

10°



ENCUENTRO DE JÓVENES
**INVESTIGADORAS E
INVESTIGADORES**
DEL ESTADO DE QUERÉTARO

"Ideas jóvenes para impulsar el crecimiento del país"

CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Directorio

PRESIDENTE

LIC. MAURICIO KURI GONZÁLEZ

VICEPRESIDENTE

DRA. MARTHA ELENA SOTO OBREGÓN

DIRECTOR GENERAL

DR. ENRIQUE RABELL GARCÍA

SECRETARIO

LIC. RENÉ MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 14, edición especial, septiembre 2023. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: septiembre de 2023

Nthe ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

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

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

EDICIÓN Y DISEÑO DE LA PUBLICACIÓN
LIC. FELIPE DE JESÚS ESPERÓN VALENZUELA

CORRECCIÓN DE ESTILO
DRA. MARÍA LUISA ÁLVAREZ MEDINA
LIC. MONSERRAT ACUÑA DELGADO

Nthe, Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
<http://nthe.mx/>

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, unidad Querétaro

Dr. Flora Mercader Trejo

Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro

Dr. Martha Cruz Soto

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dr. Gabriela Calderón Guerrero

Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses

Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García

Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el Trabajo, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Miguel Martínez Madrid

Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez

Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel

Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jóns Sánchez Aguilar

Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico Nacional de México

Dr. Octavio López Millán

Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro

Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado

Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes

Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos

Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar

CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles

Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

Dra. Olivia Solís Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero

Universidad de West Virginia, EUA



La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 22 de diciembre de 2022. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Comentario *Nthe*

La publicación y difusión de la producción científica de investigadores es una función primordial del Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Querétaro por lo que en esta edición especial de la revista *Nthe* se presentan 22 trabajos presentados por estudiantes de licenciatura y posgrado participantes en el “10° Encuentro de Jóvenes Investigadoras e Investigadores del estado de Querétaro”.

Este encuentro ha tenido la finalidad de identificar jóvenes talentos a través de la presentación de resultados de proyectos de investigación que fortalecieran la creatividad y las capacidades de innovación científica en el Estado de Querétaro. La organización corrió a cargo de la Secretaría de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), a cargo de la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, con la coordinación de la M. en GIC. Karina Villarauz Camargo. Los artículos fueron sometidos a revisión de un comité científico y un grupo de jurados quienes dictaminaron a partir de los criterios de originalidad, contribución al conocimiento, beneficios de la aplicación de los resultados, redacción, así como el soporte teórico y metodológico.

Felicito a los organizadores del encuentro por cumplir 10 años motivando a la juventud queretana a realizar investigación y exponer sus resultados en este tipo de foros académicos.

Espero que esta edición especial cumpla con el objetivo de promover el conocimiento y estimular a los estudiantes que se están formando en las aulas en los niveles de licenciatura y posgrado para que sigan por los caminos del conocimiento científico.

Dr. Enrique Rabell García
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Potencialidades y limitaciones de las redes sociodigitales en la construcción de aprendizajes

Ana Fernanda García Riva Palacio
Miriam Herrera Aguilar
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Universidad Autónoma de Querétaro

1

Mejoramiento en el sistema de captación de agua potable a beneficio de la comunidad de la Barranca Pinal de Amoles, Qro.

Ana Mireya Guerrero Aguas
Sandra Karen Jiménez Pérez
Laura Daniela
Mario Trejo Perea
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

9

¿Se vale ironizar si eres niña? Un estudio electrofisiológico.

Brenda Luna Granados
Karina Hess Zimmermann
Lucero Díaz Calzada
Gloria Nélide AVECILLA RAMÍREZ
Facultad de Psicología y Educación
Universidad Autónoma de Querétaro

18

Razonamiento proporcional y micromundos: un estudio en telesecundaria unitaria

Carlos Alberto Lugo Lugo
Erika García Torres
Santiago Alonso Palmas Pérez
Universidad Autónoma de Querétaro
Universidad Autónoma Metropolitana

25

Modelo bayesiano para el diagnóstico oportuno de enfermedades cardiacas

Daniel Cantón-Enríquez
Jorge-Luis Pérez-Ramos
Luis-Antonio Díaz-Jiménez
Selene Ramírez-Rosales
Ana-Marcela Herrera-Navarro
Hugo Jiménez-Hernández
Laboratorio de Percepción Artificial
Facultad de Informática
Universidad Autónoma de Querétaro

34

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) modula el perfil de microbiota intestinal en un modelo animal de estadio temprano de cáncer de colon

Edelmira Sánchez-Recillas
Rosa Iris Godínez-Santillán
Haydé Azeneth Vergara-Castañeda
Ana Alicia Sánchez -Tusié
¹Facultad de Medicina.
Centro de Investigación Biomédica Avanzada (CIBA)
Universidad Autónoma de Querétaro

41

Intervención antisísmica en edificios afectados por terremotos mediante simulación

Eli Josue Ledezma Arellano
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

48

Efectos de las cargas a flexion pura en WPC

J.C. Rosas-Valencia
José Luis Reyes Araiza
Saul Obregon Bios
Alejandro Manzano Ramirez
José de Jesús Pérez Bueno
Universidad Autónoma de Querétaro
CINVESTAV - Unidad Querétaro
CIDETEQ

59

Anidación, dieta y patrones de actividad de *Sciurus oculatus* en un bosque mixto

José Pablo Torres Campos
Ximena Zamora Prieto
Diego Emilio Aznar Cruz
Nicolás Ramos-Lara
Arkansas State University
Campus Querétaro

69

Modelaje de COVID-19 con estructura etaria para el estado de Querétaro

Luis-Andrés Rojas-García
Roberto Álvarez-Martínez
Laboratorio de Biología Cuantitativa y Sistemas Complejos.
Universidad Autónoma de Querétaro

77

ÍNDICE

Efecto del DEP en la locomoción y mielogénesis de pez cebra

María Guadalupe García Martínez
Iván Lazcano Sánchez
Juan Carlos Solís Sainz
Hebert Luis Hernández Montiel
Aurea Orozco Rivas
Ana Gabriela Hernández Puga
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Querétaro
Instituto de Neurobiología
UNAM-Campus Juriquilla
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro

85

La paradoja como generador de discusiones críticas en primaria

María Fernanda Jiménez Torres
Luisa Josefina Alarcón Neve
Karina Paola García Mejía
Universidad Autónoma de Querétaro

96

Elección del sistema de propulsión eléctrico de una aeronave remotamente pilotada (RPA)

Michelle Denisse Herrera Kuantay
Adriana Cházaro Zaharias
Universidad Aeronáutica en Querétaro

105

Efecto del disruptor endócrino MEHP en la regulación de la adipogénesis

Nelly Alejandra Suastegui-Otero
Ana Gabriela Hernández-Puga
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Medicina
Universidad Autónoma de Querétaro

115

Bagazo de betabel como agente antimicrobiano e indicador de pH

Noemi Takebayashi-Caballero
Monserrat Escamilla-García
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro

121

Estudio teórico de la actividad reductora de la quercetina

Oscar Eduardo Ortiz Contreras
María de los Ángeles Cuán Hernández
Rufino Nava Mendoza
Carlos Martín Cortés Romero
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro

127

Obstáculos en PYME y la idoneidad de políticas públicas

Paulina Hernández Mendoza
Enrique Leonardo Kato Vidal
Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma de Querétaro

135

Aumento de permeabilidad intestinal y disminución de memoria por obesidad

Perla Viridiana Ocampo Anguiano
Laura Lizeth Victoria Ruiz
Minerva Ramos Gómez
Erika María Orta Salazar
Azucena Ruth Aguilar Vázquez
Santiago Marisela Ahumada Solórzano
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos.
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro
Instituto de Neurobiología
Departamento de Neurobiología del Desarrollo y Neurofisiología.
Universidad Nacional Autónoma de México
Laboratorio de investigación interdisciplinaria en biomedicina.
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro

144

Quimiopreención del garambullo en el estadio temprano de cáncer de colon in vivo

Rosa Iris Godínez Santillán
Haydée Azeneth Vergara Castañeda
Centro de Investigación Biológica Avanzada
Universidad Autónoma de Querétaro

155

ÍNDICE

Peludos en aprietos: clima, genes y enfermedades

Verónica Torres-Solórzano
Karina Acevedo-Whitehouse
Laboratorio de Plasticidad Inmune y
Fisiología de la Conservación.
Unidad de Microbiología Básica y Aplicada.
Universidad Autónoma de Querétaro

162

Características clínicas de Mexicanas con Lupus: datos del LUPUS RGMX.

Mariana Guadalupe Villegas-Bolaños
Ana Laura Hernández-Ledesma
Estefania Torres-Valdez
Angélica Hayleen Peña-Ayala
Lizbet Tinajero-Nieto
Guillermo Félix-Rodríguez
Gabriel Frontana-Vázquez
Deshiré Alpízar-Rodríguez
Alejandra Medina-Rivera
Licenciatura en Medicina
Universidad del Valle de México
Laboratorio Internacional de Investigación
sobre el Genoma Humano
Universidad Nacional Autónoma de México
Hospital General Regional 2
IMSS, El Marqués, Querétaro.
Hospital General Regional 1
IMSS, Querétaro, Querétaro.
Star Médica
Colegio Mexicano de Reumatología

169

La experiencia inflacionaria en hogares de ingresos altos y bajos

Paula Mariana Padilla Sanchez
Enrique Leonardo Kato Vidal
Universidad Autónoma de Querétaro

178

Potencialidades y limitaciones de las redes sociodigitales en la construcción de aprendizajes

Ana Fernanda García Riva Palacio
Miriam Herrera Aguilar

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales
Contacto: anafergrp@gmail.com

RESUMEN

Resulta incuestionable el cambio paradigmático que han propiciado las tecnologías digitales de la información y de la comunicación. Particularmente, el salto a la *web 2.0* no solo ha traído la aparición de las redes sociodigitales, sino también ha representado una modificación en las formas de pensar y actuar de los seres humanos. En esta línea, es imposible mantener tales cambios alejados del terreno de la educación: sus actores se han apropiado, de forma versátil, de las mencionadas tecnologías. Sin embargo, a pesar de que los estudiantes han convertido a las redes sociodigitales en una de las actividades extracurriculares más comunes, su potencial educativo presenta una extensa serie de limitantes. En tal contexto, el objetivo de este trabajo es conocer cómo los estudiantes de tres universidades mexicanas usan las redes sociodigitales en su formación universitaria, qué autopercepción tienen sobre sus competencias alrededor de su uso, qué utilidad les otorgan y qué limitantes observan. Aunado a lo anterior, este estudio pretende explorar si los universitarios están construyendo aprendizajes significativos alrededor del uso de las redes sociodigitales. Metodológicamente, el enfoque es mixto y se concreta a través de un cuestionario, de preguntas abiertas y cerradas, aplicado a universitarios pertenecientes a tres distintas instituciones de educación superior (IES) en México. La perspectiva teórica desde la que se enmarca este trabajo es la educación para y con los medios, específicamente en un contexto de digitalización. La concreción de este trabajo permite concluir que, alrededor del uso de las redes sociodigitales, en el contexto universitario, existe una serie tanto de potencialidades como de limitaciones frente a la construcción de aprendizajes significativos.

Palabras clave: alfabetización mediática, redes sociodigitales, educación informal, educación formal, aprendizaje significativo.

ABSTRACT

The paradigm shift brought about by the new information and communication technologies is unquestionable. In particular, the leap to Web 2.0 has not only brought the emergence of socio-digital networks, it has also represented a modification in the cognitive structures of human beings; it is impossible to keep these changes away from the field of education.

In the face of all these changes, multiple hopeful promises were built around the use of the new technologies in the area of education; however, despite the fact that students have turned socio-digital networks into the most common extracurricular activity, the educational potential of these continues with an extensive series of limitations.

In this framework, the objective of this paper is to know how university students from three Mexican universities use socio-digital networks in their education, based on media literacy in their university education, what self-perception they have about their skills around their use, what utility they give them and what limitations they observe. In addition, this study aims to explore whether university students are building significant learning around the use of sociodigital networks.

Methodologically, the perspective is mixed and it is materialized through questionnaires applied to university students belonging to three different educational institutions in Mexico.

The theoretical perspective from which this work is framed is education for and with the media, specifically in a context of digitalization.

This work allows us to conclude that, around the use of sociodigital networks, in the university context, there are a lot of potentialities as well as limitations regarding the construction of significant learning.

Keywords: media literacy, social-digital networks, informal education, significant learning

INTRODUCCIÓN

El potencial educativo con el que cuentan las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) parecería resultar incuestionable. Mediante estas, los estudiantes han aprendido a generar estrategias con el objetivo de resolver sus necesidades de manera autónoma (Álvarez & López, 2013). Por otro lado, la aparición y el auge en el uso de las redes sociodigitales han sido sinónimo de colaboración, participación, interacción y conexión. Actualmente, los estudiantes destinan la mayor parte de su tiempo de ocio al uso de estas. De acuerdo con la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2021, de los 35.3 millones de jóvenes de entre 12 y 29 años que hacen uso de internet, el 96.1 % tuvo interacción a través de redes sociodigitales (INEGI, 2021), razón por la que resulta importante conocer qué potencialidades educativas encuentran y qué uso están haciendo de las mismas.

A pesar de lo anterior, aún existen resistencias para concebir una relación estrecha entre lo que se aprende de manera formal e informal; así que, al hablar de aprendizaje, automáticamente se piensa en institutos y universidades; yendo un poco más allá, se evocan los museos o distintos centros de enseñanza. No obstante, es importante observar lo que sucede fuera del contexto institucional y prestar atención a las implicaciones que tiene el uso de las tecnologías digitales, por parte de los jóvenes, como herramientas para su aprendizaje cotidiano.

Si bien a primera vista pareciera que el tiempo de ocio está separado del tiempo de dedicación a la formación universitaria, la perspectiva de la educación integral deja ver que todos los espacios de actividad de los seres humanos abonan a sus formación (Ávila Gutiérrez & Herrera-Aguilar, 2018). En este sentido, Buckingham (2008) señala que la distinción binaria entre los aprendizajes formales e informales ha resultado inútil cuando se habla de nuevas tecnologías. Lo anterior se debe a

que estas dos formas de aprendizaje están interactuando constantemente entre sí.

Tales proposiciones derivan precisamente de la perspectiva de la educación con y para los medios; enfoque que no se puede mantener alejado de la noción de la alfabetización, o alfabetizaciones, alrededor de dichas tecnologías; los actores desarrollan competencias mediáticas e informacionales a lo largo de la vida. En esta línea, para Sonia Livingstone (2011), la alfabetización mediática comprende tres ejes esenciales: a) la búsqueda, identificación y selección de información; b) la comprensión, reflexión y crítica hacia los medios, y c) la participación y creación de contenido en las nuevas plataformas. Este último punto resulta esencial para autores como de Peppino Barale (2004), quien considera que un factor clave para que las TIC tengan éxito en el ámbito educativo es la conversión de los alumnos de usuarios a generadores de información.

Por su parte, Buckingham (2017, citado por Scolari, 2018) señala que la alfabetización puede ser un medio para empoderar, pero también puede utilizarse como una tecnología de control social. El investigador advierte que las personas que más utilizan los medios no siempre son las más alfabetizadas en su consumo. Este autor se adhiere a la propuesta de hablar de alfabetizaciones en plural y precisa las distinciones entre alfabetización tradicional, alfabetización mediática y alfabetización transmedia: la primera se centra en los libros; la segunda, en la televisión, y la tercera coloca a las redes sociales digitales en el centro. Para Livingstone (2011) y Buckingham (2008; 2017, citado por Scolari, 2018), las nuevas generaciones desarrollan las competencias *transmedia* fuera de las instituciones de educación formal. Esta es una razón por la que los espacios informales se transforman en un elemento clave durante la investigación del alfabetismo *transmedia*: las relaciones sociales son construidas en entornos digitales y la red es utilizada como una enciclopedia ante cualquier necesidad de conocimiento.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que presenta la experiencia *online*, esto no es sinónimo de que los jóvenes cuenten con competencias adecuadas para aprovechar lo que las tecnologías digitales ofrecen: la enseñanza mediática todavía no es parte central de la experiencia educativa en el quehacer de los jóvenes universitarios. Dicha problemática se explica con base en los aportes de Sefton-Green (2004), quien apunta que, a pesar del gran número de actividades y experiencias que ofrecen las TIC que pudiesen relacionarse con el aprendizaje, estas podrían no ser consideradas educativas debido a la dificultad de separar los procesos de aprendizaje de la concepción de educación formal.

El aprendizaje por sí mismo siempre ha estado profundamente ligado a los sistemas formales. En tal línea, a pesar de que los alumnos muestran preferencia hacia el uso de materiales digitales frente a los analógicos, todavía no se consigue una integración real de estas herramientas como parte integral de toda una pedagogía; sin embargo, lo anterior no resta el potencial transformador y las nuevas estructuras de pensamiento, análisis, reflexión y expresión que las nuevas generaciones están desarrollando. Estos usos independientes, fuera del contexto escolar, demuestran cómo se pueden conectar los aprendizajes formales con los informales: “lo que se aprende en el aula no permanece ahí, se recontextualiza y enriquece mediante nuevos usos e interacciones comunicativas en diferentes contextos y con diferentes interlocutores” (Navarro, López & García, 2019, p. 92). Así, Navarro, López y García (2019) colocan un énfasis en la integración de aspectos relacionados con la autonomía y con la construcción colaborativa del conocimiento para lograr vincular los aprendizajes formales e informales en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En medio de esta discusión entre los tipos de aprendizaje, resulta interesante abordar, desde la perspectiva de Ausubel (1980), la teoría del aprendizaje significativo. Esta logra explicar lo que otros autores consideran imposible: poner en

armonía la coexistencia e interdependencia entre aprendizaje formal, no formal e informal. Ausubel (1980) expone que, si se tuviera que reducir toda la psicología educativa a un principio, sería que, de todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que los alumnos ya saben. No obstante, para quienes escriben, es importante señalar que las potencialidades educativas de las tecnologías digitales de la información y de la comunicación no se concretan por el solo hecho de usar tales herramientas, sino que es necesario alfabetizarse, formal o informalmente, alrededor de las mismas. En este sentido, Buckingham (2016) habla de una nueva brecha digital: esa que no va solamente encaminada hacia las posibilidades de acceso, sino a la separación existente entre los aprendizajes obtenidos en casa y los aprendizajes obtenidos en la escuela. La vida de los estudiantes fuera de las aulas se ha transformado debido a que gran parte del tiempo de ocio ahora se destina al uso de nuevas tecnologías. Sin embargo, es difícil hacer generalizaciones sobre las competencias que se desarrollan con tal uso; de ahí la necesidad de investigar al respecto.

Con base en lo expuesto, el objetivo de este estudio es conocer cómo estudiantes de tres universidades mexicanas usan las redes sociodigitales en su formación académica, qué autopercepción tienen sobre sus competencias alrededor de su uso, qué utilidad les otorgan y qué limitantes observan. Aunado a lo anterior, este estudio pretende explorar si los universitarios están construyendo aprendizajes significativos alrededor del uso de las redes sociodigitales.

METODOLOGÍA

Para encaminarse al logro de lo mencionado, se echa mano de un enfoque metodológico de tipo mixto (Herández Sampieri et al., 2010). Se utiliza un muestreo cualitativo: primero, de casos tipo, al seleccionar tres universidades públicas ubicadas en diferentes regiones del país norte (centro-occidente y suroeste); segundo, por cuotas, al definir dos áreas de estudio de los participantes en cada

universidad: a) ciencias sociales y humanidades, b) ciencias exactas y, tercero, de voluntarios, al integrar a los informantes del estudio.

Las instituciones de educación superior participantes son: la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (UABJO).

En cada una de estas, se trabaja con las dos áreas de estudio mencionadas: a) ciencias sociales y humanidades, b) ciencias exactas. En el área de ciencias sociales y humanidades de la UAQ, se aplicó el instrumento a estudiantes de las licenciaturas en Relaciones Internacionales, Comunicación y Ciencias Políticas; en la UABJO, se aplicó a estudiantes de Artes Plásticas y Visuales, y, en la UANL, a estudiantes de Mercadotecnia, Periodismo Multimedia y Ciencias de la Comunicación. Por otro lado, para el área de ciencias exactas de la UAQ, se aplicó el cuestionario a estudiantes de Ingeniería Industrial, Ingeniería Biomédica, Ingeniería en Automatización y Arquitectura; en la UABJO, participaron estudiantes de Física, Matemáticas y Computación; mientras que los resultados de la UANL provienen de alumnos de Ciencias Computacionales, Actuaría, Física y Seguridad en Tecnología.

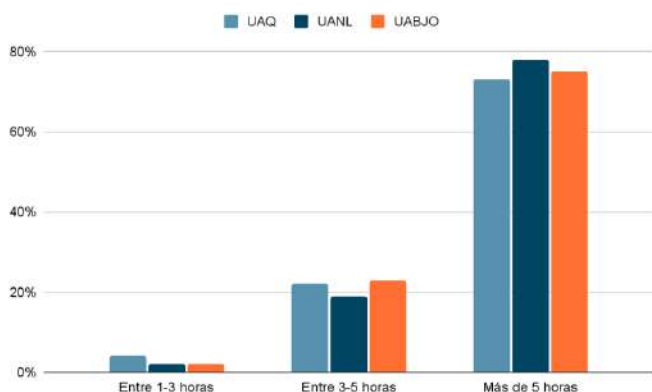
Por último, a través de una invitación a participar en el estudio (primero, a las autoridades y a docentes de las licenciaturas mencionadas, para fungir como mediadores, y, segundo, a los estudiantes de las mismas, para ser informantes), se logra la siguiente muestra de voluntarios de diferentes semestres de cada carrera universitaria: 29 estudiantes de ciencias sociales y humanidades de la UANL, 17 estudiantes de ciencias exactas de la UANL, 24 estudiantes de ciencias sociales y humanidades de la UAQ, 43 estudiantes de ciencias exactas de la UAQ, 17 estudiantes de ciencias sociales y humanidades de la UABJO y, por último, 31 estudiantes de ciencias exactas de la UABJO.

En lo que concierne al instrumento de recolección de datos, se construye un cuestionario con preguntas cerradas y abiertas que se aplica en línea. Por cuestiones de espacio y debido a que este trabajo forma parte de un estudio más amplio, las preguntas correspondientes se enuncian al momento de presentar los resultados. Se diseña este instrumento con base en las propuestas de Ausubel (1980), Sonia Livingstone (2011) y Buckingham (2016); a saber, la vinculación de lo aprendido en redes sociodigitales con la formación académica y con la vida cotidiana (aprendizajes significativos), así como las ventajas y desventajas (potencialidades y limitaciones) a las que los estudiantes universitarios se enfrentan durante sus procesos de aprendizaje mediante las redes sociodigitales. Tal diseño metodológico y la aplicación del instrumento de recolección de datos permite obtener los resultados que se exponen enseguida.

RESULTADOS

Como se ha mencionado, los participantes en el estudio son 161 estudiantes universitarios de diferentes semestres de carreras en ciencias sociales y humanidades; así como en ciencias exactas. La gran mayoría tiene entre 18 y 24 años de edad; 48.4 % pertenece al sexo femenino, 50.3 % al masculino y 1.2 % prefiere no expresarlo.

En lo que respecta al acceso a las TIC y la conectividad a internet, la totalidad de los participantes cuenta con ello. En cuanto al tiempo destinado al uso de la red, los resultados dejan ver que, en las tres instituciones educativas, más del 70 % de los universitarios destinan más de cinco horas al día; mientras que menos del 5 %, también en las tres universidades, hacen uso de la misma entre una y tres horas. La Gráfica 1 muestra los detalles al respecto.



Gráfica 1. Tiempo destinado diariamente al uso de internet. Fuente: Elaboración propia.

Cuando la pregunta puntualiza sobre el tiempo diario destinado al uso de las redes sociodigitales, se encuentra que más del 35 %, en las tres universidades participantes, destina entre una y tres horas. Las respuestas a esta pregunta también dejan ver que, menos del 13 %, en todos los casos, utiliza las redes sociodigitales menos de una hora al día; excepto los estudiantes del área de ciencias exactas de la UABJO, quienes indican, en un 37%, que utilizan estas redes menos de una hora al día.

Ante la pregunta sobre cuál es su red sociodigital favorita, más de 40 % de estudiantes pertenecientes a la UAQ, en ambas áreas de estudio, señaló “Instagram”, lo mismo que los alumnos pertenecientes al área de ciencias sociales de la UANL; mientras que los estudiantes pertenecientes al área de ciencias exactas de esta última y de la UABJO, seleccionaron la plataforma YouTube como su preferida. Por otro lado, los estudiantes de la UABJO pertenecientes al área de ciencias sociales y humanidades marcaron a la red sociodigital TikTok como la que prefieren.

Livingstone (2011) propone que las competencias básicas a desarrollar en la alfabetización mediática son el análisis de la información disponible, la evaluación de la información y de los contenidos de los medios, la participación a través de tales medios, así como la generación de contenido. Con base en esta conceptualización, se preguntó a los estudiantes “¿qué tan hábil te consideras para

localizar, en internet, información relacionada con tu formación de forma rápida y eficaz?”. Los resultados al respecto dejan ver que ningún alumno se autopercibe como “nada hábil”. El 60 % de los estudiantes de la UANL, en ambas áreas del conocimiento, se autopercibe como “muy hábil” para localizar información relacionada con su formación de forma rápida y eficaz; tal porcentaje desciende a 40 % al hablar de los estudiantes pertenecientes a la UAQ y a 30 % en lo que concierne a tal autopercepción en los de la UABJO.

Frente a la misma noción de alfabetización mediática y el uso de las redes sociodigitales de la denominada *web 2.0*, se cuestionó a los estudiantes sobre la frecuencia con que reflexionan ante el material que visualizan en éstas. Los resultados arrojan que, en las tres universidades participantes, más de la mitad afirma hacerlo “algo frecuente”. Al respecto, los estudiantes del área de ciencias sociales y humanidades, en la UAQ y en la UANL, destacan al señalar que reflexionan “muy frecuentemente” frente a tales contenidos, en comparación a los estudiantes de ciencias exactas de la UAQ y de ambas áreas de la UABJO.

De manera general, este resultado muestra que la mayoría de los estudiantes considera que reflexiona con frecuencia ante el material visualizado en redes sociodigitales. Sin embargo, el porcentaje de universitarios que dice reflexionar “poco o nada frecuentemente” ante tal información, en el área de ciencias exactas de la UABJO, asciende a un 29 %; mientras que, en el resto de los grupos, tal situación no supera el 16%.

