., 2020). De esta manera, la propuesta se distingue por su escalabilidad y bajo requerimiento tecnológico.

Entre otros beneficios relevantes destacan la disponibilidad 24/7 de asistencia remota, la reducción de la carga de trabajo en consultas presenciales y la mejora en la continuidad del cuidado de pacientes con enfermedades crónicas. La monitorización automática de síntomas y los recordatorios de citas. Asimismo, al canalizar casos complejos hacia profesionales de la salud en tiempo real, se optimizan recursos y se priorizan las intervenciones presenciales cuando son estrictamente necesarias, incrementando la eficiencia del sistema.

Una característica distintiva del proyecto es su enfoque complementario, no pretende sustituir al personal médico, sino potenciar su labor mediante herramientas inteligentes. La solución incorpora protocolos clínicos validados y adapta el lenguaje de interacción al perfil sociocultural del paciente, ofreciendo una experiencia digna y contextualizada. Al hacerlo, se promueve la equidad en el acceso a servicios, respetando las particularidades de cada comunidad.

La escalabilidad del modelo y su replicabilidad en otras regiones con condiciones similares lo convierten en una propuesta sustentable. Además, abre la puerta a futuras validaciones empíricas que podrían consolidar su impacto en políticas públicas de salud digital. Este tipo de innovación, centrada en las personas y basada en tecnología accesible, constituye una respuesta transformadora a los retos actuales del sistema de salud mexicano.

En conclusión, Consultas Inteligentes de Asistencia Médica representa una innovación integral que articula inteligencia artificial, accesibilidad tecnológica y sensibilidad contextual. Al ofrecer soluciones diferenciadas y sostenibles, contribuye al fortalecimiento de la atención sanitaria en comunidades marginadas y marca un precedente para el desarrollo de modelos inclusivos en salud digital.

DESARROLLO

Definición y alcance.

El proyecto es accesible, ya que utiliza modelos de lenguaje de gran escala (LLM) entrenados en protocolos médicos reales para ofrecer diagnósticos preliminares, educación sanitaria y seguimiento de tratamientos. Al funcionar mediante WhatsApp y una aplicación móvil ligera, la solución busca ajustarse al uso cotidiano de teléfonos inteligentes en áreas marginadas, brindando un primer nivel de orientación y canalizando los casos que requieran intervención presencial (Organización Mundial de la Salud, 2023). De este modo, se posiciona como un agente de equidad y sostenibilidad en salud digital.

Salud digital y equidad.

La salud digital comprende un ecosistema de soluciones que van desde registros electrónicos de salud hasta inteligencia artificial y telemedicina, orientadas a optimizar la prevención, el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades en contextos con recursos

limitados. La Estrategia Global de la Organización Mundial de la Salud para 2020–2025 destaca la interoperabilidad de datos y la aplicación de investigaciones emergentes como elementos esenciales para reducir desigualdades sanitarias (Organización Mundial de la Salud, 2020; Organización Mundial de la Salud, 2023). El proyecto CUIDA respalda la teoría de democratizar el acceso a asesoramiento médico a través de dispositivos móviles, sin requerir infraestructuras costosas.

Modelos de aceptación tecnológica.

Para comprender la intención de uso de CUIDA, resulta útil examinar el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM) y la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (UTAUT), ampliamente validados en entornos mHealth. AlQudah, Al-Emran y Shaalan (2021) quienes encontraron que la utilidad percibida y la facilidad de uso son predictores significativos de la adopción de sistemas de información en salud, mientras que Philippi et al. (2021) demostraron que incluir variables psicosociales como confianza y ansiedad incrementa la precisión predictiva de estos modelos. El proyecto evaluará estas percepciones permitiendo diseñar estrategias de capacitación y motivación ajustadas a cada comunidad.

Estrategias de mitigación de la brecha digital.

Para abordar la falta de infraestructura y habilidades, el proyecto incluirá talleres presenciales y materiales educativos adaptados a contextos culturales específicos, tal como recomiendan Jongebloed et al. (2023) y la OMS (2020). Estas acciones comunitarias, junto con el uso de aplicaciones livianas y modos de bajo consumo de datos, contribuirán a que incluso usuarios con conexiones inestables puedan interactuar con la plataforma sin impedimentos.

