

ECOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS PARA LA SOSTENIBILIDAD

Carmen Cerón Garnica · Mireya Tovar Vidal · Yolanda Moyao Martínez · Beatriz Beltrán Martínez



ECOS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS PARA LA SOSTENIBILIDAD

ECOS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS PARA LA SOSTENIBILIDAD

Carmen Cerón Garnica
Mireya Tovar Vidal
Yolanda Moyao Martínez
Beatriz Beltrán Martínez
Editoras



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias de la Computación
2024

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Rectora: Ma. Lilia Cedillo Ramírez
Secretario General: José Manuel Alonso Orozco
Vicerrector de Extensión y Difusión de la Cultura: José Carlos Bernal Suárez
Director General de Publicaciones: Luis Antonio Lucio Venegas

Primera edición **2024**
ISBN: 978-607-5914-78-7

DR © Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
4 Sur 104, Col. Centro Histórico, Puebla, Pue. CP 72000
Teléfono: 222 229 55 00
www.buap.mx

DR © Dirección General de Publicaciones
2 Norte 1404, Centro Histórico, Puebla, Pue., CP 72000
Tels.: 01 (222) 246 85 59 y 01 (222) 55 00, ext. 5768
www.dgp.buap.mx | libros.dgp@correo.buap.mx
www.publicaciones.buap.mx

Diseño de portada: IAadobeFireFlay

Hecho en México
Made in Mexico

Prólogo

Esta obra es el resultado de las experiencias de investigación en las diferentes disciplinas de la ciencia y la aplicación de la tecnología que llevan aportaciones fundamentales para innovar la ciencia y apoyar el desarrollo sostenible.

En este libro de **Ecos Científicos y Tecnológicos para la sustentabilidad** integra la participación de alumnas y alumnos, docentes, investigadores e investigadoras de distintos niveles educativos cuyo objetivo es aportar a la Ciencia los resultados de sus investigaciones para enriquecer de manera científica y tecnológica a una sociedad sostenible. A continuación, se presenta la aportación de cada uno de ellos.

En el **Capítulo 1. Ingesta de flavonoides en la dieta de los poblanos ¡Comer bien para vivir mejor!** Se enfoca en los flavonoides que son compuestos polifenólicos presentes en una gran variedad de alimentos como frutas y verduras, con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, cardioprotectoras y neuro protectoras, que permiten contribuir a la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (ECD), presenta una propuesta de intervención educativa para mejorar los estilos de vida y hábitos alimentarios para mejorar la salud de las personas.

En el **Capítulo 2. Polímeros en Odontología: de la investigación a la práctica clínica**, el cual examina el uso de polímeros en odontología, dividiéndolos en tres categorías principales: acrílicos, naturales y sintéticos. Así también, enfatiza la necesidad de investigar y desarrollar nuevos materiales para mejorar los resultados clínicos y la seguridad del paciente, y presenta algunos ejemplos destacados de estos polímeros en odontología.

En el **Capítulo 3. La Arteterapia como Estrategia de Educación para la Salud** se explora la necesidad de emplear esta estrategia para ayudar el desarrollo del potencial terapéutico y educativo del proceso creativo y la expresión artística, especialmente en el contexto del envejecimiento y la atención geriátrica. Aporta una revisión de esta estrategia y su aplicación en la salud de los adultos mayores.

En el **Capítulo 4. Análisis de la superficie, implementando la técnica de speckle para encontrar la frecuencia de vibración del material**, aporta la implementación de la técnica óptica no destructiva, Interferometría de Patrones de Moteado Electrónico (ESPI, por sus siglas en inglés: Electronic Speckle Pattern Interferometry) para el estudio de la frecuencia de la vibración de un material. Para el desarrollo de este proyecto, se implementó un inter-

ferómetro de tipo Mach-Zender con sensibilidad fuera del plano.

En el **Capítulo 5. Cáncer, una cuestión de Educación para la Salud, el impacto en la prevención**, aborda la necesidad de educar para salud a la población, con respecto a los tres tipos de cáncer con mayor tasa de mortalidad y relacionados en un porcentaje alto con el sobrepeso; cáncer de pulmón, cáncer de mama y cáncer colorrectal. Se describen los factores de riesgo asociados y modificables, se citan las estrategias de Educación para la Salud que han reportado ser efectivas en procesos de prevención y los materiales educativos que promueven hábitos y estilos de vida saludables.

Así en el **Capítulo 6. Caracterización no lineal de nanocubos de plata suspendidos en diferentes medios**, se enfoca a estudiar las propiedades lineales y no lineales de dos sistemas coloidales conformados por nanocubos de plata de aproximadamente 100 nm de lado dispersos en agua desionizada y etilenglicol.

En el **Capítulo 7. Entorno de trabajo para búsqueda armónica al objetivo de la función de aplicación con n variables en la educación científica**, se presenta la propuesta de un framework de software para la implementación del algoritmo de optimización metaheurística Harmony Search (HS) dentro de contextos educativos y como herramienta de investigación en el campo de la inteligencia artificial, ofrece así una flexibilidad significativa para experimentación y análisis avanzado en diversas aplicaciones de inteligencia artificial.

La aportación del **Capítulo 8. Estudio comparativo de algunas soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz**, se enfoca en un estudio comparativo de análisis de las diferentes soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz, como son los haces Gaussiano, Laguerre-Gauss, Bessel y Bessel-Gauss, usando el método numérico de paso dividido (Split-Step) se desarrolló un algoritmo en Matlab en el cual se simuló la propagación de estos haces, y así poder hacer un comparativo con los resultados obtenidos.

En este **Capítulo 9. Geometría vectorial en el espacio, experiencias didácticas con GeoGebra** se enfoca en la importancia del uso de software de GeoGebra que analiza, describe e interpreta el potencial didáctico como un medio para promover un cambio actitudinal y procedimental del aprendizaje de los estudiantes para algunas construcciones geométricas en un curso de álgebra lineal con elementos de geometría analítica. Se presentan varias actividades realizadas con el software de GeoGebra que a los estudiantes les ayuda a la construcción de soluciones para el álgebra.

En el **Capítulo 10. Simuladores como herramientas efectivas para el aprendizaje de Sistemas Operativos** cuyo propósito fue evaluar el uso de los simuladores para un curso de licenciatura para facilitar el aprendizaje del funcionamiento de los sistemas operativos del manejo de los tipos de memoria

contigua y virtual con sus técnicas respectivas que son abstractas y requieren una representación para facilitar la comprensión teórica y práctica de los conceptos fundamentales que los estudiantes deben adquirir y dominar.

En el **Capítulo 11. Análisis del nivel de adaptabilidad educativa online utilizando data warehouse y aprendizaje automático.** En esta investigación, se llevó a cabo el análisis del nivel de adaptabilidad de los estudiantes de educación en línea, con un conjunto de registros de una población de Bangladesh. Utiliza técnicas de aprendizaje automático como son agrupamiento y clasificación, apoya para evaluar y fortalecer la educación en línea en México.

En el **Capítulo 12. El trastorno de estrés postraumático en mujeres,** cuyo propósito aborda el trastorno de estrés postraumático (TEPT), los síntomas psicológicos y físicos, como lo son el estrés y trastornos de ansiedad, depresión, déficits cognitivos, pérdida de la memoria, alteraciones en el sueño y una susceptibilidad a desarrollar adicciones. Expone las diferencias del desarrollo del TEPT en hombres y mujeres. Finalmente se presentan características y la sintomatología del TEPT, la prevalencia del TEPT en mujeres y sus afectaciones específicas.

Finalmente este libro culmina con el **Capítulo 13. Las respuestas al estrés y su consecuencia en la memoria** cuyo propósito fue describir los mecanismos de consolidación y recuperación de la memoria, así como los componentes de las respuestas al estrés, y ejemplificar el caso de un modelo animal con respuesta incrementada al estrés, las sublíneas de ratas de bajo bostezo, en una prueba de memoria no aversiva. Adicionalmente, analizamos las respuestas en un modelo de resiliencia, la sublínea de alto bostezo.

Consideramos que las aportaciones de los autores a través de los capítulos de esta obra, son el reflejo de experiencias de investigación e innovaciones para transformar y enriquecer la ciencia que contribuya al desarrollo sostenible en la sociedad del futuro. Así también agradecemos a todos los autores, revisores y autoridades educativas que han contribuido a la creación de esta obra.

Las editoras,
Carmen Cerón Garnica
Mireya Tovar Vidal
Yolanda Moyao Martínez
Beatriz Beltrán Martínez

Índice general

Prólogo	IV
Capítulo 1. Ingesta de flavonoides en la dieta de los poblanos ¡Comer bien para vivir mejor!	1
<i>Geraldine Ortiz Melo, Marco A. Mora-Ramírez, Ricardo Pérez Avilés</i>	
Capítulo 2. Polímeros en Odontología: de la investigación a la práctica clínica	11
<i>Olivia Hernández Cruz, Julia Flores Tochiuitl, Jorge Raúl Cerna Cortez</i>	
Capítulo 3. La Arteterapia como Estrategia de Educación para la Salud	22
<i>Rosa Lydia Muñoz Téllez, Luis Enrique Colmenares Guillen, José Ramón Eguibar Cuenca</i>	
Capítulo 4. Análisis de la superficie, implementando la técnica de speckle para encontrar la frecuencia de vibración del material	32
<i>Daniela Jazjanny Pedro Trujano, Luis Alberto Rendón Delgado</i>	
Capítulo 5. Cáncer, una cuestión de Educación para la Salud, el impacto en la prevención	40
<i>Angélica Porras Juárez, Daniela Alexandra Bernabé Sánchez, Enrique González Vergara, Karla Marisol Teutli Mellado</i>	
Capítulo 6. Caracterización no lineal de nanocubos de plata suspendidos en diferentes medios	54
<i>Athziri Zúñiga Méndez, Emma Vianey García Ramírez, Marcela Maribel Méndez Otero, Maximino Luis Arroyo Carrasco, Sergio Alberto Sabinas Hernández</i>	
Capítulo 7. Entorno de trabajo para búsqueda armónica al objetivo de la función de aplicación con n variables en la educación científica	65
<i>Mariano Larios Gómez, Juventino Montiel Hernández, Yeiny Romero Hernández, Julio C. Alvarez Galicia, Alan F. Carrillo Villanueva</i>	
Capítulo 8. Estudio comparativo de algunas soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz	88
<i>Yolanda Arrieta Aguirre, Emma Vianey García Ramírez</i>	

Capítulo 9. Geometría vectorial en el espacio, experiencias didácticas con GeoGebra	99
<i>Olivia Romero Tehuitzil, Armando Espíndola Pozos, Miguel Angel Barranco Ortega</i>	
Capítulo 10. Uso de un Simulador para el Mejoramiento del Aprendizaje en Sistemas Operativos: VIDIMESI	115
<i>Gerardo Martínez García, Leonardo Fuentes Bueno, Carmen Cerón Garnica</i>	
Capítulo 11. Análisis del nivel de adaptabilidad educativa online utilizando data warehouse y aprendizaje automático	125
<i>Carlos Andrés Martínez González, Brandon Erik Quiñones Baez, María Josefa Somodevilla García</i>	
Capítulo 12. El trastorno de estrés postraumático en mujeres	140
<i>Adriela Fierro Rojas, Ma. del Carmen Cortés Sánchez, José Ramón Eguibar Cuenca</i>	
Capítulo 13. Las respuestas al estrés y su consecuencia en la memoria ..	148
<i>Lilia Díaz, José Ramón Eguibar Cuenca, Ma. del Carmen Cortés Sánchez</i>	
Índice de autores	161
Compiladores	162
Revisores	163
Editores	164

Capítulo 1

Ingesta de flavonoides en la dieta de los poblanos ¡Comer bien para vivir mejor!

Geraldine Ortiz Melo¹, Marco A. Mora-Ramírez², Ricardo Pérez Avilés³

¹Doctorado en Investigación y Educación para la Salud, Instituto de Ciencias, BUAP

²Facultad de Ciencias Químicas, BUAP

³Centro de Investigación en Biodiversidad, Alimentación y Cambio Climático (CIBACC),
Instituto de Ciencias, BUAP

geraldine.ortizmelo@viep.com.mx, marco.morar@correo.buap.mx,
ricardo.perez@viep.com.mx

Resumen. Los flavonoides son compuestos polifenólicos presentes en una gran variedad de alimentos como frutas y verduras, con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, cardio protectoras y neuro protectoras, que permiten contribuir a la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (ECD). Actualmente los habitantes de grandes ciudades muestran una tendencia en los estilos de vida y hábitos de alimentación que potencian las ECD. El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados preliminares del diagnóstico de la ingesta de flavonoides en una población representativa del estado de Puebla como parte de un proyecto de investigación donde se determinará la ingesta de flavonoides en la dieta de los poblanos y con base en ello diseñar una propuesta de intervención educativa para mejorar los estilos de vida y hábitos alimentarios para mejorar la salud de las personas

Palabras Clave: Salud, educación, flavonoides, alimentos, dieta.

1 Introducción

Desde el contexto socioeconómico, cultural y ambiental en el que se encuentran las ciudades mexicanas como Puebla, se ha podido notar en los últimos años cambios en los estilos de vida, especialmente en los hábitos de alimentación, pues la hipertensión, enfermedades cardiovasculares, diabetes, sobrepeso y obesidad prevalecen en gran parte de la población mexicana, mostrando la necesidad de suscitar en las personas el interés por cuidar su salud y prevenir enfermedades mediante una educación alimentaria, influyendo positivamente en su calidad de vida.

La problemática de esta investigación se centra en la prevalencia de las enfermedades crónico-degenerativas (ECD) en la población Poblana, debido a factores como el

sedentarismo, estrés, malas condiciones ambientales y sobre todo por la mala alimentación, puesto que una alimentación basada en alimentos pocos saludables puede deteriorar la salud, y con ello a la aparición de enfermedades que pueden llegar a ser mortales, lo que pone en alerta y preocupación a los individuos; durante años se ha investigado el beneficio de los alimentos en pro de la salud humana, lo que ha permitido investigar a los flavonoides, pues son compuestos que se encuentran en una gran variedad de alimentos que hacen parte de la dieta de las personas, además presentan propiedades positivas con amplia actividad biológica siendo precursores en la prevención de ECD.

Desde este contexto, este capítulo muestra resultados preliminares sobre la determinación de la ingesta de flavonoides en la población del Estado de Puebla como parte de la primera etapa de un proyecto de investigación doctoral, evaluando los niveles de consumo de flavonoides en la dieta de los poblados utilizando la base de datos las encuestas nacionales de hábitos alimentarios, estilos de vida y la base de datos del contenido de flavonoides en alimentos.

El manuscrito está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe qué son los flavonoides, dónde se encuentran, como se clasifican y la relación que tienen los flavonoides con la prevención de la ECD. En la sección 3 se describe el método para determinar la ingesta de flavonoides, desde cómo está diseñada la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) y la base de datos USDA utilizada para determinar el contenido de flavonoides por clase y de acuerdo con la cantidad del alimento consumido. En la sección 4 se presentan los resultados, mostrando la evolución en el consumo de alimentos en el 2006, 2012 y 2018, además los resultados más importantes acerca del consumo de alimentos e ingesta de flavonoides correspondientes. Finalmente, en la sección 5 se exponen algunas observaciones sobre los hallazgos del análisis de los resultados y se resaltan algunos de los posibles retos que se desprenden de esta investigación.

2 Los flavonoides

Los flavonoides son un tipo de polifenoles, compuestos químicos constituidos por uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un grupo de hidrocarburos aromáticos, lo que permite que se puedan encontrar diversas estructuras químicas; hasta el momento existen alrededor de 8000 tipos de flavonoides (El-Nashar *et al.*, 2021), que se encuentran de manera natural en frutas, verduras, cereales, flores, té, vino, entre otros (Pinto *et al.*, 2021). En la tabla 1, se presenta la clasificación de los flavonoides más abundantes.

Tabla 1. Clases y subclases de flavonoides seleccionados

Clase	Subclase
Flavonoles	Isorhamnetina, Kaempferol, Miricetina y Quercetina
Flavones	Apigenina, Luteolina

Flavanonas	Eriodictyol, Hesperetina, Naringenina
Flavanoles	(+)-Catequina, (+) Gallocatequina, (-)-Epicatequina, (-)-Epigallocatequina, (-)-Epicatequina 3-galato, (-)-Epigallocatequina 3-galato Teaflavina, Teaflavina 3-galato Teaflavina 3' galato, Teaflavina 3,3'-digalato, Tearubiginas
Antocianidinas	Cianidina, Delfinidina, Malvidina, Pelargonidina, Peonidina, Petunidina.

Los flavonoides además de encontrarse en esta gran variedad de alimentos y plantas tienen grandes propiedades de actividad biológica, pues son antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, y su capacidad para modular la velocidad de ciertos procesos de las células denominadas funciones enzimáticas (Al-Khayri *et al.*, 2022), lo que permite que estos compuestos contribuyan a la prevención de enfermedades: hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares, renales, cáncer e incluso en trastornos cognitivos (Minocha *et al.*, 2022). Además, los flavonoides tienen la capacidad de interferir con los procesos de carcinogénesis, dado que ayudan a interrumpir la proliferación e invasión de células cancerosas y mitigar la metástasis, es decir, la propagación de células cancerosas en diferentes órganos del cuerpo (Pinto *et al.*, 2021). Los flavonoides favorecen la disminución de la presión arterial al reducir los niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS) y los niveles de óxido nítrico (NO) (Cao *et al.*, 2022; Scutiero *et al.*, 2017).

3 Método para determinar la ingesta de flavonoides

Para poder determinar la ingesta de flavonoides en el estado de Puebla, inicialmente se determinaron las cantidades (gr) de consumo por tipo de alimento, edad, nivel socio económico, y zona de estudio (rural o urbano) mediante los datos obtenidos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2020). Cabe mencionar que ENSANUT establece 16 grupos de alimentos y en cada grupo se encuentran alrededor de uno a diez alimentos; sin embargo, para este estudio se acotaron únicamente a 9 grupos de alimentos que comprenden: productos lácteos, frutas, verduras, leguminosas, comida rápida y antojitos, cereales, bebidas endulzadas y bebidas no endulzadas, botanas dulces y postres. Estos son los alimentos de principal interés para la observación del consumo general de alimentos, pero únicamente 5 grupos contienen flavonoides, a saber, los productos lácteos, frutas, verduras, leguminosas y bebidas no endulzadas. Los datos de ENSANUT son recabados a través de encuestas realizadas a muestras representativas de la población de cada entidad federativa en México con la intención de obtener información sobre la salud, nutrición y la utilización de los servicios de salud en México. Este ejercicio es realizado desde hace más de 25 años por secretaría de salud del gobierno de México, y se cuentan con bases de datos e informes de los años 2006, 2012 y 2018 para el Estado de Puebla, lo que permite dar seguimiento sobre la evolución de las condiciones de salud y nutrición de la población. De tal forma la población encuestada del estado de Puebla por ENSANUT está conformada por 1,436 hogares, donde el 47.4% fueron hombres y el 52.6% mujeres,

de los cuales 1,383 individuos corresponden a adultos mayores de 20 años y 620 individuos a adolescentes de 10 a 19 años, además, cabe mencionar que el tamaño de muestra asignado a los estratos se asignó de modo proporcional a la población que habita en este estado. Con esta información recopilada de la población del estado de Puebla, para este estudio se seleccionaron las edades de 12, 14, 16, 18, 20, 24, 27, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 y 80 con un total de 216 individuos con el fin de observar su calidad de alimentación y posteriormente su ingesta de flavonoides.

Para determinar el contenido de flavonoides en los alimentos, se utilizó la base de datos del Departamento de Agricultura de EE. UU y el Servicio de Investigación Agrícola Centro de Investigación de Nutrición Humana (USDA), debido a la evidencia consistente sobre beneficios que tienen los flavonoides sobre la salud, se han publicado varias bases de datos de interés sobre flavonoides desde este mismo departamento de agricultura (USDA, 2018).

La base de datos USDA incluye documentos fuente de datos que citan investigaciones realizadas en EE. UU. y también en otros 50 países, con el fin de generar una base completa de la mayor cantidad de alimentos que contienen flavonoides. USDA contiene valores para 506 alimentos y para 26 flavonoides dietéticos predominantes; si bien, actualmente es una de las bases de datos de alimentos más completa que reporta el contenido de flavonoides, cabe mencionar que aún existen una gran variedad de alimentos que son consumidos con frecuencia en otros países y no se encuentra registro en esta base de datos, como es el caso de varios alimentos mexicanos que son consumidos con frecuencia, pero no hay un reporte del contenido de flavonoides. Es preciso mencionar que para la determinación del contenido de flavonoides en los diferentes alimentos, esta base de datos utilizó solo procedimientos analíticos aceptables, es decir, los métodos que permiten realizar una buena separación de los compuestos flavonoides, como la cromatografía en columna o cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), electroforesis en zona capilar, cromatografía capilar electrocinética, ya que estos métodos permiten la efectividad y veracidad de los resultados (Harris, 2007).

Los valores promedio que se consideran se expresan en mg/100g de peso fresco de la porción comestible del alimento. Los valores de las bebidas se ajustaron en función de sus respectivos pesos específicos si se indicaban en base líquida (por ejemplo, mg/ml) para convertirlos en base ponderal (mg/100g), los factores de conversión se encuentran disponibles en el diccionario de datos de la base de datos (USDA, 2018).

4 Resultados

4.1 Estado actual y evolución del consumo de alimentos en Puebla

Una alimentación poco saludable aumenta el riesgo de desarrollar ECD; la obesidad es un continuo problema de salud pública, pues es el resultado de una dieta baja en fibra con un consumo elevado de alimentos altos en azúcares y grasas, además de poca o nula actividad física, teniendo en cuenta que estos estilos de vida están asociados a factores

sociales, económicos, culturales y ambientales en los que se encuentre cada individuo, resultando en obesidad y sobrepeso, condiciones que predisponen a la ECD.

Los resultados expuestos por ENSANUT en el rubro de nutrición sobre la prevalencia de obesidad y sobrepeso en el año 2006, 2012 y 2018 se muestran en la Figura 1, si bien en la población de adolescentes (12-19 años) para el año 2018 disminuye el sobrepeso y la obesidad con respecto al año 2012, el porcentaje sigue siendo inaceptablemente (alto), además en la población de adultos (mayores a 20 años) se encuentra en aumento desde 2006 al 2018, lo que sugiere atenuar el incremento de peso para así evitar daños en la salud y el desempeño normal en el ciclo de vida.

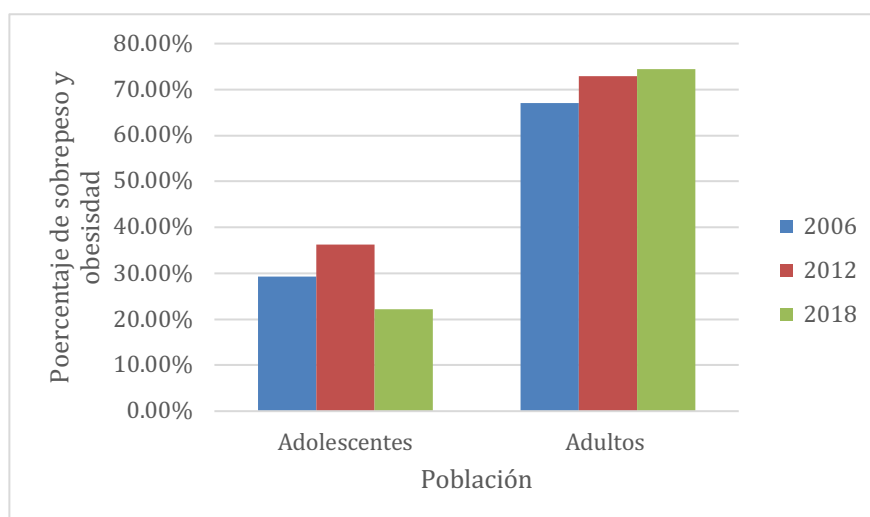


Figura 1. Evaluación de la obesidad y sobrepeso en la población del estado de Puebla.

Las Figuras 2 y 3 muestran la ingesta ($\text{gr día}^{-1}\text{persona}^{-1}$) o ($\text{mL día}^{-1}\text{persona}^{-1}$) de varios grupos de alimentos. Un “plato saludable” establece un porcentaje de cada grupo, permitiendo una alimentación equilibrada, sana y suficiente, con base en ello nunca debe ser igual o mayor el porcentaje del consumo de verduras y frutas respecto al consumo de botanas, dulces y postres, comida rápida y antojitos.

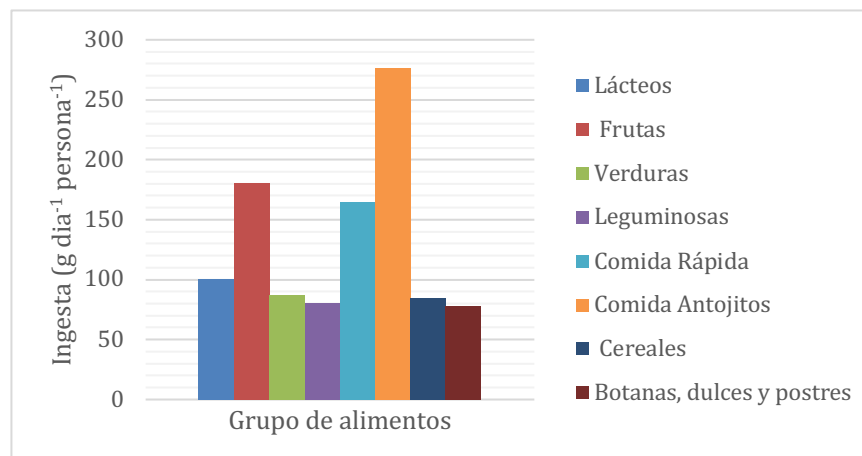


Figura 2. Consumo de grupo de alimentos en el Estado de Puebla, ENSANUT (2018).
Elaboración propia 2024

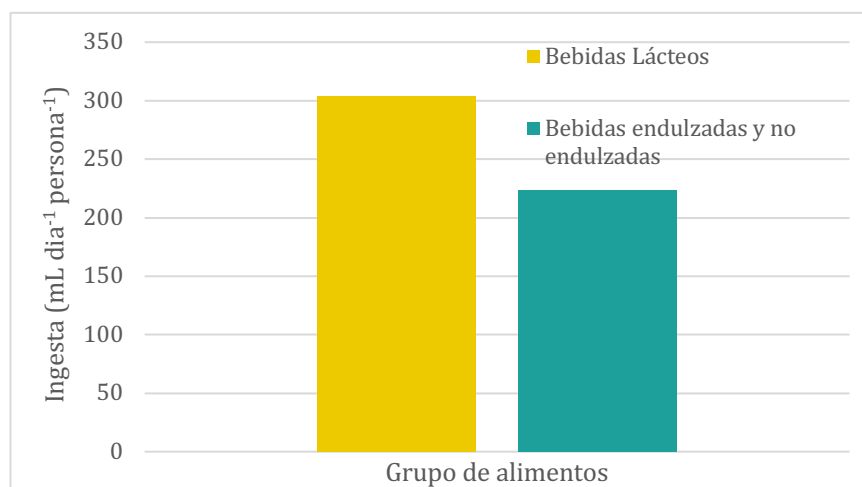


Figura 3. Consumo de grupo de alimentos en el Estado de Puebla, ENSANUT (2018).
Elaboración propia 2024

4.2 Ingesta de flavonoides en Puebla

Una vez que se conoce el consumo de alimentos y bebidas de la población, se determina la ingesta de flavonoides. En la figura 4, se observa la distribución de la ingesta de flavonoides en porcentaje de los grupos de alimentos que más consume la población del Estado de Puebla. Los porcentajes más bajos corresponden a los grupos de verduras y leguminosas; alimentos que son esenciales para el buen funcionamiento de nuestro cuerpo y el bienestar integral; en México, en los últimos años por cambios demográficos, sociales, económicos y ambientales, se han modificado los estilos de vida en la población, lo que ha llevado al aumento de las ECD (Gómez Cruz et al., 2016), generando la necesidad de promover una alimentación saludable.

Sin embargo, estos resultados muestran una ingesta preliminar de flavonoides totales de 261 mg día⁻¹ en la población del Estado de Puebla, siendo una ingesta baja en comparación con otras poblaciones donde la media se encuentra alrededor de 626 mg día⁻¹ (Murphy *et al.*, 2018). Sin embargo, aún quedan bastantes datos por procesar y obtener información relevante para esta investigación desde diversos factores.

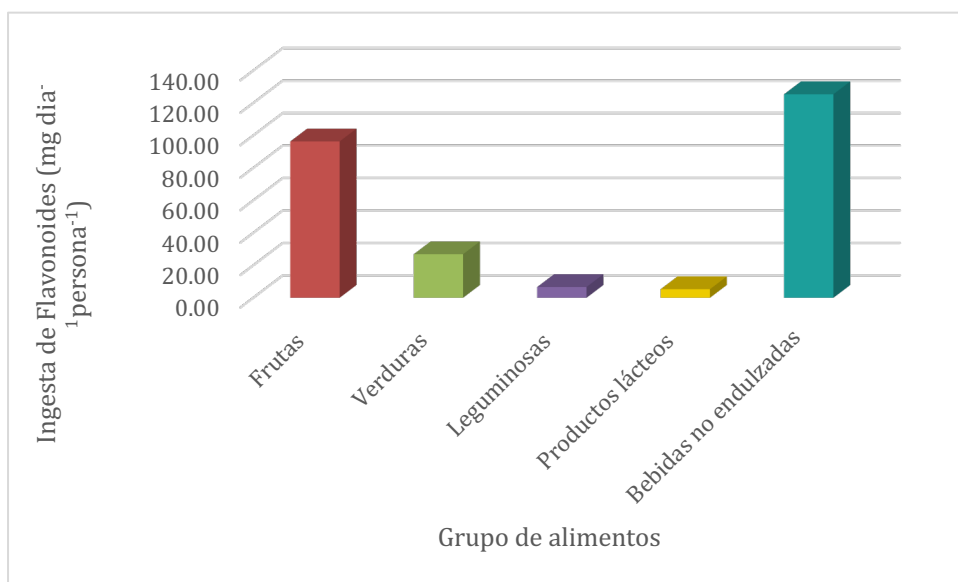


Figura 4. Ingesta de Flavonoides (mg día⁻¹ persona⁻¹) por grupo de alimentos en una muestra de la población del Estado de Puebla ENSANUT (2018). Elaboración propia 2024

Si bien las propiedades de los flavonoides son amplias con posibilidad de ser auxiliares en el tratamiento de varias enfermedades como diabetes, cáncer, cardiopatías, insuficiencia renal e incluso en trastornos cognitivos (Minocha et al., 2022; Tang et al., 2016), la ingesta de estos compuestos suele ser baja en poblaciones como Puebla (véase Figura 4), además son individuos con altos índices de ECD, pues ENSANUT, (2020) muestran que el sobrepeso y la obesidad afectan desde 2018 al 2020 es de 74.4% de adultos mayores de 20

años, además un tercio de esta población tiene hipertensión arterial y un incremento de diabetes mellitus.

El Té es un elemento, dentro del grupo de bebidas no endulzadas, que contiene una cantidad sobresaliente de flavonoides (791.46 mg/L). Después de realizar la conversión se tiene que el contenido de flavonoides es de 75.02 mg /100 g del Té, lo cual implica un alto contenido comparado con la naranja, la fruta que más contenido de flavonoides presenta (43.49 mg/100 g) e incluso el té sigue siendo mayor que las espinacas, verduras con el contenido de flavonoides más alto (60,20 mg/100 g). Esto ayuda a entender que el mayor porcentaje de la ingesta de Flavonoides (48%) se debe al consumo de Té, y las frutas en un porcentaje de casi la mitad (37%). Esto indica que es necesario insistir en aumentar el consumo de frutas, verduras y leguminosas para elevar la ingesta de flavonoides.

5 Conclusiones y trabajo futuro

A partir de los resultados preliminares de esta investigación, se observa que el consumo de alimentos en general es variado, pero hay una tendencia importante hacia el consumo de botanas, dulces, postres, bebidas endulzadas, comida rápida y antojitos, que aunado a un bajo consumo de frutas y muy bajo consumo en verduras y leguminosas alerta sobre los hábitos de alimentación de la población del estado de Puebla. Así mismo, respecto a la ingesta de flavonoides en el estado de Puebla, se estimó que una persona tiene una ingesta promedio de alrededor de 261 mg día⁻¹, que resulta baja en comparación con el promedio de ingesta mínima (626 mg día⁻¹) en otros países como Japón, Australia y Estados Unidos.

La ingesta baja en flavonoides se asocia nuevamente con hábitos de alimentación poco saludables y motiva la necesidad de proponer e implementar una educación alimentaria que impulse la promoción de la salud, fortaleciendo el consumo de alimentos ricos en flavonoides, con la intención de ayudar a prevenir ECD en la población del estado de Puebla. En resumen, a pesar de que diversos estudios señalan la relación benéfica entre el consumo de flavonoides y la prevención y tratamiento de las ECD y al mismo tiempo se han realizado esfuerzos por parte del sector salud y gobierno para incentivar hábitos alimentarios saludables, aun así, hace falta implantar o enraizar acciones que realmente impacten en los estilos de vida de las personas con el fin de contribuir a su salud, incentivando estilos de vida saludable desde una alimentación completa, suficiente y nutritiva.

Ahora bien, durante el desarrollo de esta investigación se emplearon bases de datos. Respecto a la base de datos de ENSANUT se hace énfasis en su valor como herramienta fundamental para conocer el estado de salud y nutrición de la población. Sin embargo, este instrumento podría ser mucho más útil, en términos de la estimación de ingesta de flavonoides si se incluyen nuevas preguntas en los cuestionarios, además de modificar preguntas ambivalentes que no permiten tener certeza en las cantidades del consumo de

ciertos alimentos. Así mismo, resaltamos que la base de datos de USDA permitió identificar la cantidad de flavonoides en ciertos alimentos. No obstante, esta base de datos no incluye algunos alimentos que se consumen con cierta frecuencia en México. Esto motiva a realizar estudios subsecuentes de análisis químico en el laboratorio para determinar el contenido de flavonoides de ciertos alimentos “típicos” de Puebla y México, con el fin de ampliar las bases de datos.

Finalmente, a partir del conocimiento de los hábitos alimenticios y de la estimación de la ingesta de flavonoides en los habitantes del estado de Puebla, podemos comenzar con la siguiente etapa de la investigación que estará centrada en generar herramientas para el desarrollo del bienestar de la población, promoviendo el cuidado de la salud desde la educación alimentaria como estrategia y herramienta para mejorar la calidad de vida de niños, jóvenes y adultos.

Referencias

- Al-Khayri, J. M., Sahana, G. R., Nagella, P., Joseph, B. V., Alessa, F. M., & Al-Mssallem, M. Q. (2022). Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review. In *Molecules* (Vol. 27, Issue 9). <https://doi.org/10.3390/molecules27092901>
- Cao, Y. L., Lin, J. H., Hammes, H. P., & Zhang, C. (2022). Flavonoids in Treatment of Chronic Kidney Disease. *Molecules*, 27(7), 1–24. <https://doi.org/10.3390/molecules27072365>
- El-Nashar, H. A. S., Gamal El-Din, M. I., Hritcu, L., & Eldahshan, O. A. (2021). Insights on the inhibitory power of flavonoids on tyrosinase activity: A survey from 2016 to 2021. *Molecules*, 26(24), 1–23. <https://doi.org/10.3390/molecules26247546>
- ENSANUT. (2020). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Resultados de Puebla.
- Gómez Cruz, Z., Landeros Ramírez, P., Romero Velarde, E., & Troyo Sanromán, R. (2016). ESTILOS DE VIDA Y RIESGOS PARA LA SALUD EN UNA POBLACIÓN UNIVERSITARIA. 15(2), 15–21.
- Harris, D. C. (2007). *Quantitative Chemical Analysis* (Sixth). Editorial Reverté .
- Minocha, T., Birla, H., Obaid, A. A., Rai, V., Sushma, P., Shivamallu, C., Moustafa, M., Al-Shehri, M., Al-Emam, A., Tikhonova, M. A., Yadav, S. K., Poeggeler, B., Singh, D., & Singh, S. K. (2022). Flavonoids as Promising Neuroprotectants and Their Therapeutic Potential against Alzheimer’s Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022, 13. <https://doi.org/10.1155/2022/6038996>
- Murphy, K. J., Walker, K. M., Dyer, K. A., & Bryan, J. (2018). Estimation of daily intake of flavonoids and major food sources in middleaged Australian men and women. In *Nutrition Research*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.10.006>
- Pinto, C., Cidade, H., Pinto, M., & Tiritan, M. E. (2021). Chiral flavonoids as antitumor agents. *Pharmaceuticals*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/ph14121267>
- Scutiero, G., Iannone, P., Bernardi, G., Bonaccorsi, G., Spadaro, S., Volta, C. A., Greco, P., & Nappi, L. (2017). Oxidative Stress and Endometriosis: A Systematic Review of the Literature. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7265238>
- Tang, Z., Li, M., Zhang, X., & Hou, W. (2016). Dietary flavonoid intake and the risk of stroke: a dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *BMJ Open*, 6(6), e008680.

<https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2015-008680> USDA. (2018). U.S. Department of Agriculture. Database for the Flavonoid Content of Selected Foods.

Capítulo 2

Polímeros en Odontología: de la investigación a la práctica clínica

Olivia Hernández Cruz¹, Julia Flores Tochiuitl², Jorge Raúl Cerna Cortez¹

¹ Centro Avanzado de Pruebas Analíticas No Destructivas, Facultad de Ciencias Químicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

² Laboratorio Multidisciplinario, Facultad de Estomatología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

hecrol9@gmail.com, julia.flores@correo.buap.mx,
jorge.cerna@fcquim.buap.mx

Resumen. Este capítulo examina el uso de polímeros en odontología, dividiéndolos en tres categorías principales: acrílicos, naturales y sintéticos. Los polímeros acrílicos, esenciales desde la década de 1940 para prótesis dentales, presentan desafíos como la liberación de compuestos tóxicos. En respuesta, se han explorado polímeros naturales, como la celulosa bacteriana, el quitosano, el alginato y la seda, que ofrecen biocompatibilidad y son efectivos en la regeneración de tejidos y tratamiento de conductos radiculares. Los polímeros sintéticos destacan por su versatilidad y capacidad de ser modificados para mejorar la biocompatibilidad y funcionalidad. El capítulo enfatiza la necesidad de investigar y desarrollar nuevos materiales para mejorar los resultados clínicos y la seguridad del paciente, y presenta algunos ejemplos destacados de estos polímeros en odontología.

Palabras Clave: polímeros dentales, polímeros en odontología e innovaciones en materiales dentales.

1 Introducción a los polímeros en odontología

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha buscado reparar partes del cuerpo dañadas, llevando al desarrollo de biomateriales médicos y diagnósticos. En odontología, diversos ejemplos históricos muestran la evolución y la creatividad en el uso de materiales compatibles con el cuerpo.

Se tiene registro de que desde la prehistoria ya se utilizaban biomateriales para implantes dentales con resultados variados, e incluso en materiales de sutura (Buddy et al., 2020). Desde el 2500 a.C., los egipcios usaban alambres de oro para estabilizar dientes y tratar el dolor de muelas. Alrededor del 500 a.C., los etruscos reemplazaban dientes con huesos de

buey, y los fenicios estabilizaban dientes con alambre de oro. Hacia el 300 d.C., usaban dientes de marfil para puentes fijos, y los mayas, en el 600 d.C., fabricaban dientes de nácar de conchas marinas, integrados casi completamente con el hueso natural (osteointegración) (Bobbio., 1972). Además, alrededor del año 800 d.C., en la cultura hondureña se preparó y colocó por primera vez un implante de piedra en la mandíbula (Ring. M. 1993). De manera similar, en Francia se encontró un implante dental forjado en hierro en un cadáver fechado en el año 200 d.C., que también se osteointegró correctamente (Crubezy et al., 1998). La aplicación de metales en Odontología comenzó en 1809 con J. Maggiolo, quien implantó un poste de oro y en 1887, se probó el platino, pero ambos metales fallaron a largo plazo. En 1937, Venable usó Vitallium para implantes, y Strock introdujo el primer implante tipo tornillo exitoso. En 1952, Brånemark descubrió la "osteointegración" con un cilindro de titanio, revolucionando los implantes dentales y ortopédicos, que hoy se fabrican principalmente con titanio y aleaciones (Buddy et al., 2020).

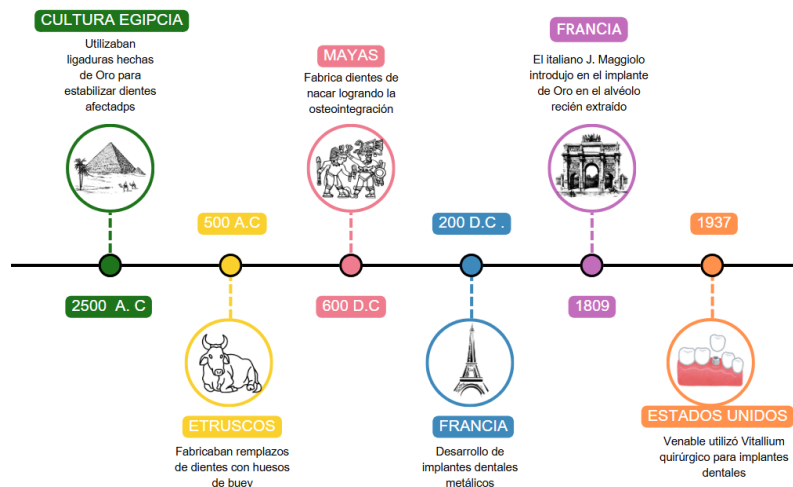


Figura 1. Historia parcial del desarrollo de biomateriales para odontología.

Entre los factores a considerar al elegir un material para una aplicación odontológica se deben incluir: a) resistencia a la corrosión, b) resistencia mecánica, c) costo, d) disponibilidad, e) biocompatibilidad y f) apariencia estética (Krishnakumar et al., 2021). Por ejemplo, el acero inoxidable provee buenas propiedades mecánicas; sin embargo, tiene poca resistencia a la corrosión y baja biocompatibilidad dentro de la boca. El titanio (Ti) tiene una amplia variedad de usos en implantes dentales debido a su mejor resistencia a la corrosión. Sin embargo, los implantes de Ti pueden presentar cierta toxicidad debido a la liberación de iones Ti desde la superficie del implante hacia los tejidos circundantes. Estos iones pueden causar una respuesta inflamatoria, conduciendo a la acumulación de células inmunes y la liberación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés,

reactive oxygen species). En algunos casos, la liberación de iones Ti conduce a la reabsorción de hueso alrededor del implante, lo que compromete la estabilidad del implante y puede resultar en su fallo (Madhavan et al., 2023) por lo que en algunos casos resulta necesario remover los implantes.

En este sentido, los materiales poliméricos son valorados en odontología por su resistencia y adaptabilidad. Se emplean en la elaboración de dentaduras, dientes artificiales, coronas, puentes, implantes, impresiones, rellenos, protectores bucales y mantenedores de espacio. A continuación, se detallarán los tipos y aplicaciones de estos polímeros.

2 Metodología de investigación

Esta investigación es una revisión sistemática que emplea una metodología rigurosa para garantizar la calidad de los artículos. Se establecieron criterios de inclusión para seleccionar artículos de los últimos diez años, revisados por pares y relevantes para la odontología. Se utilizaron bases de datos como PubMed, Google Scholar, Scopus y Perplexity (IA) con las palabras clave *Polímeros dentales*, *Polímeros en odontología* e *Innovaciones en materiales dentales*. El proceso incluyó la evaluación de títulos y resúmenes, lectura completa de los artículos seleccionados y una síntesis de los hallazgos relevantes, asegurando una selección precisa y un análisis exhaustivo de la literatura.

3 Aplicaciones de los polímeros en la odontología

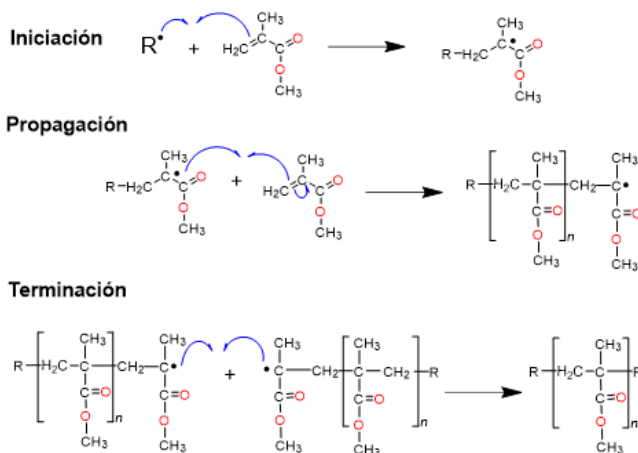
3.1.1. Resinas acrílicas.

La resina acrílica, sintetizada en 1900 por el químico alemán Rohn, ha sido ampliamente utilizada en medicina y odontología desde 1940, cuando Kultzer la patentó. En esa década, el polimetilmetacrilato (PMMA) se convirtió en el material dominante para aproximadamente el 60% de las prótesis dentales móviles en el mercado estadounidense. Aunque se introdujo hace casi un siglo, el acrílico sigue siendo fundamental en odontología debido a su transparencia y facilidad de modelado, lo que permite imitar con precisión dientes, encías y piel (Raszewski et al., 2021).

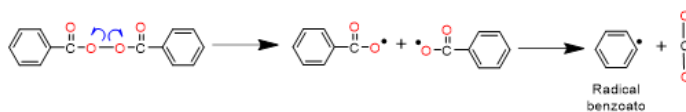
Los materiales de acrilato, según su composición, son ésteres de ácido poli(acrílico). El PMMA (nombre IUPAC: poli[1-(metoxicarbonil)-1-metiletileno]) $(C_5O_2H_8)_n$ es un polímero sintético preparado por la adición y polimerización por radicales libres del metacrilato de metilo $(C_5O_2H_8)$. El metacrilato de metilo (MMA), es un líquido volátil e inflamable con un olor ligeramente dulce pero irritante, y tiene un punto de ebullición de 100°C (Umar et al., 2015).

La polimerización inicia con la formación de radicales libres, generados químicamente, por calor, microondas o luz. En la fase de propagación, los monómeros reaccionan entre sí, y en la fase de terminación, se completan las cadenas poliméricas mediante la reacción entre monómeros y radicales libres. Los materiales acrílicos para odontología se presentan en un sistema polvo-líquido: el polvo contiene iniciador (peróxido de benzoílo), polímeros acrílicos, plastificantes, colorantes, pigmentos y fibras orgánicas; mientras que el líquido incluye MMA, inhibidor de polimerización, agentes entrecruzantes y aceleradores de la polimerización (Kostiç et al., 2022) (ver figura 2).

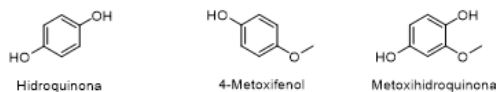
a) Mecanismo de polimerización



b) Mecanismo de formación de radicales



c) Inhibidores de la polimerización



d) Acelerantes

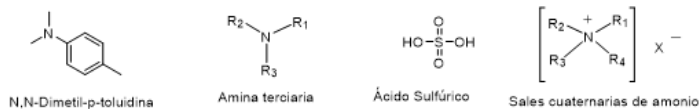


Figura 2. Mecanismos y componentes generales de la polimerización de PMMA: a) Esquema del mecanismo de reacción en cadena de la polimerización de PMMA, b) Representación de la ruptura homolítica del peróxido de benzoílo para la generación de

radicales, c) Estructura de algunos inhibidores y de d) Acelerantes para la polimerización de acrílicos.

Los polímeros acrílicos dentales se dividen en duros para bases de dentaduras y prótesis, y blandos para revestimientos, acondicionamiento de tejidos orales y tratamiento de la inflamación (Petrovic et al., 2013).

Los materiales acrílicos duros para bases de dentaduras se polimerizan al mezclar polvo y líquido, activados por calor. La reacción empieza con la ruptura del enlace O-O del peróxido de benzoílo, generando radicales fenilos a 70-100°C (ver fig. 2). El curado tradicional requiere 9 horas a 74°C, mientras que el PMMA de curado rápido sólo necesita 20 minutos a 100°C.

La polimerización también puede iniciarse con microondas, lo que ahorra tiempo (3 minutos a 500W) y proporciona propiedades similares al calentamiento convencional. Estos materiales no usan peróxido de benzoílo (Memon et al., 2001).

El PMMA polimerizado en frío usa aceleradores (como N, N-dimetil-p-toluidina) para activar el peróxido de benzoílo, creando radicales libres para iniciar la polimerización. Los acrilatos polimerizados en frío tienen un grado de polimerización menor y más monómero residual, lo que afecta sus propiedades (Raszewski et al., 2021).