Tabla 1

Frecuencia de reflexión ante material visualizado en redes sociodigitales

Universidad y área	Muy frecuente	Algo frecuente	Poco o nada frecuente
UAQ Ciencias Sociales	49 %	36 %	15 %

UAQ Ciencias Exactas	16 %	69 %	16 %
UANL Ciencias Sociales	35 %	61 %	3 %
UANL Ciencias Exactas	33 %	53 %	13 %
UABJO Ciencias Sociales	10 %	80 %	10 %
UABJO Ciencias Exactas	16 %	55 %	29 %

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la vinculación de los aprendizajes formales e informales en los procesos de formación, como ya se mencionó, Navarro, López y García (2019) enfatizan los aspectos relacionados con la autonomía. En ese marco, más de la mitad de los estudiantes de las tres universidades participantes afirma estar “de acuerdo” o “totalmente de acuerdo” en que el uso de las redes sociodigitales “fomenta su interés para investigar más a fondo otros temas”.

Otro punto destacable es que en más de 70 % de los universitarios, en todos los casos, se considera “capaz de relacionar lo que aprende en redes sociodigitales con lo que aprende en clases”. Tal resultado permite hablar de un aprendizaje significativo en los universitarios alrededor de su quehacer académico y el uso de las mencionadas redes; lo anterior debido a que logra poner en armonía e interdependencia los aprendizajes formales, no formales e informales (Ausubel, 1980). En la misma línea, los alumnos se posicionaron “de acuerdo” o “totalmente de acuerdo” ante la afirmación de que “las redes sociodigitales los han ayudado a adquirir conocimientos para su vida cotidiana” (ver Tabla 2).

Tabla 2

Las redes sociodigitales me han ayudado a adquirir conocimientos para la vida cotidiana

Universidad y área	Totalmente de acuerdo	De acuerdo
UAQ Ciencias Sociales	54%	35%
UAQ Ciencias Exactas	38%	58%
UANL Ciencias Sociales	38%	45%
UANL Ciencias Exactas	47%	40%
UABJO Ciencias Sociales	50%	40%
UABJO Ciencias Exactas	26%	55%

Fuente: Elaboración propia

Empero, la situación cambia cuando se les cuestiona si “las redes sociodigitales han complementado su formación académica”, pues el posicionamiento de ‘algo en desacuerdo’ aumenta considerablemente en las áreas de ciencias exactas de la UAQ y la UANL a más del 25 % en cada una y se alcanza un 30 % en las áreas de ciencias sociales de la UAQ y de la UABJO. También, al cuestionar a los estudiantes sobre la utilidad del contenido de aprendizaje proporcionado por redes sociodigitales, en todos los casos, se les otorga, mayoritariamente, una “utilidad media”; no obstante, en el área de ciencias sociales de la UANL y de la UABJO el porcentaje de alumnos que califican el contenido como “completamente útil” asciende a 40 %. Tales resultados llevan a relativizar la utilidad de los contenidos de tales redes en el contexto universitario.

Por otro lado, cuando se cuestionó a los alumnos pertenecientes al área de ciencias sociales de la UAQ sobre qué es lo que más les gusta de las redes sociodigitales, las respuestas que más se repiten son “la diversidad de contenido, la practicidad y la posibilidad de mantenerse en contacto”. En contraparte, para los alumnos pertenecientes al área de ciencias exactas de esta universidad, sus razones se orientaron a “la distracción y el entretenimiento que estas les ofrecen”.

Del mismo modo, se les preguntó cuál es la red sociodigital que consideran de mayor utilidad para su formación académica. En los seis grupos, los estudiantes, mayoritariamente, seleccionaron YouTube por diversas razones, entre las que destacan: “la posibilidad de realizar contenido de larga duración”; la “limpieza” del algoritmo con el que cuenta; porque es la red sociodigital donde los estudiantes consideran que “tienen menos distracciones”; además del hecho “que la información proviene de fuentes más confiables”. De igual manera, se cuestionó a los estudiantes si consideran que las nuevas tecnologías ayudan a crear estudiantes autodidactas. Al respecto, la mayoría, en los seis grupos, respondió que sí. Sin embargo, al preguntar de forma abierta: ¿por qué?, los informantes matizan tal afirmación y las redes sociodigitales resultan ser sólo un complemento de diferentes procesos que se dan alrededor del aprendizaje, de entre los que destacan las interacciones sociales. La siguiente respuesta se considera representativa de la postura de los universitarios: “creo que, aunque las redes son una buena herramienta de investigación, el análisis no es una habilidad que adquieres con las redes sociales o con la tecnología, aprendo con el diálogo con otros y luego se refuerza o se utiliza este aprendizaje en redes sociales”.

Aunado a lo anterior, cuando se cuestionó a los estudiantes, de forma abierta, sobre las ventajas de aprender mediante redes sociodigitales, las respuestas repetidas con mayor frecuencia aluden a la inmediatez, la instantaneidad y la actualización. Sin embargo, cuando se les cuestionó sobre las desventajas, se puede observar que los estudiantes presentan una significativa desconfianza frente a la información que visualizan, así como conflictos de distracción y poca posibilidad de retención de la información debido al exceso de estímulos que reciben a través de éstas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La concreción de este trabajo permite concluir que, alrededor del uso de las redes sociodigitales, en el contexto universitario, existe una serie tanto de potencialidades como de limitaciones frente a la

construcción de aprendizajes significativos. Con respecto de las primeras, se entiende el proceso formativo de los universitarios como un complejo de relaciones en el que intervienen diferentes actores (principalmente sus pares, otros estudiantes- y sus docentes) y distintos recursos, entre los que se cuentan las tecnologías digitales de la información y de la comunicación, incluida la conectividad a internet, y el uso de las redes sociodigitales. Es importante destacar, como se ha hecho de igual manera en otros estudios, que el uso de YouTube resulta una estrategia auxiliar para reforzar temas inconclusos en aulas gracias a la especificidad y el detalle con los que cuentan los contenidos que ahí se concentran.

En lo que respecta a las segundas, si bien las tecnologías digitales llegaron cargadas de promesas y optimismo, este estudio hace constar que navegar en un océano tan extenso de información resulta, en cierta medida, contraproducente para los estudiantes. Lo anterior revela la necesidad de una educación con y para el uso de, en este caso, las redes sociodigitales en el contexto universitario, así como de diversas alfabetizaciones.

A pesar de que, de manera general, no se encontraron diferencias significativas entre las respuestas de los estudiantes de diferentes regiones, estas sí se pudieron apreciar en las diferentes áreas de estudio. Es importante destacar la importancia del papel de los pares y del docente en el aprovechamiento y en el desarrollo de competencias mediáticas de los estudiantes, particularmente para el área de ciencias exactas, quienes mostraron una actitud más escéptica hacia la utilidad de las redes sociodigitales consideradas, preponderantemente de carácter comercial. De igual manera, resulta importante fomentar la participación activa de los estudiantes en redes sociodigitales para que estos no únicamente tengan un papel de audiencia pasiva frente al contenido que visualizan.

Es necesario fomentar el diálogo, tanto en instituciones educativas como en redes sociodigitales, con el fin de construir aprendizajes

que puedan orientarse hacia la formación profesional de los universitarios de manera significativa, no sólo en lo que concierne a su área profesional sino para la vida. A pesar de todas las potencialidades que las redes sociodigitales ofrecen (practicidad, inmediatez, instantaneidad, formatos amigables, diversidad), estas podrían verse obstruidas por la serie de limitaciones ante mencionadas mientras los alumnos no continúen desarrollando una educación y alfabetización mediática que les permita enfrentarse a todos los desafíos que conlleva la democratización del contenido publicado y compartido en tales redes.

competencias transmedia de los jóvenes en el aula. Colección Fundación Ceibal

Sefton-Green, J. (2004). Literature review in informal learning with technology outside school. *Report 7 Futurelab Series*

Livingstone, S. (2011). Concepciones convergentes sobre alfabetización: Perspectiva democrática y crítica. *Infoamérica: Iberoamerican Communication Review*, (5), 25-37.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, G. & López, M. (2013). Análisis del uso de Facebook en el ámbito universitario desde la perspectiva del Aprendizaje colaborativo a través de la computadora. *EduTec. Revista Electrónica De Tecnología Educativa*, (43), a226. <https://doi.org/10.21556/edutec.2013.43.8>

Ausubel, D. (1980). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.

Ávila Gutiérrez, A. & Herrera-Aguilar, M. (2018). La Reforma y las TIC's en la cotidianidad de la educación media superior: en busca de la calidad. En Solís Hernández, O.; Solís Hernández, M. E. & Carrillo Pacheco, M.A. (Coords.), *Vida cotidiana y multidisciplinariedad. Miradas diversas a la vida cotidiana desde la historia, el trabajo, la educación y la literatura*. Concytec. 221-243

Buckingham, D. (2016). Defining digital literacy. *Nordic journal of digital literacy*, 21-34.

Buckingham, D. (2008). Repensar el aprendizaje en la era de la cultura digital. *El monitor*, 18, 27-30.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2021). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares, ENDUTIH 2021*. INEGI.

Navarro-Pablo, M., López-Gándara, Y. & García-Jiménez, E. (2019). The use of digital resources and materials In and outside the bilingual classroom. [El uso de los recursos y materiales digitales dentro y fuera del aula bilingüe]. *Comunicar*, 59, 83-93. <https://doi.org/10.3916/C59-2019-08>

Peppino, A. (2004) La docencia universitaria ante un nuevo paradigma educativo. *Revista diálogo educacional*, 4 (13). 1-10. ISSN: 1518-3483

Scolari, C. A. (2018). Adolescentes, medios de comunicación y culturas colaborativas. Aprovechando las

Mejoramiento en el sistema de captación de aguapotable a beneficio de la comunidad de la Barranca Pinal de Amoles, Qro.

Autores: Ana Mireya Guerrero Aguas, Sandra Karen Jiménez Pérez, Laura Daniela

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil, 76010, México.

Asesor: Dr. Mario Trejo Perea

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Santiago de Querétaro 76010, México.

RESUMEN

El abastecimiento de agua potable se considera uno de los servicios más importantes para la población mundial. El servicio para este es la captación de agua bruta, la potabilización, almacenamiento y distribución. En el municipio de Pinal de Amoles, se ha visto una escasa cobertura de distribución de agua potable en su mayoría de comunidades que no cuenta con este servicio básico para un 71.7 %. Principalmente, se eligió como objeto de estudio una mejora para el sistema de captación de agua potable en la que se determinaron los estudios del agua, como su hidrografía y los cálculos del caudal para elegir el sistema de bombeo y el tipo de tuberías; también, el prediseño del sistema con una red de distribución.

PALABRAS CLAVE: Sistema de captación, redes de distribución, tanque de almacenaje, comunidad rural.

ABSTRACT

Drinking water supply is considered one of the most important services for the world's population, the service for this is the collection of raw water, purification, storage and distribution. In the municipality of Pinal de Amoles there has been a scarce coverage of drinking water distribution in most communities that do not have this basic service for 71.7%, mainly it was chosen as the object of study an improvement for the drinking water collection system in which the water studies were determined, such as its hydrography and flow calculations to choose the pumping system and the type of pipes, as well as the pre-design of the system with a distribution network.

KEYWORDS: water catchment system distribution networks, storage tank, rural community.

I. INTRODUCCIÓN

Como menciona (Altobelli M., 2020) El agua es indispensable para la humanidad, sin ella no existiríamos; la importancia que tiene para nuestra supervivencia es demasiada, ya que está ligada íntimamente con nuestro desarrollo y sustento. La cantidad de agua que hay en la Tierra es aproximadamente de 1.41 millones de kilómetros cúbicos: el 98 % es agua salada que está en los océanos, mares y depósitos subterráneos; mientras que el otro 2 % es agua dulce y se encuentra en capas de hielo, glaciares, acuíferos subterráneos, en el subsuelo, en la atmósfera y en los seres vivos. Únicamente 2000 kilómetros de agua dulce están disponibles para consumo humano sin contar los lagos

“Para algunos, la crisis del agua supone caminar a diario largas distancias para obtener agua potable suficiente, limpia o no. Para otros, implica sufrir una desnutrición evitable o padecer enfermedades causadas por las sequías, las inundaciones o por un sistema de saneamiento inadecuado. También hay quienes la viven como una falta de fondos, instituciones o conocimientos para resolver los problemas locales del uso y distribución del agua” menciona (Drago, 2018)

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población; debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y, por otro, a las dificultades técnicas cada vez mayores que conlleva hacerlo.

Los sistemas para abastecimiento de agua potable constan de diversos componentes: captación, conducción, potabilización, desinfección, regulación y distribución. En cada uno se construyen las obras necesarias para que sus objetivos particulares sean alcanzados de forma satisfactoria. La captación se refiere a la explotación del agua en las posibles fuentes; la conducción, al transporte del recurso hasta el punto de entrega para su disposición posterior.

El ingeniero Víctor Jiménez Drago, en su trabajo de investigación “Estudio para el Mejoramiento del Sistema de Agua Potable para las comunidades nativas de San Juan, distrito de Río Santiago” tuvo como objetivo analizar cada uno de los parámetros y normas para que pueda ser desarrollado en el diseño del mejoramiento del sistema de agua potable de la localidad. Esto se debió a la necesidad de contar con un sistema de agua potable adecuado para los pobladores es una preocupación constante

Por otro lado, la problemática de abastecimiento de agua potable en la Sierra Gorda Queretana ha sido un tema de interés que resalta especialmente en esta zona, ya que la gente que habita en ella depende del acarreo o compra de agua con el fin de satisfacer las necesidades básicas que requiere el ser humano.

Menciona (Solano, s.f.) que los vertederos son elementos complejos e importantes que se utilizan en sistemas de distribución de agua, saneamientos, sistemas de evacuación de aguas residuales y sistemas de control de aguas pluviales. Además, permiten controlar el nivel en embalses, canales y depósitos, así como derivar caudales y elevar el nivel de agua. Los vertederos triangulares se usan para medir caudales pequeños. Las ventajas de estos pueden ser las siguientes: obtener alta precisión en la medida de caudales pequeños; influencia reducida de la altura del umbral y de la velocidad de llegada

“Pinal de Amoles no cuenta con este servicio básico de agua potable para un 71.7 % de la población que vive en las comunidades marginadas; una de ellas es la comunidad de la Barranca que tiene un total de 600 habitantes y en su mayoría se contratan pipas de agua para poderse abastecer. Según” (Qro., 2022)

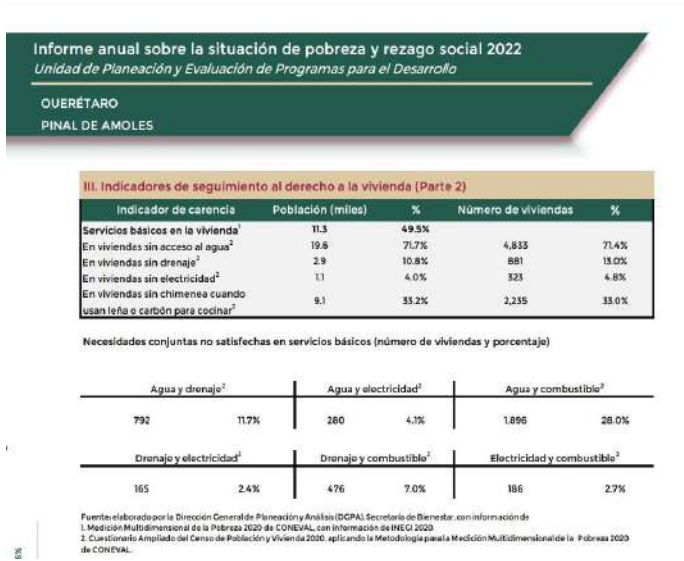


Figura 1.-Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022, secretaria Bienestar Pinal de Qro.

Por lo anterior, se plantea realizar un mejoramiento de sistema de captación que se compondrá de una red de distribución de tuberías, almacenamiento de agua que se tomará del arroyo de la Barranca para poder bombearla al tanque de almacenamiento y, de ahí, poder distribuirla hacia la comunidad de la Barranca.

II. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

Se han revisado artículos científicos en donde se analizó y observó la falta de servicios de redes de agua en la mayoría de la población de las comunidades más marginadas de la Sierra Gorda. Estos artículos mencionan como posibles causas la falta de inversión económica por parte del gobierno en la red de distribución de agua potable. Una de las interrogantes sin contestar es por qué al tener arroyos, ríos de agua disponible no se ha podido distribuir a estas comunidades.

En Pinal de Amoles, la temporada de lluvia es mayormente nublada; la temporada seca es parcialmente nublada durante todo el año. La temporada más mojada dura 4.3 meses, del 2 de junio al 11 de octubre, con una probabilidad de 31 % a más de 55 % de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados es septiembre, con un promedio de 14.6 días con por lo menos 1 milímetro de



Figura 2- Probabilidad Diaria de precipitación, climatología INEGI

La Sierra Gorda queretana está localizada en la parte norte del estado y ocupa el 32.2 % del territorio de dicho estado. Por unas partes tiene elevaciones muy profundas; en otras partes, se encuentran montañas entreveradas con barrancos y diferentes mantos acuíferos que conforman su topografía. Adentrándose más a la zona, se encuentra el municipio de Pinal de Amoles, donde la ubicación geográfica forma una de las zonas más destacables en hidrología de la Sierra.



Figura 3. Hidrografía en Pinal de Amoles, INEGI

Para obtener el gasto del caudal, diseñó la ecuación de continuidad

$$Q=A * V$$

Donde

A= Área del río que se saca el promedio de profundidad del agua multiplicado por el ancho del río

V=velocidad que es igual a distancia de un punto a otro entre el tiempo que recorre el agua

Se utilizará aducción por bombeo. Cuando el sistema exige ser diseñado por esta acción, se requiere considerar un caudal (cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo) suficiente para abastecer el consumo máximo diario en un determinado período de bombeo. Para el proyecto de estudio, el caudal fue diseñado de la siguiente manera:

$$Q_b = Q_c * 24 \text{ hrs} / H_b$$

Donde: Q_b = caudal de bombeo l/seg GMP (galones por minuto)

Q_c = caudal de conducción o de día máximo en l/seg H_b = número de horas de bombeo al día

II. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto se eligió como objeto de estudio un sistema de captación de agua potable, con un sistema de bombeo, almacenaje y redde distribución en la comunidad de la barranca del municipio de Pinal de Amoles, Querétaro. Este sistema nos permitirá facilitar un acceso de agua potable para que se pueda disponer a las viviendas un recurso hídrico y abastecer sus necesidades de consumo.

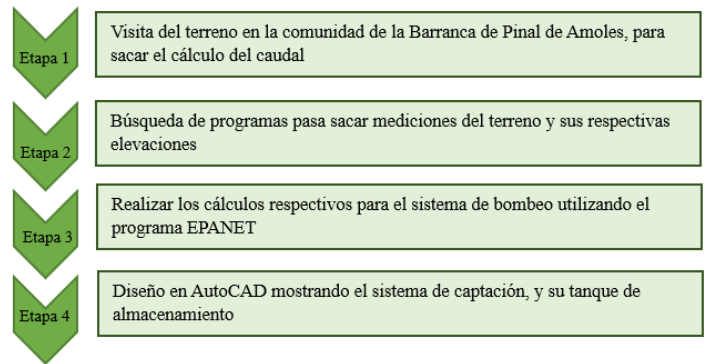


Figura 4.-Etapas del proyecto a realizar

Para el cálculo del caudal, se utilizó el método del flotador en el cual se tomaron las medidas de ancho y profundidad (Figura 5). en tres diferentes puntos del terreno para poder sacar el área total de la zona.



Figura 5. Medición de distancias para el cálculo del caudal. Comunidad de la Barranca Pinal de Amoles

Posterior a esto, se midieron 3 puntos de 2,30 m (Figura 6); se lanzó la bola flotadora y se contó el tiempo que esta recorre en cada uno de los tres puntos.

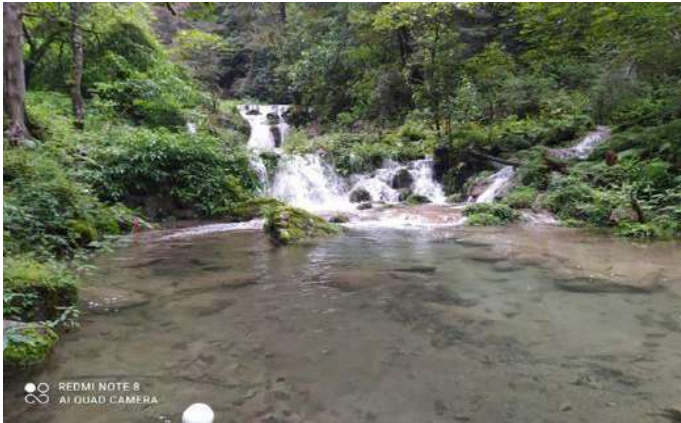


Figura 6. Lanzamiento de la bola flotadora

En Google Earth, se sacaron medidas del terreno y su pendiente de inclinación, así como también su elevación (Figura 7); además, se tomaron medidas aproximadas de las distancias del arroyo

Distancia del Polígono		
B1-B2	54.73 m	Área Total: 0.34 Hectáreas Perímetro: 228 m
B1-B4	53.71 m	
B4-B3	53.82 m	
B3-B2	55.93 m	

Figura 7. Medidas de terreno municipio de Pinal de Amoles Qro.

La inclinación nos sirve principalmente para la potencia que va a tener la bomba y la distancia que se recorre hacia la comunidad de la barranca. Para ello, utilizamos Google Earth que nos da su elevación y pendiente (Figura 8).

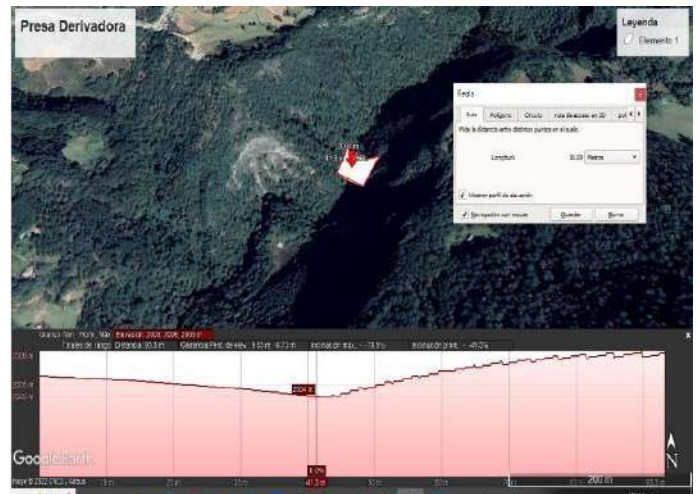


Figura 8. Curvas de nivel tomadas del programa Google Earth .

Para los cálculos del sistema de bombeo, se utilizó el programa Epanet para dar las respectivas medidas de altura de presión y caudal. Así, se sacó la gráfica de la potencia que requiere para obtener el tipo de bomba para las tuberías; en la toma de captación se ocupa 2 tubos de acero galvanizado de 8 pulgadas para 12 metros de distancia. En cuanto al consumo máximo diario de bombeo, el Q_c =caudal de conducción o total se calculó 732.5 l/s

$$Q_b = Q_c * 24 \text{ hrs} / H_b$$

$$Q_b = (732.5 \text{ l/s})(86400\text{s}) / 18000\text{s}$$

$$Q_b = 3516 \text{ l/s consumo máximo diario}$$

Como se muestra en la Figura 9, se determinó la gráfica para obtener el tipo de bomba que se requiere.

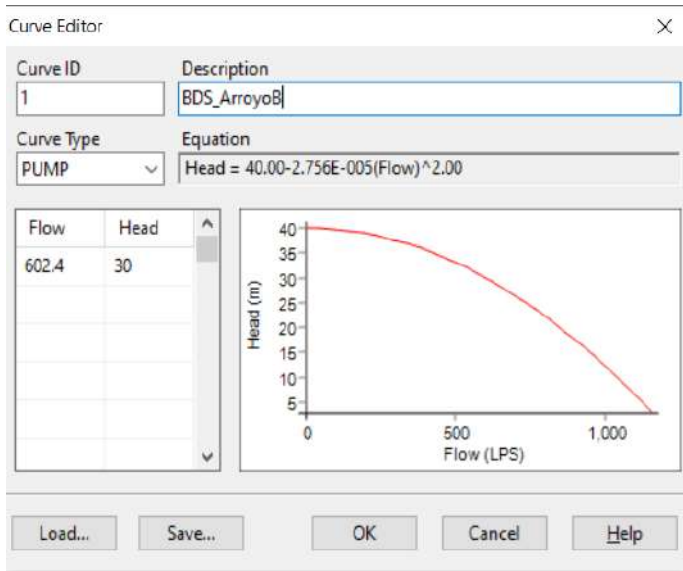


Figura 9. Cálculo de la curva de presión para el tipo de bomba que se necesita en el sistema ,programa Epanet.

En la Figura 10, mostramos la representación de la localización del reservorio hacia donde subirá el fluido, ya que nos muestra la presión y, por ello, podemos deducir el flujo a subir.

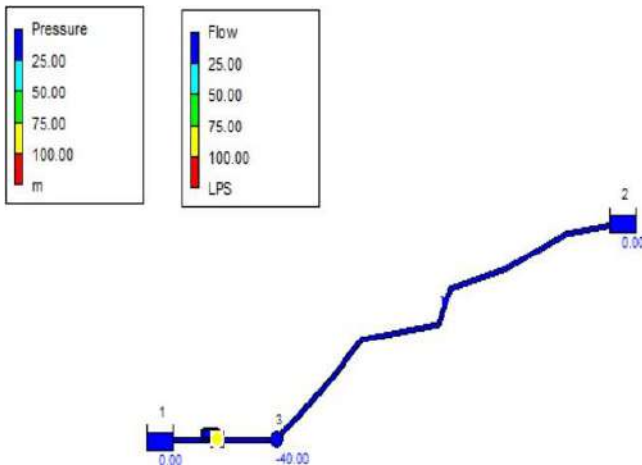


Figura 10. representación gráfica de altura y presión del reservorio sacada en Epanet

III. RESULTADOS

Los resultados del caudal se repitieron tres veces ya que el flujo varía en cuanto a su profundidad, en su mayoría se hizo a una temperatura no menor a 20 C° ni mayor a 27 C°, ya que las variaciones de temperatura como días lluviosos es posible que se aumente el flujo.