Diseño centrado en el usuario.

El diseño centrado en el usuario implica involucrar activamente a pacientes y profesionales en todo el ciclo de desarrollo. Saparamadu et al. (2021) describieron un proceso diseño centrado en el usuario para aplicaciones móviles de salud (mHealth), que incluye talleres de ideación, pruebas de prototipos y refinamiento iterativo, lo que incrementa significativamente la usabilidad y la satisfacción. Este enfoque se utilizará en CUIDA mediante grupos focales y pruebas de usabilidad en WhatsApp y la app móvil, asegurando que la interfaz sea intuitiva y culturalmente relevante.

Modelos de lenguaje de gran escala en salud.

Los LLM, como GPT-4, están siendo explorados para apoyar el diagnóstico y la generación de planes de tratamiento. Zhou et al. (2025) revisaron aplicaciones de LLM para enfermedades comunes, encontrando que estos modelos alcanzan alta precisión en tareas de listado diferencial, aunque requieren supervisión para evitar errores humanos. En CUIDA, esta tecnología permitirá generar diagnósticos preliminares y explicaciones clínicas, siempre acompañada de protocolos que deriven al médico en caso de incertidumbre.

Limitaciones y mecanismos de seguridad.

A pesar de su potencial, los LLM pueden producir respuestas inapropiadas o imprecisas si carecen de contexto clínico suficiente. Por ello, la OMS (2023) recomienda integrar mecanismos de verificación humana y establecer umbrales de confianza antes de entregar recomendaciones de salud automatizadas. CUIDA incorporará alertas automáticas y flujos de derivación para que profesionales validen los casos complejos, reduciendo riesgos y garantizando el cumplimiento de normativas sanitarias.

Uso de WhatsApp como canal principal.

WhatsApp cuenta con una penetración global cercana al 75 % en países de ingreso medio y bajo, lo que facilita el acceso inmediato a servicios de salud digital sin requerir nuevas descargas de aplicaciones (Sudhakar et al., 2021; Organización Mundial de la Salud, 2023). La familiaridad con esta plataforma minimiza la curva de aprendizaje y permite el envío de recordatorios, material audiovisual y encuestas interactivas, contribuyendo a una comunicación fluida y efectiva entre pacientes y profesionales.

La fundamentación del proyecto establece ocho aspectos que lo sustentan: definición y alcance, salud digital equitativa, aceptación tecnológica, mitigación de la brecha digital, diseño centrado en el usuario, LLM en salud, mecanismos de seguridad y uso estratégico de WhatsApp. Al integrar estos componentes, se garantiza un proceso de desarrollo, implementación y evaluación que es técnicamente sólido, socialmente pertinente y escalable en comunidades marginadas, cumpliendo con los estándares de equidad y calidad en salud.

RESULTADOS

Análisis económico:

El presente análisis económico del proyecto Sistema Inteligente de Apoyo a la Salud tiene como objetivo principal evaluar su viabilidad y rentabilidad, contrastando los costos de implementación con los ingresos y beneficios esperados.

Como se muestra en la Tabla 1, se consideraron los gastos iniciales de desarrollo y puesta en marcha que incluyen contratación de personal especializado, licencias de software y servicios de infraestructura, los costos operativos mensuales asociados a la plataforma y las estrategias de comercialización, así como las fuentes de ingreso proyectadas según distintos planes de suscripción.