La polimerización incompleta de estos materiales puede permitir que los residuos migren a la saliva, causando alergias locales o efectos tóxicos como queilitis, estomatitis, hormigueo en la boca y dolor. También pueden producirse reacciones graves, como el eritema multiforme (Milena et al., 2020).

La actividad biológica de los acrilatos dentales se refleja en su interacción con el tejido y la liberación de compuestos tóxicos. Esta interacción está determinada por la rugosidad de la superficie, que depende del proceso de polimerización y el pulido final. Las superficies irregulares acumulan placa, pigmentos y residuos (Kosti'ç, et al., 2022). Obata (2017) y Göcke (2002) proponen la mejora la estructura superficial de los polímeros acrílicos, incorporando grupos fosfato o carboxilo en el PMMA, puede reducir la acumulación de microorganismos.

3.1.2. Polímeros naturales.

Dado los efectos secundarios de los acrílicos, ha crecido el interés en polímeros naturales para odontología. Estos materiales biológicos ofrecen mejor biocompatibilidad y menos riesgos de toxicidad. Investigaciones recientes destacan el quitosano, alginatos y colágeno en prótesis dentales y otros dispositivos, mostrando resultados prometedores. A continuación, se detallarán estos materiales y sus aplicaciones.

Celulosa: La celulosa, un polímero abundante en plantas y bacterias, es insoluble en agua, pero sus derivados hidrosolubles se obtienen por esterificación. Compuesta por unidades de D-glucopiranosas con enlaces β -1,4-glicosídicos, forma hidrogeles útiles en medicina regenerativa. En odontología, la celulosa bacteriana (CB) se emplea en la regeneración de pulpa dental, periodontal y en el recubrimiento de heridas en la mucosa oral (Chojnacka et al. 2023). A pesar de los avances, la baja solubilidad en disolventes

comunes complica el procesamiento de la celulosa. Investigadores han probado líquidos iónicos y otros solventes no convencionales, así como modificaciones químicas (esterificación, oxidación/amidación y silación) (Zhang et al. 2017). Sin embargo, se necesitan estudios adicionales para evaluar cómo afectan estas modificaciones a sus propiedades para aplicaciones odontológicas.

Quitosano: El quitosano, el segundo polisacárido más abundante, se obtiene de la quitina desacetilada del exoesqueleto de crustáceos. Formado por unidades de glucosamina y N-acetilglucosamina, es más reactivo y soluble que la quitina. Ambos pueden formar hidrogeles gracias a sus grupos funcionales. En odontología, el quitosano se usa en el tratamiento de enfermedades periodontales como portador de fármacos, en la regeneración dental con andamios para hueso, periodonto y pulpa dental, y en productos de cuidado oral, como pastas dentales y enjuagues bucales, por sus propiedades antibacterianas y antierosivas (Fakhri et al., 2020).

Alginatos: El alginato, un polímero de algas, consiste en ácido 1-4-β-D-manurónico y ácido α-L-gulurónico. Forma una estructura tipo "caja de huevos" que, con iones divalentes, crea un hidrogel 3D estable y rígido. Estos hidrogeles pueden acomplejarse con iones metálicos, ser diseñados para degradarse enzimáticamente y ajustar sus propiedades mecánicas.

En odontología, el alginato se usa para impresiones dentales por su facilidad de uso, bajo costo y rápido secado, pero tiene baja reproducibilidad y estabilidad dimensional para trabajos complejos y solo permite la producción de un material a la vez (Cervino et al., 2018).

Otros polímeros: existen otros polímeros naturales que también están siendo estudiados en la odontología. Por ejemplo, la **seda** es prometedora en odontología por su resistencia, biodegradabilidad y biocompatibilidad. Las proteínas de seda, especialmente la fibroína, son bien aceptadas por el cuerpo, reduciendo el riesgo de reacciones adversas. Sus fibras son ideales para suturas y andamios de ingeniería de tejidos, además de ser biodegradables, lo que minimiza el impacto ambiental. Los andamios de seda soportan el crecimiento de tejidos dentales y promueven la regeneración de tejidos dañados (Ealla et al., 2022). Otro es el **colágeno**, la proteína más abundante en el cuerpo, es crucial en la preservación ósea dental y terapias regenerativas debido a su alta biocompatibilidad y capacidad de cicatrización. Las membranas de colágeno estabilizan injertos óseos, preservan el hueso alveolar tras extracciones y actúan como barreras en terapias periodontales e implantes. Las membranas reabsorbibles de colágeno promueven la cicatrización de heridas orales (Pranitha et al., 2016). Y finalmente por mencionar, el **ácido hialurónico** (AH) mejora la cicatrización de heridas y tiene propiedades antiinflamatorias. Se usa en terapias periodontales, aumento de la papila interdental, cicatrización postoperatoria y regeneración de tejidos blandos y duros (Bhati et al., 2022).

3.1.3. Polímeros sintéticos biodegradables.

Los polímeros sintéticos biodegradables han ganado relevancia en odontología debido a sus propiedades biodegradables y biocompatibles. Estos materiales se utilizan en diversas

aplicaciones dentales, como la regeneración de tejidos, la fabricación de matrices de soporte para injertos y la creación de dispositivos ortodónticos. Su capacidad para descomponerse de manera segura en el cuerpo y su facilidad de manipulación los hacen ideales para avanzar en tratamientos odontológicos innovadores y eficaces. A continuación, se describen algunos de ellos:

Ácido poliláctico (PLA): El PLA es un buen andamio polimérico candidato para la ingeniería de tejidos dentales, bucales y craneales. Es biodegradable y biocompatible, con propiedades de degradación controlada, por lo que se ha utilizado para la fabricación de suturas reabsorbibles y dispositivos de regeneración ósea, puede combinarse con otros polímeros resistentes a la degradación como el poliéter éter cetona (PEEK) para fabricar andamiajes multimateriales mediante sinterización selectiva por láser (SLS) para mejorar su bioactividad, biocompatibilidad y citocompatibilidad. También puede mezclarse con PCL mediante la técnica de electrospinning 3D para mejorar las propiedades mecánicas, la bioactividad y la diferenciación osteogénica. Se ha reportado que el biopolímero impreso en 3D a base de PLA con diámetros de poro de 200 μm de diámetro presenta una mejor proliferación y diferenciación celular. De la misma manera HTR Synthetic Bone TM es un ejemplo de sustituto óseo a base de polímeros disponible en el mercado compuesto de PMMA, polihidroxietilmetacrilato e hidróxido de calcio. Este producto se ha utilizado con éxito en el tratamiento de defectos periodontales intraóseos y defectos de furcación (Zhao et al., 2021).

Ácido poliglicólico (PGA): El PLGA, un copolímero de ácido láctico y ácido glicólico tiene un índice de degradación ajustable en función de la proporción de ácido láctico y ácido glicólico en el copolímero, debido a la hidrofiliidad de los dos monómeros. El PGA es ampliamente utilizado en el campo de suturas dentales e ingeniería de tejidos. Cuando se mezclan varios polímeros basados en PLGA como PGA-PLA, PGA-PCL y PGA-poli-4-hidroxibutirato (P4HB), PGA-PLA y PGA-P4HB demostraron una mayor formación de tejido en comparación con los andamios de PGA-PCL. Esto puede atribuirse a la consecución de un equilibrio entre la tasa de degradación del andamio y la formación de tejido para mantener la integridad mecánica del tejido de sustitución (Generali et al., 2017).

Policaprolactona (PCL): La policaprolactona (PCL) es un poliéster biodegradable que ha ganado atención en odontología, especialmente en prostodoncia e ingeniería de tejidos. Destaca por su lenta degradación, buena biocompatibilidad y propiedades mecánicas favorables. En prostodoncia, se utiliza para bases de dentaduras temporales, guardas o protectores bucales personalizados y plantillas quirúrgicas, aunque el conocimiento entre prostodoncistas es limitado (Patel et al., 2023). En ingeniería de tejidos, PCL se usa en andamios para la regeneración de tejidos y en andamios nanofibrosos que mejoran la diferenciación celular. Además, los recubrimientos de PCL en implantes dentales, a menudo combinados con materiales bioactivos, mejoran la integración del implante con el tejido óseo (Haugen et al., 2020).

Polietilenglicol (PEG): El PEG y sus derivados se han utilizado ampliamente como andamios o hidrogeles inyectables. Lu y su equipo (2015) crearon un hidrogel inyectable compuesto de diacrilato de PEG (PEG-DA) y fibrinógeno como andamio para la ingeniería tisular de la pulpa dental. La concentración de PEG-DA moduló las propiedades mecánicas

del hidrogel. Los hidrogeles mostraron citocompatibilidad con las células madre de la pulpa dental (DPSC).

4 Limitaciones de los polímeros aplicados en odontología

El uso de polímeros en odontología enfrenta diversas limitaciones que pueden influir en su eficacia y durabilidad en aplicaciones clínicas. Entre estas limitaciones, la contracción por polimerización es un desafío significativo, ya que puede generar espacios entre la restauración y la estructura dental, aumentando el riesgo de caries secundarias (Rokaya, D. et. al. 2018). Algunos polímeros, especialmente ciertos acrílicos, pueden presentar propiedades mecánicas insuficientes, como baja resistencia al impacto y flexión, lo que podría resultar en fracturas de dentaduras y otras restauraciones (Kostić et al., 2022). La absorción de agua en materiales como el PMMA puede inducir cambios dimensionales y degradación en sus propiedades mecánicas, así como fracturas en prótesis dentales (Kostić et al., 2022). A pesar de su biocompatibilidad general, algunos polímeros pueden liberar sustancias tóxicas durante su preparación y uso, planteando preocupaciones sobre sus características biológicas. Además, la adhesión a la estructura dental a menudo presenta desafíos, lo que puede llevar a fallos en las restauraciones. La rápida degradación de ciertos polímeros biodegradables, como el PLA y el PGA, puede limitar su eficacia en la regeneración de tejidos y en la preservación estructural (Samantaray et al., 2020). Finalmente, el costo asociado con los polímeros avanzados puede restringir su adopción generalizada en la práctica clínica, limitando su uso a aplicaciones especializadas o a prácticas con presupuestos más altos.

5 Conclusiones y Perspectivas Futuras

En términos de ciencia e ingeniería de materiales, estamos en la era de los polímeros, debido a que tienen múltiples aplicaciones, en este caso en el área de odontología. La introducción de estos materiales en el campo odontológico ha facilitado el acceso de más pacientes a una variedad de aparatos y tratamientos debido a sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y biológicas, como la biocompatibilidad y la capacidad de ser moldeados para diversas aplicaciones clínicas. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, los polímeros también presentan limitaciones significativas, como problemas de contracción por polimerización, propiedades mecánicas insuficientes, y desafíos en la adhesión y biocompatibilidad, que deben ser abordadas para mejorar su eficacia y durabilidad en tratamientos dentales. No obstante, las continuas investigaciones y desarrollos recientes prometen avances que superarán estos desafíos, abriendo nuevas y emocionantes oportunidades para el futuro de la odontología.

6 Agradecimientos

Los autores agradecen el respaldo financiero recibido. En particular, O. Hernández-Cruz reconoce el apoyo proporcionado por la beca postdoctoral de CONAHCYT con número de convenio 2331329, y J. Flores-Tochihuitl expresa su agradecimiento a la Vicerrectoría de Estudios de Posgrado por el financiamiento otorgado mediante el proyecto 100526485-VIEP2024.

Referencias

- Bhati, A., Fageeh, H., Ibraheem, W., Fageeh, H., Chopra, H., & Panda, S. (2022). Role of hyaluronic acid in periodontal therapy (Review). *Biomedical Reports*, 17, 91. (Artículo de revista)
- Bobbio, A. (1972). The first endosseous alloplastic implant in the history of man. *Bull. Hist. Dent.*, 20, pp. 1–6. (Artículo de revista)
- Cervino, G., Fiorillo, L., Herford, A. S., Laino, L., Troiano, G., Amoroso, G., Crimi, S., Matarese, M., D'Amico, C., Nastro Siniscalchi, E., & Cicciù, M. (2018). Alginate materials and dental impression technique: A current state of the art and application to dental practice. *Marine Drugs*, 17(1), pp. 18. (Artículo de revista)
- Chojnacka, K., Moustakas, K., & Mikulewicz, M. (2023). Multifunctional cellulose-based biomaterials for dental applications: A sustainable approach to oral health and regeneration. *Industrial Crops and Products*, 203, 117142. (Artículo de revista)
- Crubezy, E., Murail, P., Girard, L., Bernadou, J.-P. (1998). False teeth of the Roman world. *Nature*, 391, pp. 29. (Artículo de revista)
- Ealla, Kranti kiran Reddy & Priya V, Vishnu & Ravula, Nikitha Reddy & Durga, Chandra & Ramani, Pratibha & Sahu, Vikas & Poola, Praveen & Patil, Shankargouda & Panta, Prashanth. (2022). Silk Hydrogel for Tissue Engineering: A Review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 23. 467-477. (Artículo de revista)
- Fakhri, E., Eslami, H., Maroufi, P., Pakdel, F., Taghizadeh, S., Ganbarov, K., Yousefi, M., Tanomand, A., Yousefi, B., Mahmoudi, S., & Samadi Kafil, H. (2020). Chitosan biomaterials application in dentistry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, pp. 956–974. (Artículo de revista)
- Generali, M., Kehl, D., Capulli, A. K., Parker, K. K., Hoerstrup, S. P., & Weber, B. (2017). Comparative analysis of poly-glycolic acid-based hybrid polymer starter matrices for in vitro tissue engineering. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 158, pp 203-212. (Artículo de revista)
- Göcke, R., Gerath, F., & Von Schwanewede, H. (2002). Quantitative determination of salivary components in the pellicle on PMMA denture base material. *Clinical Oral Investigations*, 6(4), pp. 227–235. (Artículo de revista)
- Haugen, H., Basu, P., Sukul, M., Mano, J. F., & Reseland, J. (2020). Injectable biomaterials for dental tissue regeneration. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10), 3442. (Artículo de revista)
- Kostić, M., Igić, M., Gligorijević, N., Nikolić, V., Stošić, N., Nikolić, L. (2022). The Use of Acrylate Polymers in Dentistry. *Polymers*, 14, pp. 4511. (Artículo de revista).

- Krishnakumar, S., Senthilvelan, T. (2021). Polymer composites in dentistry and orthopedic applications-a review. *Materials Today: Proceedings*, 46(19), pp. 9707-9713. (Artículo de revista)
- Lu, Q., Pandya, M., Rufaihah, A. J., Rosa, V., Tong, H. J., Seliktar, D., & Toh, W. S. (2015). Modulation of dental pulp stem cell odontogenesis in a tunable PEG-fibrinogen hydrogel system. *Stem Cells International*, 2015, 525367. (Artículo de revista)
- Madhavan, S., Venugopal, V., Johnny, J. (2023). Toxicity of titanium in dental implants- Implications on patient health and clinical practice. *The Journal of Dental Panacea*, 5, pp. 21-24. (Artículo de revista)
- Memon, M. S., Yunus, N., & Razak, A. A. (2001). Some mechanical properties of a highly cross-linked, microwave-polymerized, injection-molded denture base polymer. *International Journal of Prosthodontics*, 14(3), pp 214–221. (Artículo de revista)
- Kostić, M., Stanojević, J., Tačić, A., Gligorijević, N., Nikolić, L., Nikolić, V., Igić, M., & Bradić Vasić, M. (2020). Determination of residual monomer content in dental acrylic polymers and effect after tissues implantation. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 34(1), pp 254-263. (Artículo de revista)
- Obata, T., Ueda, T., & Sakurai, K. (2017). Inhibition of denture plaque by TiO₂ coating on denture base resins in the mouth. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 118(6), pp. 759–764. (Artículo de revista)
- Patel, K. A., Patel, J. R., Patel, V. V., Duseja, S., & Raval, H. J. (2023). Knowledge and awareness of polycaprolactone and its applications as provisional material in prosthodontic practice: A questionnaire-based survey. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 23(1), pp. 78-83. (Artículo de revista)
- Pranitha, K., Sai, J., Sai Sankar, A. J., Anche, S., & Pratapgowd, M. J. S. (2016). Collagen as a biomaterial in dentistry. *International Journal of Innovative Medicine and Health Science*, 6, pp. 1-4. (Artículo de revista)
- Petrovic, D., Krunić, N., & Kostić, M. (2013). Risk factors and preventive measures for occupational diseases in dental technicians. *Vojnosanitetski Pregled*, 70(11), pp. 959–963. (Artículo de revista)
- Raszewski, Z., Nowakowska-Toporowska, A., Nowakowska, D., & Więckiewicz, W. (2021). Update on acrylic resins used in dentistry. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 21(15), pp. 2130–2137. (Artículo de revista)
- Ratner, B. D., & Zhang, G. (2020). A history of biomaterials. En W. R. Wagner, S. E. Sakiyama-Elbert, G. Zhang, & M. J. Yaszemski (Eds.), (4.^a ed., pp. 21-34) *Biomaterials science* (Capítulo de libro)
- Ring, M. E. (1993). *Dentistry : an illustrated history*. Abradale Press/Harry N. Abrams. (Libro).
- Rokaya, D., Srimaneepong, V., Sapkota, J., Qin, J., Siraleartmukul, K., & Siriwongrungson, V. (2018). Polymeric materials and films in dentistry: An overview. *Journal of advanced research*, 14, 25-34. (Artículo de revista)
- Samantaray, R., Mohapatra, A., Das, S. S., Nanda, K., & Bharadwaj, S. (2020). Polymers used in dentistry: an overview of literature. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, 14(4), pp 8883-8887. (Artículo de revista)
- Srinivasan, M., Pandyan, S., Sambandam, M., & Rengasamy, R. (2017). Titanium allergy: A literature review. *Indian Journal of Dental Research*, 28(4), pp. 422–428 (Artículo de revista)
- Umar, A., Nor Aziah Buang, A. (2015). Review of the properties and applications of poly (methyl methacrylate) (PMMA). *Polymer. Review*. (Phila. Pa.), 55(4), pp. 678-705. (Artículo de revista)

- Zhang, J., Wu, J., Yu, J., Zhang, X., He, J., & Zhang, J. (2017). Application of ionic liquids for dissolving cellulose and fabricating cellulose-based materials: state of the art and future trends. *Materials Chemistry Frontiers*, 1(7), pp. 1273-1290. (Artículo de revista)
- Zhao, R., Yang, R., Cooper, P. R., Khurshid, Z., Shavandi, A., & Ratnayake, J. (2021). Bone grafts and substitutes in dentistry: A review of current trends and developments. *Molecules*, 26(10), 3007. (Artículo de revista)

Capítulo 3

La Arteterapia como Estrategia de Educación para la Salud

Rosa Lydia Muñoz Téllez¹, Luis Enrique Colmenares Guillen², José Ramón Eguibar Cuenca³

¹ Instituto de Ciencias, ² Facultad de Ciencias de la Computación, ³ Instituto de Fisiología

^{1, 2, 3} Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

rosa.munoztel@correo.buap.mx, enrique.colmenares@correo.buap.mx,

Resumen. La Arteterapia como estrategia de educación para la salud y desarrollo de las habilidades del pensamiento superior es un enfoque multidisciplinario que combina el arte con la promoción de la salud y el bienestar cognitivo, emocional y social. Esta estrategia ayuda al desarrollo del potencial terapéutico y educativo del proceso creativo y la expresión artística, especialmente en el contexto del envejecimiento y la atención geriátrica. La metodología aplicada es un enfoque cualitativo mediante una investigación documental que rescata y reflexiona de forma crítica sobre los aspectos de la arteterapia, la educación para la salud y el desarrollo de las habilidades del pensamiento tanto superior en los adultos mayores en los últimos 10 años mediante los buscadores Scielo, EBSCO, PubMed, Google Académico Redalyc, Scielo y Dialnet en inglés y español. Finalmente los resultados demuestran la efectividad de la estrategia de arteterapia en la educación para la salud para mejorar las funciones cognitivas, psicológicas y fisiológicas que involucran la memoria, toma de decisiones y los procesos emocionales.

Palabras Clave: arteterapia, educación para la salud, habilidades del pensamiento superior, adultos mayores.

1 Introducción

La arteterapia es una disciplina alternativa que busca consolidarse como un enfoque terapéutico independiente y claramente diferenciado a otros métodos que utilizan el arte con fines de desarrollo humano, particularmente la psicoterapia, la educación para la salud, la educación artística y medicina alternativa. La arteterapia desde un enfoque relacionado con la salud se alinea con los propósitos de la Carta de Ottawa para la Promoción de la Salud de 1986 en donde se estudia el concepto del arte como un medio para el desarrollo de recursos personales e interpersonales, facilitando la percepción emocional de la enfermedad, el dolor, el sufrimiento, fortaleciendo la salud y el amor.

En España, la Federación Española de Asociaciones de Profesionales de la Arteterapia (FEAPA) define a la arteterapia como un método específico que utiliza la creación artística para desarrollar procesos psicoterapéuticos y promover el bienestar bio-psico-social en el

escenario de una relación terapéutica (Cabrera et al., 2021). Por otro lado, la Asociación Americana de Arteterapia (AATA) la describe como una profesión que integra a los servicios de salud y la salud mental, para mejorar la calidad de vida de individuos, familias y comunidades mediante la creación artística activa; el proceso creativo, la teoría psicológica aplicada y la experiencia humana dentro de una relación psicoterapéutica (Jiamei, 2024).

La arteterapia en los adultos mayores se enfoca en desarrollar los recursos personales para resolver situaciones de salud. Las intervenciones de arteterapia son utilizadas en personas con enfermedades neurodegenerativas, como la demencia y el alzhéimer, contribuyendo de forma importante a disminuir el deterioro cognitivo y la mejora de síntomas de comportamiento derivados de estas enfermedades, especialmente en la reducción de la agitación y ansiedad (Bermúdez, 2019), mejorando la calidad de vida tanto de los pacientes como de sus cuidadores.

La arteterapia ayuda a mantener la conexión con la memoria sensorial y el presente, facilita la comunicación y la expresión las cuales son vitales en la adultez mayor donde la comunicación suele verse afectada por dificultades físicas o marginación social. La arteterapia proporciona un entorno de baja exigencia, valorando lo sencillo y ofreciendo a los adultos mayores la oportunidad de sentir control y autonomía, aspectos muy valorados debido a la pérdida de autonomía en otras áreas de sus vidas. Durante el proceso creativo de la arteterapia se fomenta la toma de decisiones sin riesgos, proporcionando al adulto mayor autonomía, libertad, seguridad e independencia. La arteterapia permite abordar aspectos dolorosos de la vejez, como el miedo a la muerte, la enfermedad y facilita la rehabilitación en los aspectos cognitivos, motores y emocionales, mostrando notables efectos benéficos en los adultos mayores (Gandhi et al., 2018).

2 Metodología

Para la elaboración de este artículo se realizó una revisión de la literatura para construir un estudio de investigación cualitativo, en donde se analiza y reflexiona de forma crítica sobre la relación que existe entre la arteterapia, la educación para la salud, el desarrollo de las habilidades del pensamiento superior como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la memorización, la toma de decisiones, las habilidades socioemocionales y la atención en los adultos mayores, en los últimos 10 años mediante los buscadores Scielo, EBSCO, PudMed y Google Académico Redalyc, Scielo y Dialnet en inglés y español. Se seleccionaron estudios en forma de tesis, artículos de reflexión, revisión de la literatura, ensayos, documentales y reseñas.

En las búsquedas en las bases de datos se encontraron 6584 artículos tras la aplicación de los filtros se seleccionaron los artículos a partir de la lectura de títulos, resúmenes, excluyendo aquellos que no se ajustaron explícitamente al alcance de esta investigación. Se identificaron 108 artículos potencialmente elegibles los cuales se leyeron en su totalidad,

para la elaboración de este artículo, se seleccionaron 8 que cumplieron con los filtros de búsqueda.

3 Resultados

Se analizaron 108 artículos, se seleccionaron 8 artículos elegibles para la realización de este. La tabla 1 proporciona un análisis general de los estudios seleccionados, en el primer artículo se realizó un estudio controlado aleatorio simple con 127 adultos mayores en el cual se demostró que las artes visuales mejoraron la función cognitiva y el estado de ánimo (Masika et al. 2022). El segundo artículo se utilizó la terapia musical en hogares comunitarios de adultos mayores esta técnica mejoró las habilidades cognitivas, las funciones ejecutivas, el estado de ánimo y la estabilización de los signos vitales (Mangiacotti, 2024).

En el tercer artículo de origen chino se implementó un programa con 28 adultos mayores, el programa consistió en aplicar una serie de actividades artísticas las que incluyeron la arteterapia sin especificar la técnica, terapias lúdicas, resolución de problemas, se aplicó la escala de evaluación MOCA antes y después de la intervención, como resultado de este tipo de intervenciones se demostró una mejoría en la capacidad visoespacial (Yuan et al., 2021). En el cuarto artículo se realizó un metaanálisis de la literatura se evaluaron 12 artículos de 125 artículos que cumplieron con los requisitos metodológicos de búsqueda, teniendo como resultado que las terapias artísticas son eficaces para mejorar las funciones cognitivas, el bienestar mental, la socialización, fomentar un envejecimiento saludable, la neurogénesis, la resolución de problemas, previene la depresión y fomenta la socialización en los adultos mayores (Galassi et al., 2022). En un quinto estudio realizado en E.U. con la implementación de un programa de artes visuales y literarias de 12 semanas diseñado para adultos mayores, utilizando una entrevista estructurada y grupos focales como metodología para analizar la efectividad, los resultados que se obtuvieron mejoraron el área psicosocial, en el bienestar social; interés por la vida, autosuficiencia, la identidad, los beneficios en el bienestar emocional como sentimientos de la felicidad y en el bienestar cognitivo facilita el aprendizaje, la creatividad (Julene et al., 2021). En el sexto artículo analizado es de origen australiano, en donde se realizó un estudio para evaluar la asociación entre el compromiso artístico, la salud en general y la salud mental en adultos mayores, este estudio se trata de un análisis descriptivo y un análisis de regresión con la intervención de 2843 adultos mayores, como resultado se encontró una asociación significativa entre el compromiso con las artes y mejoría en el bienestar mental, sin embargo hay una relación más débil para el componente físico (Davies, 2023). En un séptimo artículo se realizó en Singapore con 68 adultos mayores entre 60 y 85 años, los participantes se agruparon en tres grupos, en dos se realizaron intervenciones y un grupo control, la metodología fue la visualización y evaluación cognitiva del arte basado en la narración de pensamientos y experiencias internas, en segundo lugar la creación física de una obra de arte con una temática específica para obtener conocimientos y discutir

sentimientos, además de recordar experiencias y vivencias relacionadas con la música, se utilizaron las siguientes pruebas de tamizaje para adultos mayores: Prueba de aprendizaje verbal, aprendizaje en lista, prueba de reconocimiento, adulto Wechsler, escala de inteligencia-3ra edición, diseño de bloques o habilidades visoespaciales, atención y memoria de trabajo, prueba de rostro de color, depresión geriátrica e inventario de ansiedad geriátrica, los resultados fueron mejoría en los dominios neurocognitivos en comparación con el grupo de control, esta mejoría se obtuvo a los 3 meses, y se mantuvieron a los 9 meses, se observó mejoría en la depresión y la ansiedad a los 3 y 9 meses (Gandhi 2018). El octavo artículo es una revisión de la literatura en la cual se explica el uso de arteterapia como mecanismo artístico dentro del proceso psicológico, físico y emocional para reducir la ansiedad, la depresión y el deterioro cognitivo que se presenta en los adultos mayores, el desarrollo de la resiliencia a través de la expresión artística al plasmar sus sentimientos de sufrimientos ante las pérdidas. Este artículo discute la eficacia de la arteterapia en la mejoría del deterioro cognitivo y sugiere la realización de investigación y experimentación en esta área (Ana-Isabel, 2018).

Título del artículo	Autores	Año y ubicación	Tipo de estudio	Objetivo del estudio	Resultados
1.- Terapia de arte visual y cognición: efectos en personas con Deterioro cognitivo leve y bajo nivel educativo	Masika GM, Yu DSF, Li PWC, Lee DTF, & Nyundo A	2022 Tanzania	Ensayo controlado aleatorio simple ciego en 127 adultos mayores	El objetivo de este estudio fue examinar los efectos de la terapia de arte visual en la cognición, la capacidad psicológica y funcional de personas con deterioro cognitivo leve y baja educación	Las artes visuales mejoran la función cognitiva y el estado de ánimo de los adultos mayores con deterioro cognitivo leve
2.- El impacto de la intervención de terapia comunitaria de música en las comunidades de hogares de cuidado de adultos	Mangiaco tt A., Masotti, A., & Biasutti, M.	2024 Universidad de Padua Italia.	Estudio cualitativo basado en entrevistas semiestructuradas	Investigar las creencias de los terapeutas comunitarios de música acerca del impacto de su servicio de Terapia Musical en las comunidades	Los beneficios de las sesiones de TM para los participantes: los terapeutas observaron mejoras en diversas habilidades cognitivas (atención,

mayores: Evaluación de las percepciones de los terapeutas de música comunitaria.				de hogares de cuidado	memoria, producción verbal), coordinación motora, funciones ejecutivas y procesos de metacognición . También notaron efectos fisiológicos como la reducción de la frecuencia cardíaca y una respiración más regular, así como mejoras en el estado de ánimo y niveles de energía de los residentes.
3.- Diseño y evaluación de un programa piloto de educación cognitiva en salud según el marco RE-AIM.	Yuan, M., Xiao, X., Wang, Y., Han, Y., Zhang, R., Fu, H., & Fang, Y.	2021 Xiamen, China.	Realizó un análisis cuantitativos y cualitativos basado en el alcance, efectividad, adopción, implementación y mantenimiento de un programa de educación en salud. Que incluía terapia artística, lúdicas, resolución de problemas en 28 adultos mayores. Se evaluó con la escala MOCA	Diseñar, probar y evaluar un novedoso programa piloto de educación en salud cognitiva combinado con intervenciones psicosociales	La escala de MoCA presenta mejoría significativa, sin embargo, mejoraron en la capacidad visuoespacial con un aumento promedio de 0,42 en el puntaje.

			estado de cognición		
4.- Creatividad y terapias artísticas para promover el envejecimient o saludable: Una revisión exploratoria.	Galassi F, Merizzi A, D'Amen B, & Santini S.	2022	Revisión exploratoria de la literatura, se revisaron 125 artículos, 12 eligieron artículos	Conocimiento relacionado con la efectividad de las terapias artísticas para la prevención de condiciones comunes relacionadas con la edad	La literatura revisada reporta que las terapias artísticas en los adultos mayores proporcionó evidencia de la eficacia en la promoción de las funciones cognitiva, bienestar mental, la socialización, fomentar un envejecimient o saludable, la neurogénesis, la resolución de problemas, previene la depresión y fomenta la socialización.
5.- Exploración de los efectos de intervencione s en artes visuales y literarias sobre el bienestar psicosocial de adultos mayores diversos: un estudio piloto de métodos mixtos.	Johnson, J. K., Carpenter, T., Goodhart, N., Stewart, A. L., du Plessis, L., Coaston, A., Clark, K., Lazar, A., & Chapline, J.	2021	Estudio cualitativo mediante métodos mixtos la utilización una evaluación estructurada y grupos focales semiestructurad os sobre los beneficios percibidos de las intervenciones Muestra 60 participantes	Explorar los beneficios potenciales de participar en una intervención de artes visuales o literarias de 12 semanas diseñada para adultos mayores y determinar la viabilidad y aceptabilidad de la entrega de dichos programas en	Beneficios psicosociales fueron bienestar social, interés por la vida, autosuficienci a, identidad. Bienestar emocional facilitaron la felicidad, la risa. Bienestar cognitivo facilita el aprendizaje, la creatividad

				entornos de vivienda para personas mayores.	
6- El arte de envejecer bien: un estudio de la relación entre la participación en las artes recreativas, la salud general y el bienestar mental en una cohorte de adultos mayores australianos.	Davies CR, Budgeon CA, Murray K, Hunter M, & Knuiman M	2023 Australia	Es un estudio transversal, se realizó un análisis descriptivo y un análisis de regresión 2.843 adultos mayores	Investigar la salud de los adultos mayores que tienen una prevalencia de condiciones crónicas y factores de riesgo de enfermedades en la población australiana. Basado en una encuesta, se incluyeron preguntas sobre el compromiso con las artes y el bienestar mental	Se encontró una asociación significativa entre el compromiso con las artes y mejoría en el bienestar mental y una relación más débil para el componente físico
7.- La terapia artística se asocia con una mejora sostenida de la función cognitiva en los ancianos con trastorno neurocognitivo leve: hallazgos de un ensayo piloto controlado aleatorio para la terapia artística y la actividad de	Gandhi M., Babu R., Wong., Kanchi M., Fam J., Rawtaer I., Prem a., Feng A., Heok Kual E	2018	Ensayo piloto controlado aleatorizado de brazos paralelos abiertos para examinar los efectos de la terapia artística con 318 personas mayores con deterioro cognitivo leve 250 realizó intervención de arte artística, 68 con deterioro cognitivo leve	Analizar la eficacia de la terapia artística en la mejoría del deterioro cognitivo leve.	Los dominios neurocognitivos mejoraron en comparación con el grupo de control a los 3 meses, y se mantuvieron a los 9 meses. Mejoría en la depresión y la ansiedad a los 3 y 9 meses

reminiscencia musical frente a la atención habitual.			no se realizó intervención		
La Arteterapia como herramienta Estimulante para la Actividad Cognitiva en Adultos Mayores	Ana-Isabel T., Hinojosa-Espinosa, Muñoz-Atiaga, & Ortega-Freire	2022	Metodología utilizada es un diseño documental con un método analítico, sintético e histórico y lógico.	Se identifica la importancia de la arteterapia como una herramienta de estimulación cognitiva para el correcto desarrollo del adulto mayor; y así como sus beneficios en el envejecimiento activo.	La arteterapia es una herramienta para mejorar la salud mental del adulto mayor

Tabla 1. Descripción de los artículos seleccionados por título del artículo autores, año y ubicación, tipo de estudio, y objetivos del estudio, se seleccionaron 8 artículos para este trabajo.

4 Conclusiones

La arteterapia incluye diversas actividades y disciplinas artísticas como la música, el canto, el teatro, la pintura, la realización de manualidades como la pintura en tela, pintura en cerámica, el crochet, knitting, entre otras. Los artículos revisados reportan la mejoría en el estado de ánimo como disminución de la ansiedad, la depresión, resolución de duelos mediante la expresión no verbal de sentimientos como la soledad, el resentimiento, la sensación de tristeza, en el área cognitiva hay mejoría en la atención, concentración y la memoria, las habilidades visio-espaciales, la arteterapia también mejora la relación social, disminuyendo el aislamiento y sentimiento de soledad. Sin embargo, cuando el adulto mayor deja de realizar estas actividades se vuelve a presentar datos de deterioro cognitivo. La realización de diversas actividades artísticas involucra diversos procesos cognitivos, el impacto de estas actividades en la funcionalidad cerebral abarca desde funciones psicológicas, fisiológicas que involucran la memoria, toma de decisiones, procesos emocionales que estimulan las emociones positivas.

Durante la revisión de la literatura se encontraron diversos estudios que evalúan la efectividad del arte como terapia para mejorar las funciones cognitivas y el estado de

ánimo de los adultos mayores. Sin embargo, estas actividades deben ser constantes para mantener la funcionalidad cognitiva, y la sensación de bienestar psicoemocional.

Referencias

- Ana-Isabe T., Hinojosa-Espinosa, Muñoz-Atiaga, & Ortega-Freire. (2022). *La Arteterapia como herramienta Estimulante para la Actividad Cognitiva en Adultos Mayores*. Dominio de las Ciencias, 8(1), 40. DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i41.2521>
- Bermúdez Castro (2019). *Arteterapia y adulto mayor*. Metas de Enfermería. 22(8):28-32.
- Cabrera, Á. M. A., Hernández, I. S. R., González, L. N. O., & Morales, M. L. R. (2021). *Panorámica internacional de las regulaciones del arteterapia*. Realidades: Revista de la Facultad de Trabajo Social y Desarrollo Humano. Universidad Autónoma de Nuevo León, 11(2), 115-135.
- Davies CR, Budgeon CA, Murray K, Hunter M, & Knuiman M. (2023). *The art of aging well: a study of the relationship between recreational arts engagement, general health and mental wellbeing in cohort of Australian older adults*. Frontiers in Public Health, 11, 1288760. <https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.3389/fpubh.2023.1288760>
- Galassi F, Merizzi A, D'Amen B, & Santini S. (2022). *Creativity and art therapies to promote healthy aging: A scoping review*. Frontiers in Psychology, 13, 906191. <https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.3389/fpsyg.2022.906191>
- Gandhi M., Babu R., Wong., Kanchi M., Fam J., Rawtaer I., Prem a., Feng A., Heok Kual E., (2018). *Art therapy is associated with sustained improvement in cognitive function in the elderly with mild neurocognitive disorder: findings from a pilot randomized controlled trial for art therapy and music reminiscence activity versus usual care*. Trials 19, 615 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13063-018-2988-6>
- Jiamei Wu, Abd Shukor, S. F. B., Bin Hasna, M. F., & Daud, M. N. (2024). *Mental Well-Being in Retirement: The Role of Chinese Freehand Painting as Art Therapy for the Chinese Elderly*. Pakistan Journal of Social Sciences (PJSS), 44(2), 225–235. <https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.5281/zenodo.11471251>
- Johnson, J. K., Carpenter, T., Goodhart, N., Stewart, A. L., du Plessis, L., Coaston, A., Clark, K., Lazar, A., & Chapline, J. (2021). *Exploring the effects of visual and literary arts interventions on psychosocial well-being of diverse older adults: a mixed methods pilot study*. Arts & Health: International Journal for Research, Policy & Practice, 13(3), 263–277. <https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.1080/17533015.2020.1802603>
- Mangiacotti, A. M. A., Masotti, A., & Biasutti, M. (2024). *The impact of community music therapy intervention in older adults' care home communities: Assessing community music therapists' views*. International Journal of Community Music, 17(1), 37–60. https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.1386/ijcm_00096_1
- Masika GM, Yu DSF, Li PWC, Lee DTF, & Nyundo A. (2022). *Visual Art Therapy and Cognition: Effects on People With Mild Cognitive Impairment and Low Education Level*. The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences
- Yu J, Rawtaer I, Goh LG, Kumar AP, Feng L, Kua EH, & Mahendran R. (2021). *The Art of Remediating Age-Related Cognitive Decline: Art Therapy Enhances Cognition and Increases Cortical Thickness in Mild Cognitive Impairment*. Journal of the International

Neuropsychological Society: JINS, 27(1), 79–88.

<https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.1017/S1355617720000697>

Yuan, M., Xiao, X., Wang, Y., Han, Y., Zhang, R., Fu, H., & Fang, Y. (2021). *Design and evaluation of a cognitive health education pilot program according to the RE-AIM framework*. PLoS ONE, 16(12), 1–12.

<https://doi.bibliotecabuap.elogim.com/10.1371/journal.pone.0260934>

Capítulo 4

Análisis de la superficie, implementando la técnica de speckle para encontrar la frecuencia de vibración del material

Daniela Jazjanny Pedro Trujano¹, Luis Alberto Rendón Delgado¹,
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Físico
Matemáticas

daniela.trujano@outlook.es, siul.rendon@gmail.com

Resumen. En el presente trabajo se emplea la técnica óptica no destructiva, Interferometría de Patrones de Moteado Electrónico (ESPI, por sus siglas en inglés: **E**lectronic **S**peckle **P**attern **I**nterferometry) para el estudio de la frecuencia de la vibración de un material. La frecuencia de vibración es el número de veces que vibra por segundo un material, lo cual nos proporciona información crucial para entender su comportamiento, y determinar la manera óptima de utilizarlo. Para el desarrollo de este proyecto, se implementó un interferómetro de tipo Mach-Zender con sensibilidad fuera del plano. Mediante un generador de funciones, se le aplica una señal al material bajo estudio para generar los patrones de moteado, los cuales son capturados a 5000 fps con una cámara rápida CMOS. Los datos capturados son procesados mediante un algoritmo desarrollado en MATLAB que extrae la señal de las imágenes y aplica la transformada de Fourier para obtener las franjas de interferencia electrónica y detectar la frecuencia de vibración del material.

Palabras Clave: Interferómetro, speckle, frecuencia de vibración.

1 Introducción

La interferometría es una técnica óptica del área de la metrología no destructiva. En (Butterns y Leendertz, 1973) se propone por primera vez la técnica ESPI para investigar el comportamiento de vibraciones fuera del plano, técnica de campo completo y de no contacto. De acuerdo a (R. Jones and C. Wykes, 1989) la comparación de la técnica de interferometría de speckle con la tradicional interferometría holográfica, es que los patrones de las franjas de ESPI son grabados con una video cámara, que sustituye el proceso de revelado químico que se realiza en Interferometría holográfica.

Desde hace algunos años, científicos especializados en la rama de la física óptica han venido desarrollando un conjunto de técnicas para el estudio de patrones como la temperatura, la calidad de la superficie y las vibraciones, entre otras, de forma no invasiva (González, D. A., & Martínez, J., 2009). En las últimas tres décadas, se han visto grandes avances en técnicas sobre pruebas ópticas. La introducción del láser y las computadoras ha revolucionado el campo de la interferometría. La introducción del

láser y las computadoras ha revolucionado el campo de la interferometría. Las pruebas ópticas no destructivas proporcionan información sobre el comportamiento de la superficie de un material, ya que son ideales para analizarlo sin que sufra deformaciones físicas.

La técnica ESPI consiste en analizar los patrones de speckle que aparecen al iluminar una superficie ópticamente rugosa con un haz de luz coherente, los puntos oscuros y los puntos brillantes en dicho patrón son resultado de la intensidad del haz en la superficie del material. El patrón de speckle es objetivo cuando la superficie es iluminada y cada punto de esa superficie absorbe y reemite la luz; y el patrón de speckle es subjetivo si una imagen se forma y su intensidad varía al azar (A. Hernández, 2006).

La implementación de esta técnica experimental para la detección de modos de vibración aplicada a la detección de vibración en construcciones es crucial para evaluar la integridad estructural de infraestructuras y mejorando la seguridad.

En la sección 2 se describen conceptos elementales para comprender este trabajo. En la sección 3 se detallan los materiales y métodos aplicados para poder desarrollar este estudio y obtener datos y los resultados correspondientes. La sección 4 presenta los resultados obtenidos, y en la sección 5 se exponen las conclusiones.

2 Algunos conceptos elementales

2.1. Física Óptica

La óptica es una rama de la física que estudia el comportamiento de la luz como una onda, su composición y emisión, así como los fenómenos de polarización, interferencia y difracción. La física óptica considera a la luz como una onda electromagnética que se mueve como una onda armónica que se propaga en una dirección y esta depende del tiempo, la amplitud, la longitud de onda y de la frecuencia (González, D. A., & Martínez, J., 2009).

2.2. Pruebas no destructivas

Las pruebas no destructivas se han utilizado en diversas industrias en las últimas décadas, ya que no causan ningún tipo de deformación al objeto en estudio. Estas pruebas se usan principalmente para examinar la calidad del objeto y durante los procesos de diseño. Las pruebas no destructivas son la solución ideal para analizar de forma segura los objetos de estudio, incluso cuando requieren un análisis muy detallado. En la última década, estas pruebas se han vuelto populares para mediciones en metrología, que incluyen mediciones cualitativas y cuantitativas, tales como la detección de defectos y la medición de desplazamientos, respectivamente.

Para este trabajo, se utilizan pruebas no destructivas debido a su alta sensibilidad y resolución. Como se mencionó, estas pruebas proporcionan información tanto de la superficie del objeto como del lugar específico donde se encuentra la fractura o el defecto. Una de las ventajas de estas pruebas es que, al aplicar una pequeña fuerza a la superficie de estudio, se pueden detectar cambios en el objeto y obtener así la información deseada.

2.3. Interferencia e Interferometría

La interferencia es un fenómeno óptico en el que se superponen dos o más ondas, que dan como resultado un patrón de onda. La interferometría se basa en la interferencia, pero se necesita que cumpla dos condiciones: 1) las dos ondas que interfieran deben de tener exactamente la misma frecuencia y que sean sincrónicas, y 2) la diferencia de fase y la distancia entre las crestas de las ondas, permanezcan constantes en el tiempo.

Como resultado de la interferencia y la diferencia de caminos ópticos, se observan franjas, algunas constructivas y otras destructivas. Las franjas constructivas se muestran como franjas brillantes, en donde las fases de ambos haces coinciden. Mientras que las franjas destructivas las observamos como franjas oscuras y en estas las fases de ambos haces no coinciden. En la Figura 1 se ilustra cómo se va formando el patrón de interferencia.

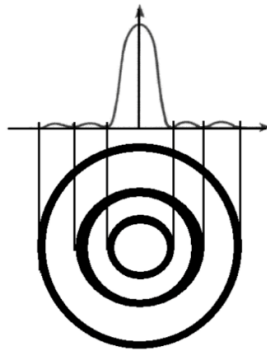


Figura1. Patrón de interferencia entre dos haces

Interferómetros dentro y fuera del plano.

González, D. A., & Martínez, J., 2009, explica que, un interferómetro de desplazamiento dentro del plano es un arreglo óptico que es sensible a desplazamientos a lo largo del eje de observación y la sensibilidad es controlada por el ángulo entre el haz fuente y el eje de observación. Su sensibilidad puede definirse como:

$$d = \frac{\lambda}{(1 + \cos \theta)} \quad (1)$$

Donde λ es la longitud de onda del láser, d es el desplazamiento y θ es al ángulo formado entre el eje de observación y el haz.

Por otro lado, está el interferómetro fuera del plano, el cual es sensible a desplazamientos perpendiculares al eje de observación. La sensibilidad es controlada

por los ángulos que se forman en el eje de observación. Su sensibilidad puede definirse como:

$$d = \frac{\lambda}{(2 \cdot \sin \theta)}$$

(2)

2.4. ESPI

La Interferometría Electrónica de Patrones de Moteado (ESPI) es una técnica no destructiva que permite analizar superficies rugosas cubiertas por un patrón granular generado por una iluminación coherente. Este análisis facilita la identificación de modos de vibración, rugosidad, fracturas y deformaciones en la superficie de los materiales. Una restricción de esta técnica es que tanto la fuente de iluminación como la de captura deben mantener una posición invariable.

El moteado, o speckle subjetivo, se forma cuando una superficie es iluminada, generando un patrón en el plano de la imagen. Este patrón depende de los parámetros del sistema de visualización, como el tamaño y la posición del sistema de imágenes. Esto se ilustra en la Figura 2.

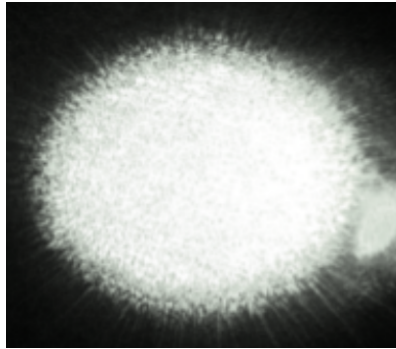


Figura.2. Patrón de Speckle Subjetivo

Por otro lado, el speckle objetivo es el que ocurre cuando la superficie es iluminada, absorbiendo y dispersando la luz que forma el patrón directamente en la superficie. Esto se puede apreciar en la Figura 3.

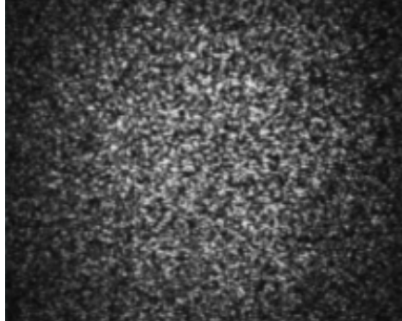


Figura 3. Patrón de Speckle Objetivo

Para eventos dinámicos, el ESPI tiene ventajas sobre otras técnicas, Por ejemplo, no requiere contacto con la superficie en estudio, permite realizar mediciones simultáneamente y puede ser práctico en aplicaciones reales, como en este proyecto.

3 Materiales y métodos

Tabla 1. Materiales utilizados para el desarrollo del trabajo.

Láser He-Ne, 50mW
Lentes positivas
Cubo divisor de haz
2 espejos
Cámara rápida CMOS

Para realizar las mediciones y obtener resultados, la metodología consiste en implementar un arreglo óptico experimental (ver Fig.4). Este arreglo proporciona las mediciones y datos necesarios, que se procesan computacionalmente con un algoritmo diseñado para ello. El objetivo es generar los gráficos y resultados deseados. El estudio se enfoca en realizar un análisis de un material piezoeléctrico.