Temperatura	20 °C				
Area					
	Punto 1	Punto 2	punto3	Promedio	unidad
Ancho	1.7 m	1.65 m	1.71 m	5.06	m
Profundidad	0.42 m	0.33 m	0.32 m	1.07	m
			Area	5.4142	m^2
Velocidad					
	Punto 1	Punto 2	punto3	Total	unidad
Distancia	2.30 m	2.30 m	2.3m	6.9	m
Tiempo de Lanzamiento	Punto 1	Punto 2	punto3	Total(h:min:seg)	
L1	00:00:00	00:00:25	00:00:32	00:00:57	
L2	00:00:00	00:00:23	00:00:26	00:00:49	
L3	00:00:00	00:00:25	00:00:24	00:00:49	
L4	00:00:00	00:00:28	00:00:25	00:00:53	
L5	00:00:00	00:00:26	00:00:23	00:00:49	
			Promedio	0:00:51	s
			Velocidad	0.13529412	m/s
			Q=A*v	Q	0.73250941 m^3/s

Figura 11. Cálculo de las medidas del caudal.

En la Figura 12, se muestra el rio de la Barranca del municipio de Pinal de Amoles .o que se quiere mejorar es el diseño para un óptimo control del flujo y así poder abastecer también a la comunidad de la Barranca. El diseño que se ve en la Figura 13 muestra un muro de mampostería con una tubería que lo atraviesa para llegar al tanque de almacenaje y, cuando este se llega al límite, se propone un vertedor para que el agua siga continuando libremente. Se utiliza un vertedor triangular de pared gruesa, para el control del nivel del arroyo.



Figura 12. Aroyo de la Barranca Pinal de Amoles Qro.

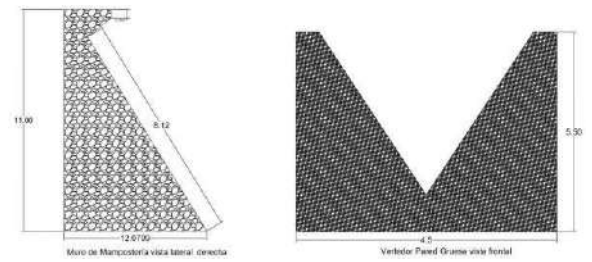


Figura 14. Vistas planas laterales y frontal principales del diseño, AUTOCAD

Cause del arroyo

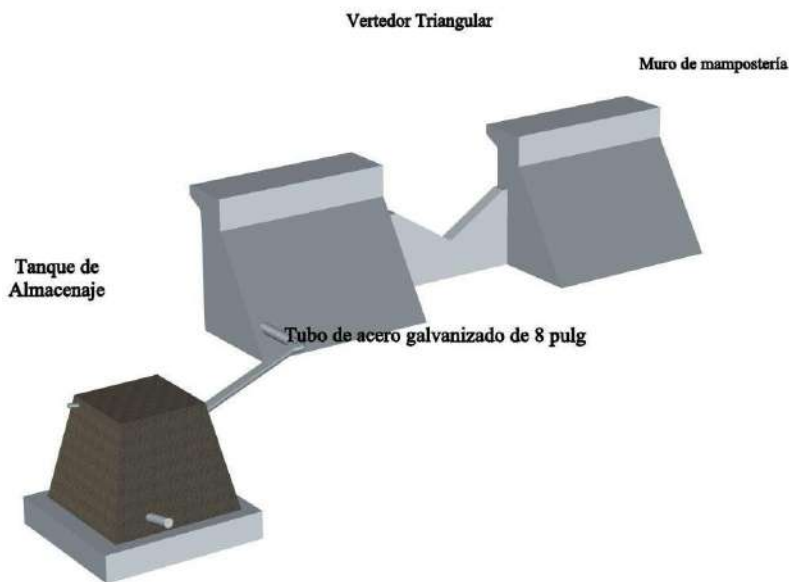


Figura 13. Diseño propuesto para el arroyo de la Barranca Pinal de Amoles. AUTOCAD 2022

En la Figura 14, se muestran las vistas frontal y lateral del muro de mampostería y el vertedor triangular con sus respectivas dimensiones.

En la Figura 15, se muestra las partes que debe tener del tanque, así como la bomba puesta y los tipos de tuberías.

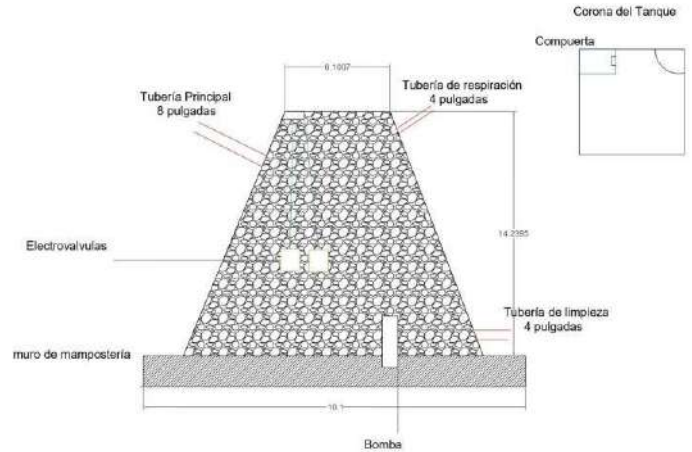


Figura 15. Diseño de tanque en planos AUTOCAD 2D

Por último, se hizo un pequeño bosquejo de la red de conexión: se tomaron medidas y se indica hacia donde se conducirá esta red de agua potable.

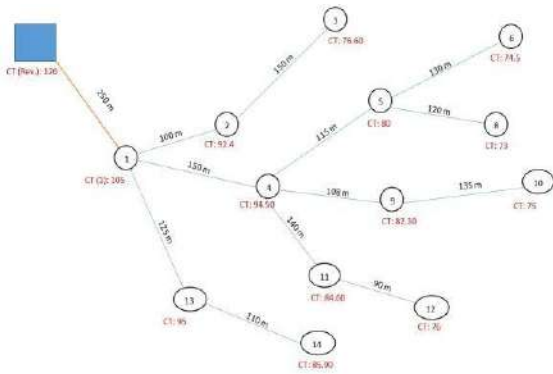


Figura 16. Bosquejo de red de distribución

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Se deduce que el caudal que se obtuvo en diferentes pruebas es suficiente para el abastecimiento de 600 personas, ya que es un flujo que varía constantemente pero su profundidad no se disminuye de 20 cm. Así pues, el vertedero funciona para que siga fluyendo el agua, además que es económico para su compra. Con los diseños mostrados, se da una idea de lo que se plantea hacer, con un sistema ecológico que no afecte la naturaleza, y sea indispensable para toda la población. Es importante señalar que nos basamos en la norma NOM-001-CONAGUA-2011 que dice: “Los sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario Hermeticidad - Especificaciones y métodos de prueba”. Como se lee, se contempla la especificación de hermeticidad y el método de prueba necesario para asegurar la calidad a largo plazo de los sistemas de agua potable.

En cuanto a las gráficas para el bombeo, se habría que tomar la elevación para su debido cálculo. Con el tipo de caudal y la revisión satelital nos dio una visión del cuál tipo de sistema de bombeo

ocuparemos para su debido funcionamiento.

Nos damos cuenta que mediante los estudios recabados desde su hidrografía del municipio de Pinal de Amoles (que cuenta con una gran cantidad de abastecimiento de agua), hasta el análisis de las necesidades de los habitantes de la zona, se puede concluir que el proyecto que se propone es el adecuado para dar una solución sostenible al problema principal: el poder abastecer de agua a las comunidades, como es en el caso de la Barranca , y que se pudiera llegar hasta las viviendas para brindar a los pobladores una buena calidad de agua y de vida. Este tipo de diseño podría ocasionar impactos ecológicos mínimos a la comunidad; además, es económica comparada con otro tipo de sistemas de captación o presas, por lo que podría implementarse en diferentes comunidades de la Sierra Gorda queretana.

Nuestra principal visión en este proyecto no solo fue el emplear los conocimientos obtenidos durante nuestro recorrido por la carrera de ingeniería civil, sino dar visibilidad a las comunidades que no cuentan con cosas que son cotidianas para la mayoría de nosotros. Buscamos también proponer soluciones que sean sustentables para el futuro y que no dañen a las futuras generaciones.

V. REFERENCIAS

Altobelli M., C. S. (2020). *Combined Application of Real-Team Control and Green technologies to Urban Drainage Systems*.

Obtenido de <https://doi.org/10.3390/w12123432>

Drago, I. J. (2018).). "Estudio para el Mejoramiento del Sistema de Agua Potable para las comunidades nativas de San Juan, distrito de Rio Santiago, provincia de Condorcanqui-Departamento Amazonas".

Qro., B. P. (2022). *Informe Anual sobre la situación de pobreza y rezago social* . Obtenido de

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/698325>

solano, D. R. (s.f.). *Caracterización de los vertederos hidráulicos mediante técnicas CFD* .

Tariq Judeh, I. S. A. F. C. (2022). *Smart Rainwater Harvesting for Sustainable Potable Water Supply in Arid and Semi-Arid Areas*. doi:10.3390/su14159271

DR. Iglesias Rey, Pedro L. DR. Martinez Solano , F. Javier, *Caracterización de vertederos hidráulicos Mediante técnicas CFD*, (Julio, 2015)

Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2022 Unidad de Planeación y Evaluación de Programas para el Desarrollo, Secretaria de Bienestar Pinal de Amoles Qro. 2022

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/698325/22_002_QRO_Pinal_de_Amoles.pdf

INEGI , *Climatología Satelital del Municipio de Pinal de Amoles*

Querétaro, (2022), <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

INEGI , *Hidrografía Satelital del Municipio de Pinal de Amoles Querétaro* (2022), <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia>

¿Se vale ironizar si eres niña? Un estudio electrofisiológico

Brenda Luna Granados^{1*}, Karina Hess Zimmermann¹, Lucero Díaz Calzada¹ y GloriaNélida Avecilla Ramírez¹

*lunaghp@gmail.com

¹Facultad de Psicología y Educación UAQ

Resumen

La ironía es un fenómeno lingüístico que se caracteriza por ser una discrepancia entre el significado de las palabras que se dicen y el significado intencional del hablante (Kalbermatten, 2006; 2010). En los últimos años se ha estudiado a nivel cerebral por medio de la técnica de los Potenciales Relacionados a Eventos (PRE), asociando el procesamiento de este fenómeno lingüístico al componente P600, dado que implica un esfuerzo de interpretación. Esta interpretación requiere de la integración de diferentes fuentes de información (Filippova, 2014). Se puede considerar que una de ellas es el emisor del mensaje irónico o “ironista”. Investigaciones recientes sugieren que el género del ironista tiene relación con la interpretación irónica que otorgan niños y adolescentes a las declaraciones irónicas (Salinas, 2021). Por esta razón, el presente estudio tuvo como objetivo determinar si el género de los personajes de diferentes historias irónicas influye en el procesamiento de la ironía en niños de 9 a 12 años de edad tomando como referencia el comportamiento del componente P600. En el estudio participaron 15 niños y niñas mexicanos entre 9 y 12 años de edad. A cada uno de ellos se le hizo un registro de la actividad eléctrica cerebral mientras leía historias irónicas y literales con personajes masculinos o femeninos que marcaban cada condición de análisis. Los resultados preliminares muestran un efecto P600 en respuesta a la ironía durante la palabra final de la historia y se aprecian diferencias entre los PRE evocados por historias con personajes femeninos y masculinos.

Palabras clave: Ironía, género, neurolingüística, psicolingüística, desarrollo del lenguaje tardío, P600.

Abstract

Irony is a linguistic phenomenon characterized as a discrepancy between the meaning of the words spoken and the intentional meaning of the speaker (Kalbermatten, 2006; 2010). In recent years it has been studied at the brain level by means of the Event-Related Potentials (ERP) technique, associating the processing of this linguistic phenomenon to the P600 component, given that it involves an interpretation effort. This interpretation requires the integration of different sources of information (Filippova, 2014). One of them can be considered to be the sender of the ironic or ironistic message. Recent research suggests that the gender of the ironist is related to the ironic interpretation given by children and adolescents to ironic statements (Salinas, 2021). For this reason, the present study aimed to determine whether the gender of the characters in different ironic stories influences the processing of irony in children between 9 and 12 years of age, taking as a reference the behavior of the P600 component. 15 Mexican boys and girls between 9 and 12 years of age participated in the study. Each of them underwent a recording of brain electrical activity while reading ironic and literal stories with male or female characters that marked each analysis condition. Preliminary results show a P600 effect in response to irony during the final word of the story and differences between ERPs evoked by stories with female and male characters.

Keywords: Irony, gender, neurolinguistics, psycholinguistics, later language development, P600.

Introducción

La ironía forma parte de las figuras del lenguaje no literal las cuales tienen suma importancia social y académica (Calderón et al., 2012). Autores como Gibbs (2000) mencionan que la ironía es un arma poderosa del habla cotidiana porque nos permite expresar el sentir respecto a las situaciones que se nos presentan tomando a consideración la situación en la que nos encontramos. Aunado a esto, se puede considerar al lenguaje no literal como un elemento que tiene lugar en el éxito académico por las reflexiones en torno al lenguaje, así como su uso para la comprensión de los conceptos académicos (Milosky, 1994).

Lucariello (1994) plantea la necesidad de distinguir entre dos tipos de ironía: la situacional y la verbal. La primera se refiere a cuando una situación o evento se contrapone a lo que se esperaba que sucediera; por ejemplo, una estación de policía que es exitosamente asaltada sería una situación irónica. Por otro lado, la ironía verbal se conforma a partir de elementos lingüísticos. Con base en este ejemplo del asalto a la estación de policía, una mujer que sabe lo ocurrido comenta *que buenos policías tenemos*. En el presente estudio se hará referencia únicamente a la ironía verbal.

La ironía verbal es un fenómeno del desarrollo lingüístico tardío (Nippold, 2006) que se caracteriza por ser una discrepancia entre el significado de las palabras que se dicen y el significado intencional del hablante (Kalbermatten, 2006, 2010). Para su comprensión requiere de la integración de aspectos lingüísticos, sociales, cognitivos y contextuales (Filippova, 2014). Estos últimos incluyen elementos lingüísticos o no lingüísticos que envuelven a la expresión irónica (Asher & Simpson, 1994), como lo es el hablante o ironista.

Una característica importante del ironista es el género que se le atribuye. Cabe señalar que el género es una construcción mediada por diversos factores como son la sociedad, la cultura y la educación (Jiménez, 2010). Recientemente una investigación realizada por Salinas (2021) encontró diferencias significativas en la interpretación de enunciados irónicos relacionados

al género del ironista. Si la declaración irónica era dicha de un hombre hacia un hombre, se interpretaba como irónica en mayor medida que si era dicha de una mujer a otra mujer. Sin embargo, no se encontró ninguna diferencia relacionada con el género de los participantes.

Es importante señalar que el lenguaje es un reflejo del orden social (Rivas, 1997). El ser humano se comporta y habla como se espera que lo haga. Las expectativas sobre el comportamiento de una mujer se reflejan en su uso del lenguaje (Lakoff, 1975). Así como se espera que un hombre o una mujer se vistan de cierta manera, también se espera que sigan modelos de habla preestablecidos (García, 2003). Estas expectativas pueden influir en el uso que una mujer o un hombre hagan sobre figuras lingüísticas como la ironía. Por esta razón, el género del hablante se muestra como un factor interesante para estudiar dentro del procesamiento de este fenómeno lingüístico.

Con respecto al procesamiento, en los últimos años se han realizado estudios por medio de los Potenciales Relacionados a Eventos (PRE) que son cambios de voltaje relacionados directamente con la respuesta cerebral del estímulo (Coles & Rugg, 1995). Utilizando los PRE se han podido caracterizar ciertos picos en la actividad eléctrica cerebral que aparecen en ciertas ventanas de tiempo específicas a los cuales se les llama “componentes” (Durand-Rivera et al., 2004).

Bajo esta técnica, se han efectuado estudios sobre el procesamiento de la ironía en adultos, como lo es el de Spotorno et al. (2013) cuyos resultados permiten asociar el componente P600 a un reanálisis o esfuerzo de interpretación de la ironía. Este componente es un pico en la actividad eléctrica con polaridad positiva que aparece entre los 450 y 750 milisegundos después de la presentación del estímulo.

De manera más reciente, se ha utilizado esta misma técnica para explorar el procesamiento de la ironía en niños, niñas y adolescentes. Díaz (2018) realizó un estudio con participantes de 12 y 15 años de edad, en el que encontró que la amplitud del componente P600 era significativamente mayor en la comprensión de

enunciados irónicos que en la comprensión de los literales. Además, la amplitud para los adolescentes de 15 años fue significativamente mayor que para los de 12. Esto sugiere, según la autora, la posibilidad de que los niños de 15 estuvieran tomando más elementos a consideración durante su análisis y por lo tanto requería de mayor esfuerzo de interpretación.

Por su parte, Corona (2019) realizó un estudio con dos grupos de niños de 9 años; uno de ellos comprendía la ironía y el otro no. En este caso, el efecto P600 obtuvo resultados significativos dentro del grupo que no comprendía la ironía. El autor lo asocia con la posibilidad de que, al grupo que no comprendía la ironía, le costaba más trabajo la interpretación.

Ruíz (2019) llevó a cabo un estudio similar con niños de 9 años, pero en esta ocasión todos comprendían la ironía. El gran aporte de esta autora es que realizó un análisis en búsqueda del P600 en la “palabra crítica”, que es la palabra de la declaración irónica que contrasta directamente con el contexto, y en la “palabra final”, que es la última de la declaración irónica. Ella encontró que los niños de 9 años presentaban el efecto P600 en relación a la palabra final. Es decir, la interpretación de estos niños se estaba efectuando en un espacio de tiempo posterior a los presentados en los adultos de Spotorno et al. (2013) o en los adolescentes de Díaz (2018).

Tomando en cuenta todo el recorrido por los estudios sobre el lenguaje, para estudiar la influencia del género y los resultados obtenidos con la técnica del PRE, esta investigación tiene como objetivo determinar si el género de los personajes de las historias influye en el procesamiento de la ironía por medio del comportamiento del componente P600. Las hipótesis van de la mano con los objetivos haciendo alusión a que el género de los personajes sí tiene una influencia en el procesamiento de la ironía.

Metodología

Participantes

En el estudio, se tomaron registros electroencefalográficos de 25 niños y niñas hablantes nativos de español. De esa muestra inicial se descartaron 10 por incumplimiento de los criterios de

inclusión y por dificultades encontradas en la edición de los registros. La muestra final consistió en 15 niños y niñas entre 9 y 12 años de edad.

Instrumento

Se hizo una adaptación de las historias irónicas presentadas en el estudio de Díaz (2018). Las historias están conformadas por dos partes principales; la primera es una *trama* que desemboca en un contexto positivo o negativo dependiendo de la condición de la historia. En la trama, se describe la secuencia de acciones que llevan a cabo los personajes. En las historias con condición irónica, las acciones se contraponen a las expectativas de alguno de los personajes. En las historias con condición no irónica, las acciones concuerdan con las expectativas de los personajes. En esta parte es donde se presentan los nombres de los personajes de la historia que darán la condición de “género”, por ejemplo:

René y Gustavo = condición de género masculino

Abigaíl y Emma = condición de género femenino

Después de que se presenta la trama de la historia, uno de los personajes expresa la “oración crítica” que es la segunda parte principal de las historias. En esta parte, uno de los personajes hace un comentario que manifiesta un juicio opuesto al contexto (si se trata de la condición irónica), o un juicio que concuerda con el contexto (si se trata de la condición no irónica). También, se encuentra la “palabra crítica” y la “palabra final”. La primera es el adjetivo o adverbio que contrasta o concuerda directamente con el contexto dependiendo de la condición de la historia, mientras que la segunda corresponde a la última palabra de la declaración. Por ejemplo:

“Qué *divertida* película *escogiste*”

En este ejemplo, la palabra “divertida” es el adjetivo que contrasta directamente con el contexto de la historia en las historias irónicas y que concuerda con el contexto de la historia en las que son literales. Por otro lado, “escogiste” corresponde a la última palabra de la declaración que también será un foco de análisis.

El instrumento consiste en dos listas con 80 historias distintas cada una. Cada lista contiene 20 historias irónicas presentadas con personajes femeninos y 20 con masculinos; 20 no irónicas con femeninos y 20 con masculinos. Las historias se dividieron en las dos listas de tal manera que las presentadas como irónicas aparecieran en una de ellas como literales en la otra lista. De esta forma se evitó que los niños leyeran la misma trama dos veces.

Paradigma experimental

A cada participante se le colocó una gorra *ElectroCap* que estaba conectada al sistema de registro de electroencefalogramas. Mientras los participantes estaban sentados en una silla frente al monitor de la computadora, se les mostraba en la pantalla cada una de las historias del instrumento: primero aparecía una cruz durante 500 milisegundos, seguida de un intervalo de 200 milisegundos. Después, se mostraba cada uno de los enunciados de la trama durante 2500 milisegundos con un intervalo de 200 milisegundos entre cada uno. Más adelante se presentaban las palabras de la “oración crítica” con una duración de 500 milisegundos en el monitor y 200 milisegundos de intervalo entre cada palabra. Por último, aparecían durante 200 milisegundos dos signos de interrogación (¿?) que indicaba a los participantes el momento de presionar la barra espaciadora del teclado que permitía el inicio de la siguiente historia.

Técnica de registro

El registro de la actividad eléctrica cerebral se realizó por medio de sistema *Neuronic Psicofisiología* colocando una gorra *ElectroCap* que estaba equipada con electrodos del sistema internacional de registro 10-20: FP1, FP2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, FZ, CZ, PZ. FP es el área prefrontal, F frontales, C centrales, P parietales, T temporales y O occipitales. Las referencias fueron los lóbulos auriculares con electrodos cortocircuitados. Los datos se filtraron con un filtro pasa-altas de 0.1Hz y un filtro pasa-bajas de 50Hz.

Resultados

A partir de los EEG de cada uno de los participantes del estudio, se obtuvieron los respectivos PRE.

Después, se promediaron todos los PRE individuales para obtener los primeros resultados que se exponen más adelante.

En todas las figuras, los gráficos se muestran con la positividad hacia abajo. El recuadro gris señala la ventana de tiempo de los 450 a los 700 milisegundos que es donde se puede apreciar el componente P600. Las líneas azules corresponden al procesamiento de las historias no irónicas y las líneas rojas a las historias irónicas. Para poder decir que hay un efecto P600, la línea roja (ironía) debería mostrar un voltaje más positivo (hacia abajo en la gráfica) que la línea azul (no ironía) de manera sostenida por unos 100 a 200 milisegundos.

En la Figura 1, puede apreciarse los resultados para la palabra crítica en historias con personajes femeninos. Se puede observar que no hay un efecto P600 para esta condición.

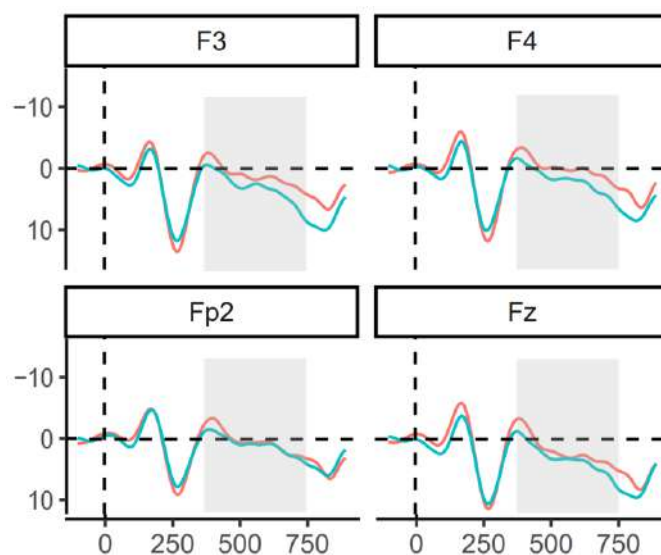


Figura 1. Palabra crítica en historias con personajes femeninos. Nota: PRE evocados por la palabra crítica en declaraciones irónicas (rojo) y no irónicas (azul). Solamente se muestran algunos electrodos frontales (F3, F4, Fp2 y Fz). No se observa efecto P600. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2, se puede observar los resultados obtenidos para la palabra crítica, pero en esta ocasión en historias con personajes masculinos. Tampoco se puede apreciar un efecto P600.

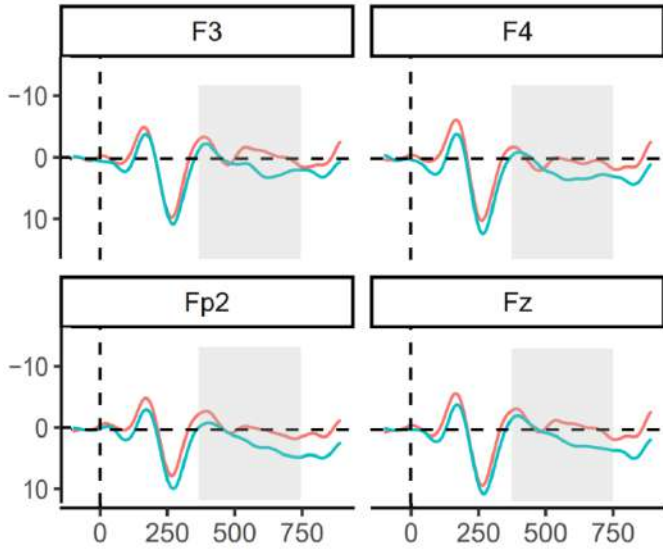


Figura 2. Palabra crítica en historias con personajes masculinos. Nota: PRE evocados por la palabra crítica en declaraciones irónicas (rojo) y no irónicas (azul). Solamente se muestran algunos electrodos frontales (F3, F4, Fp2 y Fz). No se observa efecto P600. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra los resultados del análisis realizado en la palabra final de la oración crítica para las historias con personajes femeninos. En esta ocasión, se puede apreciar claramente el pico en la actividad eléctrica del procesamiento de las declaraciones irónicas a diferencia de las literales; es decir, en esta condición sí existe un efecto P600.

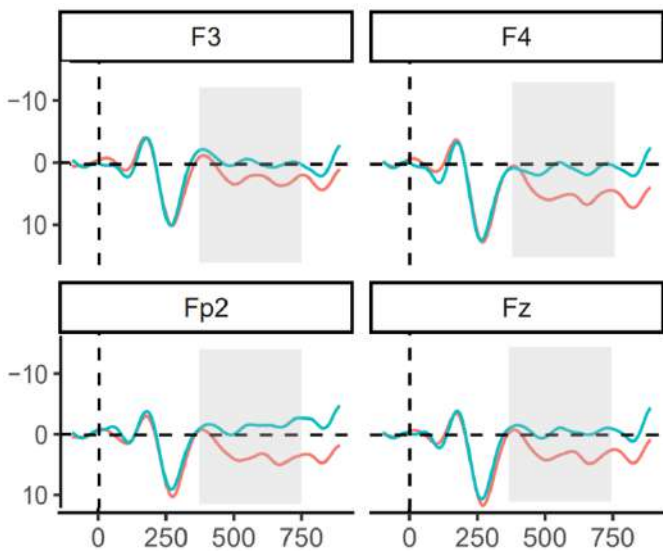


Figura 3. Palabra final en historias con personajes femeninos. Nota: PRE evocados por la palabra final en declaraciones irónicas (rojo) y no irónicas (azul). Solamente se muestran algunos electrodos frontales (F3, F4, Fp2 y Fz).