Tabla 1: Costos y beneficios financieros proyectado

| Concepto | Detalle | Monto (MXN) |
|------------------------------|---|--------------|
| Costos iniciales | Contratación de dos ingenieros y un contador, asesorías, licencias, servicios básicos | 22,370 |
| Gastos mensuales operativos | Plataforma (1,200) + promoción y alianzas (21,170) | 22,370 / mes |
| Ingresos mensuales estimados | $50 \times 149 = 7,450; 30 \times 299 = 8,970; 20 \times 899 = 22,475$ | 38,895 / mes |
| Beneficio neto mensual | Ingresos – gastos mensuales | 16,525 / mes |
| Margen de ganancia estimado | (Beneficio / ingresos) × 100 | 42.5 % |
| Recuperación de inversión | Tiempo estimado con beneficio neto constante | < 2 meses |

Beneficios(Ejes transversales)

El mercado potencial incluye más de 34 000 habitantes de comunidades rurales en Pánuco (40 % de una población total de 85 000) y comunidades similares en la región, mientras que el mercado meta abarca principalmente mujeres embarazadas, adultos mayores, personas con enfermedades crónicas, instituciones de salud pública (SSA, IMSS, ISSSTE) y organizaciones no gubernamentales de salud comunitaria. Las principales barreras de entrada identificadas son la competencia de plataformas de telemedicina consolidadas, la necesidad de cumplir regulaciones de protección de datos y sanidad, y los costos iniciales de certificación y capacitación de usuarios.

Desde la perspectiva técnico-económica el proyecto demuestra viabilidad gracias a su arquitectura modular basada en WhatsApp y servicios en la nube, lo que minimiza inversiones adicionales en infraestructura. La posibilidad de iniciar con pruebas pilotos controlados reduce riesgos y facilita la validación del modelo. En conjunto, estos elementos confirman que es un proyecto financieramente sostenible, con un modelo escalable adaptado a entornos con recursos limitados y un alto potencial de impacto social y económico.

La innovación tecnológica se destaca por el uso de Modelos de Lenguaje de Gran Escala entrenados en protocolos médicos, diferenciándolo de soluciones genéricas. Esta combinación de tecnología especializada, inclusión social y viabilidad operativa convierte al proyecto en un modelo replicable y de alto impacto para otras regiones con condiciones similares, alineado con políticas públicas y el enfoque de derechos humanos.

Tabla 2. Ejes Transversales

| Eje transversal | Evidencia en el documento | Recomendación para reforzar su inclusión |
|-----------------------------|---|--|
| Equidad en salud | Atención remota a grupos vulnerables (embarazadas, adultos mayores, etc.) | Puede destacarse como eje central en la narrativa del beneficio social. |
| Inclusión social y cultural | Adaptación lingüística y contextual del sistema | Se puede mencionar explícitamente como parte de una perspectiva intercultural. |
| Educación en salud | Promoción del autocuidado y seguimiento de enfermedades crónicas | Recomendable etiquetarlo como eje transversal de alfabetización en salud. |

| | | |
|--------------------------------------|--|--|
| Desarrollo económico regional | Generación de empleo y alianzas comunitarias | Se sugiere referirse a este eje como economía social y solidaria. |
| Sostenibilidad tecnológica | Uso de tecnología accesible y bajo consumo de recursos | Podría fortalecerse su visibilidad como eje de viabilidad ambiental. |
| Innovación tecnológica especializada | Implementación de LLM entrenados en protocolos médicos | Está claramente descrito como valor diferencial del proyecto. |

CONCLUSIONES

El proyecto Sistema Inteligente de Apoyo a la Salud ha logrado consolidar una propuesta tecnológica viable, inclusiva y de alto impacto social, orientada a reducir las brechas de acceso a servicios de salud en comunidades marginadas. Entre los logros más significativos destacan el diseño de una plataforma funcional basada en modelos de lenguaje de gran escala (LLM), la integración con herramientas accesibles como WhatsApp y la capacidad de generar diagnósticos preliminares y planes de seguimiento culturalmente adaptados. Estos avances responden eficazmente a los objetivos planteados, como mejorar la equidad en salud, optimizar recursos médicos y empoderar a los usuarios en el autocuidado.

La innovación radica en su enfoque centrado en el usuario, su bajo requerimiento tecnológico y su alineación con principios internacionales de salud digital. En un contexto donde casi la mitad de la población veracruzana carece de acceso sanitario adecuado (CONEVAL, 2022), esta solución representa una estrategia eficaz y replicable para atender necesidades desatendidas, contribuyendo a una atención médica más equitativa, continua y personalizada.