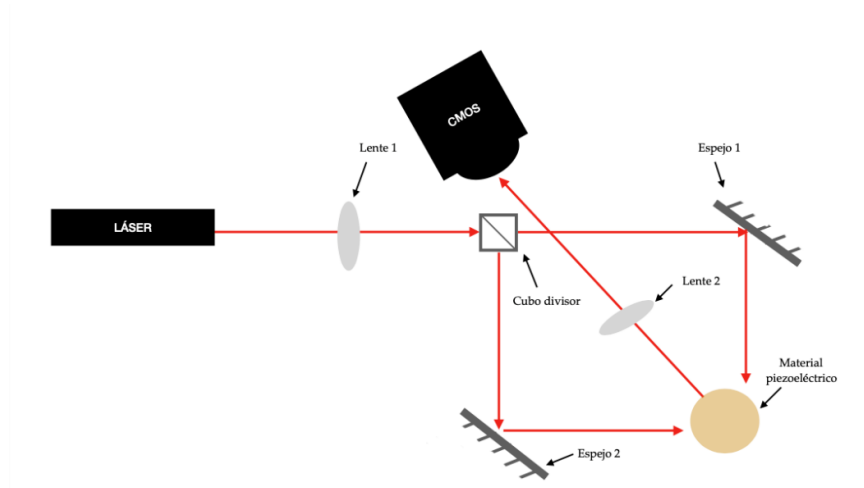


Figura 4. Diagrama del arreglo experimental

La Fig. 4 muestra el arreglo óptico experimental utilizado, un interferómetro de tipo Mach-Zender con sensibilidad fuera del plano. En este dispositivo, un haz láser sigue una trayectoria que comienza con su ampliación mediante una lente. Luego, pasa por un cubo divisor que separa el haz en dos caminos con igual intensidad. Uno de los brazos del interferómetro dirige el haz hacia un espejo antes de iluminar el material de estudio desde el lado izquierdo. Simultáneamente, el otro brazo del interferómetro sigue un recorrido similar, iluminando el material desde el lado derecho. El haz reflejado por ambos brazos genera un patrón de speckle sobre la superficie del material bajo prueba. Este patrón de speckle, es capturado por una lente, la cual forma una imagen en una cámara rápida CMOS.

El proceso computacional consiste en un algoritmo desarrollado e implementado en MATLAB, que procesa las imágenes y los cálculos correspondientes de la transformada de Fourier. Este algoritmo computacional convierte las imágenes obtenidas en un dato tipo doble para luego restar cada una con la imagen de referencia, se define el periodo y el número de muestras para graficar los datos de la señal de intensidad y el tiempo. Posteriormente se hacen los cálculos de la transformada de Fourier para poder graficar la frecuencia contra la amplitud y luego obtener el patrón ESPI.

4 Resultados y discusión

Las capturas con la cámara rápida se realizaron a 500 fps, obteniendo aproximadamente 1,000 frames de 640 x 320 píxeles en un tiempo de 2000 milisegundos. Las imágenes obtenidas se procesaron para ser analizadas mediante el algoritmo de procesamiento de imágenes, que realiza el cálculo de la transformada de Fourier y la gráfica correspondiente a la frecuencia y amplitud, esta última se normaliza

para no distorsionar o saturar la gráfica (Figura 5), posteriormente se obtiene la imagen de las franjas de interferencia del patrón ESPI (Figura 6).

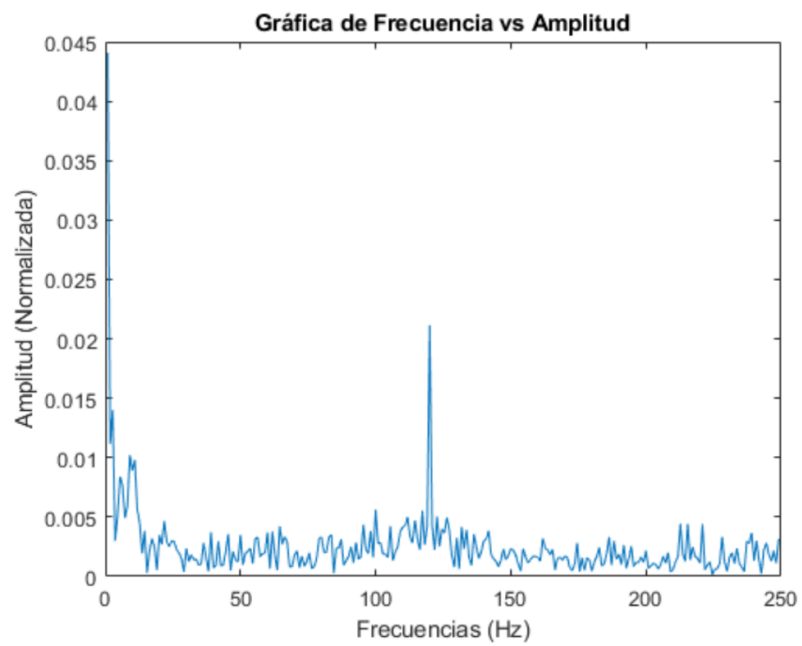


Figura5. Gráfica de Frecuencia vs la amplitud normalizada

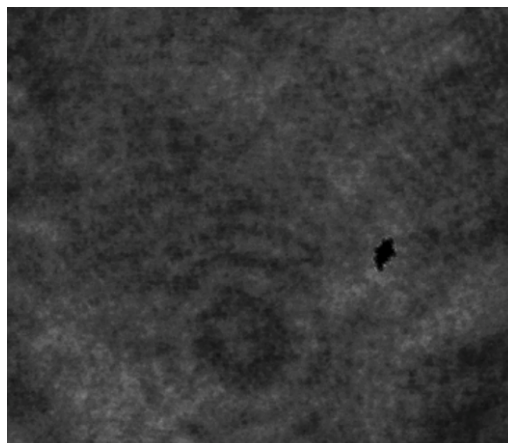


Figura 6. Patrón ESPI

5 Conclusiones

El análisis de las imágenes del patrón de ESPI aplicando algoritmos de procesamiento de imágenes, seguidos por el cálculo de la transformada de Fourier, permitieron obtener la frecuencia de vibración del material bajo estudio. El desarrollo de esta investigación demuestra la eficacia de la técnica de interferometría electrónica de speckles (ESPI) para conocer la frecuencia de vibración de un material. Así como también contribuye al campo de la caracterización de materiales mediante pruebas no destructivas que no implican la destrucción del material y al desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas científicas con gran impacto.

Referencias

- David A. Gutiérrez Hernández. “*Medición de la Trayectoria dinámica de una placa metálica sometida a su primer modo natural de vibración*”. PhD thesis, Centro de Investigaciones en óptica, A. C., 08 de Diciembre, 2006.
- González, D. A., & Martínez, J. (2009). *Detección y ubicación de vibraciones en objetos 3D, mediante el uso de interferometría de speckle, con apoyo holográfico digital*. (Thesis)Caracas 2009.
- J. A. Leendertz and J. N. Butterns, J. Phys. E: SCIENTIFIC INSTRUMENTS, cap.6, pp.1107-10, (1973).
- J N Butterns, J Phys. E: SCI INSTRUM 4, pp. 277-279, (1971)
- R. JONES and C. WYKES, “HOLOGRAPHIC AND SPECKLE INTERFEROMETRY (2ND EDITION)”. Cambridge studies in modern optics – vol. 6, Cambridge University Press, (1989).

Capítulo 5

Cáncer, una cuestión de Educación para la Salud, el impacto en la prevención

Angélica Porras Juárez¹, Daniela Alexandra Bernabé Sánchez¹, Enrique González Vergara¹, Karla Marisol Teutli Mellado¹

¹ Doctorado en Investigación y Educación para la Salud, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

aporras.juarez@gmail.com, ftdanielabernabe@gmail.com
enrique.gonzalez@viep.com.mx, karla.teutli@viep.com.mx

Resumen. En México, el cáncer es la tercera causa de muerte, siendo los principales cáncer de mama, el cáncer de próstata, cervicouterino, de colon y de pulmón. De acuerdo con el Instituto Nacional de Cancerología, del 30% hasta el 50% de los cánceres se pueden evitar ya que están asociados a los estilos de vida no saludables. Los estilos de vida no saludables son conductas que modifican nuestra salud, como la falta de actividad física, dieta que incluye alimentos hipercalóricos y procesados, el sobrepeso y la obesidad, estos riesgos pueden ser modificables mediante estrategias preventivas como la educación para la salud. Este capítulo se centra en los cánceres de pulmón, cáncer de mama y cáncer colorrectal, analizando los factores de riesgo asociados y se presentan las estrategias efectivas en procesos de prevención y los materiales educativos que promueven hábitos y estilos de vida saludables.

Palabras Clave: Factores de riesgo, educación para la salud, estilos de vida saludables, actividad física, alimentación

1 Factores de Riesgo

Las principales causas de muerte a nivel mundial involucran esencialmente a las Enfermedades No Transmisibles (ENT), llamadas así al no existir un agente infeccioso que transmita la enfermedad de un individuo a otro, sino que, se relaciona con los hábitos o conductas que cada persona desarrolla a lo largo de su vida (Bernabé y Teutli, 2024). En 2018, la Organización Mundial de la Salud (OMS) mencionó que las principales enfermedades que provocan mortalidad a nivel mundial son las siguientes:

- Enfermedades cardiovasculares (17.9 millones de muertes al año)
- Cáncer (9 millones)
- Enfermedades respiratorias (3.9 millones)
- Diabetes (1.6 millones)

Se registraron 9 millones de muertes por cáncer en personas con un rango de edad entre 24 y 69 años, siendo que más del 82% de estas muertes prematuras se generaron en países de ingreso bajo y medio. Este aumento en la mortalidad puede asociarse con los cambios en estilos de vida con el paso de los años, incluyendo las modificaciones en la alimentación y la menor cantidad de movimiento actual (OMS, 2018).

Esto implica que la mayoría de las enfermedades son prevenibles, pero dependen de los hábitos de salud desde edades tempranas y cómo éstos se modifiquen a lo largo del tiempo. Estas conductas se adquieren desde los primeros años de vida hasta progresar en la infancia, adolescencia o incluso en la adultez.

Durante la infancia aumenta el riesgo de adquirir malos hábitos por el fácil acceso a las bebidas azucaradas y a la mala alimentación en situaciones escolares como el kínder y la primaria, provocando el aumento en el número de niños con sobrepeso y obesidad. Después de esa etapa, los adolescentes pueden adquirir hábitos aún más dañinos como el consumo de tabaco y alcohol, los cuales son un riesgo significativo de patología. Estos malos hábitos pueden continuar durante la etapa adulta e incluso aumentar por diversos factores propios de la misma vida laboral o familiar como son el desempleo, el ambiente laboral, las carencias económicas, poca actividad social, así como trabajos o entornos sociales inestables (Mikkelsen et al., 2019).

Antiguamente se asociaron a los malos hábitos de salud como las “enfermedades de los ricos”, pues se ligaban directamente con una mala alimentación y sólo las personas con gran poder adquisitivo tenían la oportunidad de comer más favoreciendo la obesidad y otros procesos metabólicos, sin embargo, ahora los países pobres tienen el mayor número de enfermedades como las ENT y el cáncer (Mikkelsen et al., 2019).

El Instituto Nacional del Cáncer define un factor de riesgo como “algo que aumenta la probabilidad de tener una enfermedad”. Determinados factores aumentan la posibilidad de un individuo para padecer cáncer por lo que son nombrados como “factores de riesgo asociados a cáncer”. Estos factores pueden cambiarse mediante conductas que promuevan variaciones en el estilo de vida, por lo que se denominan factores de riesgo modificables.

Los factores de riesgo modificables son aquellos que se modifican, corrigen o eliminan a través de cambios en el estilo de vida, algunos ejemplos son, la hipertensión arterial, el tabaquismo, la diabetes mellitus, la inactividad física, la obesidad y la colesterolemia. Mientras que los factores de riesgo no modificables son aquellos no se modifican, corrigen o eliminan a través de cambios en el estilo de vida, algunos ejemplos son, la edad, el género, la genética y la etnia.

Los factores de riesgo modificables pueden dividirse en tres tipos, los biológicos como sobrepeso, dislipidemia, hiperinsulinemia e hipertensión arterial; otros son los factores conductuales que engloban la dieta, la inactividad física y el consumo de cigarro y alcohol; y por último los factores sociales que relacionan el contexto ambiental, el cultural y el socioeconómico (Marmot, 2004).

Los principales factores de riesgo son la mala alimentación, inactividad física, tabaquismo y alcoholismo. En los siguientes párrafos se mencionan los factores de riesgo que aumentan la probabilidad de padecer cáncer de pulmón, de mama y de cáncer colorrectal, los cuales son los tipos de cáncer más frecuentes a nivel mundial.

1.1 Factores de Riesgo modificables en Cáncer de Pulmón

El cáncer de pulmón (CP) es el segundo tumor maligno más frecuente (superado en el hombre por el cáncer colorrectal y en la mujer por el de mama); sin embargo, es la primera causa de muerte por tumores malignos en ambos sexos. El tabaquismo es el principal factor de riesgo para desarrollar este tipo de cáncer.

El tabaquismo es un factor de riesgo modificable que se relaciona con la edad en la que se inició a fumar, el número de cigarros consumidos al día y la cantidad de nicotina y otras sustancias tóxicas, como el alquitrán, que pueden tener los cigarros (Resano, 2014). No es necesario ser un fumador activo para favorecer el desarrollo de cáncer, ya que los familiares de estos fumadores pueden desarrollar tabaquismo pasivo, es decir, son personas afectadas por la inhalación de ciertas sustancias nocivas contenidas en el ambiente por la exposición al cigarro, esto no provoca un daño tan intenso como en quien lo fuma, pero es un factor que puede comenzar a edades tempranas si es hijo de papas fumadores.

Tabla 1. Sustancias potencialmente cancerígenas en el medio laboral

Grupo	Ejemplos
Grupo 1: Carcinógenos conocidos	Arsénico
	Asbesto
	Cloro-metil-éter
	Cromo
	Níquel
Grupo 2: Posibles carcinógenos	Vinilo de cloro
	Acrilonitrilos
	Berilio
	Cadmio
	Formaldehído
	Humos de fundición

Fuente: Resano, 2014

Es necesario mencionar que no sólo los ambientes que involucran al cigarro son lugares contaminados, pues existen sustancias potencialmente cancerígenas en medios ambientales y laborales, algunas de las sustancias que pueden ocasionar daño pulmonar por exposición en el trabajo pueden ser, el asbesto, el humo de la cocina o del carbón, la exposición al polvo en las minas.

La alimentación también puede jugar un papel fundamental como factor de riesgo para desarrollar cáncer de pulmón. De acuerdo con David y Midthun (2014), las dietas con contenido alto en frutas y verduras reducen el riesgo de cáncer de pulmón. El betacaroteno ha sido estudiado como un agente protector. No obstante, algunos ensayos no han podido demostrar ningún beneficio y sugieren que puede tener un efecto contrario aumentando el riesgo.

1.2 Factores de Riesgo modificables en Cáncer de mama

En México, el cáncer de mama es la primera causa de muerte por cáncer en mujeres, y la segunda causa de muerte general en mujeres. El costo promedio al año por paciente de cáncer de mama es de \$110,459.00 pesos mexicanos, siendo el diagnóstico tardío una de las causas principales del costo elevado (Murillo et al, 2016; Pistilli et al, 2019). En países en vías de desarrollo, el grupo de edad con mayor prevalencia va de los 40-49 años, a diferencia de los países desarrollados, donde la mayor afección se encuentra en mujeres postmenopáusicas (Palmero et al, 2021).

El cáncer de mama, así como la mayoría de las patologías oncológicas, tiene un origen multifactorial. Entre éstos se incluye: la exposición a radiación, tener una edad mayor a 50 años, predominancia del sexo femenino, el alto consumo de lípidos (colesterol y triglicéridos), la falta de actividad física (el sedentarismo), el excesivo consumo de alcohol, la menarca temprana y la menopausia tardía, el no haber tenido hijos, los antecedentes familiares previos relacionados con el cáncer, el tabaquismo, las infecciones virales, la presencia de genes como el BRCA1 y BRCA2 y la obesidad (Valachis et al, 2018; Van den Brandt et al, 2017).

El consumo de alcohol se asocia con moderado aumento del riesgo de cáncer de mama que depende del tiempo de consumo y de la dosis ingerida. Con 8 gramos diarios de alcohol (2 copas de vino) comienza a elevarse el riesgo. Sobre 12 gramos diarios el riesgo se eleva al doble (Peralta et al, 2019; Suzuki et al, 2005).

1.3 Factores de riesgo modificables en Cáncer colorrectal

El cáncer colorrectal (CCR) es el segundo cáncer más común en mujeres y el tercero en hombres. En las últimas dos décadas se ha observado un aumento de la incidencia del mismo en países de ingresos medianos y bajos debido a factores como cambios en la alimentación, la obesidad, el tabaquismo, el sedentarismo, el envejecimiento de la población y la falta de programas de detección o tamizaje (Bray et al, 2018). Para el año 2030 se espera un aumento del 60% en cáncer colorrectal, lo que subraya la necesidad de

priorizar la prevención primaria y la detección temprana, especialmente en países de bajos y medianos recursos.

Algunos factores de riesgo de los tres tipos de cáncer mencionados previamente están relacionados totalmente con las conductas de cada individuo, reconociendo como esenciales la alimentación y la actividad física, pues modificaciones en ellos están altamente en correlación con el sobrepeso y la obesidad.

A lo largo de esta primera parte se mencionaron los factores de riesgo asociados a cáncer, específicamente de los procesos oncológicos más prevalentes a nivel mundial, en la segunda parte se abordan temas de educación para la salud en el cáncer y cómo esto sirve como estrategia de prevención y promoción de la salud y la última parte propone material educativo para la población en contexto de cáncer útil para personal de salud y los propios pacientes.

2 Estrategias de Educación para la Salud en el cáncer

La Educación para la salud es una disciplina que tiene la responsabilidad de planear, organizar, implementar y controlar los procesos educativos que inciden en el individuo, la comunidad o población para mejorar los conocimientos, prácticas y costumbres en relación con su estado de salud (De Vicenzi y Tedesco, 2009).

Desde 1998, la OMS propuso que cualquier combinación de actividades de información y educación que lleve a una situación en que las personas deseen estar sanas y sepan cómo alcanzar la salud, hagan lo que puedan de forma individual y colectiva para poder mantenerla. Esto implica que la educación para la salud no solo brinda información acerca de la salud, sino que brinda a las personas la capacidad de tomar decisiones que generen beneficios en ellas.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Rehabilitación (2022) la educación para la salud es un proceso individual y colectivo que tiene como objetivo adquirir conocimientos, actitudes y hábitos para la promoción y defensa de la salud, para esto se requiere de la identificación de necesidades de un contexto determinado que en este caso sería el cáncer y sus diferentes tipos, a partir de ellos elaborar objetivos generales y específicos para definir las estrategias educativas a implementar.

En este apartado se mencionan las diferentes estrategias educativas según los 3 tipos de cáncer mencionados en el primer subtema, haciendo referencia al cáncer de pulmón, el cáncer de mama y el cáncer colorrectal.

2.1. Estrategias educativas en el Cáncer de Pulmón

La mejor manera de mejorar la salud siempre será evitando la enfermedad. En cáncer de pulmón prevenir los factores de riesgo modificables y conducir a cambios en el estilo de vida respecto a: consumo de cigarrillo, alcohol, alimentos procesados, inactividad

física, exceso de peso corporal y estilos de vida no saludables es por hoy la estrategia preventiva más eficaz (De la cruz et al, 2020).

Los procesos educativos para prevenir el cáncer de pulmón se diseñan a nivel individual, de sociedad, nacional y/o globales. Los programas nacionales o globales se centran en el factor de riesgo modificable asociado a cáncer de pulmón hasta en el 70% de los casos; el tabaquismo. La Organización Mundial de la Salud y la Organización Panamericana de la Salud han desplegado varias iniciativas para prevenir o evitar el uso del tabaco relacionado con el cáncer de pulmón.

Es importante considerar que existe mucha responsabilidad individual en el manejo de los factores de riesgo; siendo la dimensión más crítica de la estrategia de prevención, el manejo en el estilo de vida a nivel individual. El reto en Educación para la Salud es conseguir que el individuo adopte la filosofía de “seguir un estilo de vida saludable”. Dos de los factores de riesgo autogestionables para el cáncer de pulmón que más se han tratado a nivel individual son la actividad física y la dieta.

Aunque actualmente no existen directrices de ejercicio específicas para pacientes con cáncer de pulmón, se ha publicado que, la actividad y el ejercicio físicos tienen efectos benéficos no solo en la prevención, sino también durante la evolución de la enfermedad y su tratamiento. Se ha demostrado que de manera general 150 minutos por semana de actividad aeróbica moderada o 75 minutos de actividad vigorosa son suficientes para disminuir la fatiga, ansiedad, depresión, mejorar la calidad de vida, calidad de sueño, aptitud cardiorrespiratoria, función pulmonar (volumen espiratorio forzado y capacidad vital forzada) masa y fuerza muscular, así como también favorecer el proceso inmunomodulador (Avancini et al., 2020).

La resistencia cardiorrespiratoria y la fuerza muscular son predictores independientes de supervivencia por lo que, a mayor grado de actividad física y ejercicio en el paciente con cáncer de pulmón, mayor será la supervivencia (Andrade et al, 2022). En casos individualizados se puede establecer un plan de ejercicio personalizado con una duración de 5 a 20 minutos y frecuencia de 2 o tres veces por semana.

El tipo de actividad física recomendada en los pacientes con cáncer de pulmón son de fuerza aeróbica, entrenamiento de alta intensidad de músculos respiratorios, ejercicios de fuerza, así como de bajo impacto (Khaltaev & Axelrod, 2020). Es importante mencionar que la prescripción del ejercicio debe ser brindada por un profesional de la salud como el fisioterapeuta o rehabilitador físico, quienes deben evaluar las habilidades y aptitudes de cada paciente que presente cáncer de pulmón.

Uno de los principales factores detectados en pacientes con cáncer de pulmón al reconocer la disminución de la práctica de actividad física relacionado con el interés y la motivación por lo que se recomienda hacer uso de las teorías cognitiva social, del comportamiento planificado y de la autodeterminación en el diseño de programas educativos para fomentar el interés de los pacientes en realizar su plan de ejercicios (Khaltaev & Axelrod, 2020).

Las intervenciones nutricionales basadas en evidencia son una estrategia de gestión basada en el factor de riesgo que se ha demostrado útil en la prevención del cáncer de pulmón. El paciente debe centrarse en limitar el consumo de sal, azúcar y grasas

saturadas, así como promover el consumo de fibra dietética y yogurt que tienen un papel protector de los prebióticos y probióticos en la carcinogénesis pulmonar. (Yang et al., 2020)

En pacientes con cáncer de pulmón los videos educativos, campañas de concientización digital, sitios web (OncoPulmón Web), folletos, línea de ayuda, han mostrado utilidad en la detección y manejo de factores de riesgo (Dodd et al., 2023).

Con Educación para la Salud se puede evitar, controlar o modificar el riesgo, es necesario identificar a la población vulnerable para diseñar planes didácticos específicos que contribuyan en la adopción de estilos de vida saludables que impacten en la frecuencia y evolución del cáncer de pulmón.



Figura 1. Estrategia educativa para el cáncer de pulmón (Instituto de Salud para el Bienestar, 2021).

2.2. Estrategias educativas en el Cáncer Colorrectal

En cuanto al cáncer colorrectal se ejerce principalmente la educación en los procesos de prevención de riesgos y en el pronóstico. La Educación para la Salud en este tipo de cáncer incide en la dieta por la fuerte asociación de la enfermedad con el consumo elevado de carnes rojas, alimentos procesados y el uso de aceite. Se hace hincapié en el área cognitiva sobre ingerir frutas, verduras cocidas, frutos secos, legumbres, cereales y productos lácteos; moderar el uso de alcohol, prevenir sobrepeso, promover la práctica de actividad física (Raventós, 2022).

Los procesos educativos encaminados a prevenir los riesgos asociados al desarrollo de cáncer colorrectal se incluyen en programas dirigidos a población menor de 40 años, se informa que aproximadamente el 75% de la población no tiene conocimientos relacionados a factores de riesgo y diagnóstico precoz, por lo que las actividades educativas deben promover el normopeso, eliminación de hábitos tóxicos y un estilo de vida activo y proactivo (Raventós, 2022).

El pronóstico de la enfermedad está fuertemente relacionado con el bienestar psicológico del paciente; los estados depresivos y ansiosos son frecuentes. Estas condiciones se presentan con una frecuencia mayor si como parte del tratamiento, el paciente queda como portador de un estoma, por lo que las estrategias en educación también incluyen intervenciones elaboradas para proporcionar guías de autocuidado y herramientas para garantizar su calidad de vida; disminuir la tensión mental y el estrés. (Lozano, 2019)

Es importante mencionar que después del diagnóstico y durante el tratamiento del cáncer colorrectal se deben realizar estudios auxiliares de diagnóstico como la colonoscopia, por lo que la educación del paciente en la correcta preparación para realizar este tipo de procedimientos también contribuye a disminuir los estados de ansiedad.

El material educativo dirigido a pacientes con cáncer de colon que se ha difundido es: mensajes de texto, material educativo impreso, material audiovisual, apps para uso en smartphones, redes sociales como Twitter, web interactiva, videollamadas, todos ellos con resultados satisfactorios respecto al cumplimiento de los objetivos del programa educativo (Dodd et al., 2023).



Figura 2. Estrategia educativa para el cáncer colorrectal (Ministerio de Salud y Deportes, 2021).

2.3 Estrategias educativas en el Cáncer de mama

Este tipo de cáncer es al que más campañas de concientización se le reconocen a nivel global, pues se exponen vídeos o grabaciones en diferentes medios de comunicación e incluso en redes sociales, donde lo más común es resaltar la importancia de la autoexploración mamaria a partir de los 20 años para realizar un diagnóstico temprano ante cualquier anomalía. Sin embargo, la información de la autoexploración debe ser más específica pues sigue siendo información que no todas las mujeres y hombres tienen a su alcance, recordando que hay un porcentaje menor de población masculina que puede adquirir el padecimiento (Ángeles-Llerenas, 2016).

En caso de tener antecedentes heredofamiliares de la patología debe recomendarse la mastografía a partir de los 34 años, pero si no se cuentan con antecedentes puede realizarse a partir de los 40 años y de forma consecutiva cada 2 años. La detección precoz y el acceso a tratamiento efectivo siguen siendo un reto para países con recursos limitados, a pesar de que existen intervenciones probadas (OPS, 2020).

A parte de los estudios mencionados también se debe evitar el consumo de alcohol y cigarro y favorecer la actividad física, así como la alimentación sana y equilibrada que incluya frutas y verduras.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP, 2017), los pilares para lograr la disminución de la mortalidad por este tipo de cáncer son:

- Promoción de la salud para la detección temprana: a través de la educación en salud para mejorar el conocimiento sobre los signos y síntomas, y de la importancia de la detección temprana y tratamiento efectivo.
- Diagnóstico oportuno: a través de educación para la población general y para los trabajadores de la salud sobre los signos y síntomas del cáncer de mama temprano para que las mujeres sean referidas a los servicios de diagnóstico en el momento apropiado.
- Manejo integral del cáncer de mama: debido a que el manejo del cáncer requiere cierto nivel de atención especializada, a través del establecimiento de servicios centralizados de cáncer se puede optimizar el tratamiento para el cáncer de mama.



Figura 3. Estrategia educativa para el cáncer de mama (INSP, 2017).

3 Materiales educativos

En el tema de promoción de la salud y prevención de cáncer los materiales educativos de los que se puede hacer uso pueden ser: programas, manuales, cartillas educativas, guías de práctica clínica, agendas y diarios de autocuidado. Estos documentos pueden ser impresos o contruidos haciendo uso de las tecnologías de información y comunicación, se pueden colocar animaciones, sonidos, imágenes, texto e hipertexto.

El éxito del material educativo se ve reflejado en el logro de los objetivos de aprendizaje planteados y depende en gran medida del adecuado proceso de construcción. A continuación, se describen algunos elementos a tener en cuenta en la elaboración del material educativo:

1. Elegir la metodología para investigar la realidad educativa de la población a la que se desea y transformarla. -Un ejemplo de metodología que puede utilizarse en la

elaboración de material educativo en cáncer es el método de investigación acción, se aborda una problemática social específica, que involucra un grupo específico de personas y que requiere de una solución. En este método el eje rector es el desarrollo y aprendizaje de los participantes. Para alcanzar este objetivo de aprendizaje en el individuo es indispensable conocer las necesidades en salud. (Colmenares, 2008)

2. Detección de necesidades: el proceso permite identificar dónde es posible intervenir, permite conocer lo que los individuos hacen en alimentación, actividad física y hábitos en salud y lo que deberían hacer para prevenir los riesgos específicos ya definidos para cáncer de mama, colorrectal y cáncer de pulmón. Es el sustento para la elaboración y desarrollo del plan de acción, al dar respuesta a las interrogantes ¿Qué saberes tiene y cuáles debe tener el individuo?, ¿qué se debe hacer (intervenciones) para lograr la adquisición de los saberes?, ¿Cómo se logrará que el individuo se apropie de los saberes requeridos en la promoción de su salud? Una vez identificando las necesidades el siguiente paso es resumir toda la información actualizada y existente que asegure la mayor inclusión de componentes cognitivos, de habilidades, actitudes y valores; es decir el saber en el proceso de aprendizaje. (Perulena, 2023)
3. Revisión literatura: proceso de búsqueda y análisis de los documentos relacionados con promoción de la salud y prevención de riesgos en cáncer y su organización de lo particular a general, que sirvan de sustento para seleccionar los contenidos que sean necesarios para alcanzar a realizar las medidas necesarias en promoción de la salud. (Hernández et al., 2020)
4. Selección de contenidos: Deben incluir estilos de vida, alimentos permitidos, alimentos nocivos, actividad física indicaciones, contraindicaciones, tipo de ejercicio. En el documento titulado “Elaboración de programas de capacitación” que emite la secretaria del trabajo y previsión social a través de la Dirección General de Capacitación, se enfatiza que el material educativo debe servir para sustentar lo que el paciente logrará hacer una vez concluido el programa de capacitación.
5. Diseño y presentación: Relacionados con el espacio gráfico, organización de la información imágenes, tipografía, color, manteniendo el enfoque didáctico del documento respondiendo a los objetivos pedagógicos previamente definidos en el plan o programa educativo.
6. Validación del material e implementación: Consiste en probar el material realizado en un grupo que represente a la totalidad de la población destino, permite conocer la reacción de los individuos, comprensión y aceptabilidad del material. También se debe efectuar el proceso por personal experto para afinar detalles que el autor no ha podido detectar. (Cardozo, 2020)

Durante la etapa de implementación en el desarrollo de las sesiones educativas, se debe tener considerada la función de acompañamiento planteada como una asesoría continua por un equipo especializado que impulse el aprendizaje de los individuos y la adopción de estilos de vida favorables en salud cuando la intención es prevenir y la

adecuada evolución clínica del padecimiento cuando la intención es mantener un óptimo estado de salud en relación con el padecimiento.

Conclusiones

La educación es un proceso de mejora de la calidad de vida individual y comunitaria. De tal manera que la educación para la salud (EpS) no solo brinda información y capacitación acerca de la salud, sino que favorece el desarrollo de cambios para el bienestar en común, para ello es importante generar un diagnóstico situacional de las necesidades de una población en un contexto determinado, que en este caso son los pacientes con cáncer y evaluar su salud física mediante hábitos saludables, por ello concluimos que:

- Educar a la población vulnerable en factores de riesgo para cáncer de pulmón, mama y colorrectal continúa siendo un punto crucial en la adopción de buenas prácticas en salud.
- La forma de difundir el conocimiento y orientar la acción educativa en estos diferentes tipos de cáncer, sistematizando el proceso educativo a través de estrategias bien construidas es actualmente un reto para el profesional de la salud encargado de la atención médica integral del paciente.
- Existe una variedad amplia de materiales educativos disponibles que sirven de apoyo en el proceso de educación para la salud en cáncer de pulmón, mama y colorrectal, sin embargo, cada programa de capacitación es una oportunidad de crear nuevo material educativo que sume esfuerzos para incidir en las etapas de prevención y mantenimiento de un óptimo estado de salud.

Referencias

- Ángeles-Llerenas A, Torres-Mejía G, Lazcano-Ponce E, et al. Effect of care-delivery delays on the survival of Mexican women with breast cancer. *Salud Publica Mex* 2016; 58:237-250. Disponible en: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/7793>
- Ania, H. O., Regla, P. D. L. N., & Norberto, V. (2022, November). Educación para la salud en prevención y diagnóstico temprano del cáncer colorrectal en atención primaria. In *EdumedHolguin2022*. Programa de educación para la salud: “Prevención Primaria del Cáncer Colorrectal, con Alimentación y estilo de Vida SALudable” (PPCCR-AVISA)
- Astorga-Ramírez, Andrea, Sánchez-Portuguez, Jennifer, & Solís-Barquero, Sergio M. (2022). Revisión de los factores de riesgo y factores protectores para el cáncer de mama. *Acta Médica Costarricense*, 64(4), 6-16. Retrieved June 11, 2024, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022022000400006&lng=en&tlng=es

- Belkis, A. E., Juan Carlos, M. R., José Alejandro, C. P., Javier, C. R., & Ydalsys, N. H. (2024, September). Diseño de estrategia de autocuidado para el adulto mayor con cáncer colorrectal en la comunidad. In *Jorcienciapdel* 2024.
- Bernabé Sánchez, D. A., & Teutli Mellado, K. M. (2024). ENFERMEDADES NO TRANSMISIBLES Y EL SEDENTARISMO. *RD-ICUAP*, 10(Especial), 83-91. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2024.Especial.1334>
- Bravo, M. M. E., Peralta, M. O., Neira, V. P., & Itriago, G. L. (2013). Prevención y seguimiento del cáncer de mama, según categorización de factores de riesgo y nivel de atención. *Revista MéDica CliNica las Condes*, 24(4), 578-587. [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(13\)70198-6](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(13)70198-6)
- Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2018;68:394-424, <http://dx.doi.org/10.3322/caac.21492>.
- Calvo de la Vega, S. L. (2023). Intervención educativa en la preparación eficaz que realiza el paciente para colonoscopia en un hospital público especializado, Lima 2022.
- Cardozo Blanco, W. (2020). Validación de un instrumento de evaluación de las acciones en educación para la salud en fisioterapia.
- Colmenares E., A. M., & Piñero M., M. L. (2008). La investigación acción. Una herramienta metodológica heurística para la comprensión y transformación de realidades y prácticas socio-educativas. *Laurus*, 14(27), 96-114
- David E, Midthun MD. (2014) Overview of the risk factors, pathology, and clinical manifestations of lung cancer. UptoDate.
- Delgado-Díaz, Noelia, Heredia-Talledo, Marcia, Ramos-Becerra, Anggy, Samillán-Jara, Luciana, Sánchez-Carranza, Maricarla, Iglesias-Osores, Sebastian, & Arce-Gil, Zhandra. (2020). Nivel de conocimiento sobre los factores de riesgo y las medidas preventivas del cáncer de mama en estudiantes de ciencias de la salud. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 20(3), 412-418. <https://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v20i3.2900>
- De Vincezi, A., & Tedesco, F. (2009). La educación como proceso de mejoramiento de la calidad de vida de los individuos y de la comunidad. *Revista Iberoamericana de Educación*, 49(7), 1-12. <https://doi.org/10.35362/rie4972047>
- Didkowska J, Manczuk M, McNeill A, Powles J, Zatonski W. (2005) Lung cancer mortality at ages 35-54 in the European Union: ecological study of evolving tobacco epidemics. *BMJ*;331:189.
- García-Perdomo, H. A. (2014). Síntesis de la evidencia en educación para la salud. *Investigación en educación médica*, 3(12), 214-219.
- Hernández-Sarmiento, J. M., Jaramillo-Jaramillo, L. I., Villegas-Alzate, J. D., Álvarez-Hernández, L. F., Roldan-Tabares, M. D., Ruiz-Mejía, C., ... Martínez-Sánchez, L. M. (2020). La educación en salud como una importante estrategia de promoción y prevención. *Archivos de Medicina (Col)*, 20(2), 490-504.
- Instituto Nacional de Salud Pública. Instituto Nacional de Salud Pública. Aportaciones a la salud de los mexicanos. Cuernavaca, México: INSP, 2017. Disponible en: https://www.insp.mx/images/stories/2017/Avisos/docs/170215_Libro_30aniv.pdf
- Loano, P. M., Torres, Á. S., & Fernández, C. M. P. (2019). Herramientas para garantizar la calidad de vida a un paciente ostomizado. *Paraninfo Digital*, 1-3.
- Perulena, L. Á., González, C. E., Rodríguez, R. L. M., & Duarte, R. F. (2023). Programa educativo para el control de factores de riesgo modificables del cáncer de mama en mujeres. *The Biologist*, 21(1), 11-19.

- Picazo, J. P., Rosenthal, J. L., Aguilar, L. A. J., & Núñez, C. A. M. (2021). Cáncer de mama: una visión general. *Acta Médica Grupo Ángeles*, 19(3), 354-360. <https://doi.org/10.35366/101727>
- Polanco-Pasaje, J. E., Mera-Urbano, G. A., Vela-Prieto, C. J., & Pabón-Salazar, Y. K. (2023). Diseño y validación de material didáctico para adultos con cáncer de mama, próstata y cérvix en estadio avanzado. *Avances en Enfermería*, 41(3).
- Resano Barrio, P., & Anta Mejía, Y. (2014). *Cáncer de pulmón. Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 11(67), 3983–3994. doi:10.1016/s0304-5412(14)70873-x
- Suárez, L. R. (2022). 2. Cáncer colorrectal: calidad de vida y educación para la salud de los pacientes con ostomías digestivas. *Director NPunto*, 33.
- Tagarian, M. M., & Duverney, V. L. (2023). Papel de la fisioterapia en supervivientes de cáncer colorrectal. Revisión sistemática.
- Torres-Agüero NC, López-Catá FJ, de la Paz LEJ, et al. Intervención educativa sobre factores de riesgo del cáncer de mama en mujeres de 20 a 40 años. *Universidad Médica Pinareña*. 2021;17(1):1-10.
- Trujillo, C. A. A., Santillán, J. A. P., & Merizalde, D. L. A. (2022). Fuerza muscular como determinante de la Calidad de Vida en mujeres adultas. *La Ciencia Al Servicio de la Salud y Nutrición*, 13(Ed.Esp.). <https://doi.org/10.47187/cssn.vol13.issed.esp.173>
- Utrera DG, Pérez RL, Toledo YP. Cáncer colorrectal: factores de riesgo en pacientes mayores de 50 años en Cienfuegos. *Finlay*. 2021;11(3):272-278.

Capítulo 6

Caracterización no lineal de nanocubos de plata suspendidos en diferentes medios

Athziri Zúñiga Méndez¹, Emma Vianey García Ramírez^{1,2}, Marcela Maribel Méndez Otero¹, Maximino Luis Arroyo Carrasco¹, Sergio Alberto Sabinas Hernández³

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

² Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

³ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas" (IFUAP)

fernicaath@gmail.com, evgarcia@fcfm.buap.mx

Resumen. En este trabajo se estudian las propiedades lineales y no lineales de dos sistemas coloidales conformados por nanocubos de plata de aproximadamente 100 nm de lado dispersos en agua desionizada y etilenglicol. Se muestran sus espectros de absorción lineal, microscopias y curvas de barrido en Z para las longitudes de onda de 488 nm, 514 nm.

Palabras Clave: Nanocubos, Z-scan, Óptica no lineal.

1 Introducción

La invención del láser en 1960 por Maiman *et. al.* abrió la puerta a diversas investigaciones referentes a las propiedades ópticas de materiales, dando pie al desarrollo de la óptica no lineal que se encarga del estudio de dichas propiedades cuando luz de alta intensidad interactúa con un medio. Dentro de las propiedades que pueden modificarse debido a la interacción láser se encuentran el coeficiente de absorción, el índice de refracción e incluso la frecuencia de la luz incidente. De particular importancia son los cambios dependientes de la intensidad en el índice de refracción (Weber et al, 1978).

Existen algunas técnicas experimentales para obtener el índice de refracción no lineal incluidas la interferometría no lineal, mezcla degenerada de cuatro ondas, rotación de elipse y mediciones de distorsión del haz. Los primeros dos métodos, son técnicas potencialmente sensibles pero todas requieren un diseño experimental relativamente complejo. Las mediciones de distorsión de haz, por otro lado, son relativamente insensibles y requieren un

análisis detallado de la propagación de la onda. La técnica que se emplea aquí se basa en los principios de la distorsión espacial del haz, pero ofrece simplicidad y una sensibilidad muy alta (Sheik-Bahae et al, 1990).

Por otro lado, el análisis de las propiedades no lineales de materiales en la escala nanométrica ha adquirido relevancia debido a las potenciales aplicaciones de estos materiales. En particular, las nanopartículas metálicas prometen tener aplicaciones en el transporte y almacenamiento de energía sensado y espectroscopía, limitación óptica, entre otros, esto debido al plasmón superficial de resonancia localizado el entendimiento de este plasmón provee información que puede predecir una respuesta óptica al realizar un experimento. La respuesta óptica de las nanopartículas metálicas depende de su tamaño, forma y medio dieléctrico, así es posible diseñar partículas de acuerdo a la aplicación que quiera dárseles. Los nanocubos de plata han atraído la atención debido a que la agudeza de sus esquinas ofrece la ventaja de incrementar el plasmón superficial de resonancia localizado (LSPR).

En este trabajo se estudia la respuesta óptica no lineal de tercer orden de nanocubos de plata con 100 nm de lado suspendidos en agua desionizada y etilenglicol. Para analizar la respuesta óptica no lineal en refracción de los sistemas coloidales se usará la técnica de Z-scan (Weber et al, 1978) para iluminación continua en su configuración con abertura pequeña.

El contenido de este artículo es el siguiente: En la sección 2 se describe el Marco Teórico, en la sección 3 se presentan las técnicas experimentales usadas para el desarrollo de este trabajo, los resultados obtenidos y su discusión se presentan en la sección 4 y las conclusiones en la última sección.

2 Marco Teórico

La no localidad es una característica de un gran número de sistemas ópticos no lineales. En el contexto espacial significa que la respuesta de un medio en un punto en particular no está determinada solamente por la intensidad en ese punto como en el caso local, sino que depende de la intensidad en la vecindad (Krolikowski et al, 2004).

En este capítulo se describe un modelo numérico, que caracteriza la no localidad de la respuesta no lineal a tercer orden para refracción (García Ramírez et al, 2011), con él fue posible reproducir las curvas obtenidas experimentalmente en este trabajo.

En dicho modelo se considera que el ancho del perfil de cambio de fase no lineal $\Delta\phi$ puede o no coincidir con el ancho del perfil de intensidad del haz incidente. Este modelo considera un haz Gaussiano propagándose por un medio delgado no lineal ($z_0 \gg L$) tal que el campo en el plano de salida de la muestra está dado por la ecuación (1)

$$E(\rho, z) = E(z, \rho) \exp(-\alpha L/2) \exp(-i\Delta\phi(z, \rho)) \quad (1)$$

Con α el coeficiente de absorción lineal característico del medio y L el espesor de la muestra, $E(z, \rho)$ es el campo en el plano de entrada de la muestra y corresponde a un haz Gaussiano.

El haz Gaussiano se propaga en dirección z , pero como se está considerando un medio lo suficientemente delgado en donde $L \ll z_0$, se considera que el campo incidente no se verá afectado al propagarse por el medio más que por un pequeño cambio de fase $\Delta\phi$ a la salida del medio. De esta manera, para una no linealidad cúbica y una absorción lineal despreciable $\Delta\phi$ se obtiene de integrar el cambio en el índice de refracción Δn_0 a lo largo del grosor de la muestra al que se ha redefinido como z' .

$$\Delta\phi = k_0 \int_{z'}^{z'+L} \Delta n_0(z, \rho) dz \quad (2)$$

Se considera una dependencia del índice de refracción en relación a la intensidad de la siguiente forma $\Delta n_0(z, \rho) = n_2(z, \rho)$, en donde a $\Delta n_0(z, \rho)$ se le conoce como el cambio instantáneo del índice de refracción. De esta manera la ecuación (2) puede expresarse como

$$\Delta\phi = \Delta\phi_0(z, m) \exp\left(\frac{-m\rho^2}{\omega^2(z)}\right) \quad (3)$$

Donde la ecuación (3) se reescribe como

$$\Delta\phi_0 = \frac{\Delta\phi_0}{[1 + (z/z_0)^2]^{m/2}} \quad (4)$$

Donde el parámetro m representa la variación en el ancho del perfil del cambio de fase respecto del perfil de intensidad incidente.

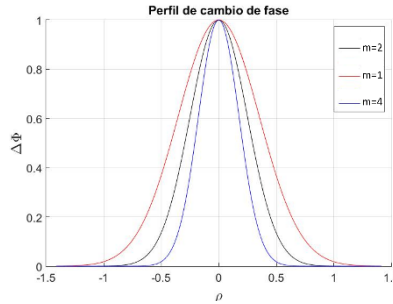


Figura 1. Perfiles de cambio de fase (3) para diferentes valores de m

Para $m = 2$ el cambio de fase no lineal sigue la distribución de intensidad, es decir es igual que el ancho del perfil de intensidad incidente, teniendo una

respuesta no lineal local, para $m \neq 2$ se considera como no local, para $m = 1$ el ancho incrementa respecto de $m = 2$ y para $m = 4$ disminuye.

La ecuación (1) es llevada a campo lejano por medio de la Transformada de Fourier para obtener una distribución de intensidad.

Para cada posición de la muestra se obtiene una distribución de intensidad de la cual se toma el valor sobre eje para obtener así curvas de barrido en Z, esto usando un algoritmo en Matlab. Ejemplos de estas curvas se muestran en la siguiente figura.

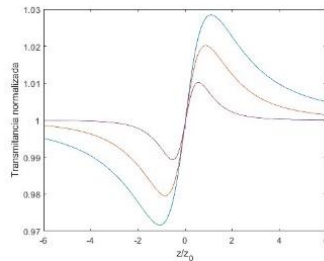


Figura 2. Curvas de Z-scan obtenidas para el mismo cambio de fase no lineal en el eje de 0.1 rad y diferentes valores del parámetro m : 1 (línea azul), 2 (línea naranja), 3 (línea morada)

3 Desarrollo Experimental

3.1 Síntesis de materiales

Para la síntesis de los nanocubos se utilizó el método del poliol [2] donde 35 ml de etilenglicol (EG) se calentaron con agitación magnética (400 rpm) durante 1 hora en un baño de aceite preestablecido a 140 °C-145°C en aire.

Después se añadió una solución de HCl (411 μ L, 24,35 mM, HCl) a la solución calentada. 5 min después, se añadió una solución de PVP (10 ml, 0,225 M). 10 mi). Posteriormente, se añadió a la mezcla AgNO_3 (15 ml, 0,1 M). Luego se dejó reaccionar por 32 hrs.

Se lavaron los nanocubos con acetona y luego con una mezcla de etanol-acetona (1:9) y agua varias veces, para eliminar la mayor parte del EG y PVP mediante centrifugación. Teniendo cubos en agua para después resuspenderlos en EG. El tamaño aproximado de los cubos es de 100 nm de lado.

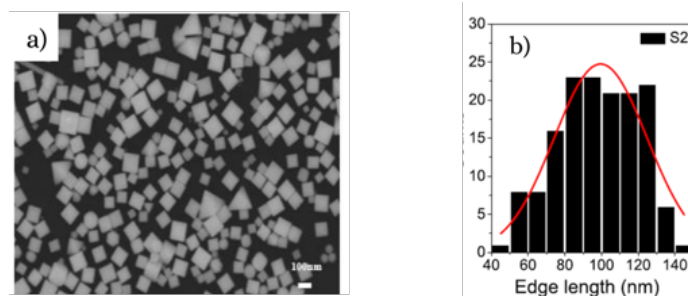


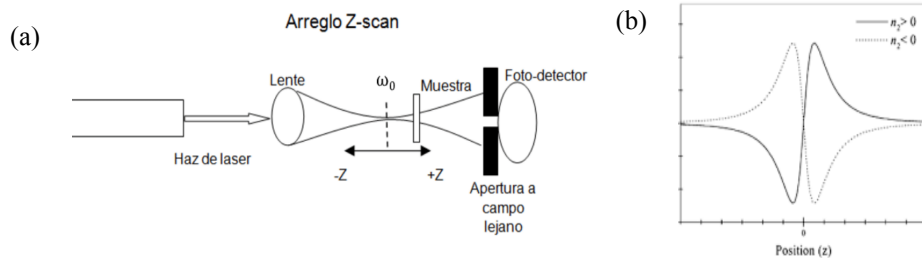
Figura 3. a) Microscopía SEM, b) Distribución de tamaño obtenida por conteo de partículas, usando el programa Image J

3.2 Técnica de Z-scan

Esta técnica utiliza un solo haz Gaussiano enfocado por una lente convergente y consiste en realizar un barrido de una muestra delgada alrededor del foco, para registrar la transmitancia de la muestra por cada posición de la misma. Para la medida de la transmitancia se coloca un detector a campo lejano limitando su área de detección por una abertura circular de radio mínimo sobre el eje de propagación del haz.