Se observa efecto P600. Fuente: Elaboración propia

Para el último gráfico presente en la Figura 4, se muestra los resultados para la palabra final en las historias con personajes masculinos. En este análisis no se presentó el efecto P600.

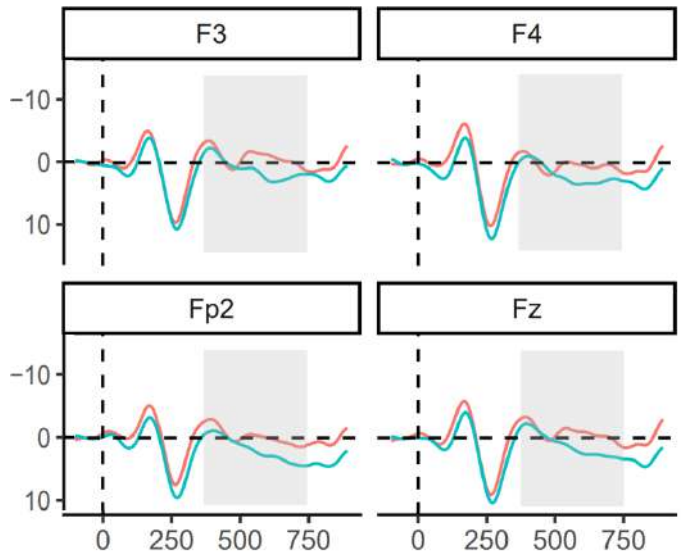


Figura 4. Palabra final en historias con personajes masculinos. Nota: PRE evocados por la palabra final en declaraciones irónicas (rojo) y no irónicas (azul). Solamente se muestran algunos electrodos frontales (F3, F4, Fp2 y Fz). No se observa efecto P600. Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados por cada condición, se realizó un análisis estadístico por medio de un ANOVA de medidas repetidas con cinco factores: posición (crítica y final), ironía (irónica y no irónica), género (femenino y masculino), región (frontal, central, parietal, frontal lateral, temporal anterior y temporal posterior) y hemisferio (derecho e izquierdo).

El análisis no arrojó un efecto principal de ninguna de las variables, pero sí se encontró interacciones estadísticamente significativas. Se muestra los resultados de las interacciones en la Tabla 1.

Tabla 1
Interacciones significativas entre variables

Factores	GL	F	P
Posición, Ironía y Género	1,14	4.33	.05
Posición, Ironía y Región	1,14	3.83	.004
Posición, Género y Región	1,14	2.43	.043

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, existió una interacción significativa entre los factores de posición, ironía y género; de igual manera entre posición, ironía y región, así como entre posición, género y región.

Discusión y conclusiones

El presente trabajo parte del supuesto de que el género de los personajes de las historias influye en el procesamiento de la ironía. A partir de los resultados presentados en donde el género tiene interacciones estadísticamente significativas con la condición de ironía, se puede sostener que esta variable tiene influencia en el procesamiento de la ironía, por lo cual se encontraron resultados esperados.

De forma más específica, si se observa los gráficos presentados en las Figuras 3 y 4 se puede observar que las historias masculinas no presentan un efecto P600, mientras que las femeninas sí. Esta diferencia puede deberse a las expectativas que los niños tienen sobre el habla femenina y masculina que mencionan Lakoff (1975) y García (2003).

Por otro lado, el hecho de que en la palabra crítica no sea visible un efecto P600 mientras que en la final sí, se puede deber a lo que mencionaba Ruiz (2019) en sus resultados con niños de 9 años: los niños parecen querer terminar de leer la oración completa para

hacer el procesamiento de la ironía, mientras que adolescentes de 15 años logran hacer el procesamiento en la palabra crítica.

Sin embargo, se observó que sólo las ironías en las que las ironistas eran personajes femeninos se encontró este efecto P600 en la palabra final. Esto nos muestra que el cerebro de los participantes de este estudio dedicó más recursos al análisis de las historias irónicas femeninas, mientras que las historias con masculinos no requirieron este reanálisis de las oraciones.

A partir de los resultados mostrados, se puede determinar que el género de los personajes influye en el procesamiento de la ironía por medio del comportamiento del componente P600. Este resultado apoya lo encontrado por Salinas (2021), quien demostró que el género de los ironistas era tomado en cuenta por los niños al momento de reflexionar sobre las posibles intenciones de los personajes de las historias irónicas, atribuyéndoles a los personajes femeninos una intención de “mentira piadosa” a la ironía, mientras que a las ironías de los varones les atribuían la intención de ser “sarcásticos”. Nuestros resultados muestran que los preadolescentes no solo interpretan de manera diferente la ironía femenina que la masculina, sino que sus cerebros dedican más recursos a procesarla, lo que nos indica que los roles sociales atribuidos a cada género influyen incluso en cómo el cerebro analiza y procesa el lenguaje usado por hombres y mujeres en nuestro entorno.

Los resultados de este estudio sugieren que habría que considerar intervenciones educativas que permitan mitigar las inequidades de género a las que se enfrentan los estudiantes de nivel básico y que influirán incluso en cómo interpretan y procesan el lenguaje de otros miembros de su comunidad dependiendo de su género.

Referencias bibliográficas

- Asher, R. E., & Simpson, J. M. Y. (Eds.). (1994). *The Encyclopedia of Language and Linguistics* (Vol. 2). Oxford, England: Pergamon Press Ltd.
- Gibbs, R. W. (2000). Irony in Talk Among Friends. *Metaphor and Symbol*, 15(1/2), 5-27. <https://doi.org/10.1080/10926488.2000.9678862>
- Calderón, G., Vernon, S. y Carrillo, M.A. (2012). Interpretación y reinterpretación de adivinanzas metafóricas: la importancia del nivel de desarrollo y del tipo de tarea en niños de 7 a 13 años. *Estudios de Lingüística Aplicada*, 56, 61-82.
- Coles, M.G.H. & Rugg, M.D. (1995). Event-related potentials: An introduction. En M. Rugg y M. Coles (eds.), *Electrophysiology of mind: event-related brain potentials and cognition* (pp. 1-26). Oxford University Press.
- Corona, H. (2019). *Exploraciones sobre la actividad eléctrica cerebral de niños de 9 años asociada al procesamiento de la ironía verbal*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Díaz, L. (2018). *Actividad Eléctrica Cerebral en el Procesamiento de Enunciados Irónicos en Adolescentes*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Durand-Rivera, A., Manzano-Martínez, E., & Uribe-Escamilla, R. (2004). Potenciales Relacionados con Eventos y la Lectura. *Revista de Ciencias Clínicas*, 5(1), 31-38.
- Filippova, E. (2014). Irony production and comprehension. En D. Matthews (Ed.), *Pragmatic Development in First Language Acquisition*. Philadelphia, PA: John Benjamins Publishing Company
- García, P. (2003). *Así Hablan las Mujeres. Curiosidades y Tópicos del Uso femenino del Lenguaje*. La Esfera de los Libros.
- Jiménez, E. (2010). El factor género en el proceso de adquisición de lenguas: revisión crítica de los estudios interdisciplinarios. *Lingüística en la red*, (8), 1-20.
- Kalbermatten, M. I. (2006). *Verbal Irony as a Prototype Category in Spanish: A Discursive Analysis*. [Tesis de doctorado, University of Minnesota].
- Kalbermatten, M. I. (2010). Humor in verbal irony. En L. Ruiz, & M. Alvarado (Eds.), *Irony and Humor. From Pragmatics to Discourse* (pp. 69-87). Amsterdam-Philadelphia: John Benjamins.
- Lakoff, R. (1973). Language and Woman's Place. *Language in Society*, 2(1), 45-80.
- Lucariello, J. (1994). Situational Irony: A Concept of Events Gone Awry. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 129-145
- Milosky, M. (1994). Nonliteral language abilities: seeing the forest for the trees. En G. P. Walach (Ed.), *Language Learning Disabilities in School-Age Children and Adolescents: Some Principles and Applications* (pp. 275-303). Nueva York: Macmillan.
- Nippold, M. A. (2006). Language Development in School-Age Children, Adolescents, and Adults. *Encyclopedia of Language & Linguistics*, 368-373
- Rivas, M. M. (1997) *Voz de mujer: lo femenino en el lenguaje y la literatura*. Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
- Ruiz, S. (2019). *Análisis de las etapas del procesamiento de la ironía en enunciado*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Salinas, A. K. (2021). *Nivel de Interpretación de la Ironía y Desarrollo Moral en Individuos de 9 y 15 años*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro].
- Spotorno N., Cheylus A., Van Der Henst J-B. & Noveck IA. (2013). What's behind a P600? Integration Operations during Irony Processing. *PLOS ONE*, 8, 1-10

Razonamiento proporcional y micromundos: un estudio en telesecundaria unitaria

Carlos Alberto Lugo Lugo¹, Erika García Torres¹, Santiago Alonso Palmas Pérez²

¹Universidad Autónoma de Querétaro, ²Universidad

Autónoma Metropolitana

Correspondencia: clugo26@alumnos.uaq.mx, erika.garcia@uaq.edu.mx, santiagopalmas@gamil.com

Resumen

El razonamiento proporcional es una de las ideas fundamentales de la matemática. Este surge inicialmente de manera cualitativa hasta transformarse en un razonamiento cuantitativo; pero durante su desarrollo, existen diferentes aproximaciones que irrumpen con su comprensión, como la relación aditiva o el empleo injustificado de la regla de tres. El objetivo del trabajo es explorar el razonamiento proporcional de alumnos de telesecundaria unitaria a través de la manipulación de micromundos identificando niveles de razonamiento que permitan caracterizarlo en esta modalidad educativa. A partir de los niveles de razonamiento proporcional propuestos por Karplus et al. (1983), se han diseñado actividades compuestas por diferentes problemas de acuerdo con los micromundos seleccionados (Excel y GeoGebra) empleando las herramientas y el lenguaje de cada uno de los softwares como medio de exploración por parte de los alumnos; esto tiene como finalidad el identificar, a partir de sus respuestas, los problemas y sus argumentos para justificar sus decisiones, el nivel en el que se encuentran y la implicación que tiene su construcción en colectivo. A partir de los posibles resultados y las conclusiones que se obtengan, se busca poder proporcionar a las y los docentes características del razonamiento proporcional para que puedan identificar y promover el desarrollo de las habilidades de sus estudiantes.

Palabras clave: Razonamiento proporcional, telesecundaria unitaria, micromundos

Abstract

Proportional reasoning is one of the fundamental ideas of mathematics, it initially arises in a qualitative way until it transforms into quantitative reasoning, but during its development there are different approaches that break with its understanding such as the additive relationship or the unjustified use of the rule of three. The objective of the work is to explore the proportional reasoning of unitary telesecundaria students through the manipulation of microworlds, identifying levels of reasoning that allow characterizing it in this educational modality. Based on the levels of proportional reasoning proposed by Karplus et al. (1983), activities have been designed consisting of different problems according to the selected microworlds (Excel and GeoGebra) using the tools and language of each of the software as a medium of exploration by part of the students, managing to identify from their answers to the problems and their arguments to justify their decisions, the level at which they are and the implication of their collective construction. According to the possible results and conclusions obtained, the aim is to provide teachers with characteristics of proportional reasoning so that they can identify and promote the development of their students' skills.

Keywords: Proportional reasoning, telesecundaria unitaria, microworlds

Introducción

El razonamiento proporcional (en adelante RP) es una de las nociones matemáticas que se trabajan en diferentes niveles educativos; a través de una variedad de acercamientos, es definido como un tipo de pensamiento complejo que implica el reconocimiento de comparaciones como la covariación entre magnitudes y comparaciones múltiples. Además, está relacionado con los métodos del pensamiento cualitativo y cuantitativo (Heller et al, 1989).

La noción de proporción comienza a construirse en los primeros años educativos de manera cualitativa y lógica, antes de que se estructure cuantitativamente (Butto et al., 2019). Con lo anterior, se permite comprender situaciones proporcionales bajo términos del tipo “en ambos casos crecen” o “las dos disminuyen”. Se ha identificado respecto al RP de alumnos de secundaria que acuden con mayor comodidad al análisis de tipo cualitativo que a los análisis de tipo cuantitativo; cuando llegan a aproximarse de forma cuantitativa, se fundamenta principalmente en análisis de índole aditivo (Sánchez, 2013), lo cual resulta en una aproximación errónea.

Existen cuantiosos estudios enfocados en el RP, de los cuales se han identificado los trabajos realizados de Karplus et al. (1983) y Lesh et al. (1988) como pioneros. Para este estudio, se retoma una categorización propuesta por Karplus et al. (1983) obtenida a partir de las respuestas de alumnos de diferentes grados al problema “Mr. Tall/Mr. Short”. Es aquí donde se encontró similitudes entre los diferentes argumentos, por lo que se establecieron cinco niveles:

Niveles de razonamiento proporcional	
Nivel	Descripción
Incompleto	En el nivel incompleto se adivina la respuesta o emplean una operación cuantitativa inapropiada. Se es capaz de identificar la relación de dos magnitudes; pero en el intento de resolver, se emplea alguna operación que no lleva a una solución adecuada, ya sea porque la

	operación no es la correcta o el algoritmo fue mal desarrollado.
Cualitativo	Se comparan las cuatro cantidades dadas, usando los términos más, menos o términos equivalentes. El razonamiento proporcional aparece en etapas iniciales bajo un razonamiento cualitativo, por lo que se puede identificar una situación de proporcionalidad cuando está aumenta o disminuye, pero aun no logra emplear un proceso cuantitativo.
Aditivo	Es una estrategia incorrecta que hace uso de diferencias en parte o todo el razonamiento en vez de una relación multiplicativa. Este nivel se desarrolla desde un razonamiento cuantitativo, pero relaciona los datos bajo estructuras aditivas.
Pre-proporcional	Es el uso de factores multiplicativos para relacionar cantidades. Se reconoce la situación de proporcionalidad y se identifica el uso de los factores multiplicativos. Esta categoría está muy cercana al razonamiento proporcional, pero aún no se logra establecer la igualdad de razones. El razonamiento parte del reconocimiento del valor unitario.
Proporcional	Es el uso directo de razones y su equivalencia o no equivalencia. Dentro del desarrollo del razonamiento proporcional, esta categoría es donde se puede asumir que ya se ha desarrollado un razonamiento completo, puesto que logra identificar las situaciones proporcionales de las que no la son, Se identifican términos como razón, constante de proporcionalidad y además los procedimientos son correctos.

Tabla 1. Niveles de razonamiento proporcional, propuesta de Karplus et al. (1983).

A partir de esta categorización, se busca comprender el nivel de RP que tienen los alumnos de telesecundaria unitaria con el uso de dos recursos tecnológicos bajo la conceptualización y la perspectiva teórica de los micromundos. Estos últimos se definen como un ambiente computacional de incorporación de un conjunto coherente de conocimientos científicos y de relaciones diseñadas, de forma que, con un conjunto adecuado de tareas y con principios pedagógicos, cada estudiante puede participar en la exploración y construcción de actividades ricas en generación de significados (Healy y Kynigos, 2010)

La intención de involucrarse con un micromundo es orientar a los alumnos en maneras matemáticas de pensar a través de estructuras establecidas por el diseñador y el *software*. Así, los alumnos deben mantener cierta autonomía, asumir la responsabilidad de sus acciones y de los resultados que producen; esto es, “el aprendizaje nunca ocurrirá exactamente como se planeó” (Noss y Hoyles, 2019).

Históricamente, los micromundos se distinguían por el uso de lenguajes de programación y diseño de ambientes para explorar desde su programación hasta interactuar en ellos. Con el paso del tiempo, se utiliza el término micromundo para denominar módulos interactivos, ya sean independientes (*stand-alone software*) o creados dentro de otro paquete que funciona como plataforma (Cabri, Logo Micromundos, Excel, etc.) donde se explora una idea manipulando con los elementos provistos por el diseñador para un fin en específico; de esta forma, la tendencia actual es que el usuario únicamente explore utilizando las herramientas dadas por el micromundo y no en la modificación de estos (Sacristán, 2003).

De manera más específica, un micromundo matemático es un lugar para familiarizarse con un conjunto de ideas, de situaciones problemáticas o de actividades, en donde el estudiante y el maestro pueden probarlos dentro de un tema de interés;

además, la meta es la construcción de significado y de relaciones que sirvan como modelo para un sistema formal, para dar oportunidades de creación de modelos mentales que reflejan la estructura y composición de los sistemas formales (Weir, 1987). Es decir, a través de la manipulación que permiten los micromundos, los alumnos son capaces de probar hipótesis o procedimientos que los lleven a una formalización del aprendizaje.

Para que un ambiente computacional se considere micromundo debe de contener cuatro componentes (Hoyles y Noss, 1987)

- *El componente del estudiante*. Entendimientos y concepciones parciales existentes que el alumno trae consigo a la situación didáctica.
- *El componente técnico*. *Software* o lenguaje de programación y un conjunto de herramientas que proveen un sistema de representaciones para la comprensión de una estructura matemática o campo conceptual.
- *El componente pedagógico*. Estructura de la investigación y exploración de los conceptos plasmados en el componente técnico (los aspectos físicos puede ser el docente, libro, cartel, etc.).
- *El componente contextual*. Entorno social de las actividades.

Los componentes se relacionan como se muestra en la Figura 2, donde se tiene como centro el componente técnico, integrando cada uno de los demás componentes en una doble dirección.

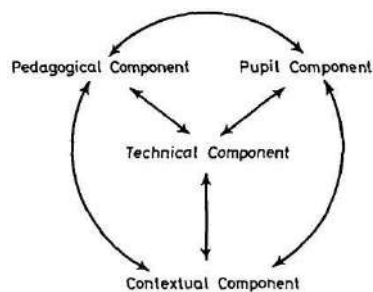


Figura 1. Componentes de un micromundo.
Fuente: Hoyles y Noss, 1987)

Otra parte central del trabajo y cumpliendo con el rol de componente contextual, el nivel educativo que se ha considerado pertinente para analizar el RP a partir de la interacción con un micromundo es la secundaria, debido a que en esta etapa se formalizan las nociones que se han trabajado en anteriores (educación primaria) tales como porcentajes y conversión de magnitudes. En secundaria, surgen términos como proporcionalidad directa e inversa, constante, razón, etc.

Dentro de las modalidades presentes en la secundaria, se ubica la telesecundaria, la cual es atendida con apoyo de un maestro generalista por grupo (SEP, 2017). Una característica de la modalidad es ofrecer un servicio educativo con el apoyo de los medios electrónicos de comunicación social y con materiales impresos (Flores y Albarrán, 2008). El sistema de la telesecundaria se ve traspasado por la modalidad de escuelas unitarias o conocidas como multigrado, misma que se presenta en el sistema de educación básica en México, desde preescolar hasta el bachillerato.

La escuela multigrado es aquella donde los docentes atienden a alumnos de diversos grados en una misma aula. Estas escuelas surgen con la necesidad de atender alumnos que viven en zonas donde no ha sido posible establecer una secundaria general o técnica por diferentes condiciones (distancia, contexto rural, número de población, etc.).

En secundaria, sólo las escuelas para migrantes y las telesecundarias pueden ser multigrado (Del Real, 2019), debido a que, la telesecundaria no cuenta con maestros para las diferentes asignaturas, sino que un maestro es el responsable de todas las materias. Por lo tanto, una telesecundaria multigrado o unitaria (el término que mejor la define) es donde el docente, además de ser responsable de todas las asignaturas, también es responsable de los tres grados.

Desde su origen, las escuelas multigrado han sido observadas como incompletas, transitorias, provisionales o compensatorias; incluso como un auxiliar en la cobertura educativa en las zonas rurales,

si bien es reconocida su existencia, desde las políticas educativas, pareciese que se ha apostado más por su subsistencia que por su consolidación (Schmelkes y Águila, 2019).

En el marco nacional, estas escuelas representan el 37.5 % en educación preescolar (3 a 6 años), el 41.8 % en primaria (alumnos de 6 a 12 años) y el 33.1 % en telesecundarias, secundarias comunitarias e indígenas (12 a 15 años); atienden al 9.7 %, 8.6 % y 10.2 % alumnos respectivamente, en el ciclo escolar 2019-2020 (Mejoredu, 2021). Si bien, no es un porcentaje mayor a la mitad de las telesecundarias, el realizar estudios en esta modalidad ayuda a visualizar la educación desde un panorama alejado a lo que propone el currículo segmentado por grados escolares. Esto otorga la posibilidad de visualizar qué sucede en un aula donde predomina la diversidad, que permite identificar que la combinación de experiencias, conocimientos, actitudes y formas de pensar pueden suscitar un aprendizaje colectivo y desarrollar su capacidad de argumentación y discusión entre pares (Bustos, 2013).

Otra de las razones para considerar este sistema es que existe una invisibilidad de la escuela multigrado en el ámbito de la investigación educativa (Arteaga, 2011). Además, los estudios son relativamente recientes, escasos y de corte más casual (Mora, 2017). Por estas razones, seguir indagando en educación multigrado, puede resultar de gran apoyo para los docentes que trabajan en los centros educativos; de tal manera, otorgar un panorama sobre el tratamiento del RP.

A partir de lo anterior, este estudio tiene como objetivo explorar niveles de razonamiento proporcional en alumnos de telesecundaria unitaria a través del uso de micromundos. Para cumplir con el objetivo se ha diseñado una serie de actividades que permiten observar y comprender los argumentos y el porqué de las respuestas de los alumnos.

Método

El estudio presente es de tipo cualitativo con alcance exploratorio. El enfoque cualitativo nos permite

identificar y describir los niveles de RP en los alumnos. La clasificación que se está considerando parte de identificar cualidades en los procesos y toma de decisiones de los alumnos; además, el tipo de resultados que se obtendrán con la implementación de actividades permite un análisis bajo los términos de este enfoque. El alcance es exploratorio debido a que no hay reportes previos respecto al uso de recursos tecnológicos como medio para explorar el RP en alumnos de telesecundaria unitaria, por lo que este será un primer acercamiento.

La población de este estudio está integrada por 18 participantes, alumnos pertenecientes a la telesecundaria unitaria no. 316 ubicada en el municipio de Apaseo el Alto, perteneciente al estado de Guanajuato y ubicada en un contexto rural. De los 18 alumnos, cinco pertenecen a primer grado; ocho, a segundo, y cinco, a tercer año. Cabe resaltar que, a cada uno de los participantes, se les solicitó su consentimiento informado por parte de sus padres o tutores y su asentimiento antes del desarrollo de las actividades.

A partir del planteamiento del objetivo y seleccionar la población de estudio, se consideró realizar un primer acercamiento a los participantes, el cual consistió en la aplicación de un primer diseño que contenía una serie de problemas diseñados en dos *softwares* diferentes (GeoGebra y Excel) que consideran la categorización de RP (Propuesta de Karplus) y algunas preguntas que ayudan a identificar el nivel de razonamiento de los alumnos. Ambos *softwares* están considerados de acuerdo con la definición de micromundos y cumplen con los fines que promueve esta teoría.

En el caso de Excel, es una hoja de cálculo desarrollada por Microsoft, bajo un lenguaje de programación macro llamado Visual Basic. Algunas de sus funciones son crear y manipular cálculos, gráficas, tablas calculares, bases de datos, etc. Debido a dichas funciones, se ha seleccionado como un recurso que permite la manipulación a través de la creación de tablas, de la ejecución de fórmulas básicas (adición, sustracción, producto y cociente) y algunos otros elementos propios del lenguaje como el

desplazar celdas o definir valores. Este *software* permite revisar situaciones de RP que involucren un ámbito aritmético por sus características ya mencionadas.

En el caso de GeoGebra, es un *software* dinámico para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas en diferentes niveles educativos; suele ser uno de los ejemplos más claros de un micromundo matemático debido a que su manipulación permite crear situaciones en donde los sujetos pueden probar hipótesis o procedimientos. Con lo anterior, se identifican elementos desde diferentes áreas matemáticas, inclusive, las herramientas con las que cuenta permite ver modelos en movimiento y analizar diferentes versiones de una sola representación. La razón de considerar a GeoGebra como parte del instrumento para nuestro estudio es porque permite analizar el RP en otro tipo de situaciones, específicamente en el ámbito geométrico.

El diseño en ambos *softwares* consistió en dos actividades; en la primera, se plantea una exploración controlada por el investigador en donde los participantes conocen y se involucran con las herramientas y características de cada *software*. En la segunda, se plantea una serie de actividades para el explorar el RP, en donde se considera el dominio que han adquirido respecto al recurso y se basa en las características de manipulación que se otorga.

La aplicación se llevó a cabo con todo el grupo distribuido en equipos de trabajo integrados por cuatro o cinco estudiantes. Cada equipo tenía a su disposición una laptop con acceso a las actividades. Para tomar registro de lo que sucedía en cada equipo, se contó con dispositivos de grabación, tanto de audio como de video.

A partir del primer acercamiento, se pudieron observar e identificar aspectos relacionados con el RP que demostraron los participantes, lo cual llevo a realizar un segundo momento, en donde se modificaron las condiciones de aplicación. A diferencia del primer acercamiento, se consideró trabajar solamente con un grupo reducido de alumnos

los cuales fueron seleccionados de acuerdo con su interés e interacción mostrada con el micromundo. Las actividades solamente fueron diseñadas en GeoGebra debido a que hubo una participación más activa por parte de los participantes con este *software*. Dicha actividad constaba de tres problemas relacionados al RP, en donde se tenía que responder preguntas de indagación y compartirlas entre los participantes.

Resultados

A partir del primer acercamiento con la población, se pudieron obtener algunos resultados que han cumplido con la función de esclarecer un panorama sobre las actividades diseñadas, los procedimientos realizados por los participantes y el grado de exploración que permiten ambos micromundos.

Como se ha mencionado en la metodología, se realizó una serie de actividades que propiciaban la exploración por parte de los participantes y responder a algunas preguntas que ayudara a comprender el tipo de RP que tienen. Así se detectaron en algunos casos particulares los resultados que se presentan a continuación.