A corto plazo, el proyecto ofrece beneficios inmediatos como la disponibilidad continua del servicio, la disminución de la carga en centros de salud presenciales y la mejora en el seguimiento de enfermedades crónicas. En un futuro puede consolidarse como una herramienta de política pública en salud digital, generando empleo no solo local sino regional y nacional, fortaleciendo redes comunitarias y ampliando su impacto en otras regiones con condiciones similares.

REFERENCIAS

- Abbasian, F., Naghizadeh, M. M., & Ahmadian, L. (2024). Effect of WhatsApp Messenger-based education on the knowledge of health ambassadors about home care for minor illnesses. *BMC Health Services Research*, 24(1), 1515. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11988-9>
- AlQudah, A. A., Al-Emran, M., & Shaalan, K. (2021). Technology Acceptance in Healthcare: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 11(22), 10537. <https://doi.org/10.3390/app112210537>
- Malagón-Rojas, J. N., Pinzón Silva, D. C., Rosero, L. E., Pardo-Bayona, M., & Téllez, E. (2020). La consulta en los tiempos de WhatsApp: Una revisión rápida de la literatura. *Psicología desde el Caribe*, 37(2), 2–14. <https://doi.org/10.14482/psdc.37.2.150.9>
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2021). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 1877–1901.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2022). Medición de la pobreza 2023. Recuperado de: https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza_2022.aspx.
- Jongebloed, H., Anderson, K., Winter, N., Nguyen, L., Huggins, C. E., Savira, F., Cooper, P., Yuen, E., Peeters, A., Rasmussen, B., Reddy, S., Crowe, S., Bhoyroo, R., Muhammad, I., & Ugalde, A. (2024). The digital divide in rural and regional communities: A survey on the use of digital health technology and implications for supporting technology use. *BMC Research Notes*, 17, Article 90. <https://doi.org/10.1186/s13104-024-06687-x>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE]. (2019). Manual de Oslo 2018: Directrices para la recogida, presentación y utilización de datos sobre innovación (4.^a ed.). OCDE Publishing.
- Philippi, P., Baumeister, H., Apolinário-Hagen, J., Ebert, D. D., Hennemann, S., Kott, L., Lin, J., Messner, E.-M., & Terhorst, Y. (2021). Acceptance towards digital health interventionsModel validation and further development of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *Internet Interventions*, 26, 100459. <https://doi.org/10.1016/j.invent.2021.100459>
- Saparamadu, A. A. D. N. S., Fernando, P., Zeng, P., Teo, H., Goh, A., Lee, J. M. Y., & Lam, C. W. L. (2021). User-centered design process of an mHealth app for health professionals: Case study. *JMIR mHealth and uHealth*, 9(3), e18079. <https://doi.org/10.2196/18079>
- World Health Organization. (2020). Global strategy on digital health 2020–2025. World Health Organization. Recuperado en <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>
- Organización Mundial de la Salud
- World Health Organization. (2023). Digital health technologies. Recuperado de <https://www.who.int/health-topics/digital-health>
- Organización Mundial de la Salud
- Zhou, S., Xu, Z., Zhang, M., Xu, C., Guo, Y., Zhan, Z., Fang, Y., Ding, S., Wang, J., Xu, K., Xia, L., Yeung, J., Zha, D., Cai, D., Melton, G. B., Lin, M., & Zhang, R. (2025). Large language models for disease diagnosis: A scoping review. *npj Artificial Intelligence*, 1(1), Article 9. <https://doi.org/10.1038/s44387-025-0>

Es una publicación periódica multidisciplinaria avalada por el Centro de Innovación e Incubación Empresarial del Tecnológico Nacional de México Campus Pánuco. Brinda un espacio como foro para la difusión de trabajos realizados en el área de Emprendedurismo, Desarrollo Tecnológico y Empresarial e Innovación Social.

**Número de reserva de derechos al uso exclusivo 04-2022-110414061500-102
y con ISSN 2954-5129.**