Las curvas obtenidas presentan un pico (valle) seguido de un valle (pico), para una no linealidad positiva (negativa). En ambos casos el material se comporta como una lente autoinducida por el haz incidente, para el caso positivo el medio se comporta como una lente convergente mientras que un medio negativo se comporta como una lente divergente.

En la siguiente figura se muestra en (a) el esquema experimental de la técnica de Z-scan y en (b) las curvas resultantes para cada signo de la no linealidad.



4. (a) Esquema experimental (b) Curvas de barrido de intensidad normalizada versus posición z (línea continua), no linealidad positiva (línea punteada)

Z: no linealidad negativa

4 Resultados

4.1 Espectros de absorción

En la Figura 5(a) se muestran los espectros de absorción para el Agua desionizada y para nanocubos suspendidos en agua, mientras que en la Figura 5(b) se muestran resultados para Etilenglicol y cubos en Etilenglicol.

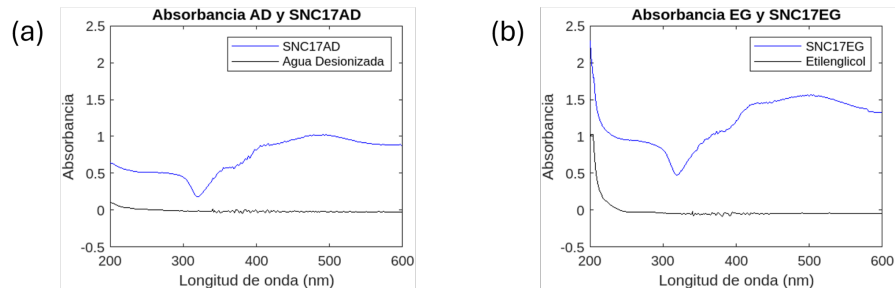


Figura 5. Espectros de absorción: (a) Agua Desionizada (azul) y Nanocubos suspendidos en Agua Desionizada (negro), (b) Curvas de absorción de EG (azul) y Nanocubos suspendidos en EG (negro).

De la Figura 5 puede observarse que para los solventes Agua desionizada y Etilenglicol no se presentan bandas de absorción, mientras que para los Nanocubos en los solventes se observa una estructura de picos que corresponden a bandas de absorción asociadas a la morfología de las partículas. Cabe resaltar la similitud que existe entre los espectros en líneas azules con la diferencia en la absorbancia para los cubos en etilenglicol.

Para que exista un plasmón de resonancia superficial se da en la interfaz de un metal y un dieléctrico, un plasmón de resonancia superficial localizado se genera en la superficie de una nanopartícula y depende de la morfología y tamaño de la partícula y también del medio dieléctrico. Observamos que el etilenglicol como medio dieléctrico mejora al plasmón localizado en comparación con el Agua como medio dieléctrico.

4.2 Curvas de barrido en Z

Se usó un láser CW de Ar con líneas de emisión de 488 nm y 514 nm, enfocado por una lente convergente de $f=35$ mm, teniendo $w_0=17$ micras y $z_0=0.16$ cm. Los cubos fueron contenidos en una celda delgada de vidrio de $L=1$ mm de grosor de modo que $z_0 \gg L$ (medio delgado). Se obtuvieron resultados para potencias incidentes de 10, 15 y 20 mW. Las curvas experimentales fueron reproducidas numéricamente usando un modelo que reproduce la no linealidad de tercer orden para medios locales y no locales (García Ramírez et al, 2011).

4.3 Resultados para $\lambda=488$ nm

En la figura 6 se muestran los resultados para 488 nm, los incisos (a), (b) y (c) corresponden al Agua desionizada mientras que los incisos (d), (e) y (f) son de los Nanocubos suspendidos en el agua. Los resultados fueron colocados lado a lado para la misma potencia con el objetivo de comparar las respuestas no lineales obtenidas.

Puede observarse que para las potencias usadas el Agua desionizada no presenta respuesta, mientras que para los Nanocubos una ligera respuesta empieza a observarse para las potencias de 15 y 20 mW, por lo que podemos atribuir la respuesta no lineal a las partículas nanométricas y no al medio en el que están suspendidas. El máximo valor de fase obtenido para los nanocubos es de $\Delta\Phi_0=0.1\pi$ y $m=0.2$, lo que indica una no localidad en la respuesta no lineal.

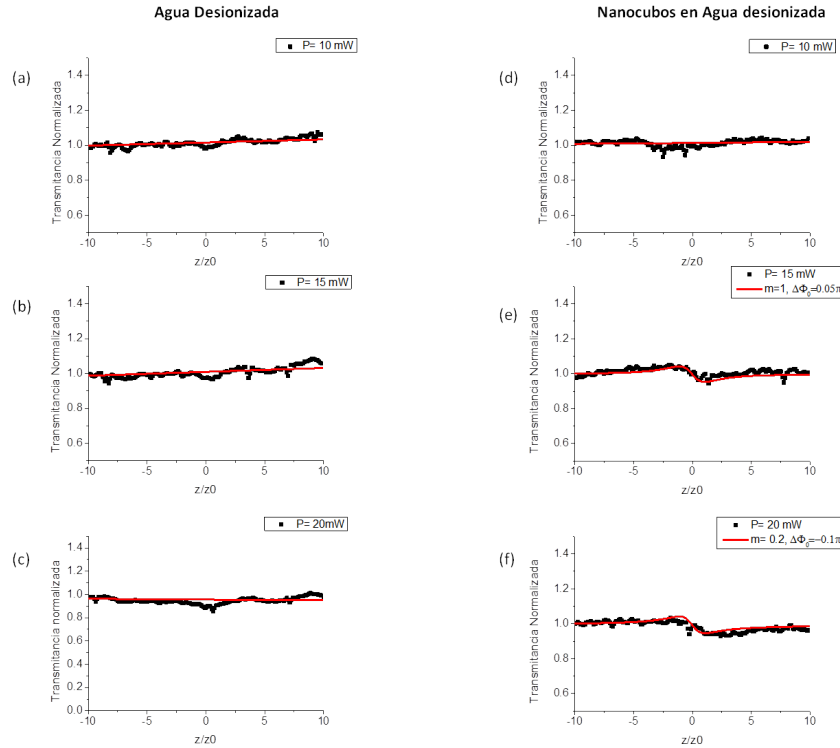


Figura 6. Curvas de barrido en Z para $\lambda=488$ nm, para potencias P=10, 15, 20 mW, de (a) a (c) Agua Desionizada y de (d) a (f) Nanocubos en Agua Desionizada

En Figura 7 se presentan los resultados para el Etilenglicol y los cubos en Etilenglicol, puede observarse de los incisos (b) y (c) que el Etilenglicol presenta respuesta no lineal

negativa, con una no localidad representada por $m=1$ lo que indica un ensanchamiento de la respuesta no lineal respecto al perfil de intensidad incidente.

De los incisos (d) al (f) se observa que el sistema coloidal de Nanocubos en etilenglicol presenta respuesta no lineal negativa desde la potencia $P=10$ mW, el cambio de fase no lineal incrementa con la potencia incidente, sin embargo es relevante el valor del parámetro m , puede observarse que con el incremento de la potencia en valor de m disminuye.

Algo de llamar la atención es el valor de $m=2.5$ por ejemplo para la potencia de 15 mW, que comparado con el Etilenglicol este tiene un valor de 1 lo que indica que el efecto de los cubos al agregarlos en el solvente modifica la no localidad de la respuesta no lineal llevandola a una disminución de su extensión espacial. Es necesario analizar a profundidad el origen de la respuesta no lineal en el Etilenglicol ya que los resultados experimentales ponen en evidencia un origen térmico, sin embargo, el espectro de absorción no muestra bandas en ninguna región del espectro visible incluyendo 488 nm.

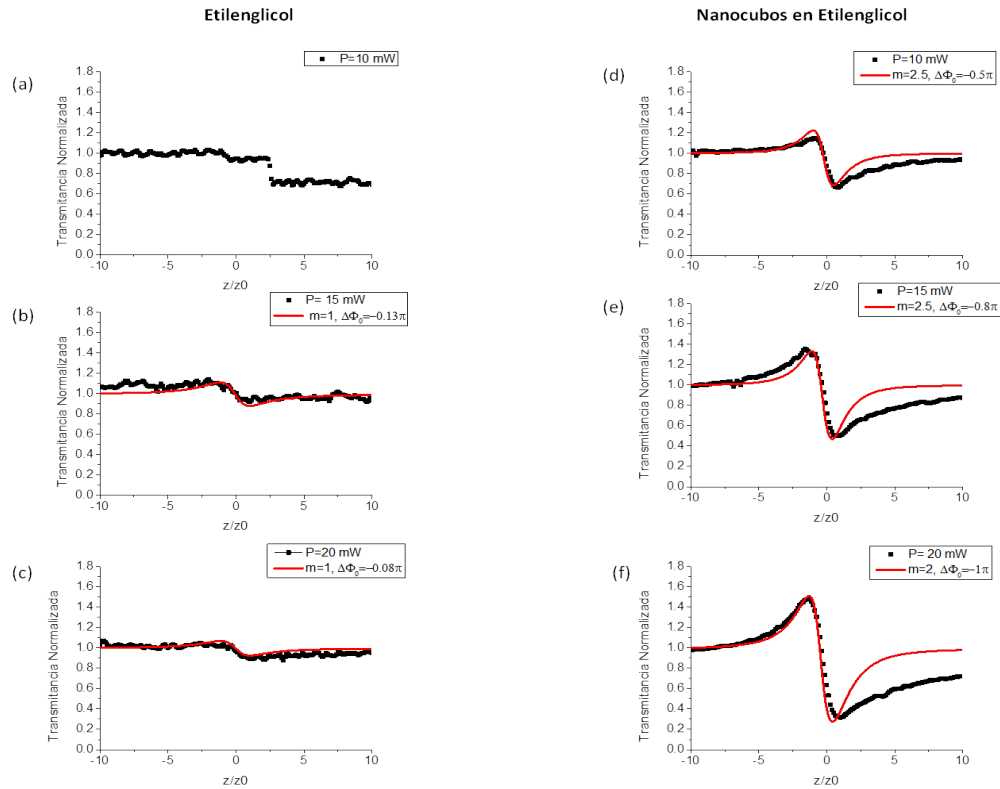


Figura 7. Curvas de barrido en Z para $\lambda=488$ nm, para potencias $P=10, 15, 20$ mW, de (a) a (c) Etilenglicol y de (d) a (f) Nanocubos en Etilenglicol.

4.4 Resultados para $\lambda=514$ nm

En esta sección se presentan los resultados para 514 nm para potencias de 10, 15 y 20 mW. De la figura 8 puede observarse una respuesta nula para el Agua desionizada para todas las potencias mientras que para los cubos en agua la respuesta no lineal es pequeña comparada con los resultados obtenidos para 488 nm, lo cual puede atribuirse a que 514 nm se encuentra fuera de la banda de resonancia del sistema lo cual puede observarse de los espectros de absorción (Figura 5(a)). Por otro lado, de las figuras 8 (d) a (f) se aprecia una disminución en el valor de m lo que indica un ensanchamiento en la respuesta no lineal con el incremento de la potencia lo que indica un posible origen térmico en la respuesta no lineal.

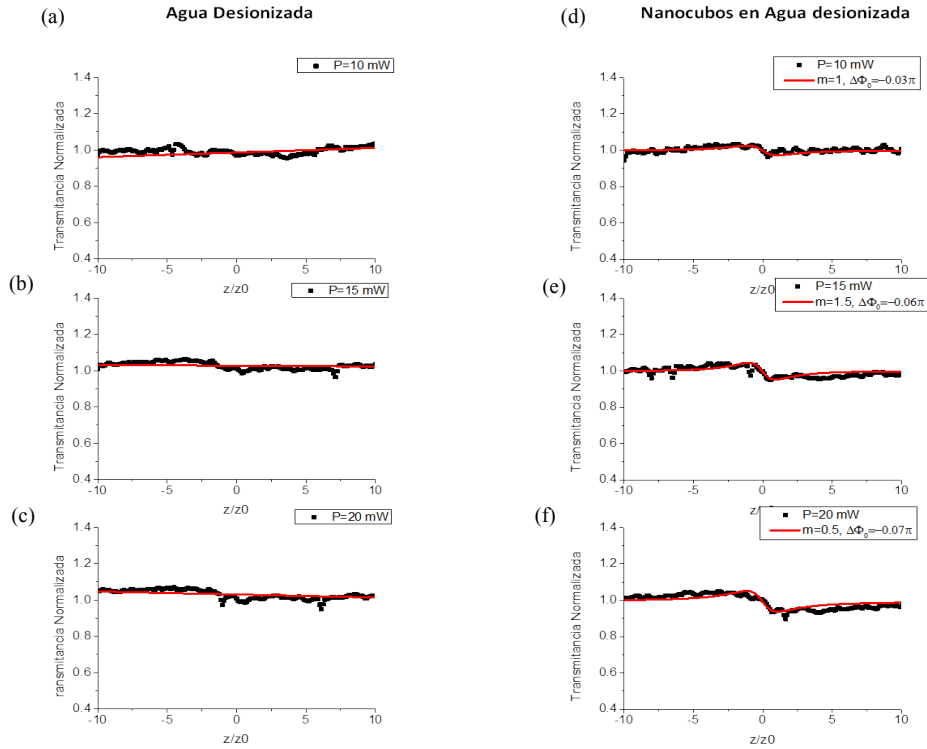


Figura 8. Curvas de barrido en Z para $\lambda=514$ nm, para potencias $P=10, 15, 20$ mW, de (a) a (c) Agua Desionizada y de (d) a (f) Nanocubos en Agua Desionizada

En la Figura 9 se muestran los resultados para el Etilenglicol y los Nanocubos en etilenglicol en este caso el solvente no presenta respuesta a diferencia de 488 nm, por lo

que es posible atribuir la respuesta no lineal a las Nanopartículas, estos resultados pueden observarse de los incisos (d) a (f), en ellos se aprecia el incremento de la respuesta no lineal con el aumento de la potencia incidente, el valor de la no localidad es $m=1$ para todas las potencias.

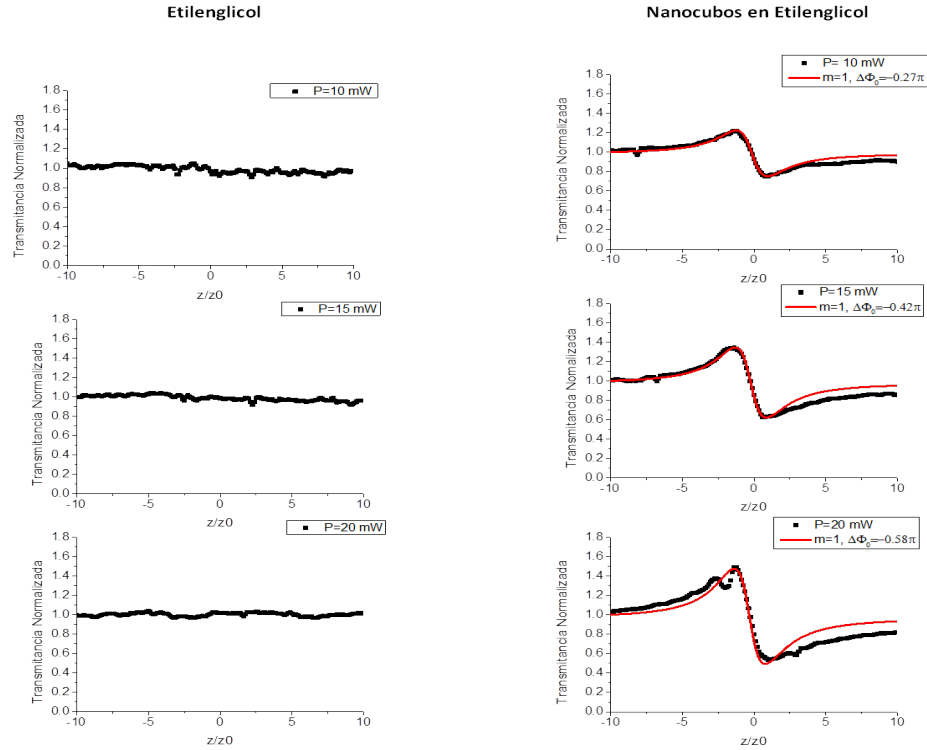


Figura 9. Curvas de barrido en Z para $\lambda=514$ nm, para potencias $P=10, 15, 20$ mW, de (a) a (c) Etilenglicol y de (d) a (f) Nanocubos en Etilenglicol.

Conclusiones

Se analizaron dos sistemas coloidales conformados por nanocubos de plata suspendidos en Agua desionizada y Etilenglicol. Los solventes fueron analizados por separado para descartar que la respuesta no lineal fuera atribuida a ellos y no a la Nanopartículas. Ambos sistemas, presentaron respuesta no lineal refractiva negativa, que presento variación respecto a la potencia y longitud de onda incidente.

Los espectros de absorción mostraron bandas de resonancia asociadas a la morfología de las Nanopartículas, se observa que la estructura de bandas presenta la misma estructura para ambos sistemas coloidales sin embargo la absorbancia se ve amplificada en el sistema con Etilenglicol.

De los solventes estudiados solo el Etilenglicol presentó respuesta no lineal para 488 nm mientras que el Agua desionizada no presentó respuesta alguna. Los nanocubos en Agua desionizada presentaron una mayor respuesta para 488 nm, lo cual puede observarse de los cambios de fase al compararlos con 514 nm. Los nanocubos en Etilenglicol presentaron respuesta para ambas longitudes de onda siendo mayor la correspondiente a 514 nm.

Al respecto a la no localidad se obtuvo que para los Nanocubos en agua desionizada esta fue incrementando en función de la potencia, es decir el parámetro m disminuye lo que corresponde a una extensión espacial de la respuesta no lineal respecto del perfil de intensidad incidente, por el contrario para la muestra de nanocubos en Etilenglicol se aprecia que la presencia de los nanocubos en el solvente disminuye la extensión espacial de la respuesta no lineal, puesto que la no localidad para el Etilenglicol corresponde a $m=1$ y con la presencia de los cubos se obtuvieron valores de $m=2$ aproximadamente.

Referencias

- Weber, M. J., Milam, D., and Smith W. L. (1978). "Nonlinear Refractive Index Of Glasses And Crystals", *Optical Engineering*, vol. 17, no. 5, pp 1754-63.
- Sheik-Bahae, M., Said, A. A., Wei T. -H., Hagan D. J. and Van Stryland E. W. (1990). "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 26, no. 4, pp. 760-769.
- Gonzalez, A., Noguez, C. (2007). "Influence of Morphology on the Optical Properties of Metal Nanoparticles", *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, vol. 4. no. 2, pp 231-238.
- Krolikowski, W., Bang, O., Nikolov, N. I., Neshev, D., Wyller, J., Rasmussen, J. J. and Edmundson, D. (2004). "Modulational instability, solitons and beam propagation in spatially nonlocal nonlinear media". *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.*, vol. 6, no. 5, pp 5288-5294.
- García Ramírez, E. V., Arroyo Carrasco, M. L., Mendez Otero, M.M, Reynosa Lara, E., Chavez-Cerda, S., and Iturbe Castillo, M. D. (2011). "Z-scan and spatial self-phase modulation of a gaussian beam in a thin nonlocal nonlinear media", *Journal of optics*, vol. 13, pp 085203.

Capítulo 7

Entorno de trabajo para búsqueda armónica al objetivo de la función de aplicación con n variables en la educación científica

Mariano Larios-Gómez¹, Juventino Montiel Hernández², Yeiny Romero Hernández¹,
Julio C. Alvarez Galicia, Alan F. Carrillo Villanueva¹

¹ Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México
Av. San Claudio y 14 Sur, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Puebla. México
² Facultad de Ciencias en Sistemas Computacionales y Electrónicos.
Universidad Autónoma de Tlaxcala. México.

mariano.larios@correo.buap.mx

Resumen. En el presente trabajo, desarrollamos y evaluamos un framework de software para la implementación del algoritmo de optimización metaheurística Harmony Search (HS) dentro de contextos educativos y como herramienta de investigación en el campo de la inteligencia artificial. Este framework facilita la aplicación del algoritmo HS a funciones objetivo con 2 hasta n variables, ajustables al usuario. La propuesta enriquece el campo educativo mediante la interfaz intuitiva del framework la cual permite a los usuarios interactuar fácilmente con componentes clave como funciones matemáticas y otros elementos esenciales del algoritmo. Asimismo, proporciona visualizaciones claras de los rangos y límites para cada función objetivo definido, incluyendo visualizaciones de las memorias armónicas iniciales (MH) y las correspondientes a 59 iteraciones. Además, el framework admite la configuración del parámetro de iteraciones para solicitar más de 5000 armonías, ofreciendo así una flexibilidad significativa para experimentación y análisis avanzado en diversas aplicaciones de inteligencia artificial.

Palabras Clave: Búsqueda armónica, Algoritmos de Optimización Bioinspirados, Inteligencia Artificial, Interfaz Humano-Computadora, Educación tecnológica.

1 Introducción

En varios campos de la ingeniería, la optimización juega un papel clave en el desarrollo de nuevas tecnologías. En la actualidad, el concepto de optimización de algunos métodos tiene enfoques avanzados que son utilizados en diferentes procesos de optimización de aplicaciones (Larios-Gómez et al., 2023; Sreedhar et al., 2020). Así también, los algoritmos

de optimización metaheurística se están volviendo cada vez más populares en aplicaciones de ingeniería (Mirjalili & Lewis, 2016):

- i. Se basan en conceptos bastante simples y son fáciles de implementar;
- ii. no requieren información de gradiente;
- iii. puede pasar por alto los óptimos locales;
- iv. puede utilizarse en una amplia gama de problemas que abarcan diferentes disciplinas.

El algoritmo original de HS fue propuesto por Geem, Kim, y Loganathan (2001), donde explica que el método de búsqueda armónica está inspirado en los principios subyacentes de la improvisación de armonía (HS) por parte de los músicos. El HS tiene las características distintivas de la simplicidad algorítmica y la eficiencia de búsqueda. Durante los últimos años, se ha utilizado con éxito en áreas como la optimización de funciones, el diseño de estructuras mecánicas, la optimización de redes y la optimización de sistemas de clasificación de datos. Yang (2009), aplicó la teoría de HS de forma algorítmica. En este trabajo se revisa y analiza el nuevo y poderoso algoritmo Harmony Search, como así se le llama, en el contexto de los algoritmos metaheurísticos. Primero, se describen los pasos fundamentales de HS y cómo funciona. Luego, se identifican las características de la metaheurística y analiza por qué HS es un buen algoritmo metaheurístico. Después se revisaron brevemente otras metaheurísticas populares como la optimización de enjambres de partículas para encontrar sus similitudes y diferencias con HS. Finalmente, discuten las formas de mejorar y desarrollar nuevas variantes de HS. En la sección 2, se describe el algoritmo de Geem y la propuesta de Yang, esto con el motivo de un buen entendimiento del funcionamiento, detalles y características que conlleva la implementación de este algoritmo HS. Así también, se explica el concepto de la matriz armónica, su representación y uso. En la sección 3, se expone el análisis y desarrollo del framework, desde su diseño y sus partes importantes del desarrollo, colocando el código fuente más representativo para que este trabajo se pueda reproducir fácilmente y en cualquier momento. En la sección 4 se da muestra de las funciones que soporta esta herramienta y los resultados de funciones propuestas en el trabajo de Portilla-Flores et al. (2017) sin las restricciones especificadas, pero se respetaron las especificaciones de los rangos Lowers y Uppers, por tales razones no se obtuvo los mismos resultados, más aún, si son aproximados. Por último, en la sección 5 se destacan los resultados de dos funciones propuestas por Yang (2009), estas funciones son conocidas como Michalewicz y Rosenbrock. Se muestra el resultado en el framework y la aplicación de las funciones en un lenguaje de programación completo y robusto como lo es Java.

En resumen, se presenta una investigación centrada en el algoritmo Harmony Search (HS), un método de optimización bioinspirado. En la Sección 2, se detalla la teoría y el funcionamiento del algoritmo HS, destacando la importancia de la matriz armónica, que constituye la base de su proceso de búsqueda. Posteriormente, en la Sección 3, se describe el diseño y desarrollo de una plataforma educativa que facilita el aprendizaje del algoritmo HS, proporcionando una herramienta didáctica para estudiantes y profesionales interesados

en la optimización. Esta sección incluye una explicación sobre la implementación del algoritmo dentro del entorno educativo. En la Sección 4, se exponen los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo HS en funciones objetivo, específicamente en las conocidas funciones de Michalewicz y Rosenbrock, lo que permite evaluar su eficacia en distintos escenarios de optimización. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones derivadas del estudio, resaltando el potencial del framework como herramienta educativa y su aplicabilidad en el campo de la optimización.

2 Teoría y algoritmo de Harmony-Search

Originalmente, el algoritmo Harmony Search (HS) fue evaluado como un enfoque metaheurístico eficaz en aplicaciones como el diseño de redes de distribución de agua, la optimización de parámetros de referencia, el diseño estructural y los problemas de enrutamiento de vehículos. Estas primeras evaluaciones demostraron la versatilidad y efectividad del HS para abordar problemas de optimización complejos y multidisciplinarios. Geem, Kim, y Loganathan (2001), publicaron un diagrama de flujo que representa el funcionamiento del algoritmo, lo que permitió una mayor comprensión de sus principios y facilitó su implementación en diversos campos.

A partir de esta publicación, la investigación en torno al HS experimentó un notable crecimiento. Se han desarrollado múltiples variantes del algoritmo, muchas de las cuales están diseñadas para mejorar su rendimiento en escenarios específicos o para superar algunas de las limitaciones inherentes a la versión original. Además, han surgido una serie de algoritmos híbridos que combinan el HS con otras técnicas metaheurísticas, como la optimización por enjambre de partículas (PSO) o los algoritmos genéticos (GA), para mejorar la búsqueda de soluciones globales y reducir el tiempo de convergencia. Este incremento en la actividad investigadora ha llevado a que el HS sea aplicado en una amplia y diversa gama de escenarios, lo que ha demostrado su capacidad para adaptarse a distintos problemas en áreas como la ingeniería, la logística, las telecomunicaciones, y la inteligencia artificial. Su flexibilidad y facilidad de adaptación lo han convertido en una opción atractiva no solo para resolver problemas de optimización industrial, sino también en contextos educativos, donde se utiliza como una herramienta pedagógica para enseñar conceptos avanzados de optimización.

En resumen, desde sus primeras aplicaciones, el HS ha evolucionado significativamente, abarcando un espectro cada vez más amplio de problemas y consolidándose como una potente herramienta en la optimización metaheurística. La creciente cantidad de estudios dedicados al desarrollo de variantes y aplicaciones híbridas indica que este algoritmo seguirá siendo relevante tanto en la investigación académica como en aplicaciones prácticas durante los próximos años.

2.1 Matriz armónica

La matriz o memoria de armonía (Harmony Memory, HM) en el algoritmo de búsqueda armónica (Harmony Search, HS) se inicializa creando cada fila de la HM, que contiene los valores de las variables de diseño. Estos valores son soluciones factibles seleccionadas aleatoriamente de un conjunto de diseño específico para cada variable en particular. Esta matriz cuenta con nn columnas, donde nn representa el número total de variables de diseño, y mm filas, lo que convierte a la HM en una matriz rectangular. La HM se genera en el primer paso del algoritmo y es comparable al conjunto de individuos en la matriz de población utilizada en los algoritmos genéticos.

Saka y Erdal (2009), proponen el elemento de la HM, $x[i,j]$, corresponde al valor de la i-ésima variable de diseño en la j-ésima solución factible seleccionada aleatoriamente. Estos candidatos se ordenan de tal forma que el valor de la función objetivo correspondiente al primer vector de solución sea el más bajo (óptimo). En otras palabras, las soluciones factibles en la HM se ordenan de forma descendente de acuerdo con sus valores de función objetivo, priorizando las mejores soluciones.

Es importante destacar que solo los elementos factibles, es decir, aquellos que satisfacen las restricciones impuestas por el algoritmo, se insertan en la matriz de memoria de armonía. Aquellos candidatos que no cumplen con las restricciones se descartan del proceso, como se detalla en el Algoritmo 1.

$$\begin{matrix} X_1^1 & X_2^1 & \dots & X_n^1 \\ X_1^2 & X_2^2 & \dots & X_n^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_1^{MHS} & X_2^{MHS} & \dots & X_n^{MHS} \end{matrix}$$

Donde $[X_1^i, X_2^i, \dots, X_n^i]$ ($i = 1, 2, \dots, MHS$) es una solución candidata y la HM es típicamente un conjunto entre 50 y 100.

2.2 Algoritmo propuesto

Como se propone en los trabajos de Assad y Deep, 2018 y Abdel-Raouf y Metwally, 2013, la generación de la población inicial se realiza de manera aleatoria utilizando la siguiente ecuación (1):

$$X_{i,j}^0 = X_j^{min} + r_j(X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (1)$$

donde los índices se establecen como $i = 1, 2, \dots, MHS$; $j = 1, 2, \dots, n$ y $r_j \in [0, 1]$

Donde:

- $i=1,2,\dots,MHS$, es decir, el número total de soluciones o armonías en la memoria.
- $j=1,2,\dots,N$, corresponde al número de variables de diseño.
- r_j es un valor aleatorio en el rango $[0,1]$.

- X_{jmin} y X_{jmax} son los límites mínimo y máximo, respectivamente, para la j -ésima variable de diseño.

Tabla 1. Símbolos y Descripciones	
Descripción	Símbolo
Valor de la variable en la población inicial.	$X_{i,j}^0$
Índice de la solución ($i = 1, 2, \dots, MHS$)	i
Índice de la variable de diseño ($j = 1, 2, \dots, N$)	j
Valor aleatorio entre 0 y 1	r_i

Esta expresión garantiza que cada elemento de la matriz de armonía se genere de forma aleatoria dentro de los límites predefinidos, asegurando que las soluciones iniciales cubran un rango amplio del espacio de búsqueda (ver Tabla 1).

Algoritmo 1: Harmony Search (HS)

1. **Definir la función objetivo:** $f(H)$
 - Parámetros:
 - **HMCR:** Tasa de consideración de memoria armónica
 - **PAR:** Tasa de ajuste de tono
 - **MHS:** Tamaño de la memoria armónica
 - **N:** Número de variables de diseño
2. **Inicializar la memoria armónica (HM)** con MHSMHS soluciones aleatorias.
3. **Mientras** no se alcanzan los criterios de detección **hacer**:
 0. Encontrar las mejores y peores soluciones actuales: **BEST** y **WORST** en la memoria armónica (HM).
 1. **Para** cada variable i desde 1 hasta N **hacer**
 - **Si** $random < PAR$ **entonces**
 - **Actualizar la variable armonía:** $H[i] = H[i] \pm random \times (BEST - WORST)$
 - **Sí no**
 - Generar $H[i]$ usando un valor aleatorio dentro de los límites definidos.
 2. **Si** la nueva armonía H es mejor que la peor solución en la memoria armónica (HM) **entonces**
 - Actualizar la memoria armónica (HM), reemplazando la solución **WORST** con H .
2. **Fin Mientras.**

3. **Devolver** la mejor solución encontrada (**BEST**) como resultado final. Asegurarse de que **BEST** no sea igual a cero.

El algoritmo 1 (HS) comienza definiendo la función objetivo y los parámetros clave, como la tasa de consideración de memoria armónica (HMCR), la tasa de ajuste de tono (PAR), y el tamaño de la memoria armónica (MHS). A continuación, se inicializa la memoria armónica (HM) con un conjunto de soluciones aleatorias. En cada iteración, el algoritmo busca las mejores y peores soluciones actuales en la HM, conocidas como BEST y WORST. Para cada variable de la solución, se decide si se ajustará utilizando la memoria existente o generando un valor aleatorio. Si el ajuste de tono es seleccionado, la variable se actualiza mediante una fórmula basada en la diferencia entre las mejores y peores soluciones. Una vez generada una nueva armonía, se compara con la peor solución en la HM, y si es mejor, la reemplaza. Este proceso continúa hasta que se cumplan los criterios de detención, devolviendo la mejor solución encontrada como resultado final.

3 Diseño y Desarrollo de una Plataforma Educativa para el Aprendizaje del Algoritmo Harmony Search (HS)

En el framework, se implementa el algoritmo Harmony Search (HS) utilizando los valores sugeridos por la bibliografía, pero con una adaptación importante. A diferencia de otros enfoques, algunos de los cuales omiten la línea clave $H[i] = H[i] \text{ random} + \text{BestWorst}$ que aparece en el Algoritmo 1, esta implementación la incluye debido a los resultados obtenidos tras múltiples pruebas. La decisión de incorporar esta línea se tomó porque mejoraba significativamente la convergencia y la calidad de las soluciones generadas. Al introducir este ajuste, se consigue que el algoritmo no solo sea más eficiente, sino también más robusto en la búsqueda de soluciones óptimas, evitando caer en óptimos locales y explorando mejor el espacio de búsqueda.

Este cambio es particularmente relevante cuando se trabaja con funciones de optimización complejas, ya que permite un ajuste dinámico de las variables basado en la diferencia entre las mejores y peores soluciones actuales. Al agregar la influencia de BestWorst, se logra una mayor exploración del espacio de soluciones, lo que redundará en un algoritmo más adaptable y efectivo en distintas condiciones.

En el algoritmo 2 se muestra la implementación inicial, que incluye la ejecución del algoritmo con los parámetros de entrada, como los límites inferiores (Lower) y superiores (Upper), entre otras variables y atributos relevantes para la configuración inicial del algoritmo. Esta fase es esencial, ya que establece las condiciones bajo las cuales se realizará la búsqueda de armonías, preparando la memoria armónica (HM) para el proceso de optimización.

Algoritmo 2: Cálculo de la Función Objetivo con Coseno y Producto

1. **Entrada:**
 - Un vector $x[]$ de longitud m , que representa las variables de entrada de la función.
2. **Inicializar variables:**
 - $s=0.0$ (acumulador para la suma de los cuadrados de los elementos del vector).
 - $fact=1.0$ (inicialización del producto de los cosenos).
 - m =longitud del vector $x[]$.
3. **Realizar la suma de los cuadrados:**
 - Para $i=0$ hasta $m-1$ (recorrer cada elemento del vector):
 - Calcular $s=s+(x[i]\times x[i])$ (acumular el cuadrado de cada elemento).
4. **Realizar el producto de cosenos:**
 - Para $i=0$ hasta $m-1$ (recorrer cada elemento del vector):
 - Calcular $fact *= \text{Math} . \cos(x[i] / \text{Math} . \text{sqrt}(i+1))$.
5. **Calcular la función objetivo:**
 - Usar la fórmula final: $\text{resultado} = ((s / 4000 . 0) + 1.0 + (- fact)$.
6. **Salida:**
 - Devolver el valor de **resultado** como la función objetivo.

Este algoritmo 2, realiza dos bucles para calcular, primero, la suma de los cuadrados de los elementos del vector y , luego, el producto de cosenos para cada elemento. Finalmente, combina ambos resultados en una fórmula para devolver la función objetivo.

En el algoritmo 3, la ecuación $(HM[i][j]=\text{Lower}[j]+(\text{Upper}[j]-\text{Lower}[j])*\text{Math}.\text{random}());$ genera la matriz de armonía con la suma de los límites superiores e inferiores y multiplicado por un valor aleatorio de punto flotante.

- El algoritmo comienza generando soluciones aleatorias para la memoria armónica utilizando un rango definido por los vectores Lower y Upper .
- Luego, evalúa la función objetivo para cada solución y almacena los resultados en el vector $f\text{Objetivo}$.
- Finalmente, vuelve a evaluar la función objetivo en forma de "fitness" para cada solución y almacena los resultados en el vector fitnessfitness .

Este procedimiento es típico en los algoritmos de optimización basados en metaheurísticas, como Harmony Search, para inicializar y evaluar una población de soluciones.

Algoritmo 3: Inicialización de la Memoria Armónica y Cálculo de Fitness

1. Entrada:

- `kk`: Número de iteraciones o armonías.
- `HMS`: Tamaño de la memoria armónica (Harmony Memory).
- `Lower[]`: Vector de límites inferiores para cada variable.
- `Upper[]`: Vector de límites superiores para cada variable.
- `HM[][]`: Matriz de memoria armónica que almacenará las soluciones generadas.
- `fObjetivo[]`: Vector para almacenar los valores de la función objetivo para cada armonía.
- `fitness[]`: Vector para almacenar los valores de fitness correspondientes a cada solución.
- Función `ff.func()`: Función objetivo que se aplica a cada armonía para calcular su calidad.
- `NumEcu`: Número de ecuaciones o restricciones que intervienen en la función.

2. Inicialización de la Memoria Armónica (HM):

- Para cada iteración `i=0` hasta `k-1` hacer:
 - 1. Para cada armonía `j=0` hasta `HMS-1` hacer:
 - Calcular un valor para `HM[i][j]` usando la fórmula: $HM[i][j] = Lower[j] + (Upper[j] - Lower[j]) \times \text{Math.random}()$ (Esto genera un valor aleatorio para cada variable dentro de los límites especificados por `Lower` y `Upper`).
 - Calcular la función objetivo para la armonía: `fObjetivo[i] = ff.func(HM[i][j], NumEcu)` (Esta función evalúa la calidad de la solución generada para la iteración actual).

3. Cálculo de Fitness:

- Para cada iteración `i=0` hasta `k-1` hacer:

1. Calcular el valor de fitness para la armonía $HM[i]:fitness[i]=fitness[i]=ff.func(HM[i],NumEcu)$ (Se evalúa nuevamente la función objetivo para cada solución de la memoria armónica y se almacena el valor en el vector de fitness).

4. **Salida:**

- Matriz de memoria armónica $HM[][]$, con soluciones generadas aleatoriamente.
- Vectores $fObjetivo[]$ y $fitness[]$, con los valores correspondientes a cada solución.

En la ejecución de $fObjetivo[i]=ff.func(HM[i][j], NumEcu)$; se obtiene el vector de la función objetivo con los valores obtenidos de la MHS. Se genera la matriz de armonía inicial al asignar a cada variable de diseño un valor aleatorio dentro de los límites definidos por Lower y Upper. La multiplicación por un valor aleatorio de punto flotante asegura que las soluciones generadas cubran uniformemente el rango de búsqueda permitido para cada variable.

Se calcula el vector correspondiente a la función objetivo para cada una de las soluciones generadas en la matriz de armonía. Esta evaluación es crucial, ya que determina la calidad de cada solución en relación con el problema que se está optimizando. Así también, se genera el vector de "fitness", que representa la calidad de cada solución dentro de la matriz de armonía. Este valor es utilizado para comparar soluciones y decidir cuáles se conservarán o reemplazarán en futuras iteraciones del algoritmo. El proceso de evaluación de la función objetivo y la generación del "fitness" son etapas esenciales para guiar la evolución de las soluciones a lo largo del ciclo de optimización. En conjunto, estas implementaciones permiten una ejecución eficiente del algoritmo HS, maximizando el aprovechamiento de las propiedades de la memoria armónica y optimizando la convergencia hacia soluciones de alta calidad.

3.1 *Implementación del Algoritmo Harmony Search (HS) para la Enseñanza*

Se define una variable llamada MHS, que actúa como el índice que recorre una parte de la matriz de memoria armónica (HM) para aplicar la función objetivo y obtener los resultados. Este índice controla qué porción de la matriz se utiliza en cada iteración del algoritmo. Se genera un índice adicional que permite recorrer dicha matriz. Este índice se selecciona de manera aleatoria dentro del rango de las dimensiones de la matriz. Cabe destacar que, en otras implementaciones, como aquellas realizadas con la herramienta MatLab, se propone agregar un valor adicional a la función aleatoria, como se menciona en (Molga & Smutnicki, 2005). Sin embargo, en esta implementación en Java no se aplica dicho ajuste, ya que añadir dicho valor podría generar índices fuera del rango de la estructura de datos. Esto se debe a que **Java**, siendo un lenguaje de programación fuertemente tipado y orientado a objetos, maneja los límites de las estructuras de almacenamiento de manera distinta a herramientas matemáticas como MatLab, que no tienen las mismas restricciones computacionales.

Se implementa la generación de una nueva armonía mediante la siguiente expresión en ecuación (2):

$$HM_{new}[i] = HM[indexMA][i] + bw \times (\epsilon) \quad (2)$$

Donde:

$\epsilon \in [-1,1]$ (valor aleatorio en el rango entre -1 y 1);

El término bw (ancho de banda o rango de banda) se multiplica por un número aleatorio $\epsilon \in [-1,1]$. Esto permite ajustar las soluciones existentes dentro del espacio de búsqueda, explorando nuevas combinaciones en el rango definido. Este proceso es fundamental para la naturaleza exploratoria del algoritmo, mejorando la capacidad de encontrar soluciones óptimas.

En (Anescu & Ulmeanu, 2017; Deb, 2000) la implementación de las reglas de Deb es de vital importancia en algoritmos metaheurísticos y bioinspirados. Estas reglas ayudan a manejar de manera eficiente las restricciones en problemas de optimización, proponiendo un método de selección que compara dos soluciones simultáneamente. Las reglas aplican criterios específicos para evaluar la calidad de las soluciones de manera robusta:

1. Preferencia por soluciones factibles: Se prefiere cualquier solución factible sobre cualquier solución inviable. Es decir, si x_1 es factible y x_2 no lo es, se selecciona x_1 .
2. Comparación entre soluciones factibles: Entre dos soluciones factibles, se elige aquella que tenga un mejor valor en la función objetivo. Si tanto x_1 como x_2 son factibles, pero x_1 tiene un valor objetivo menor que x_2 , se selecciona x_1 .
3. Comparación entre soluciones no factibles: Cuando ambas soluciones son no factibles, se prefiere aquella con una menor violación de las restricciones. Si tanto x_1 como x_2 no cumplen las restricciones, pero x_1 viola menos restricciones que x_2 , se selecciona x_1 .

La técnica utilizada en este código para el manejo de restricciones es la Superioridad de soluciones factibles, en la cual las reglas de Deb se aplican al comparar las soluciones. Este enfoque permite una evaluación efectiva y sistemática en cada iteración del algoritmo, garantizando que las soluciones factibles tengan preferencia y que las soluciones inviables se manejen de manera eficiente.

Existen otras implementaciones que utilizan enfoques similares para manejar restricciones en algoritmos metaheurísticos. Sin embargo, todas estas técnicas requieren de una medida de violación de restricciones, que a menudo necesita un parámetro de penalización asociado a cada restricción para asegurar que las soluciones no factibles sean castigadas adecuadamente. Este enfoque es clave para equilibrar la búsqueda entre el cumplimiento de restricciones y la optimización de la función objetivo.

Algoritmo 4: Evolución del Algoritmo Harmony Search con Memoria Armónica

Entrada:

- Maxiter: Número máximo de iteraciones.
- HMS: Tamaño de la memoria armónica.
- raccept: Tasa de aceptación aleatoria.
- RPA: Tasa de ajuste de parámetros.
- Lower[], Upper[]: Límites inferiores y superiores para las variables.
- NumEcu: Número de ecuaciones.
- Función objetivo ff.func().
- Vectores HM, HM_new, xdot, best, worst, fitness.

1. Inicialización:

- Establecer iteración iter = 0.

2. Mientras iter < Maxiter hacer:**0. Para cada i=0 hasta HMS-1 hacer****1. Si Math.random() < raccept entonces**

- Seleccionar un índice aleatorio para la memoria armónica: indexMA = (int(k × Math.random()))
- Asignar xdot[i] = HM[indexMA][i]

2. Si Math.random() < RPA entonces

- Calcular el promedio de fitness fitnessmean = mean(fitness)
- Generar nueva armonía:

HMnew

[i] = HM[indexMA][i] + bw × (Math.random() × (-1) + 1)

- Si el fitness de HM[indexMA] es menor que el promedio:

- Si Math.random() ≤ 0.5 entonces

HMnew

[i] = best[i] - (best[i] - HM[indexMA][i]) × Math.random()

- Sino

```

HMnew
[i]=best[i]+(worst[i]-HM[indexM
A][i])×Math.random()

```

- **Sino**
 - Seleccionar un índice aleatorio m:
m=(int(HMS×Math.random()))
 - Actualizar best[m]:
best[m]=best[m]×Upper[m]Upper[i]
 - Generar nueva armonía: HMnew
[i]=xdot[i]+(best[m]-xdot[i])×M
ath.random()
- Si Lower[i]≤HMnew[i]≤Upper[i] entonces
 - Asignar xdot[i]=HMnew[i]
- **Sino:**
 - Generar nueva solución:
xdot[i]=Lower[i]+(Upper[i]-Low
er[i])×Math.random()

1. **Evaluar y actualizar la peor solución:**

- Si ff.func(xdot,NumEcua)≤ff.func(worst,NumEcua) entonces
 - Actualizar el vector worst con xdot.

2. **Actualizar fitness:**

- **Para cada i=0 hasta k-1 hacer**
 - Evaluar la función
fitness[i]=ff.func(HM[i],NumEcua)
- Obtener el valor mínimo y su índice
usando getminval_index(fitness):minval=ddd[0],indexmin=(int
ddd[1])

3. **Actualizar la mejor solución:**

- Si ff.func(best,NumEcua)≤ff.func(HM[indexmin
,NumEcua) entonces
 - Reemplazar la mejor solución:HM[indexmin]=best
- **Sino**

- Actualizar el mejor vector: $best = HM[indexmin]$

4. Incrementar iteración $iter++$.

El algoritmo 4 comienza con la selección aleatoria de soluciones de una memoria armónica (HM), dentro de la cual se ajustan las soluciones utilizando un índice aleatorio y un valor de aceptación predefinido. Se generan nuevas soluciones modificando las soluciones existentes mediante un ancho de banda (bw) multiplicado por un valor aleatorio, y dependiendo de su rendimiento en comparación con un promedio de fitness, las nuevas soluciones reemplazan a las peores en la memoria. Las soluciones generadas se verifican para que estén dentro de los límites permitidos por las variables de diseño. Luego, se evalúa el fitness de todas las soluciones y, si una nueva solución supera a la peor de las existentes, esta última se reemplaza. Al final de cada iteración, se actualiza la mejor solución en la memoria armónica. El proceso continúa hasta que se alcanza el número máximo de iteraciones, con el objetivo de encontrar la mejor solución posible en el espacio de búsqueda.

4 Resultados aplicando funciones objetivo

En este punto, probamos el framework utilizando funciones objetivo propuestas en Portilla-Flores et al. (2017), aunque las pruebas realizadas con esta herramienta no incluyen restricciones, por lo que los resultados obtenidos no serán idénticos a los de la referencia. Sin embargo, estas pruebas permiten evaluar el comportamiento del framework en un entorno sin limitaciones, proporcionando una perspectiva valiosa sobre su desempeño.

La ecuación correspondiente a la función g02 (ecuación 3) se presenta de la siguiente manera (ver Fig. 1):

$$F(\vec{x}) = - \left| \frac{\sum_{i=1}^n \cos^4(x_i) - \prod_{i=1}^n \cos^2(x_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n ix_i^2}} \right| \quad (3)$$

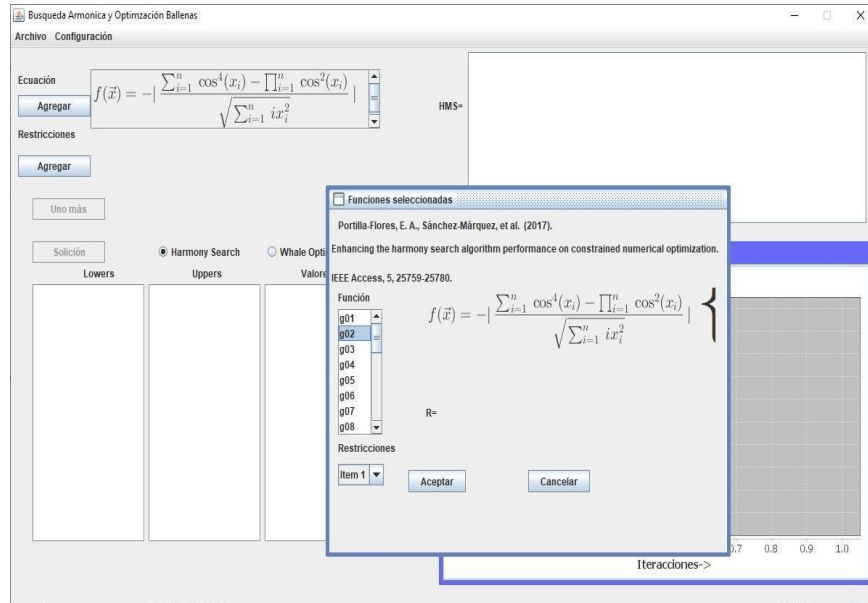


Figura 1. Selección de la función objetivo.