Nivel incompleto. A partir de un problema presentando en GeoGebra que solicitaba identificar la relación a escala entre dos triángulos, el equipo número cuatro de alumnos evidencio un nivel incompleto al identificar los factores multiplicativos, pero establecen una escala de forma errónea.

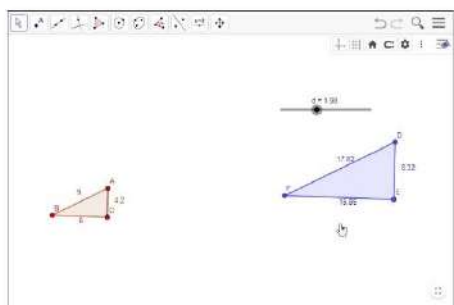


Figura 2. Actividad que muestra el nivel incompleto

A partir de un fragmento de transcripción, se pudieron identificar las decisiones tomadas por parte de los

alumnos al responder esta actividad (Ao: alumno 1, Ao2: Alumno 2, In: investigador)

Ao: “está dividido entre 2”

In: “Ok o multiplicado por dos, ¿para 8 y 4?” Ao: “2”

In: “y, ¿qué pasa para 3 y 9?” Ao: “Sería de 3 por 3”

In: “Entonces chequen que pasa ahí con la escala” (...)

Ao: “Es que mira a es igual a 2 y aquí es igual a 4, c es igual a 4, d es igual a 8, o sea hasta esos dos está dividido”

Ao2: “por 2”

Ao: “el problema es el tres, que no está dividido por 2 es por tres”

Ao2: “entonces, ¿es 2:3?”

Ao: “se podría decir... ¿si no?”

Ao2: “Si porque esta y esta es por dos y esta es por tres”

Ao: “yo digo entonces 2:3”

Al reconocer que había una relación de 2:1 entre la longitud de dos lados correspondientes y en otro caso de 3:1, establecieron una combinación entre ambas de 2:3 con lo que se les ubicó en el nivel inferior de la clasificación del RP.

Nivel cualitativo. De acuerdo con otro problema diseñado en GeoGebra en donde se establecían dos triángulos relacionados por medio de una razón de $\frac{1}{2}$, se observaron argumentos cualitativos por parte del equipo tres de participantes, en donde solo describen la relación multiplicativa bajo argumentos cualitativos “mientras más deslicemos más aumenta”, tal como se puede observar en el fragmento de transcripción:

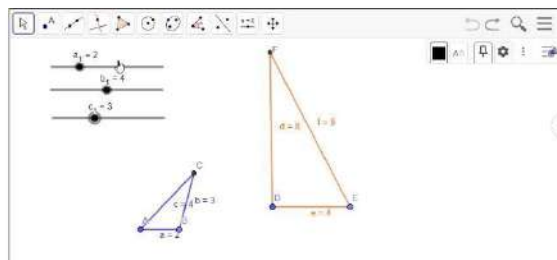


Figura 3. Actividad que muestra el nivel cualitativo

Ao: “¿Qué sucede?”

Ao2: “Las medidas aumentan”

In: “¿En cuál van?”

Ao: “En la 3”

In: “¿Qué sucede con las medidas del triángulo?”

Ao2: “Que en 2 disminuye, y en las demás aumenta”

Una diferencia entre el nivel incompleto y el cualitativo es que el segundo no se considera incorrecto, debido a que, bajo un razonamiento de tipo cualitativo, las respuestas similares a la que se muestra cumplen con lo que se puede apreciar en la actividad, mientras que en el primer caso el razonamiento no llega a ser correcto.

Nivel aditivo. Una de las aproximaciones más comunes en el tratamiento de situaciones proporcionales es la relación aditiva y, en esta ocasión, se pudo observar a partir de una de las actividades propuestas en Excel. Esta consistía en un problema de valor faltante con el manejo de distancias, al cual los participantes del equipo tres respondieron como se muestra en la Figura 5.

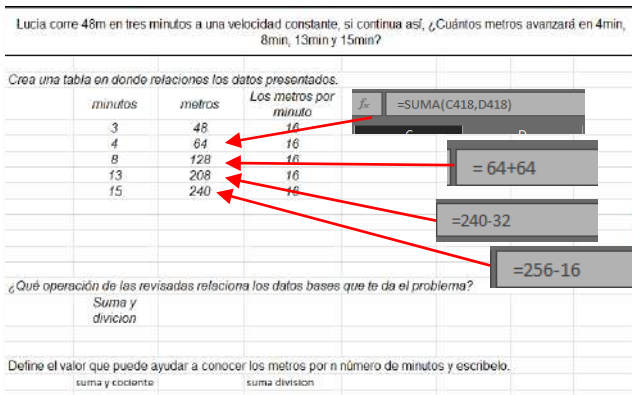


Figura 4. Actividad que muestra el nivel aditivo.

A pesar de que se reconoce el valor unitario, no se identifica el valor que determina los valores de la magnitud dependiente y se recurre a la relación aditiva. Por ejemplo, en este caso, determinaron que la constante que les permitía conocer los demás valores era 16; pero, al no encontrar una relación multiplicativa, establecieron diferentes procedimientos referentes a la adición y sustracción que les permitía conocer los demás valores, tal como 64 metros en 4 minutos resultante de $16+16$ para el

cálculo de dos minutos y después nuevamente se reitera.

Al igual que el nivel incompleto, la relación aditiva se considera una aproximación incorrecta para la solución de situaciones que involucran el RP, ya que las relaciones que se establecen no logran respetar las condiciones de la situación propuesta, sobre todo en situaciones geométricas.

Nivel pre-proporcional. Es importante mencionar que a partir de este nivel comienzan a mostrarse RP más sofisticados o mejores justificados; por ejemplo, en la misma actividad en donde otro de los equipos mostró un nivel aditivo, otros participantes presentó mayor claridad en sus procedimientos, tal como se muestra en el fragmento de transcripción:

Ao: “Pero, ¿por qué 48 entre 3?”

Ao 2: “Porque mira 48 entre 3, 3 minutos son en 48 metros, o sea 48 entre 3, 16 minutos, digo 16 metros por minuto” (...)

Ao: “A ver, entonces 48 entre 3, y ya luego 4 por 16”

Puede ser que su argumento no sea tan conciso, pero logran identificar el valor unitario, que funciona para encontrar los valores requeridos, utilizando las operaciones de multiplicar y dividir. A partir de hallazgos como este se podría considerar un nivel proporcional en el momento en el que los participantes puedan identificar la constante o establecer la igualdad de razones, pero en este primer acercamiento aún no se ha hecho presente este nivel.

Discusión y Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la aplicación del primer diseño, el análisis de sus respuestas a las actividades y el argumento que justifica sus procedimientos podemos tener algunas conclusiones parciales, tales como:

- *Relación entre niveles.* Los niveles de RP no son mutuamente excluyentes, situación prevista en estudios anteriores (Butto et al., 2019) donde se enmarca que existe una transición entre el pensamiento aditivo y el pensamiento multiplicativo, niveles pertenecientes a

la categorización utilizada en el estudio. Es importante reconocer que las fronteras entre los niveles pueden a veces ser difusas; además, dentro de cada una es posible hacer distinciones que podrían llevar a establecer pseudo-categorías. Por tanto, el ubicar a un grupo de participantes en un nivel no implica que en algún otro momento no puedan razonar de una forma distinta al nivel que ha sido registrado, lo cual lleva al siguiente punto.

- *Localidad.* Un alumno puede razonar de manera diferente de acuerdo con el tipo de problema, recurso o área implicada. Este hallazgo respalda estudios previos (Öztürk et al., 2021) en los que se reportó que las habilidades de razonamiento proporcional difieren según el tipo de problemas. En nuestro estudio, durante la revisión de los instrumentos de registro, nos hemos podido percatar que, a partir del recurso, el tipo de problema y las preguntas planteadas, el razonamiento puede variar; mientras que, en alguna actividad, se puede mostrar una aproximación incorrecta; en otra, puede haber un razonamiento sofisticado.
- *Mayor movilidad de conocimientos en GeoGebra que en Excel.* A partir de las actividades diseñadas y la potencialidad de cada *software*, se ha podido identificar que hay mayor interés por parte de los participantes en GeoGebra, lo que muestra mayor diversidad de procedimientos. Lo anterior resultó construir más hipótesis y se generó mayor diálogo al interior de cada equipo.

A partir del punto anterior, se realizó una revisión detallada respecto a los *softwares* seleccionados desde la teoría de los micromundos. Con base en lo anterior, se concluye que, de acuerdo con los componentes y propiedades que deben de cumplir, Excel está un poco alejado de estos propósitos. Por ello, se ha tomado la decisión de continuar solamente con GeoGebra para este estudio.

Al igual que con los *softwares*, se analizaron las actividades aplicadas, con lo cual se identificó que es posible obtener datos más cercanos al RP con un diseño que esté más enfocado en la exploración y la prueba de diferentes ideas y no solo centrarse en el diseño pregunta-respuesta. Por ello, se ha contemplado una segunda aplicación con las

actividades rediseñadas en GeoGebra.

A partir de los resultados del primer acercamiento, el rediseño de actividades y la aplicación del rediseño, se contempla que al finalizar el estudio se pueda proporcionar a las y los docentes características del razonamiento proporcional para que sean capaces de identificar y promover el desarrollo de las habilidades de sus estudiantes; que puedan seleccionar y elaborar tareas matemáticas adecuadas que permitan la introducción al razonamiento desde diferentes aproximaciones, así como el romper con la práctica generalizada en donde se asume que la regla de tres en una de las únicas maneras de aproximarse a las situaciones proporcionales. Por último, se pretende apoyar a los alumnos a sustituir la relación aditiva por la multiplicativa y poder discriminar las situaciones proporcionales de las que no lo son.

Referencias

- Arteaga, P. (2011). *Los saberes docentes de maestros de primaria con grupos multigrado* [Tesis de maestría, Consejo Mexicano de Investigación Educativa]. Red temática de Investigación de Educación Rural.
- Bustos Jiménez, A. M. (2013). El espacio y el tiempo en la escuela rural: algunas consideraciones sobre la didáctica multigrado. *Investigación En La Escuela*, 79, 31–41. <https://doi.org/10.12795/ie.2013.i79.03>.
- Butto, C., Fernández, J., Araujo, D. C., y Ramírez, A. I. (2019). El razonamiento proporcional en educación básica. *Horizontes Pedagógicos*. <https://doi.org/10.33881/0123-8264.hop.21204>.
- Del Real, AS (1970). Escuelas multigrado en México: en busca de una nueva identidad. *Revista Latinoamericana De Estudios Educativos*. <https://doi.org/10.48102/rlee.2019.49.1.32>.
- Flores, R. C., y Albarrán, A. M. R. (2008). La Telesecundaria, ante la sociedad del conocimiento. *Revista Iberoamericana De Educación (Impresa)*, 44(7), 1–11. <https://doi.org/10.35362/rie4472187>.
- Healy, L., y Kynigos, C. (2010). Charting the microworld territory over time: design and construction in mathematics education. *Zdm - Mathematics Education*, 42(1), 63–76. <https://doi.org/10.1007/s11858-009-0193-5>.

- Heller, P., Ahlgren, A., Post, T., Behr, M. J., y Lesh, R. (1989). Proportional reasoning: The effect of two context variables, rate type, and problem setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 205–220. <https://doi.org/10.1002/tea.3660260303>.
- Hoyle, C., y Noss, R. (1987). Synthesizing mathematical conceptions and their formalization through the construction of a Logo-based school mathematics curriculum. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 18(4), 581–595. <https://doi.org/10.1080/0020739870180411>
- Karplus, R., Pulos, S. y Stage, E. (1983). "Proportional reasoning of early adolescents". In: R. Lesh and M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 45-90). New York: Academic Press.
- Lesh, R., Post, T. R., y Behr, M. (1988). Proportional reasoning. In M. Behr, y J. Hiebert (Eds.), *Number concepts and operations in the middle grades* (Vol. 2, pp. 93-118). National Council of Teachers of Mathematics, Lawrence Erlbaum Associates.
- Mora, L. R. G. (septiembre, 2017b). *Diversidad y prioridades educativas en escuelas multigrado. Estudio de caso en México*. <https://sinectica.iteso.mx/index.php/SINECTICA/article/view/715>.
- Mejoredu. Comisión Nacional para la Mejora Continua de la Educación. (2021). *Indicadores nacionales de la mejora continua de la educación en México. Cifras del ciclo escolar 2019-2020*.
- Noss, R., y Hoyle, C. (2019). Micromundos, Construcción y Matemáticas. *Educación Matemática*, 31(2), 7–21. <https://doi.org/10.24844/em3102.01>.
- Öztürk, M., Demir, Ü., y Akkan, Y. (2021). Investigation of Proportional Reasoning Problem Solving Processes of Seventh Grade Students: A Mixed Method Research. *International Journal on Social and Education Sciences*, 3(1), 48–67. <https://doi.org/10.46328/ijonses.66>.
- Sacristán, A. I. (diciembre de 2003). La importancia de los micromundos computacionales como entornos didácticos estructurados para fomentar e investigar el aprendizaje matemático. Conferencia plenaria en el *3er Congreso Internacional de Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora (CIEMAC)*. Catargo: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sánchez, E. (2013). Razones, proporciones y proporcionalidad en una situación de reparto: una mirada desde la teoría antropológica de lo didáctico. *Revista latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 16(1), 65-97.
- Schmelkes, S., y Águila, G. (2019). *La educación multigrado en México*. México: INEE.
- SEP. (2017). *Aprendizajes Clave, para la educación integral*. México: SEP.
- Weir, S. (1987). *Cultivating Minds: A Logo Casebook*. HarperCollins Publishers.

Modelo bayesiano para el diagnóstico oportuno de enfermedades cardiacas

Daniel Cantón-Enríquez*, Jorge-Luis Pérez-Ramos, Luis-Antonio Díaz-Jiménez, Selene Ramírez-Rosales, Ana-Marcela Herrera-Navarro, Hugo Jiménez-Hernández*

Laboratorio de Percepción Artificial, Facultad de Informática, Universidad Autónoma de Querétaro, Juriquilla, Querétaro 76230, México.

*Correspondencia: daniel_ce92@outlook.com ; hugojh@gmail.com

Resumen.

El diagnóstico oportuno de enfermedades cardiacas ayuda a los médicos especialistas a la toma de decisiones en la salud de pacientes que sufren algún malestar cardiaco. Para ello, el uso de técnicas de aprendizaje automático es una alternativa eficiente para identificar estructuras y comprender los síntomas relacionados con las enfermedades cardiacas. En este trabajo, se desarrolló un modelo probabilístico con enfoque bayesiano para el diagnóstico oportuno de enfermedades cardiacas. Este modelo utiliza la regla de Bayes e hipótesis simplificadoras basadas en la independencia probabilística entre las variables clínicas. Primero, en el aprendizaje del modelo bayesiano se considera el tipo de distribución en cada variable clínica. Luego, se evalúa el rendimiento del modelo usando las métricas de la matriz de confusión. Por último, los resultados obtenidos indican que la propuesta de considerar el tipo de distribución de cada variable clínica en el aprendizaje del modelo bayesiano mejora el rendimiento con respecto a la forma tradicional de considerar un comportamiento gaussiano en cada variable.

Palabras clave: Aprendizaje automático, diagnóstico médico, enfermedades del corazón, regla de Bayes.

Abstract.

The timely diagnosis of heart disease helps medical specialists to make decisions about the health of patients suffering from heart disease. For this, the use of machine learning techniques is an efficient alternative to identify structures and understand the symptoms related to heart disease. In this work, a probabilistic model with a Bayesian approach was developed for the timely diagnosis of cardiac diseases. This model uses the Bayes rule and simplifying assumptions based on the probabilistic independence between the clinical variables. First, in learning the Bayesian model, the type of distribution in each clinical variable is considered. Then, the performance of the model is evaluated using the metrics from the confusion matrix. Finally, the results obtained indicate that the proposal to consider the type of distribution of each clinical variable in learning the Bayesian model improves performance with respect to the traditional way of considering a Gaussian behavior in each variable.

Keywords: Machine Learning, Medical Diagnosis, Heart Disease, Bayes Rule.

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) menciona que las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte a nivel mundial con 17.9 millones de muertes cada año. En México, los infartos al miocardio y accidentes cerebrovasculares causan la muerte de aproximadamente 150,000 personas al año, especialmente de infarto agudo de miocardio (UNAM, 2020).

En este contexto, existen diferentes factores que complican el diagnóstico oportuno de una enfermedad cardíaca: (1) la escasez de cardiólogos, médicos especialistas que tratan estas enfermedades; (2) deficiente distribución de los cardiólogos en el país, concentrándose en las principales áreas metropolitanas, y (3) factores alimenticios, tal como, alto consumo de sal, falta de ejercicio físico y consumo de tabaco.

No obstante, el avance de la tecnología ha permitido crear bases de datos a partir de la información obtenida de análisis clínicos, lo que nos da la oportunidad de desarrollar herramientas que ayuden en el diagnóstico oportuno de pacientes que tienen estos padecimientos. En años recientes el uso de técnicas de aprendizaje automático (AA) para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre se ha incrementado notablemente.

Existen tres conceptos que están en el centro del AA: (i) datos, (ii) un modelo y (iii) aprendizaje. Dado que el AA está impulsado por datos, (i) los datos son el núcleo del AA. El objetivo del AA es diseñar metodologías de propósito general para detectar patrones útiles de los datos, de forma ideal sin mucha experiencia en un dominio específico (Murphy, 2021). Para lograr este objetivo, se diseñan (ii) modelos que normalmente están relacionados con el proceso que genera datos, de forma similar al modelo del conjunto de datos que se proporciona. De acuerdo con Mitchell (1997), el objetivo es encontrar buenos modelos que generalicen bien datos aún no vistos, que

puedan ser útiles en el futuro. Por último, (iii) el AA se puede entender como una forma de aprendizaje para encontrar de forma automática patrones o estructuras en los datos mediante la optimización de los parámetros del modelo.

Por otro lado, existen un amplio número de métodos y técnicas utilizadas en AA. Tradicionalmente, el AA se puede dividir en tres categorías que corresponden con el paradigma de aprendizaje. El primer tipo es el aprendizaje supervisado o predictivo, donde el objetivo es aprender una correspondencia de las entradas x a las salidas y , dado un conjunto etiquetado de tuplas entradas-salidas $D = \{x_i, y_i\}_{i=1}^N$; donde D es el conjunto de entrenamiento y N es el número de ejemplos de entrenamiento. El segundo tipo de aprendizaje es el no supervisado o descriptivo; donde solo se tiene las entradas $D = \{x_i\}_{i=1}^N$ y el objetivo es encontrar las estructuras o patrones interesantes en los datos. Dicho enfoque también es conocido como descubrimiento de conocimiento que se trata de un problema complejo de resolver por carecer de una estructura definida, ya que no se conoce que patrón de búsqueda y no existe métrica de comparación a diferencia del aprendizaje supervisado. Por último, hay un tercer tipo de aprendizaje, conocido como aprendizaje por refuerzo, en el que un agente interactúa secuencialmente en un entorno inicialmente desconocido, pero en el que aprende cómo actuar o comportarse cuando se le dan señales ocasionales de recompensa o castigo.

Por otro lado, los algoritmos de AA se pueden dividir de acuerdo con el problema que se busca resolver. En la Figura 1, se muestran las principales tareas dentro del AA, las cuales pueden variar dependiendo de los distintos autores. Por ejemplo, Deisenroth et ál (2020) solo reconocen cuatro de las seis tareas excepto agrupamiento y causalidad. En contraste, Murphy (2021) reconoce todas las tareas descritas, excepto la causalidad. El problema de asumir o determinar una relación causa-efecto, no es un problema reciente (Pearl, 1985). El desarrollo de modelos causales ha

cochado una importancia fundamental en los últimos años. De acuerdo con Yoshua Bengio, coganador del premio Turing en 2018, la causalidad es muy importante para los siguientes pasos en el progreso del AA (Dhar, 2020).



Figura 1. Tareas dentro del aprendizaje automático. Fuente: Elaboración propia.

En los estudios relacionado con la salud, el aprendizaje automático ha demostrado ser una poderosa herramienta en el diagnóstico de pacientes. Entre estos se encuentran el diagnóstico de la enfermedad del Alzheimer (Zhang et ál., 2019), el reconocimiento de COVID-19 por rayos X del tórax (Cortés y Sánchez, 2021) y diagnóstico del cáncer de mama (Yu et ál., 2021). Por otro lado, en el diagnóstico de enfermedades cardiacas se han utilizado técnicas de aprendizaje automático, tal como, red neuronal multicapa usando retro propagación (Durairaj y Revathi, 2015), el método de bosque aleatorio (Mohan et ál, 2019) y la máquina de soporte vectorial (Boukhatem et ál, 2022).

En el presente trabajo, se desarrolla un modelo probabilístico con enfoque bayesiano para el diagnóstico oportuno de enfermedades cardiacas. Para ello, se asume como hipótesis la independencia probabilística entre las características (variables

clínicas). También, se considera la naturaleza de la distribución de cada característica la cual puede ser discreta o continua. Finalmente, el modelo bayesiano se puede representar como un tipo de modelo gráfico probabilístico en forma de estrella.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: se presentan los materiales y métodos utilizados para el desarrollo del modelo probabilístico con enfoque bayesiano; después, se muestran los resultados obtenidos del aprendizaje y la evaluación del modelo; posteriormente, la discusión de los resultados; por último, las conclusiones y trabajos a futuro.

Materiales y métodos

Descripción de los datos

El conjunto de datos utilizados fue *Heart Disease Dataset* del repositorio de datos para aprendizaje automático de la Universidad de California Irving (UCI, 1988). Los datos fueron medidos y recolectados por la Fundación Clínica de Cleveland (FCC), con 283 datos de pacientes como muestra. En la Tabla 1, se muestran las trece características del conjunto datos. Además, la distribución de los datos es de 157 casos con insuficiencia cardiaca (55 %) y 126 casos con ausencia de insuficiencias cardiacas (45 %). Por otro lado, la distribución de cada una de las variables se muestra en la Figura 2.

Tabla 1.

Variables del conjunto de datos utilizado. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Tipo	Descripción
Age	Continua	Edad en años
Sex	Discreta	1 = hombre 0 = mujer
Cp	Discreta	Tipo de dolor en el pecho: 1 = angina típica 2 = angina atípica 3 = pa sin angina 4 = asintomático
Trestbps	Continua	Presión arterial en reposo (en mm Hg al ingreso al hospital)
Chol	Continua	Colesterol sérico en mg / dl
Fbs	Discreta	Azúcar en sangre en ayunas >120 mg/dl (1 - verdadero; 0 = falso)

Restecg	Discreta	Resultados electrocardiográficos en reposo (0 = normal; 1 = teniendo ST-T; 2 = hipertrofia)
Thalach	Continua	Frecuencia cardiaca máxima alcanzada
Exang	Discreta	Angina inducida por ejercicio (1 = sí; 2 = no)
Oldpeak	Continua	Depresión del ST inducida por el ejercicio en relación con el reposo
Slope	Discreta	Pendiente del segmento ST de ejercicio pico (1 = pendiente ascendente; 2 = plano; 3 = pendiente descendente)
ca	Discreta	Número de vasos principales (0-3) coloreados por la floración
Thal	Discreta	1 = normal; 2 = defecto fijo; 3 = defecto reversible

Fundamentación teórica

El modelo probabilístico con enfoque bayesiano es un modelo condicional que resuelve un problema de clasificación, integrado por un vector $x = (x_1, \dots, x_n)$ que representa n características asignadas como probabilidades, se define en la ecuación 1.

$$P(C_k | F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (1)$$

donde cada k son los posibles resultados de una clase C_k . Esta variable está condicionada a que se cumplan ciertas variables independientes x_1, x_2, \dots, x_n , usando el teorema de Bayes, véase ecuación 2.

$$P(C_k | x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{P(C_k) \cdot P(x | C_k)}{P(x)} \quad (2)$$

En la práctica, se presta especial atención en el numerador, porque el denominador no depende de C_k . Por lo tanto, se conocen los valores x_i de modo que el denominador es constante. En el numerador, se aplica la regla del producto para eventos dependientes (véase ecuación 3).

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n, C_k) \quad (3)$$

Noté que $P(x_1, x_2, \dots, x_n, C_k)$ es una probabilidad conjunta, es decir, $x_1, x_2, \dots, x_n, C_k \equiv x_1 \cap x_2 \cap \dots \cap x_n \cap C_k$, la cual se reescribe utilizando la regla de la cadena para aplicaciones repetidas de la definición de probabilidad condicional (véase ecuación 4).

$$\begin{aligned} P(x_1, x_2, \dots, x_n, C_k) &= P(x_1 | x_2, \dots, x_n, C_k) \\ &\cdot P(x_2 | x_3, \dots, x_n, C_k) \\ &\cdot P(x_{n-1} | x_n, C_k) \cdot P(x_n | C_k) \\ &\cdot P(C_k) \end{aligned} \quad (4)$$

Luego, se toma en cuenta el concepto de independencia probabilística, donde se asume que cada x_i variable es independiente de cualquier otra x_j para $i \neq j$ cuando se encuentran condicionadas a C (véase ecuación 5).

$$P(x_i | x_{i+1}, \dots, x_n, C_k) = P(x_i | C_k) \quad (5)$$

En consecuencia, el modelo de probabilidad conjunta se expresa en la ecuación 6.

$$\begin{aligned} P(C_k | x_1, x_2, \dots, x_n) &\propto P(x_1, x_2, \dots, x_n, C_k) \\ &\propto P(C) \cdot P(x_1 | C) \cdot P(x_2 | C_k) \\ &\cdot \dots \cdot P(x_n | C_k) \\ &\propto P(C_k) \cdot \prod_{i=1}^n P(x_i | C_k) \end{aligned} \quad (6)$$

De modo que, bajo los supuestos de independencia anteriores, el modelo probabilístico con enfoque bayesiano se define en la ecuación 7.

$$P(C_k | x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{Z} P(C_k) \cdot \prod_{i=1}^n P(x_i | C_k) \quad (7)$$

donde Z es un factor que depende exclusivamente de la evidencia de las características. Por último, se combina el modelo bayesiano con una regla de decisión. En este caso, se escoge la hipótesis que sea más probable para minimizar la probabilidad de clasificación errónea. El clasificador resultante se define en la ecuación 8.

$$\hat{y} = \underset{k \in \{1, \dots, k\}}{\operatorname{argmax}} [P(C_k) \prod_{i=1}^n P(x_i | C_k)] \quad (8)$$

Proceso de aprendizaje

Cada característica tiene una distribución específica, la cual depende de la naturaleza de los datos. Las características utilizadas usan las distribuciones discretas de tipo Bernoulli y binomial, y la

distribución continua de tipo gaussiana (véase las ecuaciones 9-11).

$$f(k, p) = \begin{cases} p, & k = 1 \\ q = 1 - p, & k = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$f(k, n, p) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k} \quad (10)$$

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (11)$$

Para la experimentación, el conjunto de datos *Heart Disease* fue dividido en dos subconjuntos: (1) conjunto de datos de entrenamiento con 75 % de los datos, y (2) conjunto de datos de prueba con 25 % de la información.

Proceso de evaluación

En la medición del rendimiento para la clasificación realizada por el modelo bayesiano, se tiene la matriz de confusión, cuyos elementos son los siguientes: (1) verdaderos positivos (VP), aquellos pacientes que tenían enfermedades cardíacas y estaban correctamente diagnosticados; (2) verdaderos negativos (VN), los que no tenían enfermedades cardíacas y estaban correctamente diagnosticados; (3) falsos negativos (FN), quienes tenían enfermedades cardíacas y fueron mal diagnosticados; por último, (4) falsos positivos (FP), pacientes que no tenían enfermedades cardíacas y fueron mal diagnósticos. En la industria médica, los FN son las predicciones más peligrosas. Las diferentes métricas de rendimiento se calcularon utilizando una matriz de confusión. La fórmula de exactitud está dada por la ecuación 12.

$$Exactitud = \frac{VP+VN}{VP+VN+FN+FP} \quad (12)$$

La precisión es el valor positivo predicho definido por la ecuación 13.

$$Precision = \frac{VP}{VP+FP} \quad (13)$$

La exhaustividad es la proporción de pacientes con enfermedades cardíacas (véase ecuación 14).

$$Exhaustividad = \frac{PV}{PV+FN} \quad (14)$$

El valor F1, también conocido como *Score-F1*, es considerado un promedio armónico entre la precisión y la exhaustividad (véase ecuación 15).

$$F1_{Score} = 2 \left(\frac{Precisión \cdot Exhaustividad}{Precisión + Exhaustividad} \right) \quad (15)$$

Resultados y discusión

Después de obtener la predicción, se discute el rendimiento del modelo bayesiano. Para esto, se contrasta nuestra propuesta de aprender cada variable clínica con respecto a su tipo de distribución contra la forma tradicional de asumir que todas las variables tienen un comportamiento gaussiano. En la Tabla 2, se puede observar los rendimientos del modelo bayesiano con respecto al tipo de distribución que se considera en cada variable.

Tabla 2.

Comparación del rendimiento en el modelo Bayesiano. Fuente: Elaboración propia.

Distribución	Exactitud	Precisión	Exhaustividad	F1
Gaussianos	68.57 %	62.75 %	91.43 %	74.42 %
Gaussiano, Exponencial, Binomial y Bernoulli	80 %	75.61 %	93.62 %	81.58 %

Basado en los resultados, se demuestra que un modelo bayesiano que considera el tipo de distribución en cada variable clínica conlleva a una mejora sustancial en todas las métricas. Esto es importante cuando un conjunto de datos tiene una mezcla de distribuciones discretas y continuas. Por lo tanto, se recomienda tomar en cuenta la distribución de los datos, como paso previo al entrenamiento de un modelo de aprendizaje automático.

Conclusiones y trabajos a futuro

En este trabajo se desarrolló un modelo probabilístico con enfoque bayesiano para el diagnóstico oportuno

de enfermedades cardíacas. Este modelo se fundamenta en la regla de Bayes y la hipótesis que asume que las variables son independientes. Si bien, el modelo bayesiano funciona en muchos dominios, en ocasiones su rendimiento decrece debido a que los atributos no son condicionalmente independientes como se asume. Además, algunas variables son de tipo discreto por lo que asumir una distribución continua no es lo más adecuado.

Los resultados obtenidos en este trabajo confirman esta hipótesis, al presentar un mejor rendimiento en la evaluación del modelo que considera cada tipo de variable clínica con respecto a su tipo de distribución. Así mismo, este modelo se puede representar gráficamente como un tipo particular de red bayesiana en forma de estrella por la hipótesis de independencia entre las variables. Cabe destacar, que dicho modelo desarrollado se encuentra en proceso de protección intelectual ante el INDAUTOR.

Como trabajo a futuro, se propone considerar dependencias entre las variables, es decir, construir un tipo de red bayesiana que considere la relación causal entre ellas. Por otro lado, se propone realizar un análisis multivariable del conjunto de datos que se utilice para identificar las variables que más aportan en el caso de estudio. Por último, este modelo puede aplicarse a cualquier otro problema de muestreo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigación e Innovación en Ciencias de la Computación y Tecnología Educativa (CIICCTE) de la Facultad de Informática de la UAQ por el espacio brindado para la realización de este trabajo.

Referencias

- Boukhatem, C., Youssef, H. Y., & Nassif, A. B. (2022). Heart Disease Prediction Using Machine Learning. In 2022 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET). *IEEE*, 1-6.
- Cortés, E., & Sánchez, S. (2021). Deep Learning Transfer with AlexNet for chest X-ray COVID-19 recognition. *IEEE Latin America Transactions*, 19(6), 944-951.
- Deisenroth, M. P., Faisal, A. A., & Ong, C. S. (2020). *Mathematics for Machine Learning*. Cambridge University Press.
- Dhar, P. (2020, 29 de octubre). *Understanding causality is the next challenge for machine learning*. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/understanding-causality-is-the-next-challenge-for-machine-learning>
- Durairaj, M., & Revathi, V. (2015). Prediction of heart disease using back propagation MLP algorithm. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(8), 235-239.
- OMS (2021, 16 octubre). *Enfermedades cardiovasculares*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/health-topics/cardiovascular-diseases>
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.
- Mohan, S., Thirumalai, C., & Srivastava, G. (2019). Effective heart disease prediction using hybrid machine learning techniques. *IEEE access*, 7, 81542-81554.
- Murphy, K. P. (2021). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. London, England: MIT Press.
- Pearl, J. (1985). *Bayesian networks: A model of self-activated memory for evidential reasoning*. UCLA Computer Science Department Technical Report 850021.
- UCI (1988). *Heart Disease Dataset*. [Data set]. UCI: Universidad de California Irvine. <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/heart+disease>
- UNAM (2020). *Enfermedades del corazón, pandemia permanente*. Boletín UNAM de la Dirección de Comunicación Social https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_811.html
- Yu, K., Tan, L., Lin, L., Cheng, X., Yi, Z., & Sato, T. (2021). Deep-learning-empowered breast cancer auxiliary diagnosis for 5GB remote E-health. *IEEE Wireless Communications*, 28(3), 54-61.
- Zhang, F., Li, Z., Zhang, B., Du, H., Wang, B., & Zhang, X. (2019). Multi-modal deep learning model for auxiliary diagnosis of Alzheimer's disease. *Neurocomputing*, 361, 185-195.

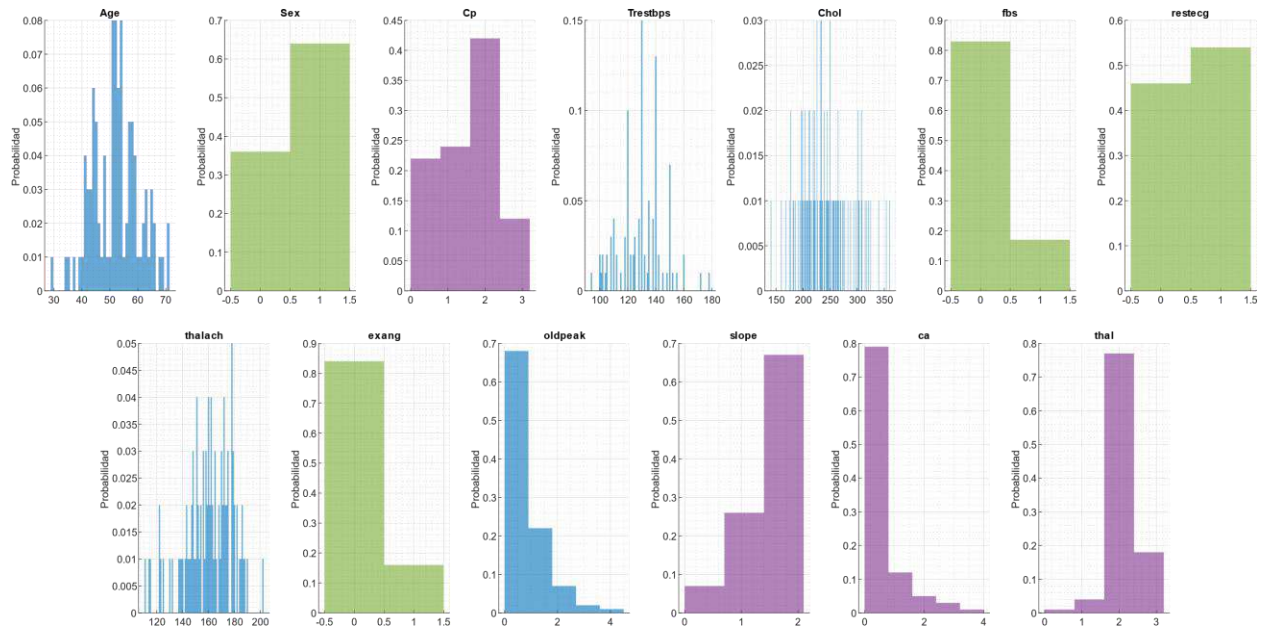


Fig. 2. Distribuciones de las variables del conjunto de datos de enfermedades cardiacas. Fuente: Elaboración propia

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) modula el perfil de microbiota intestinal en un modelo animal de estadio temprano de cáncer de colon

Autores: Edelmira Sánchez-Recillas^{1a}, Rosa Iris Godínez-Santillán^{1b} y Haydé Azeneth Vergara-Castañeda^{1c}

Colaboradores: Ana Alicia Sánchez -Tusie^{1d}

¹Facultad de Medicina. Centro de Investigación Biomédica Avanzada (CIBA). Universidad Autónoma de Querétaro

^a edelmira.s.r@hotmail.com

^b lic.nurticion.rosairis@gmail.com

^c hayvergarac@gmail.com

^d anatusie@gmail.com

RESUMEN

El cáncer de colon en México es uno de los tipos de cáncer más frecuentes entre la población, en el que la alimentación es un factor causal de dicha patología. Una dieta rica en compuestos bioactivos puede reducir el riesgo de desarrollar tal enfermedad mediante la modificación de la composición de la microbiota intestinal. De tal manera, es de suma importancia la búsqueda de alimentos ricos en compuestos bioactivos con efectos quimioprotectores como el garambullo, el cual ha demostrado poseer una cantidad importante de fibra dietética y fitoquímicos. Para la fase experimental de utilizaron 48 ratas Sprague-Dawley aleatoriamente asignadas a uno de 4 grupos experimentales (n=12 por grupo): 1) Control negativo, 2) Azoximetano/Dextrán sulfato de sodio (AOM/DSS), 3) Residuo de garambullo con AOM/DSS y 4) Garambullo con AOM/DSS. El periodo experimental consistió en 16 semanas en donde se recolectaron muestras de heces en tres tiempos: inicial (semana 0), medial (semana 8) y final (semana 16). La caracterización del microbioma se realizó de la región conservada del gen 16s rRNA V3-V4, la identificación taxonómica se realizó por parte de ZymoBiomics mediante Illumina. Se determinó la presencia de 14 filos, donde los de mayor predominancia fueron *Firmicutes* y *Bacteroidetes*, 42 familias, 105 géneros siendo más abundantes *Bacteroides*, *Romboutsia* y *Alloprevotella*. Los tratamientos con garambullo y residuo de garambullo mostraron un efecto protector en el modelo inducido con AOM/DSS a través de la modulación en el perfil de la microbiota debido a que promovieron el aumento de bacterias productoras de AGCC del género *Bacteroides* y *Alloprevotella*.

Palabras clave: Cáncer de colon, garambullo, microbiota intestinal.

ABSTRACT

Colon cancer in Mexico is one of the most frequent types of cancer among the population, being the type of diet a causal factor of this pathology. A diet rich in bioactive compounds can reduce the risk of developing such a disease by modifying the intestinal microbiota composition. In such a way it is extremely important to search for foods rich in bioactive compounds with chemoprotective effects such as garambullo, which has been shown to have a significant amount of dietary fiber and phytochemicals. For the experimental phase, 48 Sprague-Dawley rats were used randomly in one of 4 experimental groups (n=12 per group): 1) Negative control, 2) Azoxymethane/Dextran sulfate (AOM/DSS), 3) Garambullo residue with AOM/DSS and 4) Garambullo with AOM/DSS. The experimental period consisted of 16 weeks, where stool samples were collected three times: initial (week 0), medial (week 8), and final (week 16). The microbiome was characterized by the conserved region of the 16s rRNA V3-V4 gene, taxonomic identification was performed by ZymoBiomics using Illumina. The presence of 14 phyla was determined, the most predominant being *Firmicutes* and *Bacteroidetes*, 42 families, 105 genera being the most abundant *Bacteroides*, *Romboutsia*, and *Alloprevotella*. The treatments with garambullo and garambullo residue showed a protective effect in the model induced with AOM/DSS through the modulation in the microbiota profile because they promoted the increase of SCFA-producing bacteria of the *Bacteroides* and *Alloprevotella* genera.

Keywords: Colon cancer, Garambullo, gut microbiota.

1. Introducción

El cáncer de colon ocupa el cuarto lugar de prevalencia dentro de los tipos de cáncer en la población mexicana, causado por múltiples factores entre los que destacan los hábitos alimentarios, que resulta ser un factor prevenible (Espinosa-Tamez et al., 2021). Dicha prevención puede ser dada por el consumo de alimentos ricos en fibra y compuestos bioactivos que tienen efectos quimioprotectores en el colon, al ser fuente de sustrato para la microbiota intestinal (Rawla et al., 2019). Un mecanismo de protección ante procesos inflamatorios o carcinogénicos propuestos es a través de la modulación de la microbiota colónica por medio de la producción de metabolitos secundarios, mismos que a su vez llegan a promover homeostasis intestinal e intervienen en vías de señalización implicadas en procesos de invasión tumoral (Schmitt & Greten, 2021).

Diversos estudios han descrito el papel de la microbiota intestinal en la salud colónica, al mismo tiempo que se ha caracterizado la presencia de algunas bacterias en cuanto a la promoción del CC. Al haber una disbiosis, que se refiere a la alteración de la microbiota, se favorece una mayor presencia de bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Fuseobacterium nucleatum*, y *Bacteroides fragilis*. Estas bacterias llegan a generar metabolitos genotóxicos que dañan las células intestinales, que promueven la pérdida de la función de la barrera intestinal y generan un ambiente proinflamatorio y proliferativo; lo anterior, provoca el desarrollo de las primeras lesiones de la carcinogénesis de colon conocidas como fosas crípticas aberrantes (FCA) (Xiao et al., 2018). Por lo anterior, una disbiosis en el perfil microbiano puede reflejar el principio de lesiones premalignas en el colon asociadas a marcadores inflamatorios (Schmitt & Greten, 2021). Por el contrario, cuando existe una microbiota saludable la cual puede estar compuesta por bacterias de los géneros *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium* entre otras, se favorece la producción de metabolitos secundarios por el proceso de fermentación bacteriana, principalmente de ácidos grasos de cadena

corta (AGCC). Estos promueven disminución de la inflamación en el colon al inhibir la expresión de interleucinas inflamatorias, así como el promover la inducción de señales antiproliferativas y por lo tanto una disminución en la formación de FCA (Shen et al., 2020). Al existir una asociación inversa entre el perfil de microbiota intestinal y el cáncer de colon es de suma importancia la búsqueda de alimentos ricos en compuestos bioactivos con efectos quimioprotectores como el garambullo.

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es un fruto endémico de México, su consumo se da de forma local, ya sea como fruto fresco o en productos como nieves y mermeladas, entre otros (Guzmán-Maldonado et al., 2010). A pesar de que es un fruto poco estudiado, se sabe que cuenta con la presencia de fibra dietaria, compuestos bioactivos, así como de fibra antioxidante, lo que le confiere características funcionales al presentar una alta capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante del garambullo es atribuida a la presencia de diversos compuestos fenólicos (CF) y betalaínas, mismos que intervienen en la eliminación de radicales libres en procesos inflamatorios y carcinógenos (Ramírez-Rodríguez et al., 2020). Además, se ha determinado mediante un modelo de digestión *in vitro* que el garambullo cuenta con la presencia de metabolitos con alta capacidad antioxidante y de carácter no-digerible en intestino delgado, lo que sugiere que la fracción no digerible/metabolitos del fruto alcanzan el colon (Sánchez-Recillas et al., 2022); al servir como sustrato para la microbiota colónica generaría un efecto benéfico a nivel local y probablemente sistémico. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es el determinar el efecto quimioprotector del garambullo en fase temprana de cáncer de colon *in vivo* a través de la modulación de la microbiota intestinal.

2. Metodología

2.1 Recolección y tratamiento del garambullo

El garambullo fue recolectado en la comunidad de Garabatlillo, Celaya, en el estado de Guanajuato en junio del 2021. Una vez recolectado, el garambullo fue lavado con agua corriente sin tallar. En seguida se liofilizó y se molió, con lo que se obtuvo el fruto en polvo que se almacenó en bolsas selladas a una temperatura de -80°C .

2.3 Animales y reactivos

Se utilizaron 48 ratas macho Sprague-Dawley con peso inicial de 75 ± 5 g de 4 semanas de edad. Las ratas se mantuvieron en un cuarto con temperatura ambiente de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$, ciclos de luz oscuridad 12/12 horas, con agua y alimento ad *libitum*. Todos los procedimientos se realizaron acuerdo con la NOM-062-200-1999. El carcinógeno utilizado fue Azoximetano (AOM, 10 mg/kg de peso corporal, disuelto en 1 ml de solución fisiológica) y se utilizó como promotor al dextrán sulfato de sodio (DSS al 2 % disuelto en agua).

2.4 Diseño experimental

Una semana después de la aclimatación, las ratas se asignaron al azar a uno de los 4 grupos de tratamiento ($n=12$ por grupo): (1) control negativo (CN), dieta basal e inyección subcutánea de solución fisiológica; (2) grupo azoximetano-dextrán sulfato de sodio (AOM/DSS), dieta basal más una inyección subcutánea de AOM una vez a la semana por dos semanas 3^{er} y 4^a semana, más DSS durante 7 días; (3) grupo residuo de garambullo (RG), el cual se obtiene de someter el garambullo liofilizado en una estufa durante un día con una solución de etanol y agua para finalmente eliminar los residuos solubles, con una dosis de 5 g/ kg de peso corporal, diariamente administrado en forma de pellet, una vez por día durante el periodo experimental (16 semanas), inducidos con AOM/DSS (RG+AOM/DSS) y dieta basal; (4) grupo G+AOM/DSS, garambullo liofilizado (5 g/ kg de peso corporal) e inducción con AOM/DSS y dieta basal. La dosis se seleccionó de acuerdo con lo reportado previamente por Reynoso et

al. (1999) como dosis inocua. Las muestras de heces fueron recolectadas en tres tiempos: inicial (semana 0), medial (semana 8) y final (semana 16). Previo a la recolección de heces las ratas de cada grupo fueron colocadas en cajas individuales sin aserrín, lo que permitió tomar muestras de heces individuales. Las muestras fueron inmediatamente almacenadas en tubos de recolección fecal DNA/RNA shield (Zymo Reserch®) los cuales posteriormente fueron almacenados a -80°C .

2.5 Extracción del ADN bacteriano

La extracción de DNA se llevó a cabo utilizando el kit de extracción fecal # D4300 (ZymoBiomics DNA miniprep Kit), la calidad del DNA fue determinado usando un espectrofotometro NanoDrop 2000. Todas las muestras de DNA fueron almacenadas a -80°C hasta su uso.

2.6 Secuenciación y PCR

Se realizó un PCR en tiempo real mediante el uso de oligos específicos para una región conservada del gen 16s rRNA V3-V4, la identificación taxonómica del perfil de la microbiota se realizó por parte de ZymoBiomics mediante Illumina.

2.7 Análisis estadístico

Los resultados son expresados como el promedio \pm desviación estándar de tres repeticiones. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para calcular las diferencias significativas, seguida de una prueba de Tukey como *post hoc* $p < 0.05$. Los análisis se realizaron con el programa estadístico JMP versión 7.0 (SAS Institute, INC).

3. Resultados y discusión

3.1 Composición de la microbiota intestinal

lo reportado por Ji et al., (2019) en donde fue mayor la abundancia de *Bacteroides* en los ratones inducidos con DSS alimentados con *Ziziphus jujuba Mill.*, lo cual se correlacionó con una mayor producción de ácido acético. Por lo anterior, el RG puede ser una fuente de sustrato para la producción de ácido acético por parte de *Bacteroides*, lo que causa así su aumento dentro del grupo RG+AOM/DSS en comparación al grupo G+AOM/DSS. Algunas de las especies dentro del género *Bacteroides* se han correlacionado positivamente con factores inflamatorios (Wang et al., 2021), sin embargo, en fases tempranas de cáncer de colon se reporta una disminución en *Bacteroides* (Lucas et al., 2017). Esto podría explicar la disminución en cuanto a su abundancia en los grupos AOM/DSS.

modelo animal inducido con AOM/DSS. Su aumento en el grupo con AOM/DSS es debido a que es un género de bacterias asociado con procesos de iniciación tumoral de cáncer de colon (Mangifesta et al., 2018). Sin embargo, los resultados indican que el garambullo y el residuo de garambullo no muestran un efecto significativo en la modulación de bacterias del género *Romboutsia*. El género *Alloprevotella* mostró una mayor abundancia al tiempo medial en el grupo G+AOM/DSS y RG+AOM/DSS respecto del control y, al tiempo final, su abundancia fue mayor en el grupo RG+AOM/DSS respecto de los otros tres grupos. El aumento de *Alloprevotella* en los grupos con garambullo es similar a lo reportado por Wang et al., (2021) en un modelo animal inducido con AOM/DSS y alimentado con *Evodia rutaecarpa*. Las bacterias dentro del género *Alloprevotella* son productoras de AGCC por lo que intervienen en la salud colónica al correlacionarse negativamente con factores inflamatorios y positivamente con la integridad de la barrea intestinal (Wang et al., 2021). Por lo tanto, los resultados indican que el tratamiento con garambullo y residuo de garambullo tiene un efecto protector ante la inducción de AOM/DSS mediante el aumento en la proliferación de bacterias del género *Alloprevotella*.

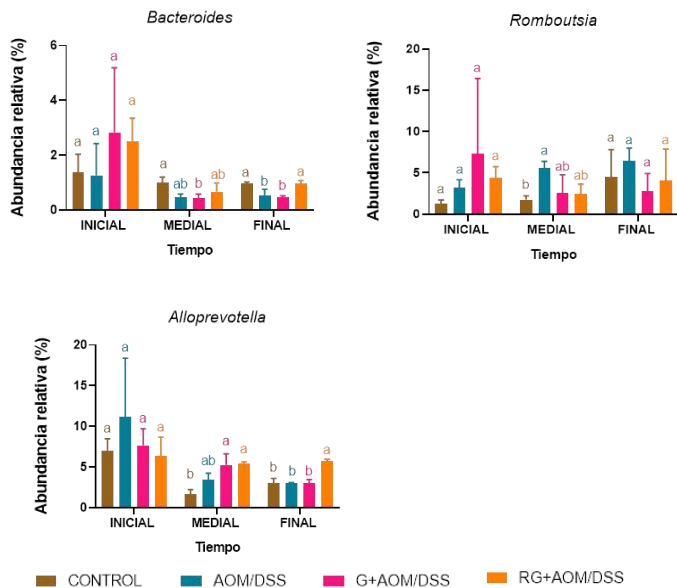


Figura 2. Análisis de microbiota de cuatro grupos experimentales. Los datos se muestran como la media ± desviación estándar de tres repeticiones. Letras minúsculas indican las diferencias entre grupos dentro de cada tiempo. (ANOVA, prueba *post hoc* de Tukey $p < 0.05$). AOM/DSS= Azoximetano/dextrán sulfato de sodio, G+AOM/DSS=Garambullo inducido con Azoximetano/dextrán sulfato de sodio, RG+AOM/DSS= Residuo de garambullo inducido con Azoximetano/dextrán sulfato de sodio. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al género *Romboutsia*, su abundancia fue mayor en el grupo con AOM/DSS respecto del grupo control en el tiempo medial. Lo anterior ha sido previamente reportado por Chang et al., (2022) en un

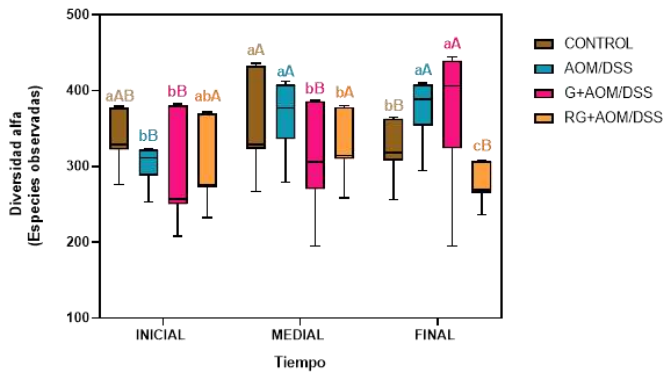


Figura 3. Los datos se muestran como la media \pm desviación estándar de tres repeticiones. Letras minúsculas indican las diferencias entre grupos dentro de cada tiempo mientras que las letras mayúsculas indican diferencias entre los tiempos (inicial, medial y final). (ANOVA, prueba *post hoc* de Tukey $p < 0.05$). AOM/DSS= Azoximetano/dextrán sulfato de sodio, G+AOM/DSS= Garambullo inducido con Azoximetano/dextrán sulfato de sodio, RG+AOM/DSS= Residuo de garambullo inducido con Azoximetano/dextrán sulfato de sodio. Fuente: Elaboración Propia.

La diversidad alfa de las especies (Figura 3) indica la riqueza de especies de bacterias dentro de los cuatro grupos experimentales en los tres tiempos evaluados. Los resultados muestran al tiempo inicial una menor riqueza de especies en el grupo AOM/DSS. En cuanto al tiempo final, hay una mayor riqueza de especies en el grupo G+AOM/DSS y AOM/DSS las cuales en comparación al grupo control y el grupo RG+AOM/DSS. Estos resultados indican que el garambullo consumido como fruto completo es mejor sustrato para el aumento en la diversidad de bacterias respecto del residuo de garambullo. Así mismo el aumento en la riqueza de especies en el grupo con G+AOM/DSS y AOM/DSS pueden incluir bacterias productoras de AGCC o ya sea bacterias patógenas asociadas a inflamación y etapas tempranas del cáncer de colon respectivamente como se ha descrito anteriormente.