La Fig. 2 muestra la ventana de configuración de parámetros, la cual se encuentra accesible a través del menú de configuración del framework. Esta ventana permite a los usuarios ajustar diversos parámetros del algoritmo, como el tamaño de la memoria armónica (HMS), la tasa de aceptación (r_{accept}), y el rango de ajuste (bw), entre otros. Estas opciones proporcionan flexibilidad para personalizar el comportamiento del algoritmo en función de las necesidades del problema de optimización a resolver.

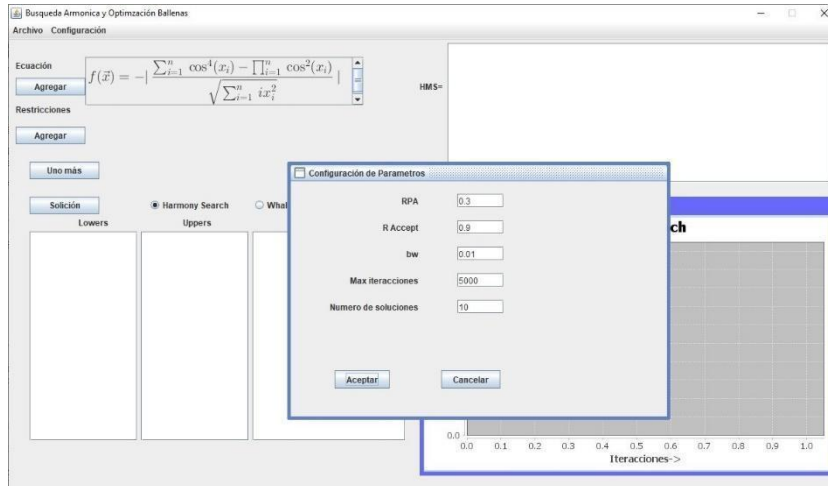
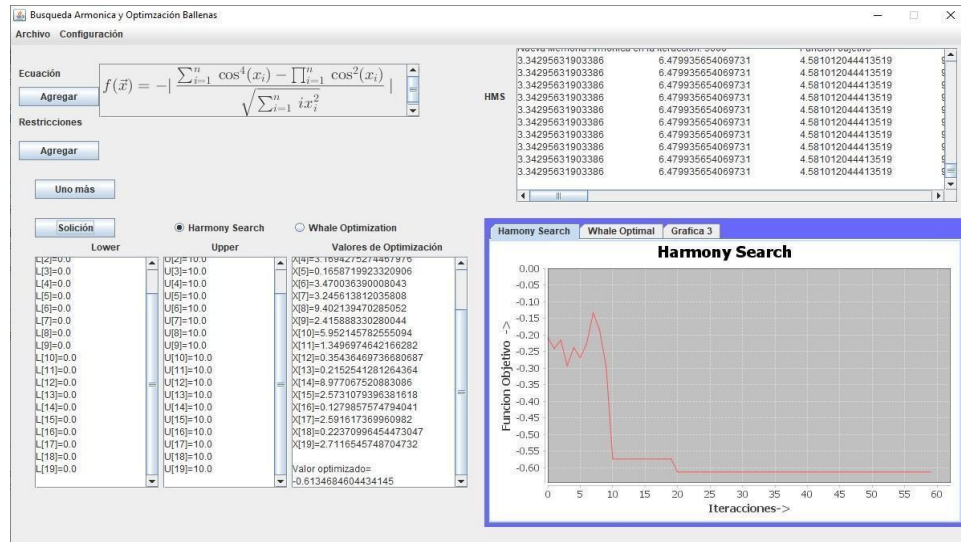


Figura 2. Configuración de parámetros.

La Figura 3 ilustra la ejecución del algoritmo Harmony Search (HS) al aplicar la función 1. En esta figura se puede observar cómo el algoritmo itera a través del espacio de búsqueda, generando nuevas soluciones y ajustando las armonías en función de los parámetros configurados previamente. Los resultados obtenidos permiten visualizar el comportamiento del algoritmo y su convergencia hacia soluciones óptimas, evidenciando su capacidad para resolver problemas de optimización al aplicar la función objetivo seleccionada.



Otro ejemplo es aplicando la función g06 que se muestra en la ecuación (4).

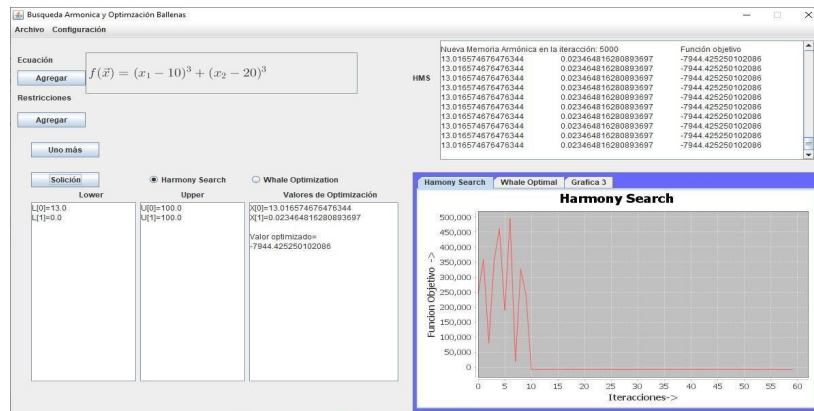
$$f(\vec{x}) = (x_1 - 1)^3 + (x_2 - 20)^3 \quad (4)$$


Figura 4. Función objetivo de la ecuación (4)

La Fig. 4 presenta los resultados obtenidos al aplicar la función objetivo 2. Estos resultados permiten evaluar el rendimiento del algoritmo frente a esta función específica. Para explorar más

funciones objetivo, el framework propuesto ofrece la opción de visualizarlas y aplicarlas de manera sencilla, facilitando así un análisis comparativo del comportamiento del algoritmo. Se pueden ver en el vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=W-uuIIWKNqA>

4.1 Aplicación en funciones de Michalewicz y Rosenbrock

El framework incluye un visualizador de ecuaciones que permite al usuario seleccionar la función objetivo y cargarla en la ventana principal. Cabe destacar que estas funciones fueron obtenidas de (Infinity77, 2013; Hedar, 2013; Molga & Smutnicki, 2005). La primera fuente propone 24 funciones objetivo, todas con restricciones, mientras que la segunda fuente trabaja con las primeras funciones sin restricciones. En este trabajo, todas las funciones utilizadas se manejan sin restricciones para simplificar el análisis.

Comenzamos con la función de Michalewicz (Dixon & Szego, 1978; Hedar, 2013; Molga & Smutnicki, 2005) (ecuación 5), ¡que es conocida por tener $d!$ mínimos locales y ser multimodal. El parámetro m controla la dificultad de la búsqueda: un valor más alto de m aumenta la complejidad del problema. El valor recomendado para m es $m=10$, aunque al multiplicarlo por 2 se obtiene el resultado deseado, como se muestra en la ecuación 5. La forma bidimensional de la función se representa en la gráfica anterior. Generalmente, la función se evalúa en el hipercubo $x_i \in [0, \pi]$, para $i=1, \dots, d$.

$$f(x, y) = -\sin \sin(x) \sin^{20}\left(\frac{x^2}{\pi}\right) - \sin(y) \sin^{20}\left(\frac{2y^2}{\pi}\right) \quad (5)$$

El algoritmo 5 calcula un valor acumulado basado en una serie de operaciones trigonométricas aplicadas a un vector de entrada $x[]$. Utiliza un parámetro fijo $m=10$ que controla la complejidad del cálculo. En cada iteración, el algoritmo toma el valor anterior del vector x , calcula una función de seno para actualizar un acumulador denominado $first$, y repite este proceso para todos los elementos del vector. Finalmente, devuelve el valor acumulado, que refleja el resultado de aplicar la función trigonométrica iterativamente sobre los elementos del vector

Algoritmo 5: Cálculo de la Función de Michalewicz

Entrada:

- Un vector $x[x[]]$ de tamaño nn , donde nn es la longitud del vector.

1. Inicializar:

- $m=10$ (parámetro que controla la dificultad).
- $first=0.0$ (valor inicial del acumulador).

2. Para $i=1$ hasta $n-1$ hacer:

0. Asignar $j=x[i-1]$ (tomar el valor del elemento anterior en el vector x).
1. Calcular: $k=\sin(i \cdot j^2/\pi)$
2. Actualizar el valor acumulado: $first+=\sin(j) \cdot k^{2m}$

2. **Devolver** el valor final de **first**.

Fin del Algoritmo

Al aplicar la función en la herramienta, obtenemos los resultados mostrados en la Fig. 5. Es importante destacar que el mínimo global es $f_{min}=-1.8012942987549279$ en $[x_1, x_2]=[2.2036541330021144, 1.2966793798426113]$. Sin embargo, al comparar el valor de x_2 (también conocido como y) con los resultados obtenidos por Yang [10], se observa una diferencia. Yang reporta $[x_1, x_2]=[2.20319, 1.57049]$ en el dominio $0 \leq x \leq \pi$ y $0 \leq y \leq \pi$. Esta discrepancia puede deberse a ligeras variaciones en la implementación o al método de cálculo utilizado.

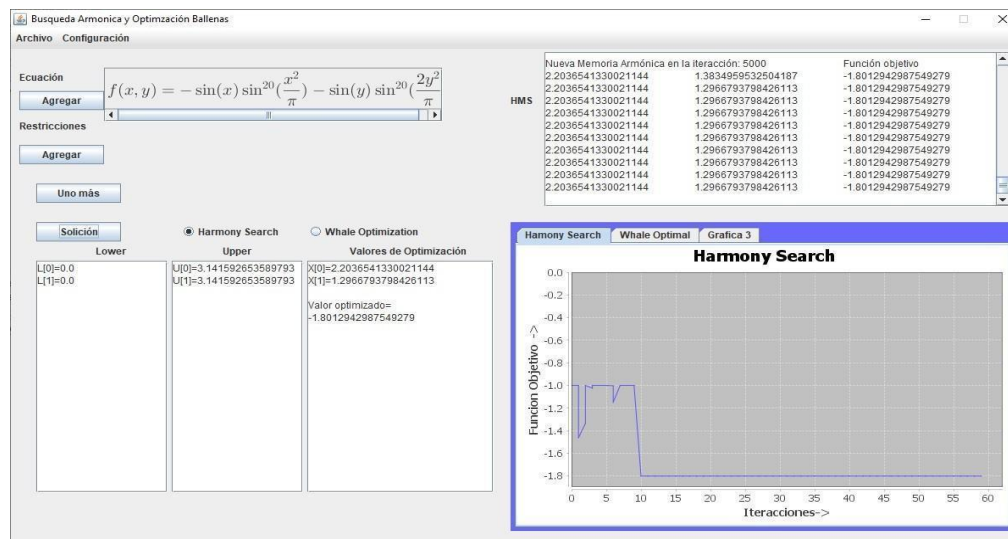


Figura 5. Aplicación de HS a la función Michalewicz.

La Fig. 5 muestra la gráfica de la función Michalewicz junto con la gráfica de la función objetivo. Esta última refleja cómo el algoritmo converge hacia el punto óptimo de la función, utilizando los parámetros previamente establecidos.

Los parámetros utilizados fueron los siguientes: Se comenzó con 20 armonías, estableciendo una tasa de aceptación armónica de $r_{accept}=0.95$ y un control de balanceo y cabeceo de $r_{pa}=0.7$, tanto para la función de Michalewicz como para la de Rosenbrock.

La función Rosenbrock, también conocida como la función Valley o Banana, es un problema de prueba popular en algoritmos de optimización basados en gradientes. En la gráfica anterior, se muestra su forma bidimensional. Esta función es unimodal, con su mínimo global ubicado en un valle estrecho y parabólico. Aunque es relativamente sencillo encontrar este valle, la convergencia hacia el mínimo global es complicada, lo que representa un desafío considerable para muchos algoritmos de optimización (Hedar, 2013; Molga & Smutnicki, 2005; Picheny, Wagner, & Ginsbourger, 2012).

$$f(x, y) = \ln[1 + (1 - x)^2 + 100(y - x^2)^2] \quad (6)$$

Algoritmo 6: Cálculo de la Función de Rosenbrock

Entrada:

- Un vector $x[]$ de tamaño nn , donde nn es la longitud del vector.

Salida:

- Un valor acumulado **first**, que representa la evaluación de la función de Rosenbrock.

1. Inicialización:

- $n = \text{longitud de } x[]$
- $\text{first} = 0$ (inicializar el valor acumulado).

2. Para cada $i=0$ hasta $n-2$ hacer

Actualizar el valor acumulado **first**

$\text{first} += 100 \times (x[i+1] - x[i]^2)^2 + (1 - x[i])^2$

3. Devolver el valor de **first**, que corresponde a la suma acumulada en el bucle.

Fin del Algoritmo

Este algoritmo 6 implementa la función Rosenbrock, calculando la suma de los términos cuadráticos y de la diferencia de los elementos consecutivos del vector $x[]$, lo que refleja su característica de tener un valle parabólico donde se encuentra el mínimo global.

Como se muestra en la Fig. 6, la función generalmente se evalúa en el hipercubo $x_i \in [-5, 10]$, para $i=1, \dots, d$, aunque también puede restringirse al rango $x_i \in [-2.048, 2.048]$. Al aplicar la función en el framework propuesto, se obtuvieron los valores $f(x,y)=[1.2887782194594581, 1.669883588890697]$ y un valor mínimo de $f_{min}=0.09137501370309561$, tras ajustar los rangos de $Lower=[-10, -10]$ y $Upper=[10, 10]$, como se muestra en el ejemplo del trabajo de Yang, (2009).

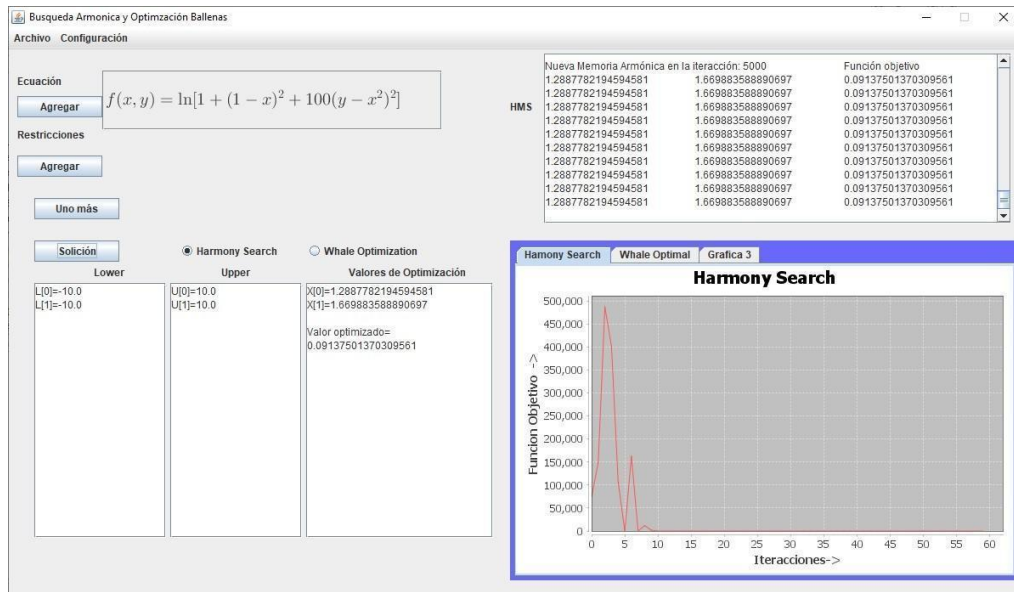


Figura 6. Aplicación de HS a la función Rosenbrock.

La Fig. 7 muestra dos gráficos: a) la gráfica de la función Rosenbrock, y b) la gráfica de la función objetivo. Esta última ilustra cómo el algoritmo converge hacia el punto óptimo de la función, utilizando los parámetros establecidos.

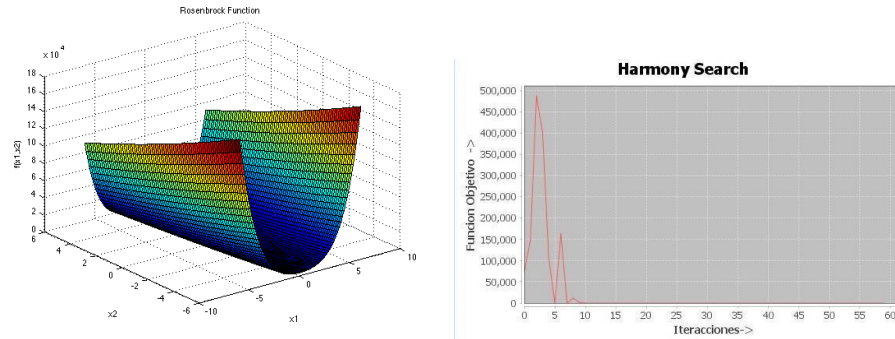


Figura 9. a) Gráfica de la matriz b) Gráfica de la función objetivo.

5 Conclusiones

En este trabajo, se implementó el algoritmo de búsqueda armónica (Harmony Search, HS) y se desarrolló un framework que actúa como una herramienta avanzada para el ámbito de la inteligencia artificial y la optimización. El HS, siendo un algoritmo bioinspirado y metaheurístico, demostró su flexibilidad y eficiencia en la resolución de problemas complejos. A lo largo de este proyecto, se analizó tanto el diseño como la implementación del algoritmo, y se destacó la capacidad del framework para visualizar gráficamente el comportamiento de la función objetivo a lo largo de 5000 iteraciones, lo que permite un análisis profundo de su rendimiento y convergencia.

Uno de los aspectos más notables de este framework es su robustez, fundamentada en la programación tolerante a fallas. Al estar implementado en un lenguaje de programación confiable y versátil, la herramienta permite un alto grado de control y personalización, lo que facilita su adaptación a diversas necesidades y escenarios de optimización. Este enfoque otorga una ventaja significativa, ya que el software no solo es maleable, sino que también es capaz de manejar errores y fallas de manera eficiente, lo que lo convierte en una opción viable para aplicaciones exigentes.

Además, la inclusión de ecuaciones en formato LaTeX mejora la experiencia de aprendizaje para los usuarios, ya que permite una representación precisa y clara de las funciones matemáticas. Esta integración asegura que los estudiantes y profesionales que utilicen el framework puedan aprender y aplicar los conceptos de optimización con mayor facilidad, fortaleciendo el propósito educativo de la herramienta.

El potencial de esta herramienta es significativo, y su alcance puede expandirse aún más en el futuro. Por ejemplo, una posible evolución de este trabajo es la ejecución del

framework en nodos de supercomputadoras, lo que lo transformaría en un software de alto rendimiento. Al aumentar la capacidad de procesamiento mediante el uso de múltiples núcleos y ejecutando un mayor número de iteraciones, se podría mejorar la precisión de los resultados de optimización, permitiendo una mayor exploración del espacio de soluciones y una convergencia más rápida y precisa hacia los óptimos globales. Este enfoque abriría nuevas oportunidades en la optimización de problemas a gran escala y en entornos industriales que requieren soluciones rápidas y eficientes.

En resumen, este proyecto representa un avance significativo tanto en la implementación del algoritmo de búsqueda armónica como en el desarrollo de una plataforma educativa orientada a la optimización. El framework propuesto no solo demuestra ser una herramienta útil y robusta para la investigación, sino que también tiene un amplio potencial de crecimiento y aplicación en el futuro, en áreas que van desde la enseñanza hasta el uso en supercomputadoras para la optimización de problemas complejos.

Referencias

- Abdel-Raouf, O., & Metwally, M. A. (2013). A survey of harmony search algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 70(28), 1-5. <https://doi.org/10.5120/12457-9107>
- Anescu, G., & Ulmeanu, P. (2017). A fast self-adaptive approach to reliability optimization problems. *Review of the Air Force Academy*, 2, 23-30.
- Assad, A., & Deep, K. (2018). Harmony search based memetic algorithms for solving sudoku. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 9(4), 741-754. <https://doi.org/10.1007/s13198-018-0734-0>
- Deb, K. (2000). An efficient constraint handling method for genetic algorithms. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186(2-4), 311-338. [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(99\)00389-8](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(99)00389-8)
- Dixon, L. C. W., & Szego, G. P. (1978). The global optimization problem: An introduction. In *Towards global optimization*, 2 (pp. 1-15). Elsevier.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: Harmony search. *Simulation*, 76(2), 60-68. <https://doi.org/10.1177/003754970107600201>
- Hedar, A. (2013). Global optimization test problems. Retrieved from http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedar_files/TestGO.htm
- Hedar, A. (2013). Global optimization test problems. Retrieved from http://www-optima.amp.i.kyoto-u.ac.jp/member/student/hedar/Hedar_files/TestGO.htm
- Infinity77. (2013). Global optimization test functions index. Retrieved from http://infinity77.net/global_optimization/test_functions.html#test-functions-index
- Larios-Gómez, M., Quintero-Flores, P. M., Anzures-García, M., & Camacho-Hernandez, M. (2023). Application of Real-time fan scheduling in exploration-exploitation to optimize minimum function objectives. *Applied Computer Science*, 19(2).
- Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The whale optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.01.008>
- Molga, M., & Smutnicki, C. (2005). Test functions for optimization needs. Retrieved from <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>

- Molga, M., & Smutnicki, C. (2005). Test functions for optimization needs. Retrieved from <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>
- Picheny, V., Wagner, T., & Ginsbourger, D. (2012). A benchmark of kriging-based infill criteria for noisy optimization. *Computational Statistics & Data Analysis*, 56(8), 2522-2543. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2012.02.010>
- Portilla-Flores, E. A., et al. (2017). Enhancing the harmony search algorithm performance on constrained numerical optimization. *IEEE Access*, 5, 25759-25780. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2776313>
- Saka, M. P., & Erdal, F. (2009). Harmony search based algorithm for the optimum design of grillage systems to LRFD-AISC. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 38(1), 25-41. <https://doi.org/10.1007/s00158-008-0274-3>
- Sreedhar, M., et al. (2020). A review on advanced optimization algorithms in multidisciplinary applications. In *Recent trends in mechanical engineering* (pp. 745-755). Springer.
- Yang, X. S. (2009). Harmony search as a metaheuristic algorithm. In *Music-inspired harmony search algorithm* (pp. 1-14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-00185-7_1

Capítulo 8

Estudio comparativo de algunas soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz

Yolanda Arrieta Aguirre¹, Emma Vianey García Ramírez²

¹ Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Facultad de Ciencias Físico Matemáticas

² Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

yola_aguirre@outlook.es, emmavgr1@gmail.com

Resumen. En este trabajo se analizaron diferentes soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz, como son los haces Gaussiano, Laguerre-Gauss, Bessel y Bessel-Gauss, usando el método numérico de paso dividido (Split-Step) se desarrolló un algoritmo en Matlab en el cual se simuló la propagación de estos haces, y así poder hacer un comparativo con los resultados obtenidos. El método Split-Step es utilizado para simular el comportamiento de la propagación de distribuciones de intensidad de un haz óptico en medios lineales y no lineales. Los haces analizados se propagan a una misma longitud de propagación obteniendo comportamientos diferentes.

Palabras Clave: Paraxial, Haces, Helmholtz, Gauss, Bessel, Bessel-Gauss, Laguerre-Gauss.

1 Introducción

La óptica es un área de la física que tiene como objeto de estudio a la luz. Los filósofos griegos desarrollaron varias teorías de la naturaleza de la luz: como la propagación rectilínea de la luz o la ley de reflexión enunciada por Euclides (300 A.C.), el fenómeno de difracción analizado por Francesco María Grimaldi (1660), que es la desviación de la propagación rectilínea que ocurre cuando la luz avanza más allá de una obstrucción (Hecht, E. (s.f.)).

La invención del láser en 1960 abrió la puerta al surgimiento de la óptica no lineal. Theodore H. Maiman anunció el funcionamiento con éxito de un láser de rubí como medio activo. Más tarde comenzaron a surgir láseres que usaban como medio activo algún gas, el de helio-neón (He-Ne), por ejemplo. Este avance sugirió nuevas técnicas y experimentos, que se encargan de estudiar los fenómenos donde la luz al propagarse en un medio modifica las propiedades ópticas de éste (Boyd, R. W. 2007). La distribución transversal de intensidad del haz que sale del láser depende de la cavidad del resonador y la forma de los espejos H. (Kogelnik and T. Li. 1996). Estos patrones de distribución de intensidad son

llamados modos TEM. Los láseres más comunes son los de resonadores de espejos esféricos F. L (Pedrotti and et al. 1993) que tienen la característica de emitir haces del modo fundamental (TEM00) o haces Gaussianos. Se ha estudiado la generación de otros tipos de haces conocidos como haces paraxiales que son solución a la ecuación paraxial de Helmholtz. En el estudio de estos haces en el espacio libre la difracción tiene un papel importante lo mismo que su interacción con la materia en la óptica no lineal.

Existen conjuntos de haces paraxiales que son solución a la ecuación paraxial de Helmholtz: los haces Hermite-Gaussianos y Laguerre-Gaussianos surgen del producto de las funciones Hermite con la función Gaussiana en coordenadas cartesianas o del producto de los polinomios asociados de Laguerre con la función Gaussiana en coordenadas cilíndricas (Saleh, B. E. 1991) .

Las soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz suele ser difícil de encontrar analíticamente por lo que se hace uso de métodos numéricos para resolverlas, esto incluye problemas como la propagación de luz en espacio libre o en algún medio óptico. En este trabajo se usa el método de Split-Step.

Los apartados siguientes se describen a continuación: en la sección 2 se encuentra el marco teórico; en la sección 3 describiremos el método numérico Split-Step. Los resultados y conclusiones se encuentran en las secciones 4 y 5.

2 Marco Teórico

Una onda óptica se describe matemáticamente mediante una función real de la posición $\mathbf{r} = (x, y, z)$ y del tiempo t , denotada por $u(\mathbf{r}, t)$ y conocida como función de onda real, la cual tiene una forma armónica:

$$u(\vec{r}, t) = a(\vec{r}) \cos[2\pi\nu t + \phi(\vec{r})] \quad (1)$$

donde $a(\mathbf{r})$ es la amplitud, $\phi(\mathbf{r})$ es la fase, ν es la frecuencia y $\omega = 2\pi\nu$ es la frecuencia angular. La función de onda real $u(\mathbf{r}, t)$ puede expresarse en términos de una función compleja $U(\mathbf{r}, t)$

$$U(\vec{r}, t) = a(\vec{r}) \exp[i\phi(\vec{r})] \exp(i2\pi\nu t) \quad (2)$$

La cuál es solución a la ecuación de onda

$$\nabla^2 U(\vec{r}, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U(\vec{r})}{\partial t^2} = 0 \quad (3)$$

como resultado de sustituir (2) en la ecuación (3) obtendremos la ecuación de Helmholtz, que describe el comportamiento espacial de la onda,

$$(\nabla^2 + k^2)U(\vec{r}) = 0 \quad (4)$$

La solución más sencilla a la ecuación (4) es la onda plana: $U(\mathbf{r}) = A \exp(-ikz)$. Si A depende de la posición tendremos $A(\mathbf{r})$ y si además varía lentamente con la posición dentro del rango de una longitud de onda (λ), de modo que

$$\frac{\partial A}{\partial z} \ll kA \quad (5)$$

entonces

$$\frac{\partial^2 A}{\partial z^2} \ll k^2 A \quad (6)$$

De modo que al sustituir $U(\mathbf{r}) = A(\mathbf{r}) \exp(-ikz)$ en la ecuación (4), se obtiene la ecuación paraxial de Helmholtz

$$\nabla_T^2 A - i2k \frac{\partial A}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

La solución más simple de la ecuación paraxial de Helmholtz es la onda paraboloidal, sin embargo, la solución más interesante y útil es el haz Gaussiano, cuya amplitud compleja está dada por

$$U(\vec{r}) = A_0 \frac{W_0}{W(z)} \exp \left[-\frac{\rho^2}{W^2(z)} \right] \exp \left[-ikz - ik \frac{\rho^2}{2R(z)} + i\xi(z) \right] \quad (8)$$

Sin embargo, existen otras soluciones interesantes como los haces Hermite-Gaussianos, Laguerre-Gaussianos y Bessel. Para analizar la evolución del campo óptico al propagarse en un medio o en espacio libre, se resuelve la ecuación paraxial de Helmholtz que para el caso unidimensional está dada por

$$i \frac{\partial A}{\partial z} = \frac{1}{2k} \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} \quad (9)$$

Esta ecuación puede normalizarse con los parámetros $X = x/x_0$, con x_0 el ancho inicial del haz y $Z = z/L_D$, donde $L_D = n_0 k_0 x_0^2 / 2$ es la longitud de difracción o distancia de Rayleigh ($L_D = z_0$), entonces obtenemos:

$$i \frac{\partial A}{\partial Z} = \frac{1}{4} \frac{\partial^2 A}{\partial X^2} \quad (10)$$

La cual describe la difracción del campo en función de la distancia de propagación.

Para resolver la ecuación (10) puede usarse el análisis de Fourier que proporciona una descripción de la propagación de ondas a través de un sistema óptico lineal entre un plano de entrada supongamos $Z_0 = 0$ y un plano de salida $Z = Z_S$.

Dada la amplitud compleja en el plano de entrada $U(X, Z = Z_0)$, es posible determinar la amplitud compleja en el plano de salida $U(X, Z = Z_S)$. Aplicando la transformada de Fourier (T.F.) a la ecuación (10) se tiene

$$\frac{\partial}{\partial Z} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} A \exp^{i\omega x} dx \right] = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} (-i\omega)^2 \int_{-\infty}^{\infty} A \exp^{i\omega x} dx \quad (11)$$

Entonces

$$A(\omega, Z) = T.F. \{A(X, Z)\} \quad (12)$$

Al integrar (11), desde el plano $Z=Z_0$ hasta $Z=Z_s$ obtenemos

$$\int_{Z_0}^{Z_s} \frac{dA(\omega, Z)}{A(\omega, Z)} = \frac{-\omega^2}{4} \int_{Z_0}^{Z_s} dZ \quad (13)$$

Y obtenemos

$$A(\omega, Z_s) = A(\omega, Z_0) \exp \left(\frac{-\omega^2}{4} \Delta Z \right) \quad (14)$$

Con $\Delta Z = Z_s - Z_0$, la ecuación (14) considera un sistema lineal con $A(\omega, Z_0)$ como su espectro de entrada, esto es en el plano de entrada Z_0 y con el espectro de salida dado por $A(\omega, Z_s)$, por lo que la respuesta de la frecuencia espacial del sistema está dado por:

$$\frac{A(\omega, Z_s)}{A(\omega, Z_0)} = \exp \left(\frac{-\omega^2}{4} \Delta Z \right) \Delta Z = H(\omega, \Delta Z) \quad (15)$$

$H(\omega, \Delta Z)$ es la función de transferencia, al multiplicarla por una función espacial armónica de entrada, se obtiene la función armónica de salida

$$A(\omega, Z_s) = A(\omega, Z_0) H(\omega, \Delta Z) \quad (16)$$

Para obtener la distribución del campo al final de la propagación esto es $Z = Z_s$, necesitamos determinar la transformada inversa de Fourier de la ecuación (16):

$$A(X, Z_s) = T.F.I \{A(\omega, Z_0) H(\omega, \Delta Z)\} \quad (17)$$

sustituyendo (12) en (17) para el plano de entrada $Z = Z_0$, el campo a la salida del medio se puede expresar como

$$A(X, Z_s) = T.F.I \{T.F.(A(\omega, Z_0)) H(\omega, \Delta Z)\} \quad (18)$$

Así obtenemos el campo de salida, después de propagarse en un medio lineal a una distancia ΔZ . Al considerar un campo de entrada $A(\omega, Z_0)$ como condición inicial. Todo lo

anteriormente descrito es válido para medios lineales; para analizar la propagación en medios no lineales el índice de refracción dependiente de la posición $n(x,y,z)$ debe considerarse en la ecuación (10), considerando una no linealidad cúbica tenemos

$$i \frac{\partial U}{\partial Z} = \frac{1}{4} \frac{\partial^2 U}{\partial X^2} \pm \frac{L_D}{L_{NL}} |U|^2 U \quad (19)$$

con $L_{NL} = \frac{1}{\Delta n k_0}$, la longitud de difracción no lineal.

Las constantes L_D y L_{NL} son básicas para describir la propagación de la luz. Para L_D menor que L_{NL} , el segundo término de la ecuación (19) es despreciable, dominando solo la difracción del haz conforme se propaga en el medio, esto sucede cuando el material presenta un índice de refracción no lineal muy pequeño o la potencia del haz incidente es baja esto es lo que consideraremos en este trabajo pues tomamos como medio de propagación el espacio libre. En la siguiente sección describiremos el método numérico Split-Step que será usado para obtener distribuciones de intensidad de un campo de salida al propagarse por el espacio libre dado un campo de entrada.

3 Método numérico: Split-Step

El método se basa en propagar una función a lo largo de una cierta distancia, la cual es dividida en m pasos. Cada paso es dividido en 2, en la primera mitad la función ve los efectos de difracción y en la segunda mitad ve los efectos no lineales. Para esto es necesario escribir la ecuación (19) en términos de operadores, de la siguiente forma:

$$\frac{\partial U}{\partial Z} = (\hat{D} + \hat{N})U \quad (20)$$

Con

$$\hat{D} = -\frac{i}{4} \nabla_T^2 \quad (21)$$

$$\hat{N} = \mp i \frac{L_D}{L_{NL}} |U|^2 \quad (22)$$

donde $\hat{D}$ es un operador diferencial que tiene en cuenta la dispersión y las pérdidas dentro de un medio lineal y $\hat{N}$ es un operador no lineal que gobierna el efecto de las no linealidades.

El método de paso dividido obtiene una solución aproximada asumiendo que en la propagación de un campo óptico sobre una pequeña distancia h , los efectos de difracción y no lineales pueden actuar independientemente. La solución a la ecuación (20) está dada por

$$U(X, Z + h) = \exp(h\hat{D})\exp(h\hat{N})U(Z) \quad (23)$$

El efecto del operador $\exp(h\hat{D})$ se obtiene utilizando el análisis de Fourier mencionado en la sección anterior. Entonces al resolver la parte lineal de la ecuación (20) se obtiene el campo a la salida U está dado por

$$U = T.F.I.(T.F(U_0(X))H(\omega, \Delta Z)) \quad (24)$$

En la siguiente sección presentamos los resultados obtenidos al implementar este método en Matlab.

4 Resultados

4.1 Haces Gaussianos

Estos haces representan la solución más sencilla a la ecuación paraxial de Helmholtz y su amplitud compleja $U(r)$ e intensidad $I(r)$ están dadas por las siguientes expresiones

$$U(\vec{r}) = A_0 \frac{W_0}{W(z)} \exp \left[-\frac{\rho^2}{W^2(z)} \right] \exp \left[-ikz - ik\frac{\rho^2}{2R(z)} + i\xi(z) \right] \quad (25)$$

$$I(\rho, z) = I_0 \left[\frac{W_0}{W(z)} \right]^2 \exp \left[-\frac{2\rho^2}{W^2(z)} \right] \quad (26)$$

En (26) se tiene a I_0 como la intensidad máxima sobre eje, z_0 la distancia de Rayleigh o longitud de difracción (L_D), puede observarse una dependencia de I con la distancia de propagación z .

En las figuras 1(a) y 1(b) se muestran las distribuciones de intensidad en los planos de entrada $z=0$ y salida para una distancia de propagación en espacio libre de $z=4z_0$ respectivamente, mientras que en la figura 1(c) se presentan los perfiles de intensidad de entrada y salida y en 1(d) los perfiles de intensidad a lo largo de toda la propagación.

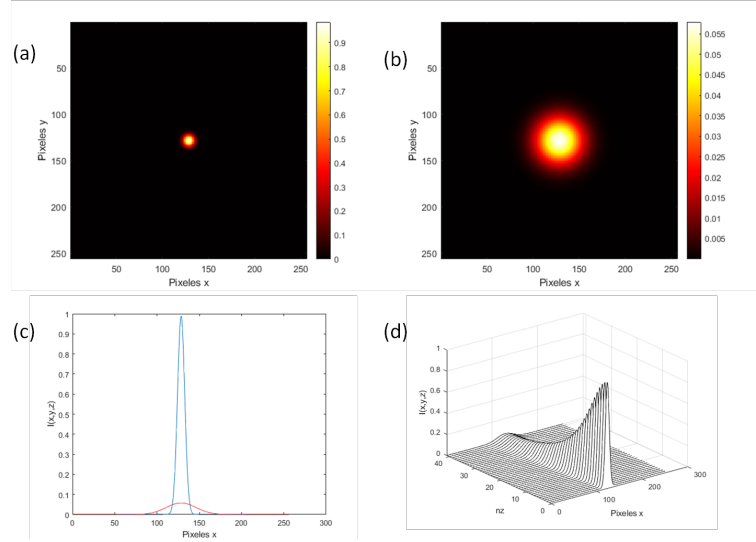


Figura 1. Patrones de intensidad para (a) $z = 0$; (b) $z=4z_0$, (c) Perfiles de intensidad del haz en la entrada (azul) y salida (rojo) del sistema, (d) Perfiles de intensidad para la distancia de propagación de perfiles $z = 0$ a $z = 4z_0$, con intervalos de 0.5.

4.2 Haces Bessel

Estos haces son conocidos como haces adifraccionales o invariantes, fueron demostrados experimentalmente por Durnin et al en 1987. Sobre el rango de propagación libre de difracción, estos haces tienen una distribución de amplitud transversal de la forma $J_0(k_T \rho)$ donde J_0 es la función Bessel de orden cero.

Su amplitud compleja $U(\mathbf{r})$ e intensidad $I(\mathbf{r})$ están dadas por las siguientes expresiones

$$U(\vec{r}) = A_0 J_0(k_T \rho) e^{-i\beta z} \quad (27)$$

$$I(\rho, \phi, z) = |A_0|^2 J_0^2(k_T \rho) \quad (28)$$

Se observa que (28) es circularmente simétrica y varía con ρ ; es independiente de z por lo que no hay dispersión de la potencia óptica con la propagación.

En las figuras 2(a) a 2(d) se presentan distribuciones y perfiles de intensidad para una distancia de propagación de $z = 0$ a $z=4z_0$, puede observarse de dicha figura que estos haces conservan su distribución de intensidad durante la propagación, es decir son adifraccionales.

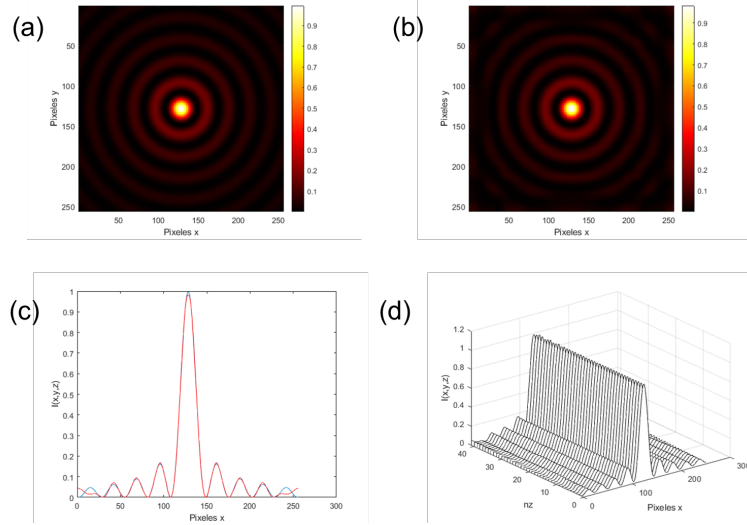


Figura 2. Patrones de intensidad para (a) $z = 0$; (b) $z=4z_0$, (c) Perfiles de intensidad del haz en la entrada (azul) y salida (rojo) del sistema, (d) Perfiles de intensidad para la distancia de propagación de perfiles $z = 0$ a $z = 4 z_0$, con intervalos de 0.5.

4.3 Haces Bessel-Gauss

Estos haces son un haz Bessel modulado por una función Gaussiana de la coordenada radial ρ . La función Gaussiana sirve como una función de modulación que acelera el lento decaimiento radial del haz de Bessel.

Su distribución de intensidad está dado por

$$I(\rho, \phi, z) = |A_0|^2 J_0^2(k_T 4\pi\rho) \exp\left(-\frac{\rho^2}{w_0^2}\right) \quad (29)$$

En la figura 3 se presentan distribuciones y patrones de intensidad para una distancia de propagación de $z = 0$ a $z=z_0$.

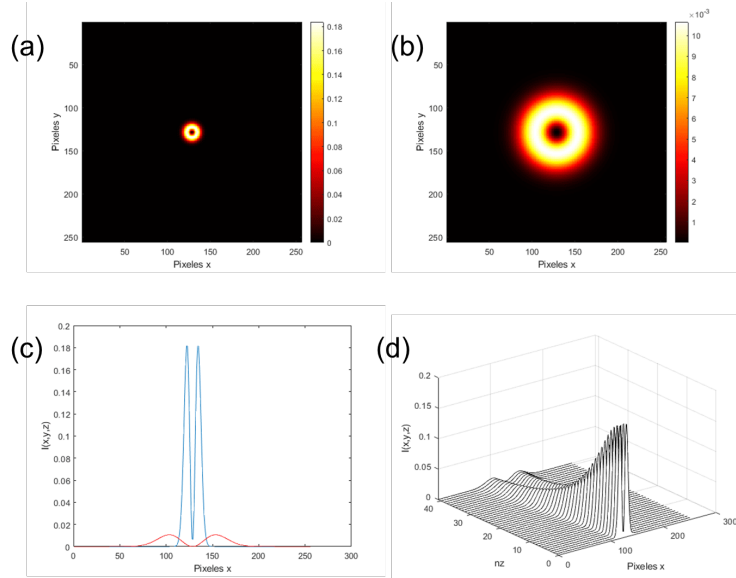


Figura 3. Patrones de intensidad para (a) $z = 0$, (b) $z=z_0$, (c) Perfiles de intensidad del haz en la entrada (azul) y salida (rojo) del sistema, (d) Perfiles de intensidad para la distancia de propagación de perfiles $z = 0$ a $z = z_0$, con intervalos de 0.1.

4.4 Haces Laguerre-Gauss

Este haz se puede obtener escribiendo la ecuación de Helmholtz paraxial en coordenadas cilíndricas (ρ, ϕ, z) . El haz Laguerre-Gaussiano de orden más bajo es el haz Gaussiano.

La intensidad del haz Laguerre-Gaussiano es función de ρ y de z , pero no de ϕ , por lo que es circularmente simétrica. La distribución transversal de la intensidad del haz LG_{10} adopta una forma toroidal. Su valor máximo se alcanza a un radio que aumenta con la distancia z desde el centro del haz. Su intensidad está dada por la siguiente expresión

$$I(\rho, z) = I_0 \left[\frac{W_0}{W(z)} \right]^2 \left(\frac{\sqrt{2}\rho}{W(z)} \right)^{2l} \left[L_m^l \left(\frac{2\rho^2}{W^2(z)} \right) \right]^2 \exp \left(\frac{-2\rho^2}{W^2(z)} \right) \quad (30)$$

En la figura 4 se presentan distribuciones y patrones de intensidad para una distancia de propagación de $z = 0$ a $z=4z_0$.

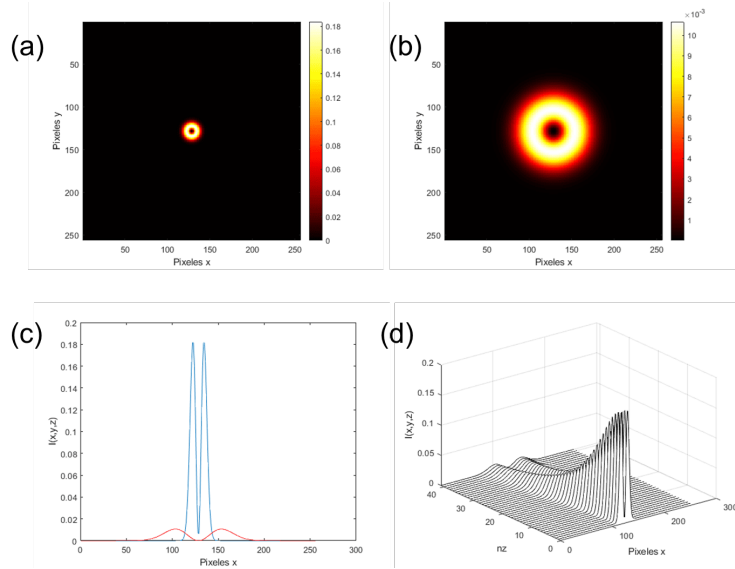


Figura 4. Patrones de intensidad para (a) $z = 0$, (b) $z=4z_0$, (c) Perfiles de intensidad del haz en la entrada (azul) y salida (rojo) del sistema, (d) Perfiles de intensidad para la distancia de propagación de perfiles $z = 0$ a $z = 4 z_0$, con intervalos de 0.5.

Conclusiones

En este trabajo se empleó el método numérico de Split-Step para analizar diferentes soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz por lo que puede ser usado para analizar la propagación de campos ópticos en medios lineales y no lineales. Con este método se obtuvieron haces que son soluciones a la ecuación paraxial de Helmholtz. Comparando los haces que se estudiaron en este trabajo concluimos que los haces Gaussiano, Laguerre-Gaussiano y Bessel-Gaussiano son haces que se difractan, teniendo en común que sus patrones de difracción indican un ensanchamiento de la distribución de intensidad conforme el haz se propaga, en el caso de los haces Gaussiano y Laguerre-Gauss su distribución del haz se conserva conforme este se propaga igual y esto lo vemos por que su perfil de salida conserva su forma de entrada.

Referencias

- Hecht, E. (s.f.). "Optics" Cuarta ed. Addison Wesley.
 Boyd, R. W. (2007). "Nonlinear Optics" (Tercera ed.). Rochester.

H. Kogelnik and T. Li. (1996) "Laser beams and resonators". Appl. Opt., 5, (pp. 1550- 1556).
F. L Pedrotti and et al. (1993) "Introduction to Optics". Second edition.
Saleh, B. E. (1991). "Fundamenthals of Photonics". John Wiley & Sons, Inc.

Capítulo 9

Geometría vectorial en el espacio, experiencias didácticas con GeoGebra

Olivia Romero Tehuitzil¹, Armando Espíndola Pozos², Miguel Angel Barranco Ortega³
^{1,2,3} Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

olivia.romero@correo.buap.mx, armando.espindolap@correo.buap.mx
bo.202321882@alm.buap.mx

Resumen. En esta investigación se analiza, describe e interpreta el potencial didáctico de GeoGebra como un medio para promover un cambio actitudinal y procedimental del aprendizaje de los estudiantes, cuando a la par del trabajo algebraico se utilizan sus recursos de geometría dinámica espacial para algunas construcciones geométricas en un curso de álgebra lineal con elementos de geometría analítica. Se presentan varias actividades realizadas con el software de GeoGebra que a los estudiantes les ayuda a la construcción de soluciones para el álgebra.

Palabras Clave: Geometría, Vectorial, Espacio, GeoGebra.

1 Introducción

El interés en la geometría vectorial tiene que ver con que actualmente en la Facultad de ciencias de la computación de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se imparte en el primer año del programa académico de la licenciatura en ciencias de la computación el curso de álgebra lineal con elementos en geometría analítica, el cuál es previo a un curso de graficación por computadora.

En cuanto a GeoGebra, en su sitio web (Acerca de GeoGebra, 2002) se comenta que es un software matemático dinámico de utilidad para cualquier nivel educativo, que incluye en un sólo sistema, geometría, álgebra, hojas de cálculo, gráficas, estadísticas y cálculo, que cuenta con una plataforma en línea con más de un millón de recursos gratuitos abiertos a la comunidad en múltiples lenguajes; que dispone de una plataforma para clases en línea con la cual se puede trabajar en tiempo real. Enuncian literalmente que:

“GeoGebra se ha convertido en el proveedor líder de software de matemáticas dinámicas, apoyando la educación en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) y las innovaciones en la enseñanza y el aprendizaje en todo el mundo”

En el mismo orden de ideas, a continuación, se describen algunas aportaciones de diversos investigadores en cuanto al álgebra lineal y GeoGebra.