4. Conclusión

Por primera vez se ha descrito los efectos del consumo de garambullo sobre el perfil de la microbiota intestinal de un modelo con AMO/DSS. Los cambios en el perfil de la microbiota bajo el tratamiento con garambullo y residuo de garambullo pudieron

observarse a nivel género. Los tratamientos con garambullo y residuo de garambullo mostraron un efecto protector en el modelo inducido con AOM/DSS a través de la modulación en el perfil de la microbiota debido a que promovieron el aumento de bacterias productoras de AGCC del género *Bacteroides* y *Alloprevotella*. Por lo tanto, este trabajo demuestra que el consumo de garambullo modula el perfil de la microbiota a nivel de género promoviendo la presencia de bacterias benéficas para el colon.

5. Referencias

- Cai, X., Han, Y., Gu, M., Song, M., Wu, X., Li, Z., Li, F., Goulette, T., & Xiao, H. (2019). Dietary cranberry suppressed colonic inflammation and alleviated gut microbiota dysbiosis in dextran sodium sulfate-treated mice. *Food and Function*, 10(10), 6331–6341. <https://doi.org/10.1039/c9fo01537j>
- Chang, Z. Y., Liu, H. M., Leu, Y. L., Hsu, C. H., & Lee, T. Y. (2022). Modulation of Gut Microbiota Combined with Upregulation of Intestinal Tight Junction Explains Anti-Inflammatory Effect of Corylin on Colitis-Associated Cancer in Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5). <https://doi.org/10.3390/ijms23052667>
- Espinosa-Tamez, P., Suazo-Zepeda, E., Sánchez-Blas, H., Meneses-Medina, M., Huitzil-Meléndez, F. D., van Loon, K., Potter, M., & Lajous, M. (2021). National and state-level colorectal cancer mortality trends in Mexico, 1998-2018. *Salud Pública de México*, 1–9. <https://doi.org/10.21149/12522>
- Guzmán-Maldonado, S. H., Herrera-Hernández, G., Hernández-López, D., Reynoso-Camacho, R., Guzmán-Tovar, A., Vaillant, F., & Brat, P. (2010). Physicochemical, nutritional and functional characteristics of two underutilised fruit cactus species (*Myrtillocactus*) produced in central Mexico. *Food Chemistry*, 121(2), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.039>
- Ji, X., Hou, C., Gao, Y., Xue, Y., Yan, Y., & Guo, X. (2020). Metagenomic analysis of gut microbiota modulatory effects of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) polysaccharides in a colorectal cancer mouse model. *Food and Function*, 11(1), 163–173. <https://doi.org/10.1039/c9fo02171j>
- Liu, X., Martin, D. A., Valdez, J. C., Sudakaran, S., Rey, F., & Bolling, B. W. (2021). Aronia berry polyphenols have matrix-dependent effects on the gut microbiota. *Food Chemistry*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129831>
- Lucas, C., Barnich, N., & Nguyen, H. T. T. (2017). Microbiota, inflammation and colorectal cancer. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 18, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms18061310>

- Mangifesta, M., Mancabelli, L., Milani, C., Gaiani, F., de'Angelis, N., de'Angelis, G. L., van Sinderen, D., Ventura, M., & Turroni, F. (2018). Mucosal microbiota of intestinal polyps reveals putative biomarkers of colorectal cancer. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32413-2>
- Ramírez-Rodríguez, Y., Martínez-Huélamo, M., Pedraza-Chaverri, J., Ramírez, V., Martínez-Tagüeña, N., & Trujillo, J. (2020). Ethnobotanical, nutritional and medicinal properties of Mexican drylands Cactaceae Fruits: Recent findings and research opportunities. *Food Chemistry*, 312(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126073>
- Rawla, P., Sunkara, T., & Barsouk, A. (2019). Epidemiology of colorectal cancer: Incidence, mortality, survival, and risk factors. In *Przegląd Gastroenterologiczny* (Vol. 14, Issue 2, pp. 89–103). Termedia Publishing House Ltd. <https://doi.org/10.5114/pg.2018.81072>
- Sánchez-Recillas, E., Campos-Vega, R., Pérez-Ramírez, I. F., Luzardo-Ocampo, I., Cuéllar-Núñez, M. L., & Vergara-Castañeda, H. A. (2022). Garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*): effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioaccessibility and antioxidant capacity of phytochemicals. *Food and Function*. <https://doi.org/10.1039/d1fo04392g>
- Schmitt, M., & Greten, F. R. (2021). The inflammatory pathogenesis of colorectal cancer. In *Nature Reviews Immunology* (Vol. 21, Issue 10, pp. 653–667). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41577-021-00534-x>
- Shen, J., Li, P., Liu, S., Liu, Q., Li, Y., Zhang, Z., Yang, C., Hu, M., Sun, Y., He, C., & Xiao, P. (2020). The chemopreventive effects of Huangqin-tea against AOM-induced preneoplastic colonic aberrant crypt foci in rats and omics analysis. *Food and Function*, 11(11), 9634–9650. <https://doi.org/10.1039/d0fo01731k>
- Wang, M., Zhou, B., Cong, W., Zhang, M., Li, Z., Li, Y., Liang, S., Chen, K., Yang, D., & Wu, Z. (2021). Amelioration of AOM/DSS-Induced Murine Colitis-Associated Cancer by Evodiamine Intervention is Primarily Associated with Gut Microbiota-Metabolism-Inflammatory Signaling Axis. *Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.797605>
- Xiao, X., Long, W., Huang, T., Xia, T., Ye, R., Liu, Y., & Long, H. (2018). Differences Between the Intestinal Lumen Microbiota of Aberrant Crypt Foci (ACF)-Bearing and Non-bearing Rats. *Digestive Diseases and Sciences*, 63(11), 2923–2929. <https://doi.org/10.1007/s10620-018-5180-7>

Intervención antisísmica en edificios afectados por terremotos mediante simulación

Eli Josue Ledezma Arellano
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Autónoma de Querétaro
eledezma15@alumnos.uaq.mx

Resumen

Los terremotos causaron pérdidas económicas de US\$ 58 mil millones solo en los últimos cinco grandes terremotos en todo el mundo. Durante 2017 se registraron en la Ciudad de México alrededor de 44 edificaciones colapsadas y 68 con alto riesgo de derrumbe. En el sismo que se generó en México en el 2017 hay daños en infraestructura, los cuales se estiman en 29,000 millones de pesos, cerca de 4,500 personas fallecieron en los últimos 20 años por sismos de los cuales 194 son del 2020. El objetivo es la intervención de edificaciones por fallas estructurales provocadas por un sismo, utilizando el método estático con una simulación en el software ETABS mediante la técnica de corte de placas de acero para edificaciones con riesgo medio de colapso, a su vez se realizará una comparación con el método de aisladores sísmicos para demostrar la eficacia del método. En la Ciudad de México existen edificaciones que son candidatas para el análisis y evaluación sísmica. Aunque, es importante decir que el trabajo podría ser aplicado en cualquier parte del mundo que lo requiera. Sin las placas de acero, los desplazamientos de los techos son muy grandes, llegando casi a los 10 cm. Después de colocar las placas en la simulación se obtuvieron resultados de desplazamientos de casi 2 cm máximo, por lo que se redujo el desplazamiento en un 80%.

Palabras clave: sismicidad; grados de libertad; Evaluación de riesgos; diseño estructural; simulación de software; aisladores sísmicos.

Abstract

Earthquakes caused economic losses of US\$58 billion in the last five major earthquakes worldwide alone. During 2017, around 44 collapsed buildings and 68 at high risk of collapse were recorded in Mexico City. In the earthquake that was generated in Mexico in 2017 there are damages in infrastructure, which are estimated at 29,000 million pesos, about 4,500 people died in the last 20 years due to earthquakes of which 194 are from 2020. The objective is the intervention of buildings due to structural failures caused by an earthquake, using the static method with a simulation in the ETABS software through the technique of cutting steel plates for buildings with medium risk of collapse, at the same time a comparison will be made with the method of seismic isolators to show the effectiveness of the method. In Mexico City there are buildings that are candidates for seismic analysis and evaluation. Although, it is important to say that the work could be applied in any part of the world that requires it. Without the steel plates, the displacements of the ceilings are very large, almost reaching 10 cm. After placing the plates in the simulation, results of displacements of almost 2 cm maximum were obtained, therefore the displacement was reduced by 80%.

Keywords: seismicity; degrees of freedom; risk assessment; structural design; software simulation

INTRODUCCIÓN

Según Statista (2021) las pérdidas económicas provocadas por un sismo ascienden a miles de millones de dólares a nivel mundial. Solo entre 2013 y 2018 se registraron pérdidas por 58 mil millones en sismos ocurridos en Japón (2016 y 2018), China (2013), Italia (2016) y México (2017). Al respecto, Oviedo y Duque (2006) nos indican que la amenaza sísmica no constituye un riesgo si no va acompañada de edificaciones vulnerables. A nivel mundial, existen varias superficies dentro de la tierra, principalmente las placas que provocan el movimiento sísmico del suelo con lo que se afecta todo lo que está arriba. Cerca de 4.500 personas fallecieron en los últimos 20 años a causa de los sismos, de los cuales 194 son del 2020.

Para los escritores de Statista (2021) la República Mexicana está ubicada en una de las regiones sísmicas más activas del mundo. Cuando las estructuras colapsan, se crean inmensos escombros. Los derrumbes o daños severos a edificios existentes durante fuertes terremotos han resultado en pérdidas económicas significativas, lesiones graves y pérdida de vidas. H. Barrios (2019) nos dice que, durante 2017, en la Ciudad de México hubo alrededor de 44 edificios colapsados y 68 con alto riesgo de colapso, de los cuales algunos siguen en pie, por lo que representan un alto riesgo de seguridad. National Geographic (2010) nos dice que durante el sismo que se generó en México en 2017, hay daños en la infraestructura, los cuales se estiman en 29,000 millones de pesos; mientras que en el sismo de hace 37 años que azotó a nuestro país, los costos de reparación de daños son menores, aunque sí son muy significativos.

Técnicas antisísmicas implementadas en edificios de riesgo medio

Sanchez y Angulo (2017) utilizó Mathcad para definir los efectos de las condiciones dinámicas de la excitación y se realizó un análisis modal utilizando valores de aceleración espectral típicos en la Ciudad de México. Como resultado, se obtuvo que los momentos de volteo en la cimentación se subestiman hasta en un 25 % utilizando el modelo comúnmente utilizado en la práctica profesional. F. Celis (2017) nos presenta distintas estrategias de refuerzo en edificios existentes de mampostería no reforzada

(URM). Las observaciones posteriores al terremoto realizadas durante los últimos 25 años aclararon este tema. Ser capaz de contrarrestar el efecto de la vibración del edificio bajo perturbaciones sísmicas es una tarea muy importante. Salcedo y Rodriguez (2016) comentan que la capacidad de reaccionar ante tales efectos naturales no deseados se puede mejorar proporcionando formas para que la estructura contrarreste dinámicamente el efecto sísmico. Los resultados de simulación obtenidos han demostrado que este enfoque conduce a una reducción del 58 % en el desplazamiento máximo y una reducción del 68 % en el valor RMS de la señal de desplazamiento.

Braz, Celho y Goncalves (2019) realizaron un estudio representativo de edificios residenciales comunes construidos sin prescripciones antisísmicas en áreas de riesgo sísmico moderado a alto. El edificio analizado muestra varias vulnerabilidades y tuvo una respuesta híbrida al terremoto de 2016 en el centro de Italia, que consiste en mecanismos limitados de programación orientada a objetos (OOP) y daño de cizallamiento IP generalizado en las columnas. Toda la terraza para las condiciones de construcción resaltó el efecto de la irregularidad general del edificio reducida en aproximadamente un 25 % para toda la terraza.

Jiang, Xiao y Zhang (2019) realizaron un estudio sobre los muros de corte de placa de acero, nos indican que estos elementos resistentes a la carga lateral efectivos en edificios de gran altura. Los resultados indicaron que el sistema de muros de corte de placa de acero y hormigón armado de alta resistencia (RCSPSW) demostró tener una capacidad de carga lateral superior a los muros de corte de hormigón armado (RCSW). Se observó una degradación más severa de la resistencia y la rigidez para las muestras de flexión RCSPSW con una relación de compresión axial superior a 0,50. Cuando la relación de compresión axial aumenta a 0,58, el factor de ductilidad disminuye sustancialmente a 2,61 y la deriva última es inferior al 1,0 %

De acuerdo con Liu, Wu, Yu y Li (2021) el muro compuesto de hormigón con placa de acero tipo rejilla (GSPCW) es un innovador sistema de muro de corte que se ha desarrollado recientemente. Este tipo de muro de corte se caracteriza por una gran capacidad de carga vertical y lateral mientras mantiene una gran

capacidad de deformación. Dado que apenas se necesitan barras de refuerzo tradicionales, las medidas estructurales para la construcción de muros son simples y pueden implementarse fácilmente. Con base en investigaciones experimentales y numéricas de los componentes del muro GSPCW, se ha verificado que el desempeño sísmico de los muros GSPCW es satisfactorio en términos de capacidad de carga, rigidez y capacidad de deformación, disipación de energía, etc. Wang, Zhang, Chen y Ding (2021) después de reemplazaron los muros de corte de hormigón armado ordinario con muros GSPCW cuyo espesor de pared es del 30 %, el edificio pudo controlar la deformación general de las estructuras en buena medida. La cantidad de hormigón consumido para toda la estructura se redujo en un 1,64 %. También mostró que el costo de los materiales para los modelos GSPCW solo aumentó alrededor de un 2,2 % por unidad de área. La que se encontraba disponible en los edificios GSPCW aumentó casi un 3 % en comparación con el área original.

Tena, Cortés y Godínez (2017) desarrollaron un modelo de elementos finitos (FE) para predecir el comportamiento de placas de acero rigidizadas y concreto relleno (SSPFC) utilizando el software ABAQUS. Se estudió el mecanismo del muro y los efectos de los parámetros de diseño clave sobre la capacidad de carga y la rigidez, la placa de alma y el hormigón son los componentes principales que resisten la fuerza lateral. Se encontró que la placa del alma contribuye con el 55-85 % de la resistencia total al corte del muro. Sabemos que el aislamiento de base consiste en separar la estructura del suelo para evitar daños sísmicos. Para Pamela L. (2013) este es un principio simple, sin embargo, una edificación necesariamente debe estar apoyada en el suelo para soportar la gravedad, el problema es cómo aislar la edificación y que al mismo tiempo puede resistir la gravedad. Sin embargo, esta tecnología no ha logrado destacarse en América Latina, lo que se puede atribuir a la falta de conocimiento sobre el tema, así como en las investigaciones para reducir costos y la relación costo-beneficio que tienen, entre otros factores.

Debido a la simplificación de las fuerzas inducidas por el sismo que afectan al edificio, los investigadores Meli y Alcocer (2004) decidieron utilizar el método estático, ya que simplifica las fuerzas inducidas por el

sismo a un par de fuerzas estáticas horizontales y verticales equivalentes aplicadas al centro de masa aproximado (CM) del equipo. Las reacciones de apoyo debidas a las fuerzas en el CM se calculan con base en la distribución de masa de fuerzas estáticas equivalentes basada en la distribución de masa del equipo. Esta última es conocida como método de masa global; además, se considera como uno de los muchos métodos disponibles para calcular las reacciones en los apoyos.

Para Castellanos, Mora, Salazar, López y Gómez (2017) las variables y características de una estructura que tendremos en cuenta para realizar un diagnóstico son variadas. La principal característica es la altura y número de plantas, los espacios abiertos (aquellos en los que no existen muros de mampostería o muros de ningún tipo), la amplificación dinámica a través de la estructura dada la morfología y la vibración torsional cuando los muros estructurales no están adecuadamente distribuido.

El objetivo de esta investigación es la intervención de edificaciones por fallas estructurales provocadas por un sismo, utilizando el método estático con una simulación en el software ETABS mediante la técnica de corte de placas de acero para edificaciones con riesgo medio de colapso. A la vez, se realizará una comparación hecho con el método de aisladores sísmicos para mostrar la efectividad del método.

METODOLOGÍA

Con base en la investigación, la Ciudad de México es reconocida como un área factible de investigación. En dicho lugar, existen edificaciones que son candidatas para el análisis y evaluación sísmica; aunque, es importante decir que nuestro trabajo podría ser aplicado en cualquier parte del mundo que lo requiera. Para las fuerzas sísmicas se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales que actúan sobre cada uno de los puntos donde se supone que se concentran las masas. Se diseñó un edificio de siete pisos con 17.68m x 7.8m con una altura de 16.8m (véase Figura 1).

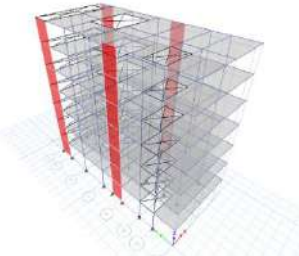


Figura 1. Diseño estructural del edificio a analizar. Fuente: Elaboración propia.

Toda la construcción fue realizada en ETABS ULTIMATE con la versión 18.0.2, la cual fue licenciada de uso libre por 12 meses.

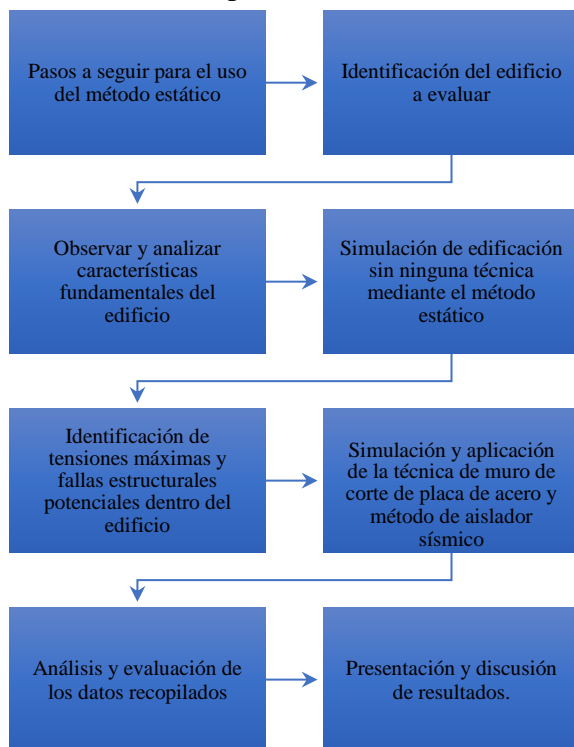


Figura 2. Diagrama de flujo para la correcta implementación del método estático. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de flujo explica la metodología que utilizamos para llevar a cabo este proyecto (Figura 2). El primer paso sería identificar el edificio a evaluar. Analizaremos varios edificios candidatos que podrían ayudarnos a explicar nuestro trabajo y elegiremos el que mejor se adapte a nuestro trabajo. El segundo paso sería revisar las características fundamentales de la estructura de este edificio a través de sus planos estructurales. El tercer paso sería simular el comportamiento del edificio en un *software* para pasar al cuarto paso que es identificar las tensiones máximas y donde podría fallar el edificio. Luego aplicaríamos la técnica del muro de corte de placa de

acero y simularemos nuevamente la edificación. Finalmente, con los datos obtenidos presentaremos y discutiremos los resultados.

Las medidas están consideradas en el sistema internacional, para que sean homogéneos con los resultados que deseamos obtener. El código para hormigón es ACI 318-08; para perfiles metálicos se considerará AISC 14 y el código de diseño de acero es AISC 360-10 (Figura 3).

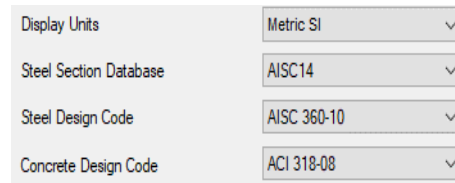


Figura 3. Normas utilizadas para la construcción del edificio de hormigón. Fuente: Elaboración propia.

El material del edificio es concreto, con una $f'c$ de 4000 psi (que es aproximadamente 27.57903 MPa). Todos estos datos se pueden ver en la Figura 4.

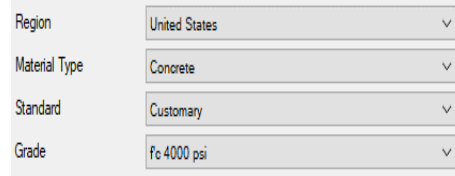


Figura 4. Especificaciones de construcción del edificio. Fuente: Elaboración propia.

Los datos utilizados para la simulación sísmica se basan en datos de México CFE-2008 (Figura 5). La zona sísmica Z representa diferentes características en cuanto a sismos, la zona C son zonas intermedias, donde los sismos no se registran con tanta frecuencia o son zonas afectadas por aceleraciones altas pero que no superan el 70 % de la aceleración de la gravedad. El tipo de suelo simulado es el tipo II el cual está conformado por arena, grava, arcilla o una combinación de los anteriores formando un material semiblando, se puede extraer con herramientas manuales y maquinaria pesada.

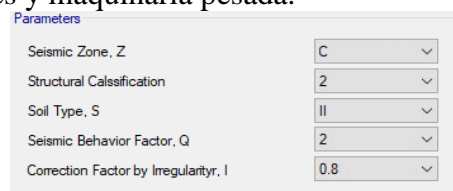


Figura 5. Datos utilizados para la simulación sísmica en edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos pudimos obtener la gráfica periodo-aceleración del sismo para cada uno de los casos. En la

Figura 6, se puede observar que en el eje x se muestra el periodo del sismo al que se va a someter el edificio por simulación y en el eje y se puede ver la aceleración del sismo con los parámetros México CFE-2008.

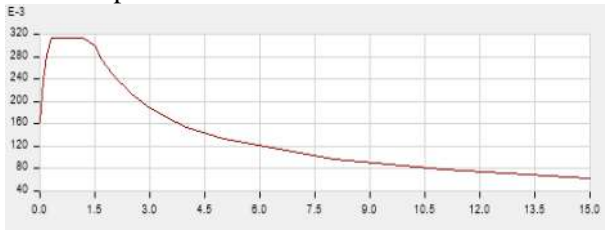


Figura 6. Gráfica periodo-aceleración con los parámetros México CFE-2008. Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades de los materiales utilizados en la edificación se pueden ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades Generales de los materiales

Material	Tipo	Sym Type	Grado
4000Psi	Concreto	Isotropico	F'c 27.57 MPa
A416Gr270	Tendon	Uniaxial	Grade 270
A615Gr60	barra de refuerzo	Uniaxial	Grade 60
A992Fy50	Acero	Isotropico	Grade 50
Fc21	Concreto	Isotropico	F'c 27.57 MPa
Fc28	Concreto	Isotropico	F'c 27.57 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación de los aisladores sísmicos se van a utilizar unos parámetros que fueron calculados y algunos fueron obtenidos en base a la plataforma de ETABS. Estos parámetros y sus respectivos valores se pueden mostrar en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de los aisladores sísmicos fps

Propiedades	Unidades	FPS
Rigidez vertical	Ton/m	180346.46
Rigidez efectiva lineal	Ton/m	266.31
Rigidez inicial	Ton/m	7514.44
Fuerza de fluencia	Ton/m	19.09
Relación rigidez Post-fluencia/rigidez inicial	Ton*s/m	0.023
Amortiguamiento efectivo	Ton*m	38.31
Energía disipada	Ton*m	15.65
Coefficiente de fricción		0.07

Radio de curvatura	m	1.60
--------------------	---	------

Fuente: Elaboración propia.

Para el modelamiento con aisladores sísmicos tipo LBR y HDR, tienen la misma metodología. El modelamiento del aislador HDR se realizara de forma idéntica al LBR (ver Figuras 7, 8 y 9).

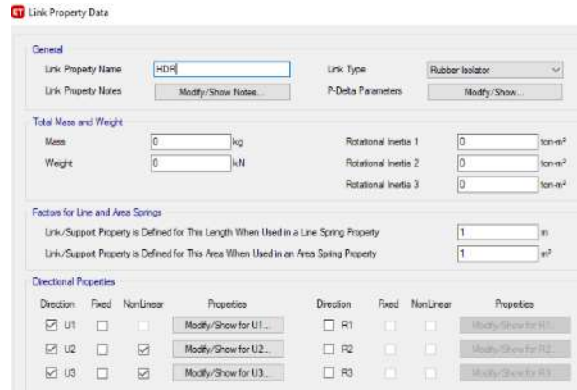


Figura 7. Datos de las propiedades de enlace para el aislador tipo HDR. Fuente: Elaboración propia.

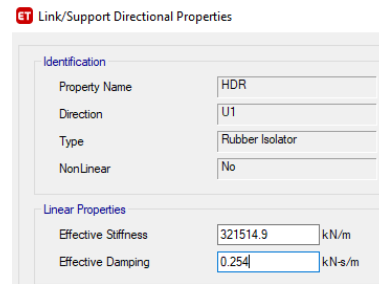


Figura 8. Propiedades para la dirección U1 del aislador HDR. Fuente: Elaboración propia.

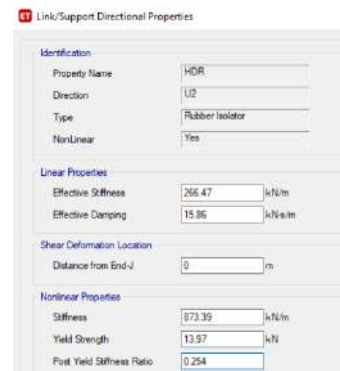


Figura 9. Propiedades del enlace para la dirección U2 y U3 para el aislador HDR. Fuente: Elaboración propia.

El modelamiento del aislador LBR se realiza en forma parecida al aislador HDR, ya que tienen las mismas propiedades (ver Figuras 10, 11 y 12).

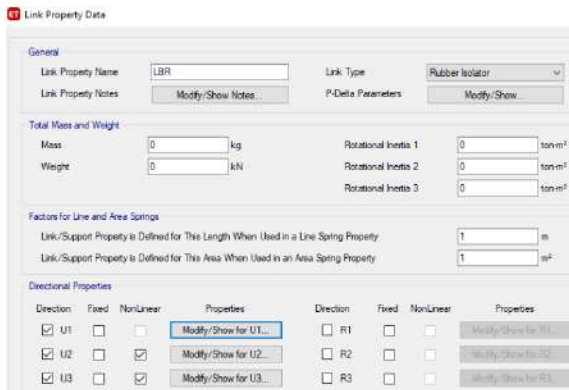


Figura 10. Propiedades del enlace para el aislador LBR. Fuente: Elaboración propia.