En el trabajo de (Hodovaniuk, 2021) menciona que GeoGebra es una alternativa para implementar la metodología de aprendizaje híbrida, dado el dinamismo que ofrece, por su portabilidad se puede utilizar en clase o bien fuera de ella vía el QR de applets disponibles en línea. Así mismo se considera a GeoGebra como una herramienta tecnológica moderna para aprender y enseñar diversos contenidos, en particular conceptos del Álgebra lineal.

Del mismo tema de interés (Ziatdinov & Valles, 2022) comentan que GeoGebra es un programa de software matemático educativo que conceptualiza y utiliza matemática dinámica; suele ser una herramienta de enseñanza y aprendizaje, útil en distintos niveles educativo desde los elementales hasta el universitario, que una de las principales metas de GeoGebra es hacer los conceptos matemáticos más accesibles y comprensibles para los estudiantes y que en cuanto al nivel universitario, vía los múltiples recursos algebraicos y geométricos que tiene, permite una comprensión más profunda y completa de la matemática.

Sobre lo ya enunciado, más recientemente (Sarmiento Saavedra et al., 2024) concluyeron que GeoGebra facilita el aprendizaje virtual de la matemática y que incluido en las estrategias didácticas se fortalece el desempeño académico de los estudiantes.

Finalmente, en cuanto a la calidad del aprendizaje universitario (Biggs, 2010) enuncia cuatro aspectos que considera determinantes para lograrlo:

1. Una base de conocimientos bien estructurada
2. Un contexto motivador adecuado
3. La actividad del aprendiz
4. La interacción con los demás.

2 Planteamiento del problema

A un número considerable de estudiantes del programa académico de la Ingeniería en ciencias de la computación de la Facultad de ciencias de la computación de la BUAP se les dificulta la comprensión, apropiación y aplicación de algunos conceptos abstractos del álgebra lineal como lo son los conceptos de vectores, rectas y planos en el espacio, a pesar de que se han limitado las demostraciones de teoremas y actualmente el trabajo en el aula se orienta a trabajar más con la aplicación de los resultados, el rendimiento académico estudiantil suele verse afectado lo cual tiende a desmotivar a los estudiantes, no obstante, la importancia del dominio de los conceptos propios del curso álgebra lineal con elementos de geometría analítica reside en sus aplicaciones en la disciplina computacional como lo son software de procesamiento de imágenes, animación por computadora, robótica y videojuegos por mencionar algunas. Una alternativa que se ha dado para facilitar el estudio de conceptos del álgebra lineal es la resolución de problemas y ejemplos con el apoyo de software matemático por ejemplo Matlab.

Preguntas de investigación

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra los estudiantes mejorarán su actitud y disposición hacia el aprendizaje del tema vectores, rectas y planos en el espacio?

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra se promoverá la creatividad, la exploración y la colaboración en el proceso de aprendizaje?

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra los estudiantes desarrollarán habilidades para aprender mejor algunos conceptos del tema rectas y planos en el espacio?

Objetivo General

Analizar el proceso de aprendizaje desde el punto de vista actitudinal y procedimental de un grupo de estudiantes del curso álgebra lineal con elementos en geometría analítica de la Ingeniería en ciencias de la computación de la BUAP, cuando se plantean actividades de aprendizaje para el tema vectores, rectas y planos en el espacio que incluyen el uso de recursos del software GeoGebra.

Objetivos Específicos

Indagar el estado emocional de los estudiantes en la realización de actividades de aprendizaje con GeoGebra para el tema vectores, rectas y planos en el espacio que incluyen el uso de recursos del software GeoGebra.

Analizar el comportamiento actitudinal de los estudiantes cuando en su proceso de aprendizaje en el tema vectores, rectas y planos en el espacio se incorporan los recursos de geometría dinámica de GeoGebra.

Premisa

Incorporar recursos del software GeoGebra en la enseñanza del tema vectores, rectas y planos en el espacio incide favorablemente en aspectos emocionales, actitudinales y procedimentales de los estudiantes.

Relevancia de la investigación

Parte del trabajo docente es motivar a los estudiantes a estudiar por sí mismos, a buscar respuestas, a que auto descubran su potencial, aunque la matemática sea muy demandante, pero puede llegarse a un punto donde se disfruta aprenderla, sobre todo si se aplica en un área de interés para su formación disciplinar. Como docente se debe promover el desarrollo de habilidades cognitivas: conceptualización, universalización, definición, clasificación y el pensamiento inductivo deductivo aplicando los distintos tipos de inteligencia: teórica, práctica y social (Barrio Maestre, 2009).

Con la intención de facilitarles su comprensión y posterior aplicación en la resolución de problemas propios de la disciplina computacional o áreas afines la propuesta es apoyarse en los recursos algebraicos y de la geometría dinámica del software GeoGebra para fomentar el cambio actitudinal y fortalecer su conocimiento procedimental con el diseño e implementación de actividades propias del tema.

Puede ser útil a otros docentes de matemáticas de las ingenierías ya que el álgebra lineal es un curso común a ellas y porque a los estudiantes les gusta construir objetos e interactuar con ellos además de que actividades semejantes también se pueden diseñar en otras asignaturas como son cálculo diferencial e integral y optimización, matemáticas discretas y redes, probabilidad y estadística y ciencia de datos, como puede observarse los temas son múltiples y de muy diversa índole sus aplicaciones.

3 Estrategia metodológica

En la investigación se abordarán tres aspectos que por experiencia en la docencia se ha notado que impactan de una forma favorable o desfavorable en el proceso de aprendizaje. El primero tiene que ver con el estado emocional de los estudiantes como son la motivación y el gusto por aprender, el segundo está relacionado con la cuestión actitudinal en este caso tiene que ver con la disposición a aprender y el tercero está relacionado con que el estudiante identifique formas de aprender mejor.

La investigación estará basada en el modelo cualitativo con un enfoque interpretativo dado que se indaga acerca de las emociones, sentimientos y pensamientos experimentados en el proceso de aprender las cuales son cuestiones subjetivas de cada estudiante. En este caso el modelo y enfoque corresponden a investigaciones del ámbito social (Miranda Beltrán & Ortiz Bernal, 2020).

Previo a la realización del estudio se informará a detalle a los estudiantes y se pedirá su consentimiento, enseguida se procederá al diseño e implementación de una actividad de aprendizaje del tema vectores, rectas y planos en el espacio y GeoGebra. El método que se utilizará es el de investigación acción participativa por las características que tiene de ser un proceso cíclico acción-análisis-reflexión-acción que permite la mejora de la práctica docente de acuerdo al estudio de (Elliott, 2015) proponiendo soluciones a los problemas de aprendizaje que se vayan detectando en cuanto se estén efectuando las actividades del tema vectores, rectas y planos en el espacio y GeoGebra, los estudiantes y docente participan activa y reflexivamente en el proceso en concordancia con (Botella Nicolás & Ramos Ramos, 2019) Mediante la observación participante por ser un medio muy valioso y como un primer acercamiento al objeto de estudio según lo enunciado en (López Falcón & Ramos Serpa, 2021) y usando para este fin una guía de observación elaborada con antelación se hará la recogida de información utilizando para este fin categorías previamente codificadas cómo se sugiere en (Campos y Covarrubias & Lule Martínez, 2013).

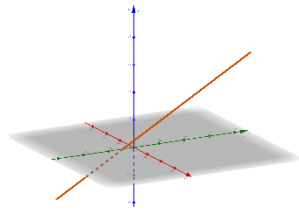
De acuerdo con el método investigación acción participativa en futuros trabajos se diseñarán una segunda y tercera actividad incorporando reflexiones y adecuaciones de acuerdo con la información recabada en la actividad previa.

Tabla 1. Categorías posibles

GeoGebra como un medio para motivar el aprendizaje de conceptos matemáticos	GeoGebra como un medio para transitar de lo concreto a lo abstracto	Potencial didáctico de GeoGebra
---	---	---------------------------------

Desarrollo

Conceptos matemáticos:



La ecuación vectorial de una recta en el espacio es

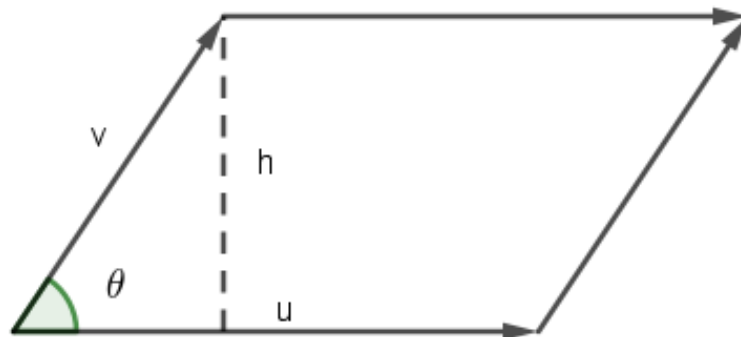
$$L : u = p + tv, t \in \mathbb{R}$$

Para cualesquiera vectores u, v en $\mathbb{R}^3$ se cumple que

$$\|u \times v\| = \|u\| \|v\| \sin \theta$$

donde θ es el ángulo entre u y v

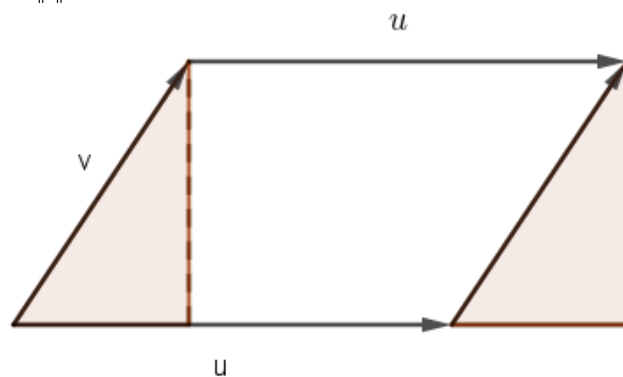
Una consecuencia del resultado enunciado es el área $A = \|u \times v\|$ del paralelogramo que generan los vectores u y v



Para deducir la fórmula de área del paralelogramo se parte de un resultado de trigonometría

$$\text{sen } \theta = \frac{h}{\|v\|}$$

$$h = \|v\| \text{sen } \theta$$



Se tiene que el área del paralelogramo generado por los vectores u y v es igual al área del rectángulo de lados las magnitudes de u y h .

$$\begin{aligned} \text{Área}_{\text{paralelogramo}} &= \|u\| h \\ &= \|u\| \|v\| \text{sen } \theta \\ &= \|u \times v\| \end{aligned}$$

Caso particular

$$\text{Área del triángulo generado por } u \text{ y } v \text{ es } A = \frac{1}{2} \|u \times v\|$$

Volumen de un paralelepípedo $V = |w \cdot (u \times v)|$ generado por los vectores u, v y w .

$$\begin{aligned}
 V &= A_{\parallel} \cdot h \\
 &= A_{\parallel} \cdot |proj_{u \times v} w| \\
 &= \|u \times v\| \cdot \left| \frac{w \cdot (u \times v)}{\|u \times v\|^2} u \times v \right| \\
 &= \|u \times v\| \cdot \frac{|w \cdot (u \times v)|}{\|u \times v\|^2} \cancel{\|u \times v\|} \\
 &= \cancel{\|u \times v\|} \cdot \frac{|w \cdot (u \times v)|}{\cancel{\|u \times v\|}} \\
 &= |w \cdot (u \times v)|
 \end{aligned}$$

A continuación, se muestran ejemplos resueltos por los estudiantes utilizando los recursos de GeoGebra. Problema de área de un paralelogramo, volumen de un paralelepípedo y volumen de un tetraedro

Un problema resuelto de cálculo del área de un paralelogramo

Calcule el área del paralelogramo determinado por los vectores que se indican.

11. $\begin{pmatrix} 1 \\ -3 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ -1 \end{pmatrix}$

Solución

$$u = (1, -3, 2)$$

$$v = (2, 2, -1)$$

$$A_{\blacksquare} = \|u \times v\|$$

$$u \times v = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 1 & -3 & 2 \\ 2 & 2 & -1 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} -3 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \hat{i} - \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \hat{j} + \begin{vmatrix} 1 & -3 \\ 2 & 2 \end{vmatrix} \hat{k}$$

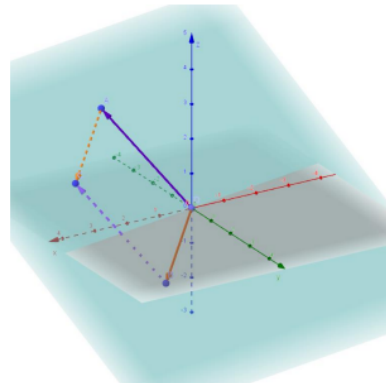
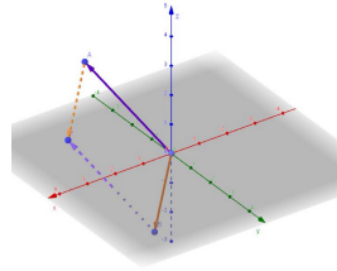
$$= (3-4)\hat{i} - (-1-4)\hat{j} + (2+6)\hat{k}$$

$$= -\hat{i} + 5\hat{j} + 8\hat{k}$$

$$u \times v = (-1, 5, 8)$$

$$\|u \times v\| = \sqrt{(-1)^2 + (5)^2 + (8)^2}$$

$$A_{\blacksquare} = 3\sqrt{10} \text{ unidades cuadradas}$$



Para graficar el paralelogramo en GeoGebra con lados adyacentes (vectores)

$$u = (1, -3, 2) \text{ y } v = (2, -1, 1)$$

Se declara los vectores u, v y $u + v$.

$$u = \text{Vector}(1, -3, 2)$$

$$v = \text{Vector}(2, 2, -1)$$

$$u + v$$

Se declaran los vectores trasladados paralelos a u y v

$Vector((1,-3,2),(3,-1-1))$ con punto inicial en u y final en $u + v$

$Vector((2,2,-1),(3,-1,1))$ con punto inicial en v y final en $u + v$

Disponible en el sitio <https://www.geogebra.org/m/jncepqnz>

Un problema resuelto del cálculo del volumen de un paralelepípedo

Ejercicio 18: Calcule el volumen del paralelepípedo con lados adyacentes $\vec{AC}, \vec{AB}$ y $\vec{AD}$.

$$A = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 3 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

$$\vec{AC} = C - A = (3, -1, 1) - (1, 2, 0)$$

$$C - A = (3-1, -1-2, 1-0)$$

$$= (2, -3, 1)$$

$$\vec{AB} = B - A$$

$$B - A = (2, 1, 2) - (1, 2, 0)$$

$$= (2-1, 1-2, 2-0)$$

$$= (1, -1, 2)$$

$$\vec{AD} = D - A$$

$$D - A = (2, 1, -1) - (1, 2, 0)$$

$$= (2-1, 1-2, -1-0)$$

$$= (1, -1, -1)$$

Utilizando: $|w * (u \times v)|$

$$\vec{AB} \times \vec{AC} = \begin{vmatrix} x & y & z \\ 1 & -1 & 2 \\ 2 & -3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$= \begin{vmatrix} -1 & 2 \\ -3 & 1 \end{vmatrix}, - \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 2 & -3 \end{vmatrix}$$

$$= ((-1) - (-6)), - (1-(4)), ((-3) - (-2))$$

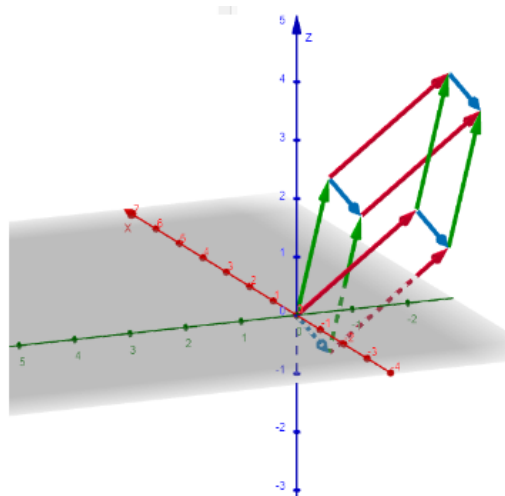
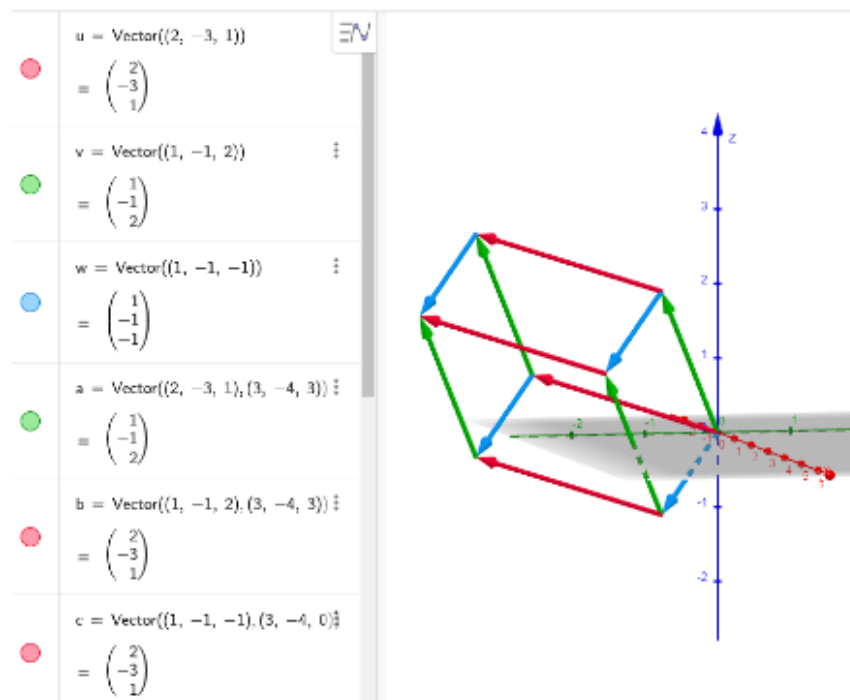
$$= (5, 3, -1)$$

$$|\vec{AD} * (\vec{AB} \times \vec{AC})|$$

$$= | (1, -1, -1) * (5, 3, -1) |$$

$$= | (5 - 3 + 1) | = | 3 | = 3$$

∴ El volumen del paralelepípedo es de 3 unidades cúbicas



Un problema resuelto del cálculo del volumen de un tetraedro (una sexta parte del volumen de un paralelepípedo)

Para construir en GeoGebra el paralelepípedo con lados adyacentes (vectores)

u, v y w .

Primero se construye la base declarando los vectores u y v .

$u = \text{Vector}(2, -3, 1)$

$v = \text{Vector}(1, -1, 2)$

$w = \text{Vector}(1, -1, -1)$

Para graficar los vectores trasladados paralelos a u y v , que serían la base del paralelogramo

$\text{Vector}((2, 3, -1), (3, -4, 3))$ con punto inicial en u y final en $u + v$

$\text{Vector}((1, -1, 2), (3, -4, 3))$ con punto inicial en v y final en $u + v$

Para graficar lo correspondiente a la altura del paralelogramo

$\text{Vector}((2, -3, 1), (3, -4, 0))$ con punto inicial en u y final en $u + w$

$\text{Vector}((1, -1, 2), (2, -2, 1))$ con punto inicial en v y final en $v + w$

$\text{Vector}((3, -4, 3), (4, -5, 2))$ con punto inicial en $u + v$ y final en $u + v + w$

Para graficar lo correspondiente a la cara paralela a la base

$\text{Vector}((1, -1, -1), (2, -2, 1))$ con punto inicial en w y final en $v + w$

$\text{Vector}((3, -4, 0), (4, -5, 2))$ con punto inicial en $u + w$ y final en $u + v + w$

$\text{Vector}((2, -2, 1), (4, -5, 2))$ con punto inicial en $v + w$ y final en $u + v + w$

Disponible en el sitio <https://www.geogebra.org/m/v4sjgsej>

$$V = \frac{1}{6} |(AB \times AC) \cdot AD|$$

$$AC = C - A = (1, -2, 1) - (1, 1, 0) = (0, -3, 1)$$

$$AB = B - A = (1, 1, 3) - (1, 1, 0) = (0, 0, 3)$$

$$AD = D - A = (3, 1, 1) - (1, 1, 0) = (2, 0, 1)$$

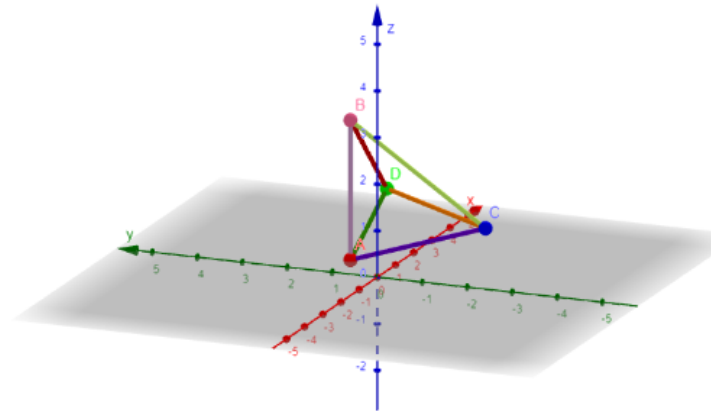
$$AB \times AC = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & 3 \\ 0 & -3 & 1 \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 3 \\ -3 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -3 \end{pmatrix} = (9, 0, 0)$$

$$|(AB \times AC) \cdot AD| = (9, 0, 0) \cdot (2, 0, 1) = 18$$

$$V = \frac{1}{6} |18| =$$

$$\frac{18}{6} =$$

El volumen del tetraedro es de= 3



A la par del trabajo algebraico la representación geométrica ilustra el concepto de área y volumen en el espacio.

Una vez concluida la actividad se realizó una encuesta con el grupo de estudiantes que por un lado permita aportar información a las preguntas de investigación planteadas y por el otro permita reflexionar acerca del proceso enseñanza aprendizaje llevado a cabo.

1. ¿Cómo te sientes en tu aprendizaje usando GeoGebra?

8 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	AURA CELESTE CRUZ SANTAMARIA	Agusto
2	MONICA JAZMIN TAPIA ZARATE	Al ser muy didáctica e interactiva me ayuda a mejor mi aprendizaje y mi atención
3	MIGUEL ANGEL BARRANCO ORTEGA	Cómodo, es una herramienta muy buena pero es retador luego ocuparlo.
4	FABRIZIO HERRERA LEMUS	Es una herramienta bastante útil, me cuesta un poco utilizarla, sin embargo ayuda bastante a comprender ciertos temas de manera más visual
5	JOSE MANUEL MARCOS ROJAS	Excelente, es una manera práctica de visualizar todos lo teórico de las matemáticas

2. ¿Cómo te sientes acerca de la interacción enseñanza-aprendizaje con GeoGebra?

8 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	AURA CELESTE CRUZ SANTAMARIA	es muy práctico
2	MONICA JAZMIN TAPIA ZARATE	La capacitación por parte del docente para utilizar el software es bastante beneficioso, me permite realizar con éxito mis actividades, del mismo modo me hace sentir mejor en la interpretación de las actividades propuestas
3	MIGUEL ANGEL BARRANCO ORTEGA	Es muy buena, aprendes más sobre cómo la parte numérica se ve en gráficos
4	FABRIZIO HERRERA LEMUS	Bastante cómodo

3. ¿Qué cambios hubo en tu forma de aprender con el apoyo de GeoGebra?

8 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	AURA CELESTE CRUZ SANTAMARIA	Me ha ayudado a visualizar mejor las rectas, los planos y dimensiones
2	MONICA JAZMIN TAPIA ZARATE	Ha mejorado mucho en la manera para interpretar las actividades/ejercicios propuestos
3	MIGUEL ANGEL BARRANCO ORTEGA	Mayor imaginación y mejor visualización de los datos
4	FABRIZIO HERRERA LEMUS	En que las cosas son más visuales, más sencillo gráficas y dar movimiento
5	JOSE MANUEL MARCOS ROJAS	Poder entender o visualizar problemas que tal ves no entendía el porqué o que hacía el resultado generado

4. ¿Alguna sugerencia para tu aprendizaje usando GeoGebra?

7 Respuestas

ID ↑	Nombre	Respuestas
1	AURA CELESTE CRUZ SANTAMARIA	Explicar un poco más detallado sobre las funciones que tiene geogebra al momento de graficar
2	MONICA JAZMIN TAPIA ZARATE	Seguir implementando más el software, explorar acerca de las funciones que contiene GeoGebra, más actividades que nos den un acercamiento a las ciencias de la computación
3	MIGUEL ANGEL BARRANCO ORTEGA	Trabajar en equipos en clase, donde se ponga un ejercicio desafiante y se tenga que buscar hacer la parte numérica y el gráfico interactivo
4	FABRIZIO HERRERA LEMUS	No depender tanto de su uso, ya que en exámenes o sin tecnología de repente nos acostumbramos
5	LUIS DAVID MORANTE	Que al inicio de una introducción exclusivamente a GeoGebra, en el cual enseñen para que es cada apartado y que tipo de acciones se pueden realizar

De los trabajos recibidos, junto con la observación recabada de la encuesta se procedió a dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas.

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra los estudiantes mejorarán su actitud y disposición hacia el aprendizaje del tema rectas y planos en el espacio?

Se puede inferir que los estudiantes consideran al software GeoGebra como una herramienta muy útil, pues les facilita la comprensión de conceptos gracias a la visualización de estos, es entretenido y retador. Les gustaría estar más familiarizados con el software.

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra se promoverá la creatividad, la exploración y la colaboración en el proceso de aprendizaje?

De las respuestas obtenidas, favorece la exploración y las nociones espaciales, así como la interpretación de la información.

¿Con las actividades planteadas con GeoGebra los estudiantes desarrollarán habilidades para aprender mejor algunos conceptos del tema rectas y planos en el espacio?

De sus respuestas sobresale el reforzamiento visual que aporta GeoGebra para aprender y comprender conceptos abstractos del tema.

4 Conclusiones

Es de notar el potencial didáctico que proporciona GeoGebra en el proceso de enseñanza del tema vectores, rectas y planos en el espacio. Calcular el área, volumen o la determinación de rectas y planos en el espacio satisfaciendo determinados requerimientos, se resuelve de manera algebraica pero lo valioso es la construcción que hace cada estudiante en el software GeoGebra para la representación de conceptos lo cual incide favorablemente en aspectos actitudinales y procedimentales en su aprendizaje.

Referencias

- Acerca de GeoGebra. (2002). ¿Qué es GeoGebra? GeoGebra. <https://www.geogebra.org/about>
- Barrio Maestre, J. M. (2009). Dimensiones del crecimiento humano. *Educación Y Educadores*, 10(1), 117–134.
- Bayaga, A. (2024). GeoGebra, a Dynamic Software for Conceptual Understanding and Visualisation-Multidirectionality of Influence. *South African Journal of Higher Education*, 38(3), 9–28. <https://doi.org/10.20853/38-3-6363>
- Biggs, J. (2010). *Calidad del aprendizaje universitario* (1st ed., Vol. 1). ANUIES.
- Botella Nicolás, A. M., & Ramos Ramos, P. (2019). Investigación-acción y aprendizaje basado en proyectos. Una revisión bibliográfica. *Perfiles Educativos*, 41(163), 127–141. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982019000100127&lng=es&tlng=es
- Caligaris, M. G., Elena Schivo, M., & Romiti, M. R. (2016). An attempt to reduce learning difficulties in Linear Algebra courses. *International Journal of Learning and Teaching*, 8(2). <https://doi.org/10.18844/ijlt.v8i2.528>
- Campos Nava, M., Torres Rodríguez, A., & Morales Maure, L. (2021). Geogebra as a means to identify patterns in linear algebra class: A concrete proposal. *Universidad y Sociedad*, 13(2).

- Campos y Covarrubias, G., & Lule Martínez, N. E. (2013). La observación, un método para el estudio de la realidad. <https://doi.org/10.37646/xihmai.v7i13.202>
- Elliott, J. (2015). Educational Action Research as the quest for virtue in teaching. *Educational Action Research*, 23(1), 4–21. <https://doi.org/10.1080/09650792.2014.994017>
- FCC. (2017, March 30). Plan de estudio de la Ingeniería en Ciencias de la Computación. Secretaría Académica. <https://www.cs.buap.mx/~secreacademica/Planes/ContenidosMum/ICCSEM18/ALGREBRA%20LINEAL%20CON%20ELEMENTOS%20GEO%20ICCS%20003%20.docx.pdf>
- Havelková, V. (2013). Geogebra in teaching linear algebra. *Proceedings of the European Conference on E-Learning, ECEL*.
- Hodovaniuk, Tetiana. , M. Tetiana. , T. Irina. , V. Daria. , & D. Vitalii. (2021). Use of the Dynamic Mathematical Program of GeoGebra in Classes in Mathematical Disciplines in the Conditions of Blended Learning. *CEUR Workshop Proceedings*, 3104, 77–86.
- Lee, S.-G., Jang, J.-E., & Kim, K.-W. (2013). Visualization of Linear Algebra concepts with Sage and GeoGebra. *Communications of Mathematical Education*, 27(1). <https://doi.org/10.7468/jksmee.2013.27.1.001>
- López Falcón, A. L., & Ramos Serpa, G. (2021, September). Acerca de los métodos teóricos y empíricos de investigación: significación para la investigación educativa. *Revista Conrado*, 17, 22–31. <https://orcid.org/0000-0003-3172-555X>
- Miranda Beltrán, S., & Ortiz Bernal, J. A. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 11(21). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.717>
- Rodas Pacheco, F. D., & Pacheco Salazar, V. G. (2020). Grupos Focales: Marco de Referencia para su Implementación. *INNOVA Research Journal*, 5(3), 182–195. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n3.2020.1401>
- Sarmiento Saavedra, J. , T. V. E. , C. P. R. , & M. O. A., Sarmiento Saavedra, J., Tuarez Vera, E., Celi Parraga, R., & Mora Oliveira, A. (2024). GEOGEBRA EN EL APRENDIZAJE VIRTUAL DE LA MATEMÁTICA. In *TSED'D Revista de investigación científica* (Vol. 7, pp. 1–18). <https://doi.org/10.60100/tsede.v7i1.199>
- Ziatdinov, R., & Valles, J. R. (2022). Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. In *Mathematics* (Vol. 10, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/math10030398>

Capítulo 10

Uso de un Simulador para el Mejoramiento del Aprendizaje en Sistemas Operativos: VIDIMESI

Gerardo Martínez García¹, Leonardo Fuentes Bueno², Carmen Cerón Garnica³

^{1,2,3} Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

gerardomg119@gmail.com, lb200208@gmail.com,
carmen.ceron@correo.buap.mx

Resumen. En la carrera Ciencias de la Computación, los estudiantes deben aprender sobre los sistemas operativos. Existen temas muy abstractos como el funcionamiento de la gestión de memoria. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un simulador interactivo de la gestión de memoria para apoyar en el aprendizaje a los estudiantes. La investigación utilizó la metodología cuantitativa con un diseño pre-experimental; se aplicó una encuesta autoevaluativa y se realizó una prueba de funcionalidad e inspección del simulador a 36 estudiantes de la asignatura. Los resultados del estudio demuestran que el uso del simulador tuvo un impacto positivo significativo en el aprendizaje de los estudiantes ya que el proceso de asimilación del tema con el simulador mejoró el nivel de aprovechamiento. Finalmente, los simuladores educativos contribuyen a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y la formación de estudiantes en temas abstractos.

Palabras Clave: administración de memoria, aprendizaje, simulador, sistemas operativos.

1 Introducción

En cualquier campo de la ciencia, comprender el funcionamiento de los sistemas es fundamental para el avance del conocimiento y la aplicación práctica, esto sucede también, en las ciencias computacionales, donde entender los mecanismos internos de los sistemas es crucial para desarrollar software eficiente y optimizar el uso de los recursos disponibles. Sin embargo, la complejidad que conllevan estos sistemas frecuentemente representa un desafío a quien desea formarse en una carrera en cualquier rama de las ciencias computacionales.

Dentro de todo el espacio de las áreas que forman a las ciencias computacionales, se encuentran los sistemas operativos. Los sistemas operativos son la capa de software que

manejan y administran los recursos y componentes disponibles del hardware en el que se encuentran (Tanenbaum, 2009).

Los sistemas operativos más conocidos por toda la población mundial se enfocan en permitir interactuar con la computadora a través de una interfaz gráfica, este enfoque ha logrado que puedan ser manejados por usuarios con poca o nula experiencia o formación técnica o profesional en cualquier campo de la ciencia.

Actualmente la tecnología se aplica para resolver y ayudar a situaciones cotidianas, y en el campo de la educación, es necesario incluir para ayudar a los procesos de enseñanza-aprendizaje como son los simuladores educativos.

Una de las complicaciones de aprender son las situaciones abstractas que son aquellos conceptos o eventos que no se refieren a objetos concretos ni tangibles siendo más difíciles de comprender ya que se basan en ideas, principios o generalizaciones. Tal como las matemáticas, que cuando se requiere resolver una ecuación no implica manipulación directa de objetos pero si la relación numérica y simbólica en representación de objetos, etc., en la computación también existen temas abstractos y requieren un entendimiento conceptual como los sistemas operativos.

Con base a lo anterior, es oportuno incorporar nuevas estrategias para lograr un aprendizaje más sólido y duradero en los estudiantes. Aquí entra la propuesta del uso de simuladores que incluyan interfaz gráfica. Se han demostrado en varios estudios que el uso de los simuladores impulsa el aprendizaje sobre determinados temas o áreas de los usuarios que los utilizan (Pacheco, 2021), (Trujillo 2023). En esta investigación, se presenta el simulador “ViDiMeSi” como una herramienta educativa y didáctica para apoyar y mejorar el aprendizaje del tema de administración de memoria en sistemas operativos.

El objetivo de este trabajo de investigación es desarrollar un simulador interactivo de la gestión de memoria para apoyar el aprendizaje de los estudiantes de la asignatura de sistemas operativos.

El documento está estructurado de la siguiente manera: En la sección 2, se presenta estado del arte. En la sección 3, se define la metodología y diseño de la aplicación. En la sección 4, se muestran los resultados de la investigación y finalmente en la sección 5, se presentan las conclusiones y perspectiva de esta investigación.

2 Preliminares

2.1 Estudios relacionados con simuladores interactivos en Sistemas Operativos

Según Stallman, R. (1986), desarrollo una herramienta de depuración para analizar detenidamente el estado de la memoria de un programa en ejecución. El simulador se enfoca en observar el comportamiento de un programa al ser ejecutado y qué sucede dentro de este. También existe otro trabajo llamado “Valgrind” desarrollado por Seward, J. (2002), el cual actualmente incluye siete productos de calidad de producción herramientas: un detector de

errores de memoria, dos detectores de errores de subprocesos, una caché y un perfilador de predicción de sucursales, un call-graph que genera caché y perfilador de predicción de sucursales y dos perfiladores de montón diferentes. Este no es un simulador, sino una herramienta, ayuda a buscar archivos que tengan error en la memoria, fugas de memoria, errores de asignación entre otros. Es una herramienta muy usada por programadores y personas en el área de ciberseguridad, sin embargo, para el propósito de aprendizaje del tema en el que se enfoca esta investigación, puede resultar muy abrumador y complejo.

Por otra parte, SimSO (Chéramy et al., 2013) tiene una interfaz gráfica, simula el comportamiento de la memoria con las diferentes políticas, muestra diferentes ilustraciones de comportamiento como las listas ligadas. Es muy buen simulador para adentrarse en el tema de memoria, sin embargo, es complicado de entender, no tiene mucha información en su documentación y se debe buscar en foros ya que por el momento el código no está disponible en su página.

Con todo lo anterior, para abordar la problemática planteada se ha desarrollado un simulador personalizado de nombre “ViDiMeSi”, para facilitar la comprensión de los conceptos de gestión de memoria. Este simulador ofrece una representación gráfica y práctica de las formas dinámica y paginada que los sistemas operativos usan para gestionar la memoria, y permite a los estudiantes experimentar con diferentes escenarios memoria contigua y virtual.

3 Materiales y método

La metodología de la investigación utilizada fue cuantitativa, diseño preexperimental, con una muestra de 30 estudiantes, se le realizó la intervención educativa mediante el uso del simulador. Se describen los procedimientos específicos utilizados para el desarrollo, implementación y uso del simulador de gestión de memoria en el para la enseñanza y refuerzo del aprendizaje.

3.1 Desarrollo del Simulador

- Selección de Conceptos Clave: Se identificaron los conceptos fundamentales de la gestión de memoria dinámica contigua y virtual paginada. Todos los conceptos seleccionados serán cubiertos por el simulador.
- Diseño y Programación: El simulador fue desarrollado utilizando el lenguaje de programación Java, con ayuda del entorno de desarrollo integrado “NetBeans IDE 17”, seleccionado por su facilidad para crear interfaces gráficas.
- Pruebas y Validación: Antes de su implementación y presentación en el aula, el simulador fue sometido a pruebas preliminares para asegurar su funcionalidad y precisión, así como evitar errores y comportamientos no intencionados.

3.2 Intervención educativa en el aula

- Selección del grupo de estudiantes: Se tomó a un grupo de 36 estudiantes de la materia de “Sistemas Operativos II”, mientras estaban abordando el tema especificado.
- Encuesta Inicial: Se administró una encuesta inicial para evaluar el nivel de conocimiento que los estudiantes creían tener previo a la presentación del simulador en forma de una autoevaluación.
- Presentación: Durante un periodo de 4 sesiones, se presentó ael grupo de estudiantes el uso simulador y algunos escenarios para ilustrar la forma en que el sistema gestiona la memoria. Al mismo tiempo se repasaban brevemente los conceptos que estaban siendo mencionados. Después, los estudiantes usaron el simulador libremente, pudieron manipular los parámetros y ver los resultados de sus simulaciones y acciones. Ver Figura 1.

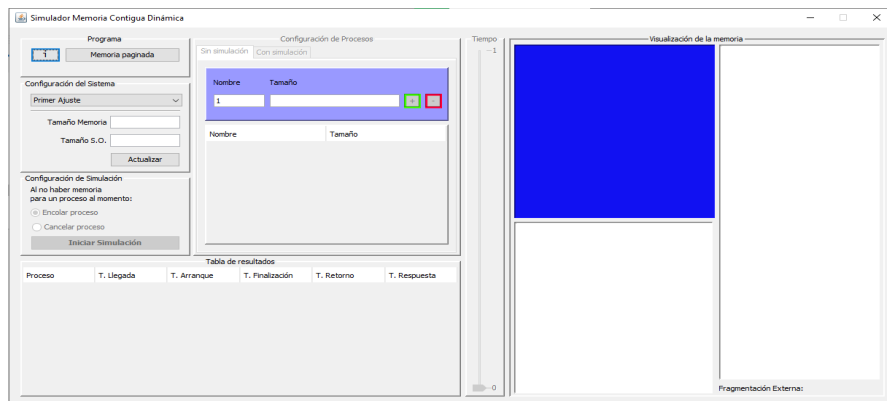


Fig. 1. Interfaz en funcionamiento del simulador.

Fuente: elaboración propia

3.3 Recopilación de Datos

Se analizaron las respuestas de la encuesta inicial para determinar en qué conceptos es donde hay deficiencias de comprensión y entendimiento. A cada respuesta se le asignó un valor de puntos, siendo la respuesta "Lo sé perfectamente" un valor de 3 puntos, a "Sí, aunque no del todo bien" un valor de 2 puntos, a "Tengo una idea vaga de cómo podría funcionar" un valor de 1 punto y "No tengo idea" un valor de 0 puntos. Se recopilieron datos cualitativos a través de observaciones y comentarios de los estudiantes sobre su experiencia con el simulador. Entre estas, se incluían sus impresiones, la utilidad que les proporcionó para mejorar la comprensión de los temas, así como sugerencias para mejorar el simulador.

4 Resultados

Los resultados obtenidos después de la intervención educativa y aplicar el Postest se muestra a continuación:

4.1 Encuesta inicial

Los resultados de las preguntas de la encuesta autoevaluativa. La primera pregunta solicitaba a los estudiantes que se evaluaran lo aprendido sobre la administración de memoria en general. Véase la Fig. 6., el puntaje revela que el dominio de conocimientos es del 61% en los estudiantes.

Pasando a temas más específicos de la gestión de memoria, las dos siguientes preguntas fueron iguales a la primera pregunta, pero estas mencionaban específicamente acerca de la administración de memoria dinámica y acerca de administración de memoria virtual respectivamente. En la Fig. 7, inciso a) y b). Efectuando el cálculo del puntaje, se observa el dominio del 61% en el caso de la memoria dinámica y de 59% en el caso de la memoria virtual.



Fig. 6. Pregunta ¿Sabes o tienes alguna idea de cómo el sistema operativo administra la memoria del equipo?

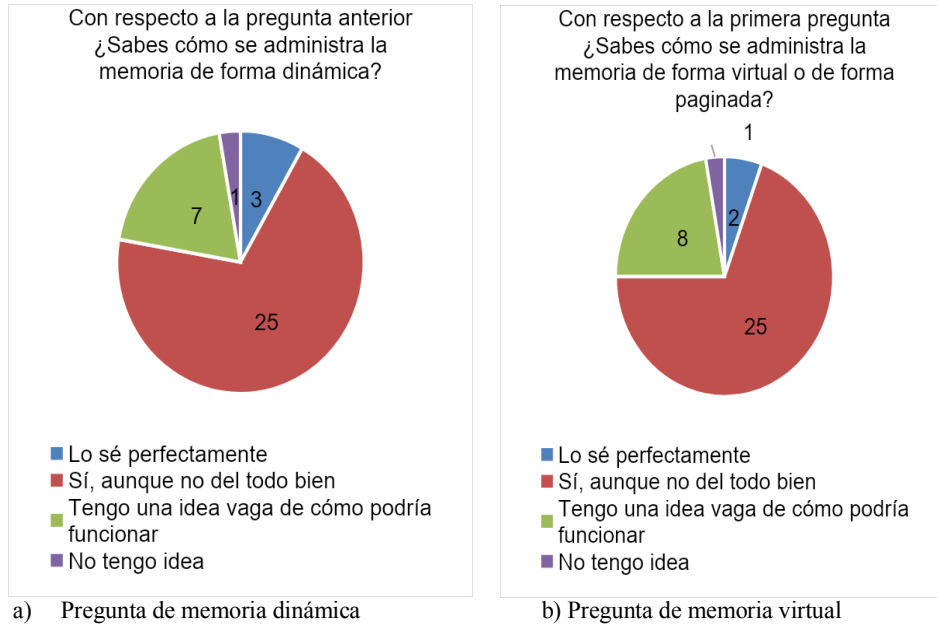


Fig. 7. Conteo de la pregunta “¿Sabes cómo se administra la memoria de forma X?”.

La siguiente pregunta solicitaba a los estudiantes que respondieran si podrían mencionar las políticas para administrar la memoria de forma dinámica. Los resultados demuestran que 34% estudiantes respondieron afirmativamente, un 53% con una respuesta parcial y 13% respondieron negativamente. Tal como muestra la Figura 8.

De forma similar, la siguiente pregunta solicitaba responder si los estudiantes podrían mencionar las políticas que usa el sistema operativo al administrar la memoria de forma paginada. Véase la Fig. 9. Se obtuvo una seguridad del 38%, 2% menor a la pregunta anterior.

Así mismo, se incluyó una pregunta adicional: “¿Crees que pudieras comprender mejor lo anterior si se mostrara de forma gráfica?”, a la cual, 28 de los 36 estudiantes respondieron afirmativamente, mientras que los 8 restantes respondieron que no estaban seguros, y ninguno respondió negativamente.

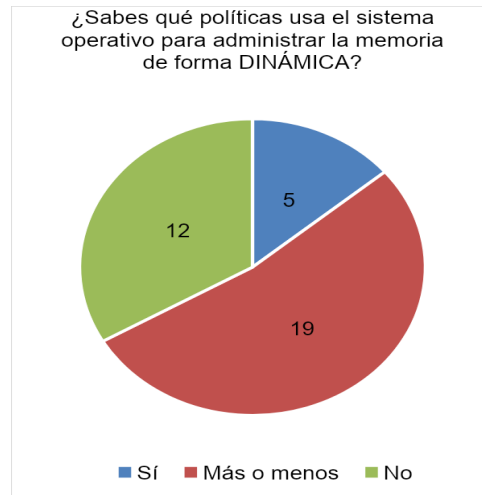


Fig. 8. Pregunta “¿Sabes qué políticas usa el sistema operativo para administrar la memoria de forma DINÁMICA?”

Fuente: elaboración propia

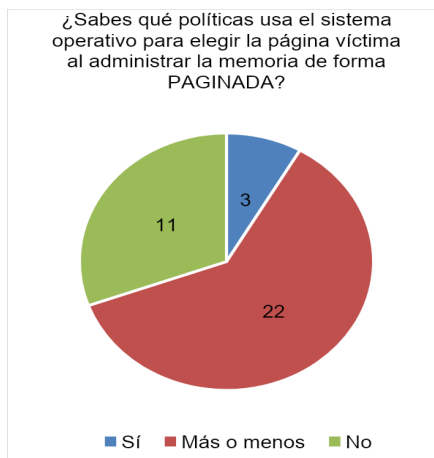


Fig. 9. Pregunta “¿Sabes qué políticas usa el sistema operativo para elegir la página víctima al administrar la memoria de forma PAGINADA?”

Al realizar su prueba final los estudiantes obtuvieron las siguientes calificaciones, ver Figura 10, siendo resultados muy satisfactorios con un promedio de 9.1 en la asignatura.

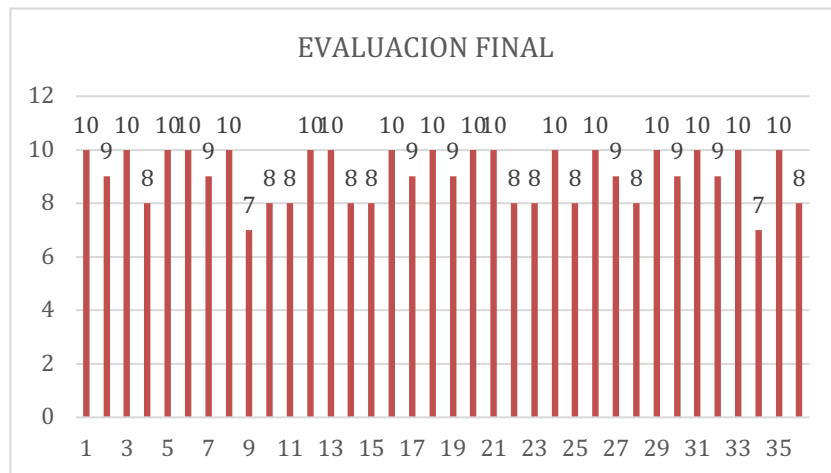


Fig. 9. Pregunta

5 Discusión y hallazgos

Con los resultados de la encuesta, se puede notar una menor comprensión sobre el tema de memoria virtual o paginada. Esto sugiere que, para próximas intervenciones y versiones del simulador, se debe llevar a cabo una mayor atención en este tema.

Tras la implementación del simulador con interfaz gráfica en el aula, los estudiantes mostraron mayor interés, identificaron mejor los conceptos previamente revisados con el uso de la herramienta y lograron comprender lo que sucedía en los distintos escenarios de las simulaciones presentadas. Los comentarios recopilados de los estudiantes indicaron que la herramienta ayudó a mejorar su comprensión de la teoría, y a encontrar y corregir concepciones erróneas que tenían, lo que aumentó su confianza para resolver problemas relacionados con la gestión de memoria.

Cabe mencionar que este estudio tiene varias limitaciones. La muestra de estudiantes fue pequeña y la duración del uso de simulador estuvo limitada a cuatro sesiones. Así también, los estudiantes al trabajar con el simulador, los escenarios abstractos fueron presentados con mayor claridad y se mostraron más interesados en aprender y mejorar su entendimiento.

6 Conclusiones

Después de aplicar la metodología descrita con un grupo de alumnos y obtener resultados positivos en la mejora de su aprendizaje, se concluye que los simuladores son herramientas efectivas para enseñar temas abstractos en sistemas operativos, como lo fue para este caso, sobre la gestión de memoria.

Los resultados de esta investigación demuestran que la interacción práctica con simuladores no solo hace que el aprendizaje sea más accesible, sino que también promueve un entendimiento más profundo de los conceptos abstractos. No obstante, el aprendizaje no está dado por el uso exclusivo del simulador, pues sólo es una herramienta que ayuda a reforzar los conceptos y teoría que deben ser concebidos y revisados previo a su manejo.

La aplicación y uso de los simuladores como herramientas de apoyo a los programas educativos, mejorarían el aprendizaje de los estudiantes y en efecto, también su desempeño académico, lo cual confirma que los simuladores interactivos son herramientas que facilitan la construcción de saberes que conlleven a la exploración de conceptos teóricos de manera práctica al resolver problemas mediante escenarios o casos planteados a los estudiantes.

El trabajo a futuro, se propone explorar el impacto del simulador en una muestra mayor de diferentes programas e instituciones educativas y evaluar el aprendizaje y su desempeño académico de los estudiantes mediante pruebas teóricas y prácticas, así como ampliar el uso de simuladores a más temas y otros campos.

Referencias

- Stallman, R. (1986). *GDB: The GNU Project Debugger*. Recuperado de <https://www.sourceware.org/gdb/>.
- Pacheco, A. R. (2021). "Uso de simuladores phet para el aprendizaje del concepto de soluciones desde las representaciones en química", *Redipe*, pp. 201-2013.
- Maxime Chéramy, Anne-Marie Déplanche, Pierre-Emmanuel Hladik. Simulation of Real-Time Multiprocessor Scheduling with Overheads (Jul, 2013) *International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications* (SIMULTECH 2013), Reykjavik, Iceland. pp. 5-14. Recuperado de <https://hal.science/hal-00815502v1>
- Tanenbaum, A.S. (2009). *Sistemas operativos modernos*. (A.V. Romero Elizondo, Trad.). México: Pearson Educación.

Trujillo, W.M. (2023). “Eficiencia de los simuladores virtuales en la competencia de indagación para el aprendizaje de física elemental”, TELOS: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales, pp. 459-476.

Seward, J. (2002). *Valgrind home*. Recuperado de home. <https://valgrind.org/>.

7 Apéndice

El simulador ViDiMeSi, mismo que usaron los estudiantes evaluados, está disponible para su descarga con el código QR en la figura 10. El simulador funciona con Java 16 y fue probado en computadoras con el sistema operativo Windows 10.



Fig. 10. Código QR para descargar el simulador ViDiMeSi ©

Fuente: elaboración propia

Capítulo 11

Análisis del nivel de adaptabilidad educativa online utilizando data warehouse y aprendizaje automático

Carlos Andrés Martínez González¹, Brandon Erik Quiñones Baez², María Josefa Somodevilla García³

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
^{1,2,3} Facultad de Ciencias de la Computación

mg223470496@alm.buap.mx, qb223470499@alm.buap.mx,
maria.somodevilla@correo.buap.mx

Resumen. En esta investigación, se llevó a cabo el análisis del nivel de adaptabilidad de los estudiantes de educación en línea, con un conjunto de registros de una población de Bangladesh. Asimismo, se emplearon diversos métodos de extracción de datos para obtener la información necesaria con la ayuda de software especializado para crear cubos multidimensionales para posteriormente aplicar técnicas de aprendizaje automático como son agrupamiento y clasificación. Se considera que este modelo puede ser aplicable a la población estudiantil en México para evaluar y fortalecer la educación en línea.

Palabras Clave: Nivel de adaptabilidad, educación en línea, data warehouse, aprendizaje automático.

1 Introducción

En La educación en línea ha experimentado un auge significativo en los últimos años, especialmente debido a la pandemia de COVID-19 ¹. Este cambio ha planteado nuevos desafíos y oportunidades para comprender y mejorar la experiencia de aprendizaje de los estudiantes en entornos virtuales. En este contexto, resulta crucial analizar el nivel de adaptabilidad de los estudiantes con enfoque en la educación en línea, para que de esa forma se identifiquen factores que influyen en su éxito y desarrollar estrategias de apoyo adecuadas.

¹ El COVID-19 es una enfermedad causada por un virus denominado SARS-CoV-2. La OMS tuvo conocimiento por primera vez el 31 de diciembre de 2019, tras la notificación de un conglomerado de casos de la llamada neumonía viral, ocurridos en Wuhan (República Popular China). <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19>

Por lo tanto, la prioridad de esta investigación es analizar el nivel de adaptabilidad de los estudiantes en la educación en línea utilizando técnica de minería de datos. Para ello, se utilizó el conjunto de datos "Students Adaptability Level in Online Education" disponible en Kaggle (Wikipedia, 2024) (Suzan, 2021) empleando diversas herramientas como los cubos de datos, diagramas de Draw.io así como el software Weka (Wikipedia, 2024) para minería de datos y Python (van Rossum, 1991) para la ejecución de algoritmos de aprendizaje automático. Además, se hace uso de motores de bases de datos como SQL server y MySQL para la gestión de bases de datos.

2 Trabajos relacionados

Para tener un contexto más acertado del trabajo de la minería de datos y su importancia en el estudio de la educación en línea; existen referencias como en el artículo de Félix Castro (Castro et al., 2007), donde se menciona la situación acerca de las aplicaciones de métodos de minería de datos en el ámbito del e-learning². En este artículo, se describe como estas dos áreas están comenzando a integrarse, así como las técnicas de modelado recomendadas y los tipos de problemas de minería de datos que se aplican en el e-learning, como la clasificación de estudiantes, la detección de comportamientos de aprendizaje irregulares, tan sólo por mencionar algunos.

Otro punto de vista importante es el de Khan y Ghosh (Khan & Ghosh, 2020), donde enfatizan la importancia de comprender los factores que influyen en el rendimiento estudiantil y la necesidad de desarrollar métodos de predicción precisos, tanto antes como después de inicio de cursos. En la investigación, destacan la utilización de herramientas como Mendeley y Google Scholar para organizar y buscar la información relevante para su investigación, así como las recomendaciones sugeridas para continuar recopilando datos relevantes.

Asimismo, el artículo de Hark (Hark et al., 2022), se llevó a cabo un estudio del nivel de adaptabilidad estudiantil, donde se examinaron los factores que afectan el éxito en el aprendizaje en línea en función de variables demográficas. Para ello se usó el conjunto de datos de acceso abierto "Students Adaptability Level in Online Education" y técnicas de minería de datos, tales como las reglas de asociación³. Se obtuvieron resultados significativos que pueden guiar la creación de planes educativos adaptados a las características demográficas de los estudiantes en programas de educación en línea.

De acuerdo con la perspectiva de los autores Al-Rawahnaa y Al Hadid (Al-Rawahnaa & Al Hadid, 2020), la minería de datos en la educación no solo ayuda a predecir y mejorar

² El e-learning, también conocido como aprendizaje online, es un enfoque educativo que utiliza tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para brindar contenido educativo a través de plataformas en línea. <https://editorialelearning.com/blog/que-es-elearning/>

³ El aprendizaje de reglas de asociación es una técnica para descubrir la relación entre varios elementos, elementos o diversas variables en una base de datos muy grande <https://www.tecnologias-informacion.com/reglasasociacion.html>

el rendimiento estudiantil, sino que al mismo tiempo permita a las instituciones educativas desarrollar estrategias más efectivas y centradas en los estudiantes. La minería de datos aplicada a este sector tiene un impacto significativo y útil, ya que esta tecnología se aplica de diversas formas para mejorar los procesos educativos y los resultados de los estudiantes a través de herramientas como la predicción y clasificación, solo por citar algunos ejemplos.

Es por ello que es importante la minería de datos para aclarar las actividades de los docentes en cuanto a educación virtual se refiere. García y Mateos (García Sánchez & Gil Mateos, 2023) señalan diversas técnicas como el clustering ⁴, la predicción y clasificación; así como el análisis de redes sociales para evaluar el rendimiento académico de la población estudiantil, así como su adaptabilidad a nuevas tecnologías.

Este tipo de análisis podrían aplicarse en países como México, donde la educación virtual ha sido de vital importancia partiendo de los sucesos de la pandemia por COVID-19. En marzo de 2020, el Instituto Politécnico Nacional (Jiménez Galán et al., 2021) investigó cómo los docentes adaptaron sus clases a la educación en línea y los principales desafíos que enfrentaron. Como resultado, se identificaron áreas clave de mejora en la planificación y los materiales de enseñanza que involucran el uso de la tecnología, así como en la capacitación adecuada de los docentes, con el objetivo de fomentar una mayor adaptabilidad en el aprendizaje en línea.

En la Revista Mexicana de Oftalmología del 2022 (Santa-Cruz-Pavlovich et al., 2022), se realizó un estudio sobre el impacto de la educación en línea, iniciada durante la pandemia, en la frecuencia y gravedad de la enfermedad del ojo seco (EOS) entre universitarios. Se observó que el tiempo de exposición a pantallas aumentó significativamente desde el inicio de los cursos en línea, lo que condujo a un empeoramiento de los síntomas de EOS. Este empeoramiento fue más notable en mujeres y se relaciona con el tiempo frente a la pantalla. Además, estos hallazgos sugieren que el tiempo de exposición podría ser un factor adicional a considerar en la adaptabilidad de los estudiantes, desde una perspectiva médica.

La economía actual demanda habilidades crecientes en el uso de herramientas tecnológicas, mientras que en los hogares dispositivos como computadoras, smartphones e internet se están convirtiendo en equipamiento básico, junto con el teléfono y la televisión. Para medir el acceso y uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), el INEGI ha implementado desde el 2001 el Módulo sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (MODUTIH), que desde 2015 evolucionó en la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) (INEGI, 2017).

⁴ El clustering es una técnica para encontrar y clasificar K grupos de datos (clusters). Así, los elementos que comparten características semejantes estarán juntos en un mismo grupo, separados de los otros grupos con los que no comparten características. <https://estrategiastrading.com/k-means/>

3 Metodología

Para realizar el análisis de la información del nivel de adaptabilidad de los estudiantes, la metodología propuesta es la siguiente:

1. Recolectar y preprocesar la información, donde se descargará el conjunto de datos proveniente de Kaggle.
2. Explorar los datos obtenidos a través de herramientas que van desde la creación de un cubo de datos, hasta la visualización de graficas para su comprensión.
3. Aplicar técnicas de agrupamiento y clasificación a través de programas en Python para identificar patrones ocultos en los datos y obtener información relevante sobre los factores que influyen en el nivel de adaptabilidad de los estudiantes.
4. Analizar y comparar los resultados obtenidos de cada uno los algoritmos para determinar mejoras posibles.

Derivado de la metodología es necesario el apoyo de tecnologías especializadas, por lo tanto, las herramientas necesarias para realizar este análisis de nivel de adaptabilidad en estudiantes de son las siguientes: Kaggle, Draw.io, SQL server, MySQL, ADAMS (Weka) y Python.

4 Preprocesamiento de datos

Como primera instancia, se debe obtener el conjunto de datos para crear el almacén de datos (data warehouse) por su denominación en inglés, el cual, al ser un sistema centralizado de almacenamiento de información, facilita el análisis y la generación de informes. Tomando en cuenta lo anterior, las razones para crear el almacén de datos, puede resumirse en:

1. Toma de decisiones informadas.
2. Análisis histórico y tendencias.
3. Mejora en la calidad de los datos.
4. Eficiencia en la generación de informes y soporte para BI (Business Intelligence).

Considerando las razones anteriores, un extracto de los datos utilizados para construir el almacén de datos se muestra en la Tabla 1. Cabe señalar que los atributos: Load shedding hace referencia al deslastre de carga para los dispositivos de aprendizaje y evitar su deterioro, Location indica si el estudiante pertenece a una zona rural, IT Student refiere a que, si el estudiante pertenece a área de Tecnología de la Información, así como Self LMS quiere decir si la escuela tiene su propio sistema de gestión del aprendizaje para la educación en línea.

Gender	Age	EducationLevel	InstitutionType	ITStudent	Location	Load-	FinancialCond	InternetType	Network	ClassDuration	SelfLMS	Device	AdaptivityLevel
--------	-----	----------------	-----------------	-----------	----------	-------	---------------	--------------	---------	---------------	---------	--------	-----------------

						shed ding							
Boy	21-25	University	Non Government	No	Yes	Low	Mid	Wifi	4G	3-6	No	Tab	Moderate
Girl	21-25	University	Non Government	No	Yes	High	Mid	Mobile Data	4G	1-3	Yes	Mobile	Moderate
Girl	16-20	College	Government	No	Yes	Low	Mid	Wifi	4G	1-3	No	Mobile	Moderate
Girl	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Mid	Mobile Data	4G	1-3	No	Mobile	Moderate
Girl	16-20	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Mobile Data	3G	1-3	No	Mobile	Low
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Mobile Data	3G	1-3	No	Mobile	Low
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Wifi	4G	0	No	Mobile	Low
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Wifi	4G	0	No	Mobile	Low
Boy	16-20	College	Government	No	Yes	Low	Mid	Wifi	4G	1-3	No	Mobile	Moderate
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Mobile Data	3G	1-3	No	Mobile	Low
Girl	16-20	University	Non Government	No	Yes	Low	Mid	Wifi	4G	1-3	No	Mobile	Low
Girl	16-20	College	Non Government	Yes	Yes	Low	Mid	Mobile Data	4G	1-3	No	Mobile	Moderate
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Mid	Wifi	4G	1-3	No	Mobile	Low
Girl	16-20	College	Non Government	No	Yes	Low	Mid	Mobile Data	3G	1-3	No	Mobile	Moderate

Girl	11-15	School	Non Government	No	Yes	Low	Poor	Mobile Data	3G	1-3	No	Mobile	Low
Boy	11-15	School	Non Government	No	Yes	High	Poor	Wifi	4G	1-3	No	Mobile	Low

Tabla 1. Datos obtenidos de Kaggle.

4.1 Implementación de consultas SQL

Para poder extraer y analizar los datos desde distintos puntos de vista, es necesario realizar una consulta SQL donde se seleccionan los atributos más adecuados para este análisis de adaptabilidad de los estudiantes. Considerando la consulta en el Código 1, es posible obtener la edad, el sexo, la condición financiera, el nivel educativo, las horas a la semana, el nivel de adaptabilidad y se genera un nuevo atributo derivado Tipo de Hora de los alumnos en Bangladesh. El atributo Tipo de Hora tiene la finalidad de agrupar en 6 intervalos las horas diarias de estudio y de esta manera facilitar su análisis de rendimiento escolar.

```

1  SELECT persona.edad,
2  persona.sexo,
3  persona.cond_financiera,
4  dispositivo.device,
5  dispositivo.internet,
6  educacion.nivel_educ,
7  tiempo_clase.horas_semana,
8  persona.adaptivitylevel,
9  CASE WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 0 THEN 'menos de 1
hora'
10 WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 1 THEN '1 hora'
11 WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 2 THEN '2 horas'
12 WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 3 THEN '3 horas'
13 WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 4 THEN '4 horas'
14 WHEN tiempo_clase.horas_diarias = 5 THEN '5 horas'
15 ELSE 'Mas de 6 horas'
16 END AS Tipo_de_hora
17 FROM hecho_niveladaptabilidad
18 JOIN persona ON hecho_niveladaptabilidad.id_persona = persona.id_persona

```

¹⁹ JOIN dispositivo ON hecho_niveladaptabilidad.id_dispositivo = dispositivo.
id_dispositivo
²⁰ JOIN educacion ON hecho_niveladaptabilidad.id_escuela =
educacion.id_escuela ²¹ JOIN tiempo_clase ON hecho_niveladaptabilidad.id_hora =
tiempo_clase.id_hora ²² GROUP BY persona.edad, persona.sexo,
persona.cond_financiera, dispositivo.
device, dispositivo.internet, educacion.nivel_educ, tiempo_clase.horas_semana,
persona.adaptivitylevel, Tipo_de_hora;

Código 1. Consulta SQL.

Una vez ejecutada la consulta, se visualizan los resultados con atributos relevantes que se muestran en la Tabla 2, para su posterior exploración en diversos programas especializados y continuar con su análisis.

edad	sexo	cond. fina	device	internet	nivel.educ	hora. sem	adaptivitylevel	Tipo de hora
1-5	Boy	Mid	Mobile	Mobile Data	School	0	Low	menos de 1 hora
1-5	Girl	Poor	Computer	Wifi	School	30	Moderate	Mas de 6 horas
26-30	Girl	Poor	Mobile	Mobile Data	University	25	Low	5 horas
11-15	Boy	Poor	Computer	Mobile Data	University	15	Low	3 horas
16-20	Girl	Mid	Tab	Wifi	University	5	Moderate	1 hora
11-15	Girl	Rich	Tab	Wifi	School	5	High	2 horas
1-5	Boy	Mid	Mobile	Mobile Data	University	0	Low	menos de 1 hora
11-15	Girl	Rich	Mobile	Mobile Data	School	15	Low	3 horas
16-20	Boy	Mid	Mobile	Mobile Data	College	20	Moderate	4 horas
21-25	Girl	Rich	Mobile	Wifi	College	30	Moderate	Mas de 6 horas
6-10	Boy	Rich	Computer	Wifi	College	10	Moderate	2 horas

Tabla 2. Fragmento de datos obtenidos en la consulta SQL.

5 Desarrollo del cubo de datos

Para maximizar los beneficios de un data warehouse, es esencial contar con herramientas que permitan analizar y visualizar la información de manera efectiva. Una de estas herramientas es el cubo de datos, o cubo OLAP (Online Analytical Processing), donde se puede aprovechar su propiedad de estructura multidimensional para explorar y analizar a detenimiento las principales características como sus dimensiones, medidas y jerarquías. Véase la Fig. 1.

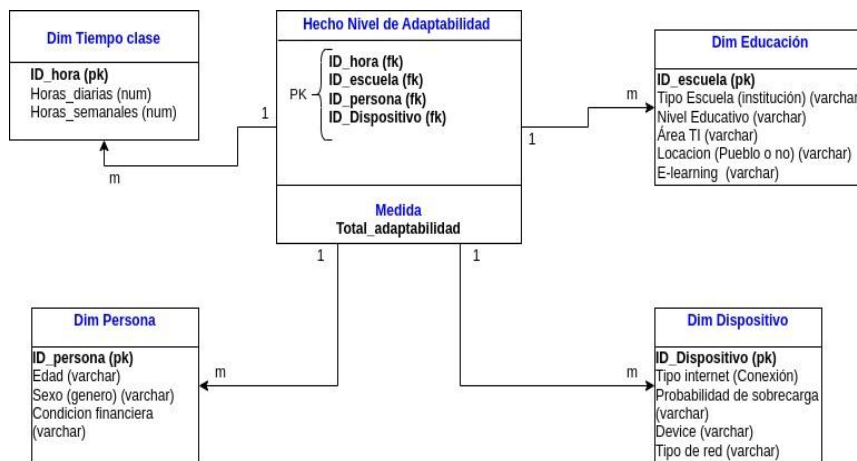


Fig 1. Diseño del cubo de datos.

Es por ello que optar por explorar los datos bajo este medio es una opción viable y eficiente por las razones siguientes: rendimiento y escalabilidad, integración con herramientas de BI (Business Intelligence), almacenamiento en columnas, seguridad y cumplimiento, facilidad de uso y administración, soporte para ETL (Extracción, transformación y carga), alta disponibilidad y recuperación ante desastres, coste-efectividad y por último ecosistema y soporte.

6 Exploración de datos

En la Tabla 3, se presenta una visualización de cómo se clasifican las horas diarias de los registros en relación con cada intervalo, donde la columna "Tiempo Clase Count" hace referencia al número de estudiantes que toman clase en línea con respecto al intervalo de hora; de la misma forma que en la figura anterior, el número de estudiantes que toman 3 horas de clase al día es mayor que el número de estudiantes en los intervalos de 0 y 6 horas respectivamente. Esto último es un indicador importante en el impacto de la adaptabilidad

de los estudiantes en línea ya que se puede entender la tolerancia al estar frente al dispositivo de aprendizaje y evitar que la clase sea cansada o desvíe la atención del estudiante.

Tipo Horas Diarias	Tiempo Clase Count
0	155
1	167
2	183
3	487
4	42
5	41
6	130

Tabla 3. Horas diarias por tipo y conteo de clase.

También se realizó una exploración a los grupos etáreos y el número de registros en cada grupo como se muestra en la Tabla 4, observando que hay una mayor población entre los estudiantes de 21 a 25 años; los cuales al parecer tienen mayor acceso a la educación en línea a comparación con los estudiantes que se encuentran en el grupo etáreo de 26-30 ya que posiblemente tienen que laborar para cumplir con sus obligaciones diarias.

La exploración de este conjunto de datos implica examinar y comprender los registros antes de aplicar técnicas más avanzadas, por lo cual se explorarán con la ayuda de dos diferentes softwares: ADAMS para visualización de gráficos y atributos, así como las facilidades que ofrece Visual Studio para construir y explorar un cubo de datos.

Tipo Edad	Persona Count
11-15	353
1-5	81
16-20	278
21-25	374
26-30	68
6-10	51

Tabla 4. Conteo de personas por tipo de edad.

6.1 Gráficos y visualizaciones

A través de diversos gráficos de barras entre otras herramientas de visualización de datos, se pudo hacer una representación visual de los registros resultantes para facilitar la identificación de patrones y tendencias. Tal información se distribuye en los siguientes atributos:

1. Edad (edad): Muestra la distribución de los datos según diferentes rangos de edad.
2. Sexo (sexo): Representa la distribución de los datos por género (Hombre o mujer).
3. Condición financiera (cond financiera): Representan diferentes niveles de condición financiera.
4. Dispositivo (device): Representa la distribución de los datos según el tipo de dispositivo utilizado.
5. Internet (internet): muestra la distribución de los datos según el acceso o uso de internet.
6. Nivel educativo (nivel educ): Representan diferentes niveles educativos, desde primaria hasta educación superior.
7. Tipo.hora (horas semana): Muestra la distribución de los datos según el número de horas dedicadas por semana.
8. Nivel de adaptabilidad (adaptivitylevel): Representa la distribución de los datos según el grado de satisfacción del alumno(low, moderate y high).

Para ello, ADAMS como un software con propósitos educativos fue de vital importancia para una comprensión más precisa de la información devuelta. Como se puede observar en la Fig. 2, es posible visualizar los resultados de la consulta OLAP gráficamente.

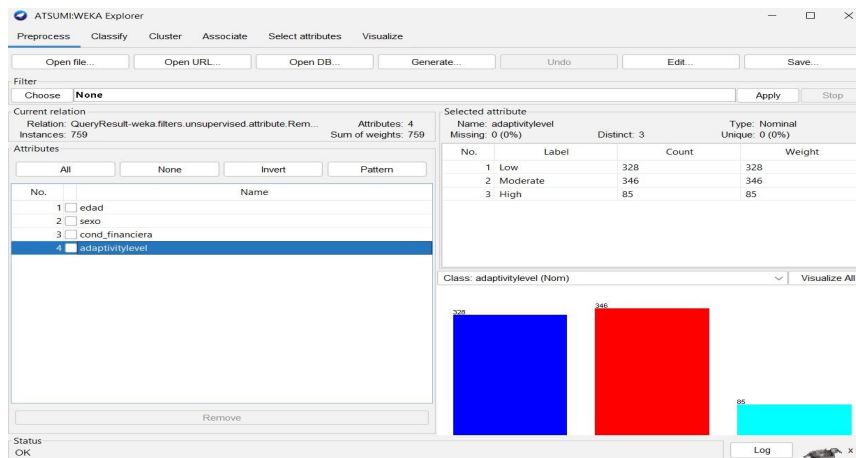


Fig2. Distribución de los niveles de adaptabilidad.

Se puede observar que el 89% de los estudiantes corresponden a un nivel bajo y moderado (barra azul), mientras que el 11% solo demostró corresponde a un nivel alto de adaptabilidad en educación en línea (barra roja). Véase la Fig. 2.

7 Resultados

Una vez realizado el preprocesamiento del conjunto de datos y llevado a cabo su análisis mediante visualización, se utilizaron los datos resultantes para implementar los diversos algoritmos de aprendizaje automático y comprender a fondo patrones de comportamiento. Para esto último, los algoritmos se implementaron en el lenguaje de programación Python.

A continuación, se muestran resultados de la aplicación de agrupamiento de los algoritmos KMeans y J48.

7.1 Preprocesamiento de datos

Al realizar las pruebas con los parámetros del algoritmo KMeans, se utilizaron tres clusters como se observa en la Fig. 3, con la idea de agrupar considerando los tres niveles de adaptabilidad. Además, la distribución final de los centroides de los clústeres muestra una segmentación clara basada en varios atributos, como la edad, el sexo, la condición financiera, el tipo de dispositivo e internet utilizados, el nivel educativo y las horas dedicadas al estudio por semana.

Final cluster centroids:

Attribute	Full Data (759.0)	Cluster# 0 (323.0)	1 (150.0)	2 (286.0)
edad	21-25	21-25	11-15	21-25
sexo	Boy	Boy	Girl	Girl
cond_financiera	Mid	Mid	Poor	Mid
device	Mobile	Mobile	Mobile	Mobile
internet	Mobile Data	Wifi	Mobile Data	Mobile Data
nivel_educ	School	School	School	University
horas_semana	12.9974	13.7307	17.1	10.0175
adaptivitylevel	Moderate	Low	Low	Moderate
Tipo_de_hora	3 horas	3 horas	Más de 6 horas	2 horas

Número de clusters: 3
Log likelihood: 0.0

Fig. 3. Desglose de clusters de KMeans.

Se observa que la mayoría de los estudiantes tienen entre 21 y 25 años, que son hombres y que utilizan datos móviles. Por otra parte, la mayoría de ellos cursan educación básica y se adaptaron moderadamente a la educación en línea. En mayor nivel de detalle se puede apreciar que el grupo etáreo 21-25 marca una diferencia entre hombres y mujeres, donde los hombres tienen un nivel educativo básico y un bajo nivel de adaptabilidad mientras que las mujeres presentan un nivel educativo superior y se adaptan moderadamente a la educación en línea.

7.2 Algoritmo J48

Utilizando las funcionalidades del árbol J48 como algoritmo de aprendizaje supervisado, se realizó un análisis de atributos relevantes para predecir el nivel de adaptabilidad. Por consiguiente, los atributos device, internet, nivel educativo, horas semana y tipo de hora fueron eliminados. Véase la Fig. 4.

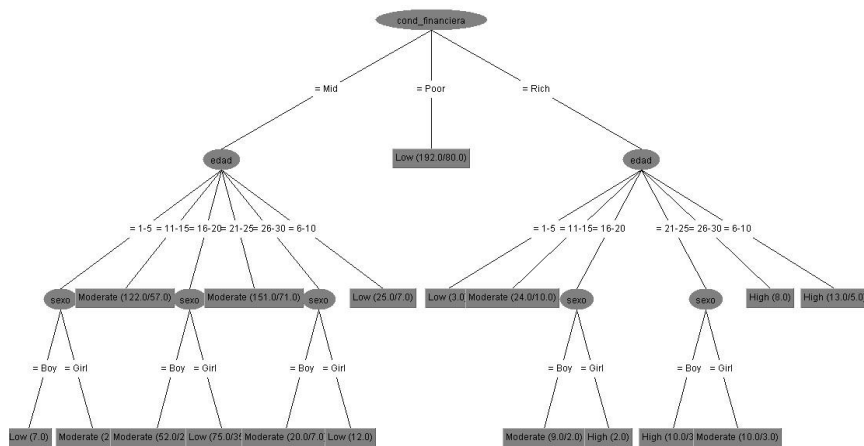


Fig. 4. Gráfico de árbol J48.

El modelo obtenido por J48 obtuvo una exactitud de 61% pero consideramos que se debe al tamaño de la muestra ya que el número de instancias no es lo suficientemente grande y además que la muestra de datos está mal balanceada siendo los estudiantes con alto nivel de adaptabilidad la clase minoritaria. Se presentan los resultados de la clasificación correspondiente. Véase la Fig. 5.

Correctly Classified Instances	463	61.0013 %							
Incorrectly Classified Instances	296	38.9987 %							
Kappa statistic	0.3134								
Mean absolute error	0.3179								
Root mean squared error	0.4058								
Relative absolute error	80.3889 %								
Root relative squared error	91.283 %								
Total Number of Instances	759								
Detalles por clase:									
=== Detailed Accuracy By Class ===									
	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0.558	0.239	0.640	0.558	0.596	0.326	0.714	0.659	Low
	0.749	0.438	0.589	0.749	0.659	0.313	0.686	0.644	Moderate
	0.247	0.018	0.636	0.247	0.356	0.355	0.834	0.473	High
Weighted Avg.	0.610	0.305	0.616	0.610	0.598	0.323	0.715	0.631	

Fig. 5. Evaluación del modelo J48.

La condición financiera es el atributo que mejor predice el nivel de adaptabilidad estableciendo que los pobres tienen un nivel bajo de adaptabilidad independientemente de los restantes atributos. Para las condiciones financieras media y de riqueza la edad y el género marcan una diferencia. Se confirma comparando los resultados del agrupamiento, que los estudiantes con mejores posibilidades económicas presentaron un mejor nivel de educación en línea.

8 Conclusiones

El rendimiento estudiantil en educación online en Bangladesh ha sido objeto de estudio y análisis a través de diversas técnicas de minería de datos, proporcionando una comprensión más profunda de los factores que influyen en el éxito académico de los estudiantes.

La representación de los datos en un data warehouse, lo que facilitó la aplicación de los algoritmos de aprendizaje automático, ha permitido comprender mejor el nivel de adaptabilidad de los estudiantes, así como la influencia de factores tales como nivel económico, género y grupo étnico de los estudiantes.

Debido a la aplicación de los algoritmos Simple KMeans y J48, se han logrado identificar patrones y relaciones clave que permiten comprender mejor el nivel de adaptabilidad de los estudiantes, así como la influencia de factores como el tipo de dispositivo que se utilice en función con el nivel económico, el tipo de conexión empleado, las horas que se dedican al estudio online y la edad de los estudiantes. En concordancia con lo anterior, es posible deducir que el nivel de adaptabilidad posiblemente obedece a la falta de motivación, dificultades técnicas en relación con su dispositivo de aprendizaje, así como

problemas con la plataforma online de la institución. Por lo tanto, estas técnicas han demostrado ser valiosas para descubrir patrones de comportamiento, predecir resultados académicos y diseñar intervenciones educativas efectivas. Se podría tomar en cuenta esta información adicional, ya sea en los programas computacionales y en la planeación de cursos, contribuyendo así a mejorar la calidad y efectividad del aprendizaje en línea en el país.

Tomando en cuenta la metodología empleada para el caso de estudio de Bangladesh; en México podría hacerse uso de dicho análisis en cuanto a la educación se refiere, debido a que si se consideran aspectos como el tipo de escuela o el nivel socio económico podrían ser claves en el país para comprender el rendimiento de los estudiantes en educación en línea. Por lo tanto, es crucial invertir en infraestructura adecuada para obtener un nivel de educación de calidad accesible a toda la población estudiantil.

De acuerdo con información proporcionada por INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2022), en el ciclo escolar 2021-2022, en la población inscrita en preescolar, 36.6 % contaba con computadora de escritorio o portátil; en secundaria, 46.1 %; en media superior, 60.6 % y 85.1 % en nivel superior. Esto último, sugiere que factores como el acceso a la tecnología afectan directamente en el rendimiento académico del estudiante y si se hace énfasis en su salud visual, como se menciona en el informe sobre La Discapacidad en México de 2017 (INEGI, 2017) donde un porcentaje significativo de la población (6%) en México vive con alguna forma de discapacidad.

Esto significa que, de los 7.8 millones de personas pertenecientes a este grupo, muchas podrían enfrentar mayores desafíos en la adaptación a la educación en línea, especialmente si la discapacidad involucra aspectos visuales sin tratamiento médico ocasionado por la pobreza. Con una metodología como la del caso de Bangladesh adecuada para detectar el rendimiento estudiantil en México, se podría obtener información muy precisa que permita una mejora continua en los planes de estudio de la educación en línea, adaptándolos mejor a las necesidades de estos estudiantes.

Referencias

- Al-Rawahnaa, A. S. M., & Al Hadid, A. Y. B. (2020). Data mining for education sector: A proposed concept. *Journal of Advanced Data Science and Analytics*. Recuperado el 1 de septiembre de 2020, de <http://bright-journal.org/Journal/index.php/JADS/article/view/6>
- Castro, F., Vellido, A., Nebot, Á., & Mugica, F. (2007). Applying data mining techniques to e-learning problems. *Studies in Computational Intelligence (SCI)*, 62, 183–221. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-540-71974-8.pdf#page=187>
- García Sánchez, R., & Gil Mateos, J. (2023). Minería de datos educacionales: Descubrir tesoros ocultos durante el aprendizaje. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 10. Recuperado el 11 de diciembre de 2023, de <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/830/548>
- Hark, C., Okumuş, H., & Uçkan, T. (2022). Adaptation to online education: An educational data mining application. *Journal of Computer Science*, 7, 95-102. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de <https://dergipark.org.tr/en/pub/bbd/issue/73741/1199055>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022). Encuesta Nacional de Apreciación del Público y el Entorno (ENAPE) 2021. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/ENAPE/ENAPE2021.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Estadísticas sobre la población con discapacidad en México (Informe técnico). https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825094409.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2023 (ENDUTIH): Síntesis metodológica. INEGI.
- Jiménez Galán, Y. I., Hernández Jaime, J., & Rodríguez Flores, E. (2021). Educación en línea y evaluación del aprendizaje: De lo presencial a lo virtual. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23), e013. <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1005>
- Khan, A., & Ghosh, S. K. (2020). Student performance analysis and prediction in classroom learning: A review of educational data mining studies. Springer Science+Business Media. Recuperado el 1 de julio de 2020, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-020-10230-3>
- Suzan, M. H. (2021). Students adaptability level in online education [Dataset]. Kaggle. Recuperado de <https://www.kaggle.com/datasets/mdmahmudulhasansuzan/students-adaptability-level-in-online-education>
- Santa-Cruz-Pavlovich, F. J., Bolaños-Chang, A. J., González-González, J. E., Guzmán-Castellanos, J. F., Ledesma-Mijares, R. A., Fuentes-Plata, H., Jiménez-Batalla, C., & Navarro-Partida, J. (2022). Educación en línea y enfermedad del ojo seco durante la pandemia de COVID-19. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 96(6), 231-240. <https://doi.org/10.24875/rmo.m22000247>

Capítulo 12

El trastorno de estrés postraumático en mujeres

Adriela Fierro Rojas¹, Ma. del Carmen Cortés Sánchez¹, José Ramón Eguibar Cuenca^{1,2}

²

¹ Instituto de Fisiología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

² Dirección General de Internacionalización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

adriela.fierro@correo.buap.mx, carmen.cortes@correo.buap.mx,
jose.eguibar@correo.buap.mx

Resumen. El trastorno de estrés postraumático (TEPT) se deriva de la exposición a un evento aversivo o traumático, el cual forma una asociación entre dicho evento con otros estímulos o contextos neutros, los cuales van a producir una respuesta de estrés que puede mantenerse por años. El TEPT produce varios síntomas psicológicos y físicos, como lo son el estrés y trastornos de ansiedad, depresión, déficits cognitivos, pérdida de la memoria, alteraciones en el sueño y una susceptibilidad a desarrollar adicciones. Las mujeres, estas últimas desarrollan el TEPT con mayor frecuencia, además de presentar una mayor gravedad en sus síntomas e incapacidad para extinguir la memoria del trauma con respecto a los hombres. Las diferencias del desarrollo del TEPT en hombres y mujeres dependen de sus características fisiológicas, sexuales y de género. Finalmente se presentan características y la sintomatología del TEPT, la prevalencia del TEPT en mujeres y sus afectaciones específicas.

Palabras Clave: TEPT, estrés, género.

1 Trastorno de estrés postraumático

El trastorno de estrés postraumático (TEPT) consiste en un conjunto de síntomas de ansiedad que se manifiestan después de la exposición a un evento traumático, aversivo o violento que implica una amenaza a la vida de un individuo (American Psychiatric Association, 2016). Dicho evento se caracteriza por ser extraordinario e impredecible, de manera que se ve sobrepasada la capacidad de adaptación del organismo (Belloch, 2020).

El tipo de evento traumático puede variar ampliamente, desde desastres naturales, accidentes, enfermedades o guerra; hasta divorcios, muerte de una persona cercana, experiencias de violencia y agresión sexual, incluyendo el acoso (Belloch, 2020). Sin embargo, el tipo de evento traumático o su magnitud no determinan completamente el desarrollo del TEPT, sino que la característica principal del TEPT es la respuesta fisiológica, psicológica y conductual de estrés que se manifiesta durante y después de la exposición a un evento traumático (Reed et al., 2022). Esto se debe a que el desarrollo del TEPT consiste en un proceso similar al condicionamiento clásico, en donde un evento

traumático funge como un estímulo incondicionado que se asocia a uno o varios estímulos condicionados, como lo son el contexto y los estímulos particulares presentes en el momento en el que ocurrió el trauma (VanElzaker et al., 2014; Seidemann et al., 2021). Al formarse esta asociación entre los estímulos condicionados con los incondicionados, se producirán las mismas respuestas de miedo y ansiedad que ocurrieron durante el evento traumático. Adicionalmente se produce una generalización de estímulos o contextos que se asemejan a aquellos presentes cuando se generó el trauma, lo que facilitará que se produzcan respuestas de ansiedad y miedo ante estímulos nuevos no relacionados con el evento traumático (Pitman et al., 2012). Por lo tanto, entre más estímulos condicionados genere el sujeto, mayor va a ser la intensidad de la sintomatología del TEPT (Seidemann et al., 2021; Belloch, 2020).

Otra de las características principales es que los síntomas del TEPT suelen mantenerse en el tiempo, generalmente en un periodo mayor a un mes (American Psychiatric Association, 2016), esto es debido a que existe una incapacidad de extinguir la asociación entre el estímulo incondicionado con el condicionado. En la mayoría de los pacientes con TEPT, los síntomas suelen presentarse inmediatamente después de la exposición al evento traumático y mantenerse hasta por un año. Sin embargo, algunos de los pacientes reportan una disminución inicial de los síntomas desde el inicio y su subsecuente aparición hasta después de 6 meses (Reed et al., 2022).

Adicionalmente, no todos los sujetos que fueron expuestos a un evento traumático desarrollarán TEPT, sino que sólo aquellos con una mayor susceptibilidad al estrés serán los más propensos a desarrollarlo, ya que depende de factores individuales como la resiliencia y las estrategias adaptativas; además de que los recursos psicológicos y las redes de apoyo social con los que pueda contar el sujeto para confrontarlo son fundamentales para el proceso de extinción, lo que impide el desarrollo del TEPT (Belloch, 2020). En este caso, factores como el sexo y el género también son determinantes importantes en el desarrollo y mantenimiento del TEPT (Breslau & Anthony, 2007).

En las siguientes secciones de este capítulo detallaremos las características y la sintomatología del TEPT, la prevalencia del TEPT en mujeres y sus afectaciones específicas con base en una perspectiva de género.

2 Preliminares

De acuerdo con el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales en su quinta edición (DSM-5, American Psychiatric Association, 2016), existen ocho criterios diagnósticos para el TEPT.

1) Haber sido expuesto a un evento traumático. Dicha exposición puede ser de manera directa o indirecta, es decir, haber presenciado el evento, haber sido testigo o que dicho evento haya ocurrido en el círculo social directo del sujeto, por ejemplo, un familiar. Al

igual que la exposición aguda a un evento traumático, la continua exposición a uno o varios eventos puede producir TEPT.

2) El síntoma principal del TEPT es la reexperimentación del evento traumático a través de recuerdos desagradables recurrentes e intrusivos, los cuales pueden ser detonados por la exposición a un estímulo o contexto asociado al evento traumático.

Esta reexperimentación también puede ocurrir durante el periodo de sueño mediante las pesadillas, las cuales interrumpen el sueño y pueden ser un factor determinante para la generación de un trastorno del sueño. Los síntomas de reexperimentación y pesadillas reflejan la alta reactividad fisiológica que produce el TEPT. 3) Otro síntoma clave del TEPT es la evitación persistente de estímulos, actividades, contextos, personas o recuerdos asociados al evento traumático con tal de evitar el malestar físico y psicológico propio de la reexperimentación. 4) El mantenimiento de un alto grado de estrés que puede detonarse en cualquier momento, así como altos niveles plasmáticos de cortisol y una activación constante del sistema de respuesta al estrés, lo que además produce alteraciones cognitivas que incluyen a la amnesia disociativa, especialmente de recuerdos relacionados con el trauma; la percepción distorsionada de la causa o consecuencias del evento traumático, que incluye sentimientos de culpa, responsabilidad o la falta de control del sujeto para evitar el evento traumático. Aunado a esto, se incluye un estado emocional negativo persistente y la disminución importante del interés en actividades que antes eran placenteras. 5) Los síntomas persistentes de hiperactivación que incluyen alteraciones del sueño como el insomnio, al tener una alta actividad del sistema de respuesta al estrés y una constante activación del sistema simpático; irritabilidad, hipervigilancia y una respuesta de alarma exagerada ante estímulos que pueden considerarse neutros. 6) Los síntomas antes descritos pueden mantenerse por periodos prolongados, con una duración mínima de un mes. 7) Asimismo, los síntomas antes descritos generalmente afectan de manera significativa y global a la mayoría de los aspectos de la vida del sujeto. Es decir, disminuye su productividad en actividades escolares y laborales, produce anhedonia o la incapacidad de disfrutar actividades que antes le resultaban placenteras, y se deterioran las relaciones sociales del sujeto. 8) Por último, el TEPT no se genera por el consumo previo de drogas o medicamentos.

De acuerdo con el DSM-5, para el diagnóstico de TEPT deben cumplirse al menos cinco criterios de los anteriormente mencionados, sin embargo, se han reportado discrepancias en el tiempo de la aparición de los síntomas y en la afectación en el área del funcionamiento humano, y recientemente se han reportado sesgos de género, ya que los hombres suelen ser más propensos a estar expuestos a eventos potencialmente traumáticos con respecto a las mujeres; pero la severidad de los síntomas de TEPT es menor con respecto a ellas, así mismo se reporta una menor duración de los síntomas en éstos (Breslau & Anthony, 2007). Por lo tanto, resulta importante analizar los diferentes aspectos relacionados con el género y las posibles diferencias sexuales en el desarrollo y progresión del TEPT.

3 Diferencias en el desarrollo y mantenimiento del TEPT entre hombres y mujeres

Existe una diferencia significativa en el desarrollo de trastornos del estado del ánimo y trastornos derivados del estrés en hombres y mujeres. En cuanto a los trastornos del estado del ánimo, se ha reportado que las mujeres presentan ansiedad y depresión en una proporción de 2:1 con respecto a los hombres (Christiansen & Berke, 2020). Esto puede deberse a factores sociales y culturales, en los que se ha visto que las mujeres están más conscientes de su salud mental y de su estado anímico, además de su capacidad para pedir ayuda profesional una vez que estos trastornos llegan a afectar significativamente los ámbitos del funcionamiento humano (Pratchett et al., 2010). Sin embargo, en el caso de los trastornos derivados del estrés como el TEPT, varios estudios muestran evidencia mezclada sobre las posibles diferencias en el desarrollo del TEPT entre hombres y mujeres. La gran mayoría de los estudios con respecto al TEPT se han realizado en muestras de veteranos de guerra de los Estados Unidos de América, con una prevalencia de participantes masculinos. Estos estudios reportan que la mayoría de los veteranos de guerra desarrollaron TEPT, los cuales reportan una alta severidad de sus síntomas y una duración prolongada de los mismos. Adicionalmente se ha reportado una alta adicción a drogas ilícitas o al consumo de alcohol como una estrategia mal adaptativa para el manejo de los síntomas del TEPT (María-Ríos & Morrow, 2020). Sin embargo, los resultados de estudios realizados en veteranas de guerra con respecto al desarrollo y mantenimiento del TEPT son variados. Un estudio de Reijnen en 2015 reportó que no hay diferencias significativas en el desarrollo del TEPT, ni de la severidad de los síntomas en hombres y mujeres (Reijnen et al., 2015). En cambio, otro estudio llevado a cabo por Pratchett reportó una diferencia significativa, en la que un mayor porcentaje de las mujeres buscaron ayuda profesional para el tratamiento del TEPT con respecto de los hombres (Pratchett et al., 2010). Por lo tanto, en años recientes se han planteado varias hipótesis que expliquen dichas diferencias.

3.1 Diferencias en el desarrollo del TEPT basada en factores sexuales

Se ha propuesto que las hormonas sexuales tienen un papel determinante en el desarrollo del TEPT, ya que interactúan con las hormonas del estrés como son el cortisol (CORT) y la hormona adrenocorticotrófica (ACTH) para desregular los circuitos cerebrales encargados de la formación de la asociación de estímulos neutros y aversivos (Christiansen & Berke, 2020). Se ha reportado que la testosterona tiene efectos ansiolíticos al reducir la reactividad del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA), el principal sistema de respuesta al estrés (McHenry et al., 2014). De la misma manera, las fluctuaciones de las hormonas sexuales femeninas, el estradiol y la progesterona a lo largo del ciclo menstrual, afectan a varios sistemas de neurotransmisores y las respuestas al estrés del eje HPA (Nillni et al., 2015). Adicionalmente, el estradiol y la progesterona están involucradas en la modificación de los procesos cognitivos en el TEPT, como son los procesos de condicionamiento y la extinción, la formación de memorias relacionadas al trauma y su recuperación; así como el procesamiento e interpretación de los estímulos potencialmente amenazantes (Wassell et

al., 2015). Finalmente, la progesterona está implicada en la generación de imágenes relacionadas al trauma durante la reexposición, mientras que niveles altos de estradiol atenúan la respuesta emocional en las respuestas a estresores (Albert et al., 2015).

Para determinar el efecto protector de la testosterona en hombres, Josephs y colaboradores midieron los niveles séricos de testosterona en soldados estadounidenses enviados a Irak. Se recolectó una primera muestra de sangre antes de que los soldados fueran enviados al campo de batalla y una segunda a su regreso a la base militar. Este estudio concluye que no hubo diferencias significativas en los niveles de testosterona entre hombres con y sin TEPT, pero sí un incremento en el nivel de testosterona en todos los sujetos después de regresar al campo de batalla, pero sólo los hombres que presentaron una disminución del nivel de testosterona antes de ser enviados al campo de batalla tuvieron una mayor incidencia de TEPT (Josephs et al., 2017). Sin embargo, otro estudio con militares no reportó diferencias significativas en los niveles de CORT y testosterona y el desarrollo de TEPT en hombres antes y después de ser enviados al campo de batalla (Reijnen et al., 2015).

En el caso de las mujeres, el mismo estudio de Josephs y colaboradores reportó que no hubo una correlación significativa entre el desarrollo del TEPT y niveles altos de testosterona en mujeres soldado (Josephs et al., 2017). Sin embargo, se ha propuesto que las fluctuaciones de estradiol y progesterona durante el ciclo menstrual influyen en el desarrollo y evolución del TEPT en mujeres no combatientes. Es por esto que Rieder y colaboradores midieron los niveles de estradiol y progesterona en mujeres adultas con un ciclo menstrual regular que cumplieron con el diagnóstico de TEPT o que fueron expuestas a un evento traumático sin diagnóstico de TEPT. Se midieron los niveles de hormonas por medio de una muestra de saliva que se recolectó diariamente por la mañana, se realizó el seguimiento de su ciclo menstrual por medio de un calendario y se evaluaron los criterios diagnósticos del TEPT por medio de una entrevista clínica y un análisis ecológico momentáneo (EMA, de sus siglas en inglés). Se reportó que las mujeres que se encontraban en la fase folicular temprana de su ciclo menstrual, que se caracteriza por un nivel bajo de estradiol y progesterona mostraron una menor severidad de los síntomas de TEPT, un menor tiempo de reexperimentación, y un mejor pronóstico. Al mismo tiempo, las mujeres que fueron evaluadas en su fase lútea, con un nivel elevado de estradiol y progesterona, presentaron una mayor severidad de los síntomas de TEPT (Rieder et al., 2022). Por lo que se concluyó que son los niveles del estradiol los que funcionan como un factor protector ante el TEPT.

3.2 Diferencias en el desarrollo del TEPT basada en factores de género

Por otro lado, un estudio de Cox y colaboradores analizó el componente de género y rol de género masculino en veteranos. Se estudió a un grupo de veteranos con diagnóstico de TEPT que asistían a terapia psicológica grupal. Se conceptualizó el concepto de “rol de género masculino”, en donde las conductas y creencias de suficiencia, resiliencia, valentía, productividad, rudeza, fuerza y asertividad corresponden a características positivas, y

cuando algún sujeto contaba con estas características o se le atribuían por parte de sus compañeros de grupo, la severidad de los síntomas de TEPT disminuían con respecto a los demás sujetos que no cumplían con la mayoría de dichas características. Además de que mostraron una mejor disposición para pedir ayuda profesional e inspirar a otros hombres a hacer lo mismo (Cox & O'Loughlin, 2017). En este caso podemos concluir que existe un componente sociopsicológico que es el género el que determina la evolución del TEPT, a pesar del factor protector que ofrece la testosterona.

En el caso de las mujeres, a pesar de que están menos expuestas a eventos potencialmente traumáticos con respecto a los hombres, debido a factores culturales, sociales y económicos que engloban al género, las mujeres están expuestas a otro tipo de eventos adversos como es la violencia doméstica o sexual (Christiansen & Hansen, 2015). Se ha reportado que las mujeres que tienen mayores niveles de estrés se debe a una mayor reexperimentación de los síntomas, pesadillas, y conductas evitativas (Seedat, et al, 2005). Sin embargo, en un 44% de mujeres con TEPT existe una alta comorbilidad con otros trastornos psiquiátricos, siendo el principal el trastorno depresivo mayor, seguido de fobias simples, agorafobia o fobia social, mientras que las adicciones a drogas o el alcohol es menor con respecto a los hombres (Foa & Street, 2001). Otros trastornos relacionados con el TEPT en mujeres son trastornos disociativos, somatoformes, trastornos de la conducta alimenticia o trastornos de la personalidad (Seedat et al., 2005). A pesar de esto, las mujeres tienden a acudir a un profesional de la salud de manera temprana con respecto a los hombres, y suelen tener descripciones subjetivas acerca de sus sintomatologías más certeras que los hombres.

4 Conclusiones

El TEPT es un trastorno derivado de la exposición a un evento traumático que genera síntomas de estrés y ansiedad que se mantienen en el tiempo debido a una incapacidad de extinguir el recuerdo del trauma. Sólo los sujetos que sean susceptibles al estrés son los más propensos a desarrollar TEPT, sin embargo, factores relacionados al sexo y al género tienen un papel determinante en el desarrollo y mantenimiento del TEPT. La testosterona tiene un papel protector contra el TEPT, mientras que un aplanamiento del nivel de testosterona está asociado con la generación de TEPT en hombres. Por otro lado, un nivel alto de estradiol y progesterona en la fase lútea media, también actúa como un protector contra el TEPT, ya que mujeres expuestas a un evento traumático en la fase folicular temprana cuando los niveles de estradiol y progesterona están en su punto más bajo, desarrollan TEPT más fácilmente, y la severidad de los síntomas aumenta con respecto a mujeres en etapa folicular media. De la misma manera, los factores de género influyen en la severidad de los síntomas y en la búsqueda de ayuda profesional. Por lo tanto, es importante analizar los componentes fisiológicos y psicológicos del TEPT desde una perspectiva de género para diseñar mejores tratamientos que se ajusten a las necesidades de hombres y mujeres.

Referencias

- Albert, K., Pruessner, J., & Newhouse, P. (2015). Estradiol levels modulate brain activity and negative responses to psychosocial stress across the menstrual cycle. *Psychoneuroendocrinology*, 59, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.04.022>
- American Psychiatric Association. (2016). *Manual Diagnóstico y Estadístico de Trastornos Mentales* (5th ed.).
- Belloch, A. (2020). *Manual de Psicopatología* (3ra ed., Vol. 2). McGraw Hill.
- Breslau, N., & Anthony, J. C. (2007). Gender differences in the sensitivity to posttraumatic stress disorder: An epidemiological study of urban young adults. *Journal of Abnormal Psychology*, 116(3), 607–611. <https://doi.org/10.1037/0021-843X.116.3.607>
- Briscone, M. A., Michopoulos, V., Jovanovic, T., & Norrholm, S. D. (2017). Chapter Three—Neuroendocrine Underpinnings of Increased Risk for Posttraumatic Stress Disorder in Women. In G. Litwack (Ed.), *Vitamins and Hormones* (Vol. 103, pp. 53–83). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2016.08.003>
- Christiansen, D. M., & Berke, E. T. (2020). Gender- and Sex-Based Contributors to Sex Differences in PTSD. *Current Psychiatry Reports*, 22(4), 19. <https://doi.org/10.1007/s11920-020-1140-y>
- Christiansen, D. M., & Hansen, M. (2015). Accounting for sex differences in PTSD: A multi-variable mediation model. *European Journal of Psychotraumatology*, 6(1), 26068. <https://doi.org/10.3402/ejpt.v6.26068>
- Cox, D. W., & O’Loughlin, J. (2017). Posttraumatic stress mediates traditional masculinity ideology and romantic relationship satisfaction in veteran men. *Psychology of Men & Masculinity*, 18(4), 382–389. <https://doi.org/10.1037/men0000067>
- Foa, E. B., & Street, G. P. (2001). Women and Traumatic Events. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 62(suppl 17), 22517.
- Josephs, R. A., Cobb, A. R., Lancaster, C. L., Lee, H.-J., & Telch, M. J. (2017). Dual-hormone stress reactivity predicts downstream war-zone stress-evoked PTSD. *Psychoneuroendocrinology*, 78, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2017.01.013>
- Kudielka, B. M., & Kirschbaum, C. (2005). Sex differences in HPA axis responses to stress: A review. *Biological Psychology*, 69(1), 113–132. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2004.11.009>
- María-Ríos, C. E., & Morrow, J. D. (2020). Mechanisms of Shared Vulnerability to Post-traumatic Stress Disorder and Substance Use Disorders. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00006>
- Morrison, J. A. (2012). Masculinity moderates the relationship between symptoms of PTSD and cardiac-related health behaviors in male veterans. *Psychology of Men & Masculinity*, 13(2), 158–165. <https://doi.org/10.1037/a0024186>
- Nillni, Y. I., Pineles, S. L., Patton, S. C., Rouse, M. H., Sawyer, A. T., & Rasmusson, A. M. (2015). Menstrual Cycle Effects on Psychological Symptoms in Women With PTSD. *Journal of Traumatic Stress*, 28(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/jts.21984>
- Peirce, J. M., Kindbom, K. A., Waesche, M. C., Yuscavage, A. S. E., & Brooner, R. K. (2008). Posttraumatic Stress Disorder, Gender, and Problem Profiles in Substance Dependent Patients. *Substance Use & Misuse*, 43(5), 596–611. <https://doi.org/10.1080/10826080701204623>
- Pratchett, L. C., Pelcovitz, M. R., & Yehuda, R. (2010). Trauma and Violence: Are Women the Weaker Sex? *Psychiatric Clinics of North America*, 33(2), 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2010.01.010>
- Reijnen, A., Geuze, E., & Vermetten, E. (2015). The effect of deployment to a combat zone on testosterone levels and the association with the development of posttraumatic stress symptoms: A

- longitudinal prospective Dutch military cohort study. *Psychoneuroendocrinology*, 51, 525–533. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2014.07.017>
- Rieder, J. K., Kleshchova, O., & Weierich, M. R. (2022). Estradiol, stress reactivity, and daily affective experiences in trauma-exposed women. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, 14(5), 738–746. <https://doi.org/10.1037/tra0001113>
- Seedat, S., Stein, D. J., & Carey, P. D. (2005). Post-Traumatic Stress Disorder in Women. *CNS Drugs*, 19(5), 411–427. <https://doi.org/10.2165/00023210-200519050-00004>
- María-Ríos, C. E., & Morrow, J. D. (2020). Mechanisms of Shared Vulnerability to Post-traumatic Stress Disorder and Substance Use Disorders. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2020.00006>

Capítulo 13

Las respuestas al estrés y su consecuencia en la memoria

Lilia Díaz¹, José Ramón Eguibar Cuenca^{1,2} y Ma. del Carmen Cortés Sánchez¹

¹ Instituto de Fisiología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

² Dirección General de Internacionalización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

`lilia.diaz@alumno.buap.mx, jose.eguibar@correo.buap.mx
carmen.cortes@correo.buap.mx`

Resumen. Las hormonas asociadas al estrés son necesarias para la consolidación de la memoria y al mismo tiempo pueden afectar su evocación, cuando son secretadas antes de que esta ocurra. En sujetos con una respuesta al estrés incrementada podrían existir modificaciones en estos mecanismos al igual que en individuos resilientes, es decir aquellos que resisten a los estresores. En el presente capítulo se describen los mecanismos de consolidación y recuperación de la memoria, así como los componentes de las respuestas al estrés, posteriormente se expone cómo esta respuesta hormonal modula los mecanismos cognitivos antes mencionados. Finalmente se ejemplifica el caso de un modelo animal con respuesta incrementada al estrés, las sublíneas de ratas de bajo bostezo, en una prueba de memoria no aversiva. Adicionalmente, analizamos las respuestas en un modelo de resiliencia, la sublínea de alto bostezo.

Palabras Clave. Estrés, memoria, bajo-bostezo, ansiedad innata

1 La memoria y sus mecanismos.

La memoria es la capacidad de codificar, almacenar, consolidar y recuperar la información que aprendemos del ambiente (Morris, 2013). Es debido a esta función cognitiva que los individuos pueden modificar su conducta para la sobrevivencia, planear para el futuro, imaginar y ser conscientes de su identidad (Kandel y cols., 2014). Existen diferentes tipos de memoria, ya que esta se puede clasificar por su duración como de corto y de largo plazo. La memoria puede ser declarativa; esta agrupa a lo que podemos expresar verbalmente o de manera consciente, y la episódica que se relaciona con las ubicaciones espaciales y el nombre de los objetos (Squire y Wixted, 2011). Por otro lado, la información no declarativa es el conocimiento que se demuestra a través de su ejecución, como lo es caminar, andar en bicicleta, tocar un instrumento musical hábilmente, o los hábitos diarios (Squire y Dede, 2015).

Centrándose en la memoria declarativa, en los episodios o anécdotas que podemos contar de nuestra vida; todos los individuos albergamos recuerdos alegres, emotivos, así como tristes o incluso traumáticos, aunque pareciera que estas experiencias se adquirieron en contextos opuestos tienen algo en común; y esto es que no podemos olvidarlos (Schwabe,

2017). Pensemos en la siguiente situación: una persona que realiza un viaje muy esperado, durante dicha excursión recorre paisajes novedosos, visita sitios desconocidos, consume alimentos y bebidas deliciosas e interactúa con nuevas culturas. Es bastante probable que al concluir esta experiencia el individuo haya generado recuerdos nítidos sobre todas sus vivencias.

En el ejemplo anterior se encuentran inmersos dos mecanismos de la memoria, el primero es la capacidad de mantener estable en el cerebro cualquier tipo de información a través del tiempo, este se denomina consolidación de la memoria (Dudai y cols., 2015). Adicionalmente, la capacidad de acceder a dicha información almacenada en cualquier momento, incluso tiempo después de su consolidación se le denomina recuperación de la memoria, este último mecanismo es incluso la manera en la que se confirma que la memoria se produjo (Ben-Yakov y cols., 2015).

Para comprender como los eventos experimentados por el viajero se convirtieron en recuerdos perdurables, en las siguientes secciones se abordará: cómo la emocionalidad de la información que se adquiere activa moderadamente las respuestas al estrés, lo cual conduce a la secreción de las hormonas noradrenalina y glucocorticoides, las cuales influyen en la consolidación y recuperación de la memoria (Schwabe y cols., 2022). Por ende, primero se describirá como los individuos responden ante estímulos estresantes.

2 Las respuestas al estrés.

Socialmente al término estrés se le ha dado una connotación negativa, ya que se le ha asociado como el agente causal de patologías metabólicas, autoinmunes o psiquiátricas; cuando en realidad el estrés es una respuesta fisiológica ante un reto ambiental, sin la cual los organismos no podríamos sobrevivir (de Kloet y cols., 2019). De hecho, son los estresores los estímulos que desencadenan la reacción antes mencionada. Considerando estas dos palabras se pueden aducir otros términos que han sido acuñados con el propósito de precisar los fenómenos generados por las respuestas al estrés, uno de ellos es *alostasis*: que se refiere al mecanismo que mantiene la fisiología del individuo ante los estresores, promoviendo la adaptación y las estrategias de afrontamiento (McEwen y cols., 2015). De la *alostasis* deriva la denominada *carga alostática*, la cual es la consecuencia de un exceso de *alostasis* o la ausencia de adaptación a los estresores, siendo esta carga el origen de las patologías en los individuos, y no la sola activación de las respuestas al estrés (McEwen y Akil, 2020).

Ante la incidencia de estresores el organismo activa dos respuestas generales, denominadas *rápida* y *lenta* (Nicolaidis y cols., 2015), la primera depende de la liberación de adrenalina y noradrenalina a nivel periférico y central, respectivamente (Bauer y Currie, 2020). Esta secreción hormonal a nivel periférico prepara al organismo para ejecutar la respuesta de *lucha o escape*, en la cual aumenta la presión sanguínea, al igual que la frecuencia y la contractilidad cardíaca y, se relajan los bronquios para incrementar el flujo de aire hacia los alvéolos e incrementar el oxígeno en la sangre, se promueve la

glucogenólisis y la gluconeogénesis en el hígado, así como la lipólisis en los adipocitos para proporcionar energía a los músculos. Adicionalmente disminuye el flujo sanguíneo hacia los intestinos y los riñones y se relaja el músculo liso intestinal así como el músculo detrusor de la vejiga (Tank y Lee Wong, 2015).

Las catecolaminas adrenalina y noradrenalina son las que permiten las respuestas rápidas y se originan en la médula de la glándula suprarrenal, este tejido se compone de células cromafines, el 80% de ellas produce adrenalina, ya que expresa la enzima feniletanolamina N-metiltransferasa, mientras que el 20% restante de estas células sintetiza noradrenalina al carecer de la enzima antes mencionada (Bauer y Currie, 2020). A nivel del sistema nervioso central se produce noradrenalina en el locus coeruleus, un núcleo ubicado en el tallo cerebral por debajo del cerebelo, y en posición lateral al cuarto ventrículo (Poe y cols., 2020). Las proyecciones noradrenérgicas del locus coeruleus se extienden hacia áreas como la corteza prefrontal, la neocorteza, la amígdala y el hipocampo, el cerebro basal anterior, por citar algunas zonas, es así como esta neurotransmisión regula la atención, la motivación, la respuesta al estrés, la formación de la memoria emocional, entre otras funciones (Aston-Jones y Waterhouse, 2016; véase Figura 1).

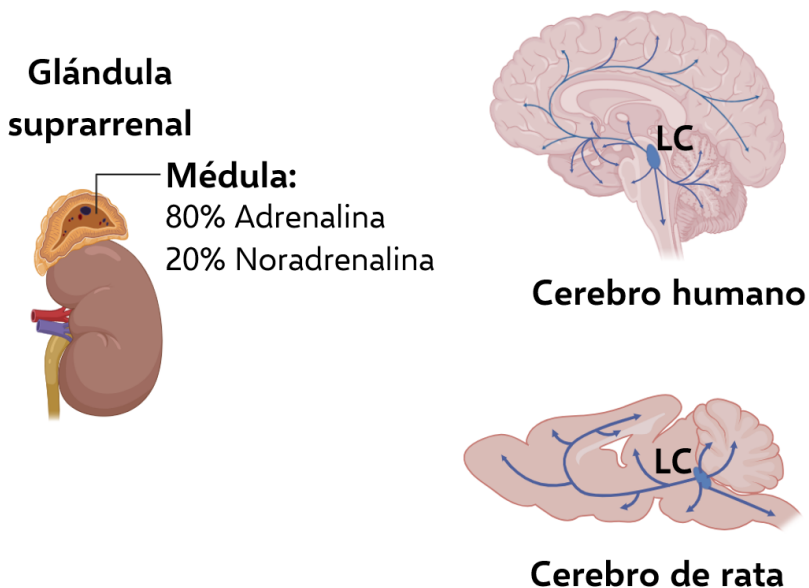


Figura 1. Secreción noradrenérgica y adrenérgica periférica y central. La médula de la glándula suprarrenal es el tejido secretor que produce adrenalina y noradrenalina a nivel periférico, siendo más abundante la primera hormona. A nivel del sistema nervioso central, el locus coeruleus (LC) es la principal fuente de noradrenalina, en flechas azules se muestran las proyecciones noradrenérgicas desde este núcleo hacia el resto del cerebro de los humanos y roedores como la rata. Creado con BioRender.

Los efectos de las hormonas adrenalina y noradrenalina en la activación de la respuesta rápida al estrés dependen de su interacción con sus receptores; denominados adrenérgicos, los cuales se clasifican en dos categorías principales en función de su afinidad por la noradrenalina, los alfa (a) con una alta afinidad, y los beta (b) con una baja afinidad por este neurotransmisor (Tank y Lee Wong, 2015). En el caso de la adrenalina esta interactúa con ambos receptores, pero genera mayores efectos al activar a los b-adrenérgicos (Perez, 2020).

Los receptores a-adrenérgicos se subdividen en dos grupos: alfa uno y dos, el primero incluye a los subtipos α_1A , α_1B y α_1D , y el segundo agrupa a los receptores: α_2A , α_2B y α_2C (Perez, 2020). En el caso de los receptores b-adrenérgicos sus subtipos se denominan β_1 , β_2 y β_3 (do Vale y cols., 2019). Todos estos receptores se expresan a nivel de la membrana celular y se encuentran acoplados a diferentes tipos de proteínas G, por ende, su unión a ligando provoca la activación de cascadas de señalización intracelular (Motiejunaite y cols., 2021).

La respuesta lenta al estrés depende de la señalización mediada por un tipo de hormonas esteroideas denominadas glucocorticoides, su síntesis requiere de la activación del eje hipotálamo-hipófisis- adrenal, cuyos dos primeros componentes se ubican en el sistema nervioso central y el tercero en el sistema nervioso periférico (Nicolaidis y cols., 2015). El núcleo paraventricular del hipotálamo recibe las señales derivadas de diferentes tipos de estresores, por ejemplo, los cognitivos o emocionales, después de este estímulo las neuronas parvocelulares del hipotálamo sintetizan *de novo* la hormona liberadora de corticotropina y el péptido arginina vasopresina, ambos neuropéptidos llegan a la circulación portal hipotalámica-hipofisiaria a través de la cual arriban a la adenohipófisis, donde se unen a su receptor (Kovács, 2013).

La señal producida por la hormona liberadora de corticotropina ocasiona la secreción de la hormona adrenocorticotropa en el torrente sanguíneo, esta interactúa con el receptor para melanocortina tipo 2 el cual se expresa en la corteza de la glándula suprarrenal, y es particularmente abundante en la región fasciculata de la corteza (Novoselova y cols., 2019). Esta unión ligando-receptor genera la síntesis *de novo* a partir del colesterol de glucocorticoides, mecanismo que tarda entre 5 a 30 minutos (Gallo-Payet y Battista, 2014; véase Figura 2).

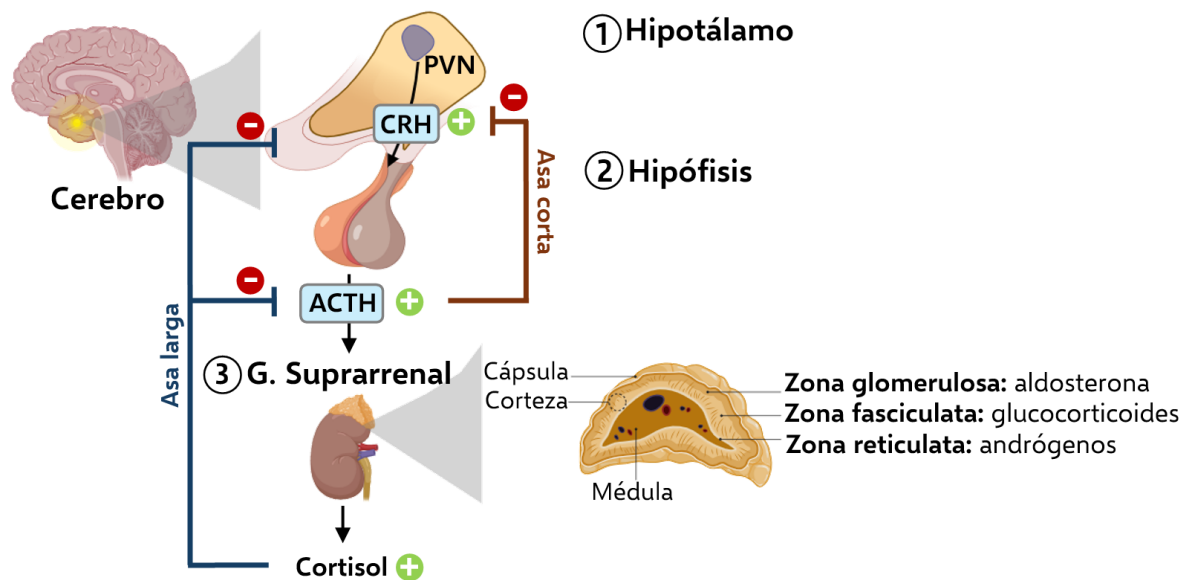


Figura 2. Activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal ante un estresor. Al percibir un estresor, el núcleo paraventricular del hipotálamo (PVN) secreta hormona liberadora de corticotropina (CRH), esta actúa en la hipófisis anterior para liberar a la hormona adrenocorticotropa (ACTH) la cual se transporta en el torrente sanguíneo y llega a las glándulas adrenales donde estimula a la corteza para la liberación de glucocorticoides, por ejemplo, el cortisol. El eje se autorregula a través de asas de retroalimentación negativa que detienen la secreción de CRH y de ACTH. Creado con BioRender. Además de los glucocorticoides, la corteza suprarrenal sintetiza otros esteroides en sus diferentes zonas, en la región glomerulosa se producen mineralocorticoides como la aldosterona y en la zona reticulata se sintetizan andrógenos (Pignatti y Flück, 2021). Los glucocorticoides liberados al torrente sanguíneo al cruzar la barrera hematoencefálica inhiben su propia síntesis al silenciar el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal a través de asas de retroalimentación negativa a nivel de la hipófisis y el hipotálamo. Además también existe un asa corta en la que la liberación de la hormona adrenocorticotropa inhibe la liberación de la hormona liberadora de corticotropina (de Kloet y Joëls, 2017).

Los glucocorticoides secretados al torrente sanguíneo, siendo el cortisol el más abundante en los humanos, y la corticosterona en los roedores tienen funciones metabólicas, proinflamatorias, cardiovasculares, antiinflamatorias y en el cerebro producen efectos emocionales, en el comportamiento, así como cognitivos (Nicolaidis y cols., 2015). Estas hormonas generan múltiples consecuencias en el organismo, por lo que el silenciamiento del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal debe ser preciso, ya que un exceso o déficit de glucocorticoides ocasiona diversas patologías, como pueden ser el síndrome de Cushing o la enfermedad de Addison, así como enfermedades mentales como la depresión (Jimeno y Zimmer, 2022).

Los efectos fisiológicos anteriormente descritos que son consecuencia de la respuesta lenta al estrés dependen de la unión de los glucocorticoides con sus receptores, los cuales son intracelulares y desempeñan funciones de regulación génica (Deploey y cols., 2023). Se reconocen dos grupos principales, el receptor a mineralocorticoides el cual tiene una afinidad diez veces mayor a la corticosterona, respecto del receptor a glucocorticoides. Ambas proteínas se expresan en todos los órganos del individuo, a nivel central son abundantes en el hipotálamo, la hipófisis y el sistema límbico, entre otras áreas. Adicionalmente, el receptor a mineralocorticoides también tiene afinidad por la aldosterona (de Kloet y Joëls, 2017).

Se han descrito varias isoformas del receptor a glucocorticoides, siendo las más estudiadas la alfa (GR α) y la beta (GR β), la activación del primero ocasiona todos los efectos conocidos de los glucocorticoides; mientras que el receptor GR β no se une a estas hormonas, desconociéndose incluso su ligando endógeno (Meduri y Chrousos, 2020). En el caso del receptor a mineralocorticoides se han reportado cinco isoformas, siendo el receptor MR α el más abundante en el hipocampo del cerebro adulto (Vogel y cols., 2016). Cabe destacar que en el hipocampo el receptor a mineralocorticoides solo es afin al cortisol y a la corticosterona, respuesta que se debe a la mayor concentración de estas hormonas respecto de la aldosterona, así como a la actividad de la enzima 11 beta hidroxisteroide deshidrogenasa, la cual permite que los glucocorticoides en estado activo interactúen con el receptor a mineralocorticoides (Yang y cols., 2023).

3 Las respuestas al estrés y la consolidación de la memoria.

Una vez que los principales componentes de las respuestas al estrés han sido descritos, es momento de detallar como se relacionan estas reacciones con la consolidación y recuperación de la memoria. En estudios realizados en humanos y roedores se ha llegado al consenso de que ante un incremento de la emocionalidad durante el aprendizaje de cualquier experiencia se activan las respuestas al estrés, entonces la adrenalina y noradrenalina liberadas por la médula adrenal estimulan al nervio vago el cual proyecta a una estructura del tallo cerebral llamada núcleo del tracto solitario, este proyecta sus axones hacia el locus coeruleus produciendo la liberación de noradrenalina a nivel central. La activación de este núcleo del tallo cerebral activará receptores beta-adrenérgicos tipo dos en la región basolateral de la amígdala, lo cual promoverá que esta área le otorgue la valencia a la información recibida, es decir si el estímulo es positivo, aversivo o neutro (McGaugh, 2000).

En el caso de los glucocorticoides, estos atraviesan la barrera hematoencefálica y promueven la actividad de las mismas áreas antes mencionadas (McGaugh, 2013). Adicionalmente, existen densas proyecciones desde la amígdala basolateral hacia el hipocampo, dicha comunicación promueve mecanismos en esta última estructura que favorecen la consolidación de la información aprendida como son la generación de potenciación a largo plazo (Roosendaal y McGaugh, 2011). Tanto la adrenalina como los glucocorticoides promueven la actividad en otras áreas del cerebro como son los ganglios

basales, facilitando el aprendizaje de hábitos y habilidades, o en la neocorteza donde ambas hormonas intervienen en la recuperación de la memoria (McGaugh y Roozendaal, 2002; véase Figura 3).

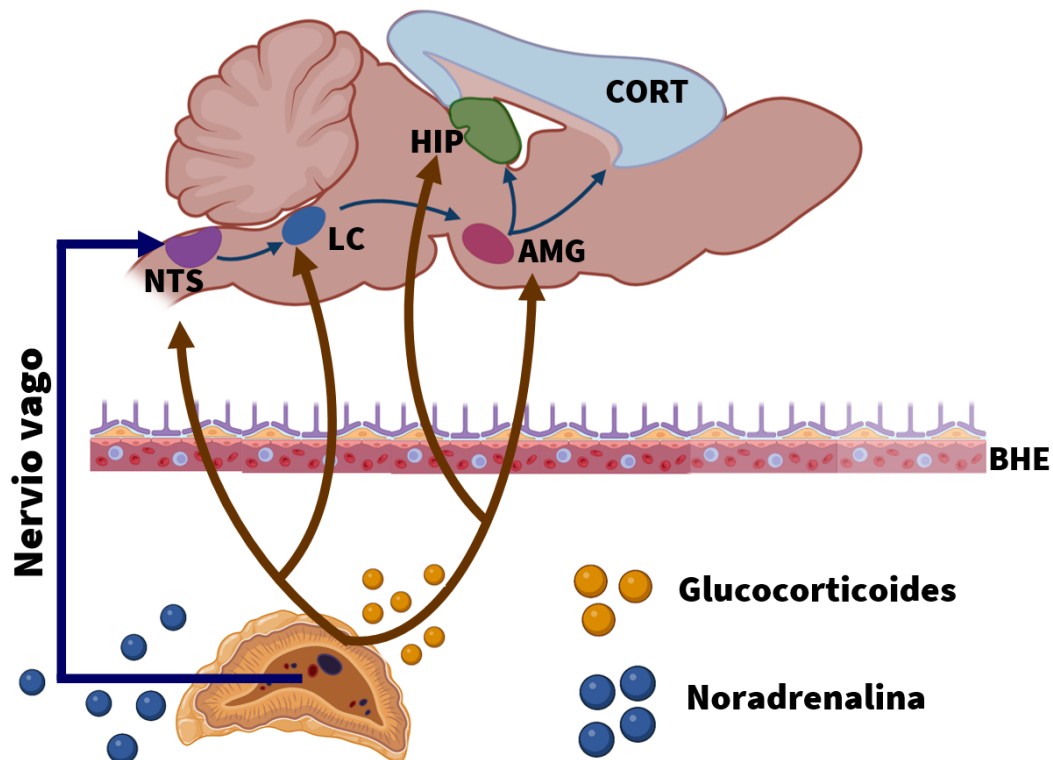


Figura 3. Consolidación de la memoria regulada por las hormonas del estrés. La noradrenalina (líneas azules) estimula a la amígdala basolateral (AMG) a través del núcleo del tracto solitario (NTS) y del locus coeruleus (LC), lo que a su vez modula a los sitios de almacenamiento temporal para la consolidación de la memoria; por ejemplo, el hipocampo (HIP) y la corteza (CORT), entre otras áreas. Los glucocorticoides (líneas amarillas) modulan el efecto de la noradrenalina en la amígdala y también en las regiones de almacenamiento temporal para consolidar la memoria. BHE: barrera hematoencefálica. Creado con BioRender.

4 Respuestas innatas incrementadas al estrés y su efecto sobre la memoria

El circuito antes descrito es producto de varios años de investigación en modelos animales; principalmente en roedores, cuyas respuestas al estrés son moderadas. No obstante, en la naturaleza también ocurre la expresión de fenotipos que son más sensibles a los estresores,

es decir individuos que de manera innata secretan mayores cantidades de hormonas del estrés, o bien que tienen una mayor expresión de los receptores a estas hormonas, entre otras causas, y por ende su consolidación de la memoria puede variar (Atrooz y cols., 2021). Algunos ejemplos de modelos animales cuya respuesta al estrés está incrementada y tienen un mejor desempeño en variadas pruebas de memoria son las ratas Romanas de baja evitación y las ratas con alto comportamiento ansioso (Escorihuela y cols., 1995; Ohl y cols., 2002).

En el Instituto de Fisiología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla se obtuvieron a través de cruzamientos endogámicos (hermanos con hermanas) de la cepa Sprague-Dawley, las sublíneas de ratas de bajo y alto bostezo (Low-yawning: LY y High-yawning: HY, de sus siglas en inglés), como su nombre lo indica ambos grupos tienen una diferencia en la frecuencia de su bostezo espontáneo. La sublínea HY bosteza 22 veces por hora mientras que la LY lo hace 2 veces por hora (Urbá-Holmgren y cols., 1990). Además de este comportamiento, en diversas pruebas conductuales que evalúan la ansiedad y la respuesta al estrés en roedores, ambas sublíneas expresan un comportamiento específico (Díaz y cols., 2024; Moyaho y cols., 1995).

En el campo abierto, una caja cuboidal cuyas dimensiones exceden a las de la caja de vivienda habitual de las ratas de laboratorio, y que es utilizado para evaluar locomoción y respuesta al estrés, la sublínea de bajo bostezo recorre una menor distancia y ejecuta más tigmotaxis; es decir que explora pegada al muro del campo, respecto de la sublínea de alto bostezo (Díaz et al., 2024; Moyaho et al., 1995). En la caja luz-oscuridad una prueba que evalúa la ansiedad como rasgo, la sublínea HY permanece más tiempo en el área iluminada y aversiva del dispositivo respecto de los sujetos LY. De manera similar, en el laberinto en cruz elevado, una prueba que permite analizar la ansiedad como estado, los machos de la sublínea de alto bostezo exploran durante más tiempo el área aversiva del laberinto respecto de los sujetos LY (Eguibar y cols., sometido a consideración editorial).

En conjunto los datos anteriores indican que la sublínea de bajo bostezo expresa un fenotipo ansioso y más sensible a los estresores respecto de la sublínea de alto bostezo la cual tiene conductas resilientes, ya que prefiere explorar los espacios con estímulos estresantes en lugar de permanecer más tiempo en las áreas ansiolíticas, un comportamiento que es relevante ya que se opone a la conducta promedio de las ratas de laboratorio (Kraeuter y cols., 2019). Considerando los despliegues conductuales de ambas sublíneas ante los estresores, se generó la pregunta; ¿Los mecanismos de aprendizaje o memoria en las sublíneas de alto y bajo bostezo, están influenciados por sus fenotipos innatos ansiosos y resiliente, respectivamente?

El primer experimento realizado para contestar a la pregunta anterior fue utilizando la prueba de reconocimiento de objetos novedosos, la cual se basa en la tendencia natural que expresan las ratas a explorar lo novedoso (Ennaceur y Delacour, 1988). Esta prueba se desarrolla en un campo abierto donde se colocan dos objetos idénticos, se introduce al animal y se permite que los explore libremente, en general los roedores lo hacen a través del olfato, esta fase se denomina habituación, después de cinco minutos interactuando con los objetos el animal es retirado al igual que uno de los objetos, cuando el sujeto reingresa al campo abierto después de determinado tiempo se encuentra con un objeto conocido y

uno completamente diferente, el tiempo que pase explorando el objeto novedoso indica su capacidad de memoria del contexto previo, a través de esta variable se pueden obtener diferentes índices de reconocimiento, los cuales reflejan la capacidad de discriminación del sujeto (Antunes y Biala, 2012).

En esta prueba de reconocimiento de objetos novedosos evaluamos a machos y hembras de las sublíneas de alto, bajo bostezo y la cepa Sprague-Dawley de tres meses de edad. Se obtuvo que, en la memoria evaluada a corto y largo plazo los machos LY expresaron un mejor desempeño respecto de su cepa de origen las ratas Sprague-Dawley, mientras que la sublínea de alto bostezo se desempeñó eficientemente en ambas evaluaciones de la memoria sin que se alcanzaran diferencias significativas con los grupos Sprague-Dawley o LY (Díaz y cols., 2024).

Los resultados anteriores son importantes para la comprensión de cómo funciona la memoria en un sujeto que expresa ansiedad innata, como lo es el caso de la sublínea LY, las cuales en la prueba de reconocimiento de objetos novedosos expresaron emocionalidad aumentada, probablemente con un incremento de los niveles de corticosterona plasmáticos lo que se relacionó con una mejor memoria respecto de los controles cuya emocionalidad no estaba elevada (Okuda y cols., 2004).

A partir del resultado obtenido en las sublíneas de alto y bajo bostezo se han diseñado diferentes experimentos en los que se administran antagonistas a los receptores b-adrenérgicos y a glucocorticoides, así como la evaluación de la ausencia de hormonas del estrés inducida por adrenalectomía, estrategias que se ha reportado tienen efectos sobre el aprendizaje y la memoria (Roozendaal y McGaugh, 2011). La información que se obtenga de las manipulaciones anteriores nos permitirá determinar cuáles son las modificaciones en el circuito de consolidación y recuperación de la memoria de la sublínea LY, considerando su fenotipo ansioso innato.

5 Conclusión

La coincidencia que existe entre la fuerte consolidación de la memoria con componentes emocionales y que las hormonas del estrés sean las que modulan este mecanismo, indica que ambos son procesos que permiten la sobrevivencia de los individuos. Adicionalmente, los estudios realizados en modelos animales de ansiedad innata como lo es la sublínea de bajo bostezo permitirán analizar como este mecanismo de sobrevivencia, cuando es activado por estresores intensos puede derivar en el desarrollo de patologías como el síndrome de estrés postraumático, el cual es la condición extrema de este tipo de consolidación por hormonas del estrés. Y en el caso de la resiliencia que caracteriza a la sublínea de alto bostezo, determinar cuáles son sus características neurofisiológicas para ejecutar una alostasis que permite su sobrevivencia ante los estresores, lo cual puede coadyuvar al desarrollo de estrategias para el tratamiento de la ansiedad.

Referencias

- Antunes, M., Biala, G., 2012. The novel object recognition memory: neurobiology, test procedure, and its modifications. *Cogn. Process.* 13, 93–110. <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0430-z>
- Aston-Jones, G., Waterhouse, B., 2016. Locus coeruleus: From global projection system to adaptive regulation of behavior. *Brain Res.* 1645, 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.03.001>
- Atrooz, F., Alkadhi, K.A., Salim, S., 2021. Understanding stress: Insights from rodent models. *Curr. Res. Neurobiol.* 2, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.crneur.2021.100013>
- Bauer, M.B., Currie, K.P.M., 2020. Chapter 29 - Adrenal Medulla Hormones, in: Litwack, G. (Ed.), *Hormonal Signaling in Biology and Medicine*. Academic Press, pp. 635–653. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813814-4.00029-8>
- Ben-Yakov, A., Dudai, Y., Mayford, M.R., 2015. Memory Retrieval in Mice and Men. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 7, a021790. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021790>
- de Kloet, E.R., de Kloet, S.F., de Kloet, C.S., de Kloet, A.D., 2019. Top-down and bottom-up control of stress-coping. *J. Neuroendocrinol.* 31, e12675. <https://doi.org/10.1111/jne.12675>
- de Kloet, E.R., Joëls, M., 2017. Brain mineralocorticoid receptor function in control of salt balance and stress-adaptation. *Physiol. Behav.* 178, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.12.045>
- Deploey, N., Van Moortel, L., Rogatsky, I., Peelman, F., De Bosscher, K., 2023. The Biologist's Guide to the Glucocorticoid Receptor's Structure. *Cells* 12, 1636. <https://doi.org/10.3390/cells12121636>
- Díaz, L., Cortes, C., Ugarte, A., Trujillo, A., Eguibar, J.R., 2024. Differences in memory performance: The effects of sex and reproductive experience on object recognition memory in high- and low-yawning Sprague–Dawley rats. *Physiol. Behav.* 114713. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2024.114713>
- do Vale, G.T., Ceron, C.S., Gonzaga, N.A., Simplicio, J.A., Padovan, J.C., 2019. Three Generations of β -blockers: History, Class Differences and Clinical Applicability. *Curr. Hypertens. Rev.* 15, 22–31. <https://doi.org/10.2174/1573402114666180918102735>
- Dudai, Y., Karni, A., Born, J., 2015. The Consolidation and Transformation of Memory. *Neuron* 88, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.004>
- Ennaceur, A., Delacour, J., 1988. A new one-trial test for neurobiological studies of memory in rats. 1: Behavioral data. *Behav. Brain Res.* 31, 47–59. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(88\)90157-x](https://doi.org/10.1016/0166-4328(88)90157-x)
- Escorihuela, R.M., Tobefia, A., Fernández-Teruel, A., 1995. Environmental enrichment and postnatal handling prevent spatial learning deficits in aged hypoemotional (Roman high-avoidance) and hyperemotional (Roman low-avoidance) rats. *Learn. Mem. Cold Spring Harb. N* 2, 40–48. <https://doi.org/10.1101/lm.2.1.40>
- Gallo-Payet, N., Battista, M.-C., 2014. Steroidogenesis-adrenal cell signal transduction. *Compr. Physiol.* 4, 889–964. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130050>
- Jimeno, B., Zimmer, C., 2022. Glucocorticoid receptor expression as an integrative measure to assess glucocorticoid plasticity and efficiency in evolutionary endocrinology: A perspective. *Horm. Behav.* 145, 105240. <https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2022.105240>
- Kandel, E.R., Dudai, Y., Mayford, M.R., 2014. The molecular and systems biology of memory. *Cell* 157, 163–186. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.001>
- Kovács, K.J., 2013. CRH: The link between hormonal-, metabolic- and behavioral responses to stress. *J. Chem. Neuroanat.* The tale of a person and a peptide: Wylie W. Vale Jr. and the role of corticotropin-releasing factor in the stress response 54, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2013.05.003>

- Kraeuter, A.-K., Guest, P.C., Sarnyai, Z., 2019. The Open Field Test for Measuring Locomotor Activity and Anxiety-Like Behavior. *Methods Mol. Biol.* Clifton NJ 1916, 99–103. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8994-2_9
- McEwen, B.S., Akil, H., 2020. Revisiting the Stress Concept: Implications for Affective Disorders. *J. Neurosci.* 40, 12–21. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0733-19.2019>
- McEwen, B.S., Bowles, N.P., Gray, J.D., Hill, M.N., Hunter, R.G., Karatsoreos, I.N., Nasca, C., 2015. Mechanisms of stress in the brain. *Nat. Neurosci.* 18, 1353–1363. <https://doi.org/10.1038/nn.4086>
- McGaugh, J.L., 2013. Making lasting memories: Remembering the significant. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 10402–10407. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301209110>
- McGaugh, J.L., 2000. Memory--a century of consolidation. *Science* 287, 248–251. <https://doi.org/10.1126/science.287.5451.248>
- McGaugh, J.L., Roozendaal, B., 2002. Role of adrenal stress hormones in forming lasting memories in the brain. *Curr. Opin. Neurobiol.* 12, 205–210. [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(02\)00306-9](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(02)00306-9)
- Meduri, G.U., Chrousos, G.P., 2020. General Adaptation in Critical Illness: Glucocorticoid Receptor-alpha Master Regulator of Homeostatic Corrections. *Front. Endocrinol.* 11, 161. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00161>
- Morris, R., 2013. Neurobiology of Learning and Memory, in: Pfaff, D.W. (Ed.), *Neuroscience in the 21st Century: From Basic to Clinical*. Springer, New York, NY, pp. 2173–2211. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1997-6_81
- Motiejunaite, J., Amar, L., Vidal-Petiot, E., 2021. Adrenergic receptors and cardiovascular effects of catecholamines. *Ann. Endocrinol.* 82, 193–197. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2020.03.012>
- Moyaho, A., Eguibar, J.R., Diaz, J.L., 1995. Induced grooming transitions and open field behaviour differ in high- and low-yawning sublines of Sprague-Dawley rats. *Anim. Behav.* 50, 61–72. <https://doi.org/10.1006/anbe.1995.0221>
- Nicolaides, N.C., Kyratzi, E., Lamprokostopoulou, A., Chrousos, G.P., Charmandari, E., 2015. Stress, the Stress System and the Role of Glucocorticoids. *Neuroimmunomodulation* 22, 6–19. <https://doi.org/10.1159/000362736>
- Novoselova, T.V., King, P.J., Guasti, L., Metherell, L.A., Clark, A.J.L., Chan, L.F., 2019. ACTH signalling and adrenal development: lessons from mouse models. *Endocr. Connect.* 8, R122–R130. <https://doi.org/10.1530/EC-19-0190>
- Ohl, F., Roedel, A., Storch, C., Holsboer, F., Landgraf, R., 2002. Cognitive performance in rats differing in their inborn anxiety. *Behav. Neurosci.* 116, 464–471. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.116.3.464>
- Okuda, S., Roozendaal, B., McGaugh, J.L., 2004. Glucocorticoid effects on object recognition memory require training-associated emotional arousal. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 101, 853–858. <https://doi.org/10.1073/pnas.0307803100>
- Perez, D.M., 2020. α 1-Adrenergic Receptors in Neurotransmission, Synaptic Plasticity, and Cognition. *Front. Pharmacol.* 11.
- Pignatti, E., Flück, C.E., 2021. Adrenal cortex development and related disorders leading to adrenal insufficiency. *Mol. Cell. Endocrinol.* 527, 111206. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2021.111206>
- Poe, G.R., Foote, S., Eschenko, O., Johansen, J.P., Bouret, S., Aston-Jones, G., Harley, C.W., Manahan-Vaughan, D., Weinshenker, D., Valentino, R., Berridge, C., Chandler, D.J., Waterhouse, B., Sara, S.J., 2020. Locus coeruleus: a new look at the blue spot. *Nat. Rev. Neurosci.* 21, 644–659. <https://doi.org/10.1038/s41583-020-0360-9>
- Roozendaal, B., McGaugh, J.L., 2011. Memory modulation. *Behav. Neurosci.* 125, 797–824. <https://doi.org/10.1037/a0026187>

- Schwabe, L., 2017. Memory under stress: from single systems to network changes. *Eur. J. Neurosci.* 45, 478–489. <https://doi.org/10.1111/ejn.13478>
- Schwabe, L., Hermans, E.J., Joëls, M., Roozendaal, B., 2022. Mechanisms of memory under stress. *Neuron* 110, 1450–1467. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2022.02.020>
- Squire, L.R., Zola-Morgan, A.J.O., 2015. Conscious and unconscious memory systems. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 7, a021667. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021667>
- Squire, L.R., Zola-Morgan, J.T., 2011. The Cognitive Neuroscience of Human Memory Since H.M. *Annu. Rev. Neurosci.* 34, 259–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113720>
- Tank, A.W., Lee Wong, D., 2015. Peripheral and central effects of circulating catecholamines. *Compr. Physiol.* 5, 1–15. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140007>
- Urbá-Holmgren, R., Trucios, N., Holmgren, B., Eguibar, J.R., Gavito, A., Cruz, G., Santos, A., 1990. Genotypic dependency of spontaneous yawning frequency in the rat. *Behav. Brain Res.* 40, 29–35. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(90\)90039-h](https://doi.org/10.1016/0166-4328(90)90039-h)
- Vogel, S., Fernández, G., Joëls, M., Schwabe, L., 2016. Cognitive Adaptation under Stress: A Case for the Mineralocorticoid Receptor. *Trends Cogn. Sci.* 20, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.12.003>
- Yang, H., Narayan, S., Schmidt, M.V., 2023. From ligands to behavioral outcomes: understanding the role of mineralocorticoid receptors in brain function. *Stress Amst. Neth.* 26, 2204366. <https://doi.org/10.1080/10253890.2023.2204366>

Índice de autores

Nombre del Autor	Nacionalidad	
Adriela Fierro Rojas	Mexicana	
Alan F. Carrillo Villanueva	Mexicana	
Angélica Porras Juárez	Mexicana	
Armando Espíndola Pozos	Mexicana	
Athziri Zúñiga Méndez	Mexicana	
Brandon Erik Quiñones Baez	Mexicana	
Beatriz Beltrán Martínez	Mexicana	Editora
Carlos Andrés Martínez González	Mexicana	
Carmen Cerón Garnica	Mexicana	Editora
Daniela Alexandra Bernabé Sánchez	Mexicana	
Daniela Jazjanny Pedro Trujano	Mexicana	
Emma Vianey García Ramírez	Mexicana	
Enrique González Vergara	Mexicana	
Geraldine Ortiz Melo	Colombiana	
Gerardo Martínez García	Mexicana	
Jorge Raúl Cerna Cortez	Mexicana	
José Ramón Eguibar Cuenca	Mexicana	
Julia Flores Tochiuitl	Mexicana	
Julio C. Alvarez Galicia	Mexicana	
Juventino Montiel Hernández	Mexicana	
Karla Marisol Teutli Mellado	Mexicana	
Leonardo Fuentes Bueno	Mexicana	
Lilia Díaz	Mexicana	
Luis Alberto Rendón Delgado	Mexicana	
Luis Enrique Colmenares Guillen	Mexicana	
Ma. del Carmen Cortés Sánchez	Mexicana	
Marcela Maribel Méndez Otero	Mexicana	
Marco A. Mora Ramírez	Mexicana	
María Josefa Somodevilla García	Mexicana	
Mariano Larios Gómez	Mexicana	
Maximino Luis Arroyo Carrasco	Mexicana	
Miguel Angel Barranco Ortega	Mexicana	
Mireya Tovar Vidal	Mexicana	Editora
Olivia Hernández Cruz	Mexicana	
Olivia Romero Tehuitzil	Mexicana	
Ricardo Pérez Avilés	Mexicana	
Rosa Lydia Muñoz Téllez	Mexicana	
Sergio Alberto Sabinas Hernández	Mexicana	
Yeiny Romero Hernández	Mexicana	
Yolanda Arrieta Aguirre	Mexicana	
Yolanda Moyao Martínez	Mexicana	Editora

Compiladores

Carmen Cerón Garnica
Mireya Tovar Vidal
Yolanda Moyao Martínez
Beatriz Beltrán Martínez

Revisores

Beatriz Beltrán Martínez
José Luis Carballido Carranza
Hilda Castillo Zacatelco
Víctor Manuel Mila Avendaño
Ivett Morales Cuaxi

Yolanda Moyao Martínez
José Andrés Vázquez Flores
Claudia Zepeda Cortés

Editores

Carmen Cerón Garnica
Mireya Tovar Vidal
Yolanda Moyao Martínez
Beatriz Beltrán Martínez

Ecos científicos y tecnológicos para la sostenibilidad
Coordinadores de la publicación:
Carmen Cerón Garnica
Mireya Tovar Vidal
Yolanda Moyao Martínez
Beatriz Beltrán Martínez
A partir de diciembre de 2024
está disposición en PDF en la página
de la Facultad de Ciencias de la Computación
de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)
<http://mtovar.cs.buap.mx/doc/Libros/LibroECTS24.pdf>
Peso del archivo: 17.00 MB

ECOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS PARA LA SOSTENIBILIDAD

Agradecemos a los autores, revisores y autoridades por su participación y colaboración por el libro titulado “Ecos científicos y tecnológicos para la sostenibilidad” por el tiempo dedicado a la investigación científica y tecnológica realizada en licenciatura y posgrados que conllevan a una innovación y transformación de la sociedad.

Las líneas de investigación de los capítulos se clasifican en áreas de las ciencias: Física, química, medicina, ciencias de la computación y ciencias de la educación.

Agradecemos a la Red Internacional de Mujeres en la Ciencia y Tecnología (REDIMUCIT) por todo el trabajo realizado para hacer posible la publicación del presente libro.