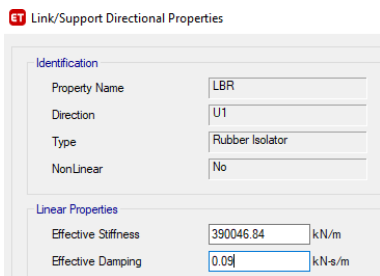


Figura 11. Propiedades para la dirección U1 del aislador LBR. Fuente: Elaboración propia.

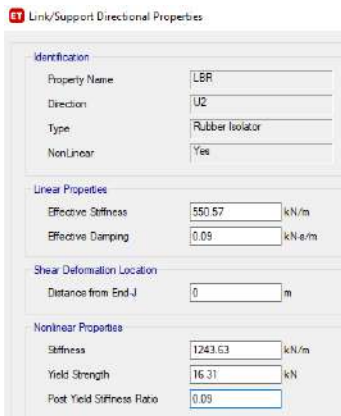


Figura 12. Propiedades para la dirección U2 y U3 del aislador LBR. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Técnica antisísmica Muros de corte de placas de acero.

La carga sísmica automática presenta aquellas laterales generadas automáticamente para el patrón de carga FHEX usando coeficientes de entrada, calculados por ETABS (Figura 13), donde en el eje y se puede ver la altura del piso con respecto a la base y, en el eje x, las fuerzas en la dirección x generadas por el sismo en cada uno de ellos.

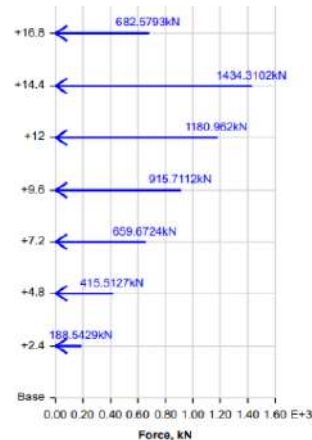


Figura 13. Carga lateral a los pisos en la dirección X. Fuente: Elaboración propia.

La carga sísmica automática presenta las cargas sísmicas laterales generadas para el patrón de carga FHEy (Figura 14).

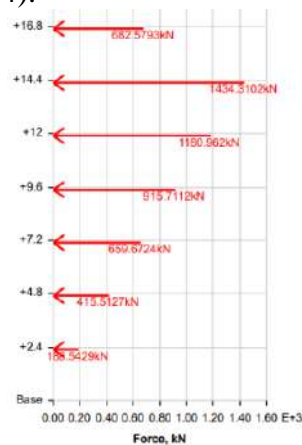


Figura 14. Carga lateral a pisos en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

Después de haber realizado la simulación sin ninguna técnica implementada en el edificio, se obtuvieron este tipo de deformaciones. Los desplazamientos o deformaciones, se miden en mm por lo que en muchas ocasiones no son muy notorios, pero son estos los que hacen que la estructura no resista una réplica sísmica u otro sismo, aunque sea de menor magnitud. Las masas resumidas por historia se pueden ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de masas por piso

Nivel	UX Kg	UY Kg
+16.80	35913.18	35913.18
+14.40	89962.84	89962.84
+12	91184.84	91184.84
+9.60	91184.84	91184.84
+7.20	91184.84	91184.84
+4.80	91184.84	91184.84
+2.40	91184.84	91184.84
Base	1222	1222

Fuente: Elaboración propia.

La edificación estuvo sometida a diferentes cargas y momentos. Los principales son los generados por la propia edificación y los generados por el sismo; estas cargas y momentos se pueden apreciar en la Tabla 4. Como se puede apreciar las cargas muertas y vivas no generan fuerzas en las direcciones "x" e "y"; mientras que tampoco generan momentos en su dirección "z", considerando que el eje z representa la altura del edificio, el eje "y" "el ancho y el eje "x" representa la longitud. El dato negativo que se da representa hacia dónde se dirigen esos momentos. En cualquier caso, el dato negativo representaría que los esfuerzos o momentos van hacia el interior del edificio y los positivos hacia el exterior. del edificio.

Tabla 4. Estructura Resultados-Base Reacciones

Caso de salida	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m
Dead	0	0	3496	34192	-13958.30	0
Live	0	0	556.90	662.7	-2172	0
FHEx	-5473	0	0	0	-6115.36	4624.70
FHEy	0	-5477	0	6166	0.15	-2179
DNX	67.70	1.60	0	8.60	662.57	563.90
DNY	47.30	4651.40	0	5019	246	1665.70
D	0	0	7513	7117	-2997.97	0.16
L	0	0	2258	1251	-8912.19	0.04

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes gráficas, se puede observar las deformaciones promedio en cada piso producidas por cada una de las cargas generadas por el sismo.

- Deformaciones promedio por piso provocadas por carga DNX. En la Figura 15, se pueden observar deformaciones promedio debido a las cargas generadas por el sismo en el eje x. Se observa que

los desplazamientos son mayores en comparación a las cargas vivas y muertas, esto debido a que el sismo genera liberación de energía.

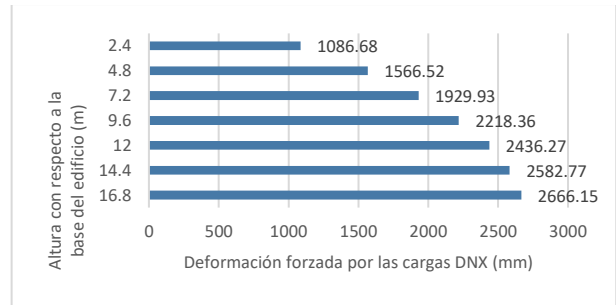


Figura 15. Gráfica de barras de las deformaciones promedio debido a las cargas DNX. Fuente: Elaboración propia.

- Deformaciones promedio por piso provocadas por carga DNY. En la Figura 16, se puede observar deformaciones promedio debido a las cargas generadas por el sismo en el eje y. En comparación a las presentadas en el eje x, se puede observar que algunos valores son mejores y otros son mayores.

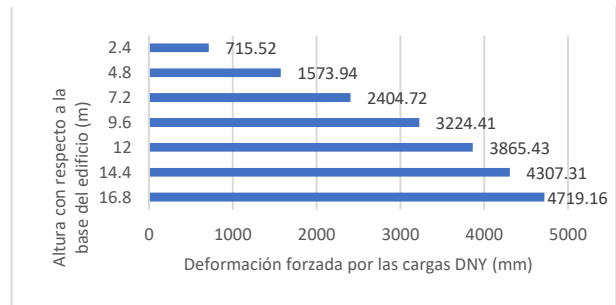


Figura 16. Gráfica de barras de las deformaciones promedio debido a las cargas DNY. Fuente: Elaboración propia.

En ocasiones se puede observar que los valores más altos se encuentran en la mitad del edificio, esto es lo que provoca que los techos cuelgan después del sismo. Sin las placas de acero, los desplazamientos de los techos son muy grandes, llegando casi a los 10 cm.

Técnica antisísmica aisladores sísmicos

Para esta técnica, se realizaron unos pequeños cambios en la edificación para poder simular en Etabs, ya que nos marca errores y no nos permitiera realizar el análisis de la técnica antisísmica. Los cambios que se le realizaron consistieron en la implementación de un piso adicional y la reducción de sus dimensiones, como otro piso para que contáramos con el mismo volumen de construcción y así poder realizar una comparación en los costos de la implementación de

las técnicas. Lo anterior se puede observar en la Figura 17.

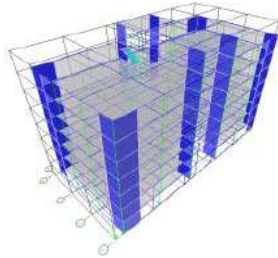


Figura 17. Edificio para los aisladores antisísmicos. Fuente: Elaboración propia.

Las cargas sísmicas son las mismas que en el método pasado ya que el sismo es el mismo. (Figura 13 y 14) Tanto en la dirección X y en la dirección Y.

Como se puee observar en la Figura 18, los aisladores LBR se colocaron bajo las columnas de los extremos, mientras que las columnas restantes son del tipo HDR.

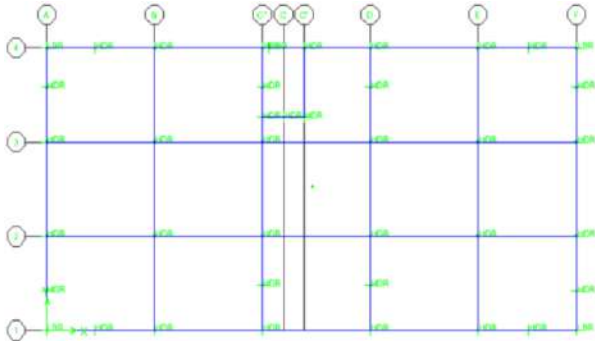


Figura 18. Vista en planta de la combinación de los aisladores HDR y LBR. Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar, en la Figura 19, el mejor control de los periodos de participación modal. Ante una acción exterior, la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o períodos; estos dependen de las características geométricas, de la rigidez y de la masa que la estructura opone al movimiento. Cabe señalar que el uso de aisladores concentra la vibración de la edificación prácticamente en un solo modo por dirección, esto quiere decir que la mayor cantidad de cargas se van a presentar en solo un aislador sísmico, por eso es importante saber en cual aislador se va a presentar esté efecto y poder ver en que dirección lo va a hacer para así poder diseñar o reforzar ese nodo para evitar su falla.

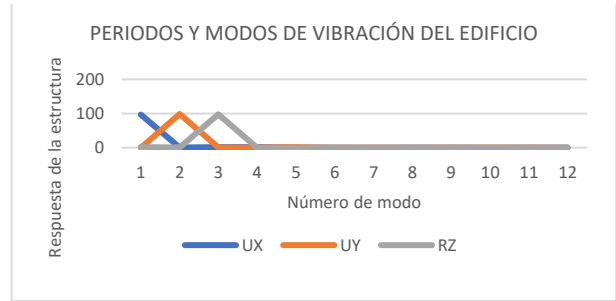


Figura 19. Gráfica de los periodos y modos de vibraciones del edificio. Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver que el período fundamental tiene un valor de 1.87 segundos, lo que es semejante al período objetivo. Este primer modo tiene una participación modal de 94.24 % que ocurre en dirección x, lo que se traduce en que, para el primer modo, la estructura estaría sometida a traslación en x. Para el segundo modo, el período es 1.80 segundos, con una participación modal del 98.06 % en y, de tal forma que, para el segundo modo, la estructura sufriría traslación en la dirección y. Finalmente el tercer modo se realizó en un período de 1.70 segundos con una participación modal de 94.87% torsional en Z para la estructura.

Es importante mencionar como característica propia de un sistema aislado, que los períodos traslacionales son semejantes de modo que la relación entre ellos es prácticamente 1; mientras que, en el tercer modo de vibración, la relación es de 1,09 que es muy cercano a 1, por lo que se podrá decir que hay una óptima distribución de los aisladores. Además, los modos de vibración se concentran en un solo modo por dirección, lo que además reduciría la incertidumbre sobre el comportamiento de los diafragmas.

La edificación estuvo sometida a diferentes cargas y momentos, los principales son los generados por la propia edificación y los generados por el sismo (véase la Tabla 5). Como se puede apreciar, las cargas muertas y vivas no generan fuerzas en las direcciones "x" e "y", mientras que tampoco generan momentos en su dirección "z", considerando que el eje z representa la altura del edificio, el eje "y" "el ancho y el" El eje x" representa la longitud. El dato negativo que se da representa hacia dónde se dirigen esos momentos. En cualquier caso, el dato negativo representaría que los esfuerzos o momentos van hacia

el interior del edificio y los positivos hacia el exterior. del edificio.

Tabla 5. Estructura Resultados-Reacciones Base

Output Case	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m
Dead	0	0	2955	27419	-11845	0
Live	0	0	556	662	-2172	0
FHEx	-4798	0	0	0	-55104	38030
FHEy	0	-4798	0	55104	0	-19147
DNX	162	6.20	0	14.04	573	1321
DNY	88	3956	0	4316	965	14837
D	0	0	6429	57629	-25745	0
L	0	0	2080	10299	-8222	0

Fuente: Elaboración propia

En las siguientes gráficas se puede observar las deformaciones promedio en cada piso producidas por cada una de las cargas generadas por el sismo para el método de aisladores sísmicos. Más adelante utilizaremos estos datos y los compararemos con los datos que ya conocemos del método anterior.

- Deformaciones promedio por piso provocadas por carga DNX para los aisladores sísmicos (Figura 20). Se observa que los desplazamientos son mayores en comparación a las cargas vivas y muertas, esto debido a que el sismo genera liberación de energía.

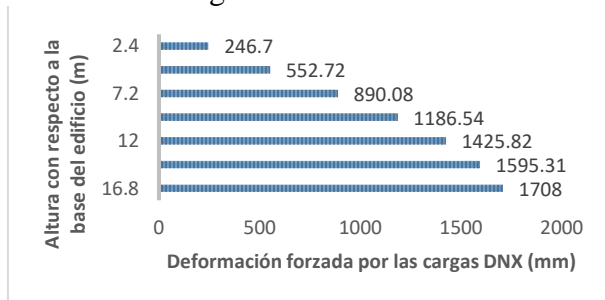


Figura 20. Gráfica de barras de las deformaciones promedio debido a las cargas DNX. Fuente: elaboración propia

- Deformaciones promedio por piso provocadas por carga DNY para los aisladores sísmicos (Figura 21) En comparación a las presentadas en el eje X, estas son muy altas, lo que genera un gran peligro en la estructura, debido a los daños estructurales que pueden presentar.

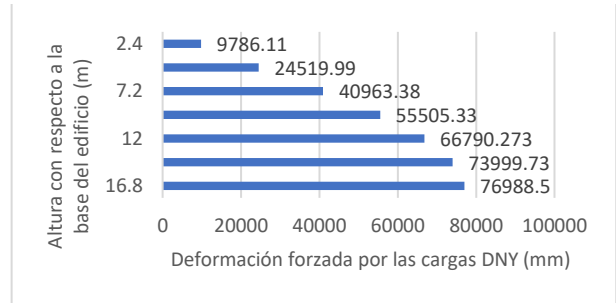


Figura 21. Gráfica de barras de las deformaciones promedio debido a las cargas DNY. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos comprobar algunos desplazamientos son demasiado grandes, en especial los que se generan debido al terremoto. Como podemos ver, los desplazamientos máximos se pueden encontrar en manera vertical y estos son los que se generan debido a que el aislador sísmico se desplaza verticalmente (ver Figura 22) y esto hace que estos desplazamientos sean muy altos, pero esto no implica que el edificio llegue a sufrir demasiado daño.



Figura 22. Aislador sísmico implementado en un edificio. Sacada de IngeCivil (2018) (<https://www.ingecivil.net/2018/08/13/funcionan-los-aisladores-sismicos/>)

CONCLUSIONES

Luego del análisis realizado al edificio de concreto de 7 niveles, podemos deducir que los muros de corte de placa de acero reducen hasta en un 80 % el impacto de un sismo, sin mencionar que la colocación de estas placas de acero reduce el uso de material (concreto, refuerzo, etc.). Lo anterior supone un menor impacto económico y ecológico frente a otros métodos, pues al reducir el uso de materiales, se logró lograr hasta un 5 % más del área interior del edificio. Esto se traduce en más espacio disponible para su uso.

Con los aisladores sísmicos, no se puede lograr un aumento en el área interior del edificio, ya que el método antisísmico no se implementa en todas las paredes en comparación al muro de corte de placas de acero. El único cambio de las características en la edificación es la altura del edificio, ya que esta aumenta debido al aislador sísmico, pero estos

cambios no son muy notables. Según los resultados obtenidos, se puede considerar y proponer unas dimensiones para los aisladores; de acuerdo con los datos obtenidos por el programa, estos últimos tendrán un diámetro de 110cm y una altura total de 41.1cm. Dependiendo del tipo de aislador que se decida colocar (LBR o FPS), cambiará las dimensiones del núcleo y el material del mismo.

En cuestiones de reducción de daño se logró un mejor resultado en comparación del otro método (ver Tabla 6).

Tabla 6. Costos por daños en contenidos del edificio

Modelo	Tradicional	Aislado	Corte de placas de acero
Área	137.904	137.904	137.904
Valor	51,688.14	51,688.14	51,688.14
Inversión	7,128,000.00	7,128,000.00	7,128,000.00
Daño (%)	17	4	6
Costo por daño	1,211,760.00	285,120.00	427,680.00
Costo total	8,339,760.00	7,413,120.00	7,555,680.00

Fuente: Elaboración propia

Los anteriores costos solo son de la edificación, no se tienen en cuenta los costos de los daños materiales o equipos que se encuentren dentro de la edificación, ni las vidas humanas que se puedan perder durante el sismo. El objetivo de un método antisísmico es mitigar los efectos de los terremotos controlando los daños que se pueden producir en la estructura. Para el caso actual, no representa un costo adicional en la inversión debido a que los aisladores reducen las fuerzas en la superestructura haciendo que los gastos en reparaciones sean menores, esto hace que los costos de la cimentación y el sistema de aislamiento se paguen solos. Sin embargo, lo anterior no es sustancial y podría ser despreciable para obras de gran envergadura al considerar la importancia de los costos a largo plazo. En el caso del muro de corte de placas de acero, el costo es más elevado en comparación de los aisladores, pero la inversión inicial no crece debido a que se usa menos material en las paredes y posiblemente menos refuerzos estructurales; el resto se puede despreciar en este tipo de obras, ya que se reduce el costo de mantenimiento y se gana más área interna.

Estos métodos se pueden usar en proyectos de inversión para la sociedad, como edificios de vital importancia durante emergencias (hospitales, estaciones de bomberos, comisarías, posibles

refugios, etc.) y de contenido valioso o peligroso (museos, almacenes industriales, etc.). Es importante mencionar que este análisis se realizó con las condiciones que serían ideales para la edificación y el entorno. En el ámbito de la construcción no existe edificación que cumpla al 100 % con estas condiciones, ya que pueden verse afectadas por falta de mantenimiento en la estructura, su mal uso y algunos agentes externos como los desastres naturales de gran tamaño. Finalmente, no debemos olvidar que la validez de este procedimiento realizado y del método simulado, se basa en un análisis estático equivalente de sistemas simplificados con un grado de libertad. Estos pierden precisión a medida que la demanda sísmica en la estructura cambia de su ajuste de modo. Dicha característica hace evidente que a medida que aumenta la demanda sísmica, menos eficiente será este método.

Referencias Bibliográficas

- Statista.Com, 2021, Statista <http://es.statista.com/estadisticas/644984/terremotos-de-mayor-impacto-economico-registrados-a-nivel-mundial/>
- J. A. Oviedo, M. P. Duque, "Seismic response control systems in buildings", *EIA*, vol 6, pp. 1-16, 2006.
- Statista.Com, 2021, Statista <https://es.statista.com/estadisticas/635156/numero-de-muertes-provocadas-por-terremotos-a-nivel-mundial/>
- H. Barrios "Seismic response of inverted pendulum type elevated tanks," *Earthquake Engineering*, vol 99 pp. 1-22, 2019.
- National Geographic, 2010, NatGeoES, <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/placas-tectonicas>
- B. Sanchez, L. M., & R. Angulo, "Analysis of damage to housing and commercial buildings during the occurrence of the earthquake of September 19, 2017," *Earthquake Engineering*, vol 101 pp. 19-35, 2019
- F. Celis, 2017, ¿Forbes Mexico. <https://www.forbes.com.mx/por-que-el-costo-de-los-sismos-de-2017-no-se-compara-al-de-1985/>
- J. M. Salcedo, S. R. Rodríguez, "Seismic design of an elevated tank in Costa Rica", *ACHE Concrete and Steel*, vol 68 pp 31-43, 2016.
- A. Tena, J. Cortés, & E. Godínez, "Impact of structural redundancy on the seismic behavior of reinforced concrete structures," *ASCE Alternativas* vol 17(3) pp. 8-27, 2017.
- D. Jiang, C. Xiao, T. Chen, & Y. Zhang, "Experimental study of high-strength concrete-steel plate composite shear walls". *Applied Sciences MDPI*, vol. 9(14), pp. 2-30, 2019.
- Y. Liu, H. Wu, Q. Yu, Y. Li, J. Li, & L. Li, "Seismic performance of grille-type steel plate concrete composite walls with application in a super-high-rise building". *Applied Sciences MDPI*, vol. 11(16), pp. 5-20, 2021.
- K. Wang, W. Zhang, Y. Chen, & Y. Ding, "Seismic analysis and design of composite shear wall with stiffened steel plate and infilled concrete". *Materials MDPI*, vol. 15(1), pp.1-33, 2021.
- Pamela, L. T. E. (2013). ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO CON AISLADORES SÍSMICOS MODELAMIENTO EN EL ETABS. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

- R. Meli & S. M. Alcocer, "Implementation of Structural Earthquake-Disaster Mitigation Programs in Developing Countries", ASCE vol 5 pp 29-39, 2004.
- R. Castellanos, A. B. Mora, E. R. Salazar, A. López & R. Gómez, "Determination of response spectra considering cumulative damage and soil-structure interaction," *Earthquake Engineering*, vol 96 pp. 18-38, 2017.

Efectos de las cargas a flexion pura en WPC

J.C. Rosas-Valencia¹

¹Posgrado en Construcción, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.

Jrosas07@alumnos.uaq.mx

Reyes Araiza, Jose Luis².

²Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. Ireyes@uaq.mx

Obregon Bios, Saul².

saul.obregon@uaq.mx

Manzano Ramirez, Alejandro³.

³CINVESTAV - Unidad Querétaro amanzano@cinvestav.mx

Perez Bueno, Jose de Jesus⁴.

⁴CIDETEQ. Jperez@cideteq.mx

Resumen

Este trabajo reporta el análisis del comportamiento mecánico bajo cargas de flexión pura, especímenes de materiales compuestos a base de materiales reciclados termoplásticos y residuos de madera (WPC) para así poder determinar el posible uso como material de construcción en la industria de la construcción. Además, aportamos en la disminución del impacto de la huella de carbono emitida por los desechos plásticos al aprovechar residuos.

Palabras Clave: Wood Plastic Composites, Compositos, Flexión, Caracterización Mecánica.

Abstract

This work reports the analysis of the mechanical behavior under pure bending loads, specimens of composite materials based on thermoplastic recycled materials and wood residues (WPC) in order to determine the possible use as a construction material in the construction industry. In addition, we contribute to reducing the impact of the carbon footprint emitted by plastic waste by taking advantage of waste.

Key words: Wood Plastic Composites, Composites, Flexure, Mechanical Characterization.

Introducción

Durante las décadas recientes, los compósitos de madera plastificada o Wood Plastic Composites (WPC) han tomado relevancia en la industria de productos de ingeniería. La industria manufacturera de los WPC se ha convertido en una de las industrias con mayor crecimiento en el área de polímeros, especialmente en China, Norte América y Europa (Arnandha et al., 2017).

Los WPC aportan un valor agregado muy interesante a elementos estructurales dado por su parte plástica, la cual puede tener una procedencia de recicle. Esto aporta el elemento de sustentabilidad que hoy es uno de los focos más importantes para los gobiernos mundiales, ya que ayuda a disminuir de cierta manera la huella de carbón generada en las industrias de la construcción y del plástico (Demets et al., 2021; Khalid et al., 2022).

Los compósitos de madera plastificada son mayormente utilizados para aplicaciones de interiores; tales como pasamanos, escritorios, fachadas, terrazas y, en cierta medida, también son utilizados en exteriores como adornos de exteriores. Este tipo de materiales posee una alta rigidez y dureza, además de atender de manera positiva las normativas ambientales (Dantas et al., 2020; Friedrich, 2022; Zhao et al., 2011). A pesar de la disponibilidad actual de este tipo de materiales, las aplicaciones hoy en día están muy limitadas dado a resistencias de bajo impacto, bajos módulos de elasticidad y altas densidades comparadas a las proporcionadas por sus contrapartes de madera tradicional; de igual manera, a su flamabilidad comparada a su contraparte de plástico (Faruk & Matuana, 2008; Friedrich, 2021).

Los compositos en cuestión pueden ser producidos mediante métodos de extrusión, inyección a moldes y moldeo por compresión (Liikanen et al., 2019). La

mayoría de los productos de WPC se producen empleando una combinación del método de extrusión, para crear la mezcla y termo fusionar los materiales y el método de moldeo por compresión, para darle así la forma final (Hutyrová et al., 2015; Sammouda & Mbarek, 2015).

La ventaja del uso de esta combinación es su bajo coste en maquinaria, dado a que no se requiere de maquinaria ni técnicos especializados para su operación. Además, el requerimiento de equipo es mucho menor comparado a los otros procesos de fabricación de WPC (Demets et al., 2021; Zhou et al., 2022).

Este tipo de compósitos utilizan una matriz polimérica con relleno de fibras de madera como refuerzo, además de una variación de aditivos. Estas matrices comúnmente usadas para la fabricación de compósitos de madera plastificada suelen ser el polipropileno (PP), polietileno (PE), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS) y el tereftalato de polietileno (PET).

En un estudio realizado en Indonesia, se ensayaron muestras de compositos de madera plastificada (WPC) con aserrín de caoba. Su resultado mostró una resistencia al esfuerzo de flexión y al esfuerzo de corte de 40.49 MPa y 27.35 MPa respectivamente, por lo que se concluyó que es posible la utilización de este tipo de materiales para elementos con un momento de inercia elevados, dado a su gran resistencia a este tipo de esfuerzo (Arnandha et al., 2017; Barbos et al., 2020; Chaudemanche et al., 2018).

Ratanawilai y Srivabut (2022) mencionan que las propiedades mecánicas de los compósitos de madera plastificada, al encontrarse en condiciones de inmersión en agua, pierden alrededor de 30 % de su resistencia comparadas con sus contrapartes de madera tradicional. Además, se destaca el cómo las matrices de celulosa como la polimérica actúan en conjunto para brindarle características propias a este

tipo de composites, ya que toma más del doble de tiempo para lograr que el compuesto llegue a su punto de saturación gracias a las propiedades hidrofóbicas propias de los polímeros.

Esta investigación tuvo como objetivo el analizar el comportamiento mecánico bajo cargas de flexión pura, especímenes de materiales compuestos a base de materiales reciclados termoplásticos y residuos de madera (WPC) para así poder determinar el posible uso como material para la industria de la construcción. Además, aportamos en la disminución del impacto de la huella de carbono emitida por los desechos plásticos al aprovechar residuos.

Metodología

Las propiedades a flexión se evaluaron de acuerdo con la norma ASTM D 6272. La longitud entre apoyos de las muestras ensayadas fue de 16 veces el espesor y se utilizó un sistema de aplicación de carga a cuatro puntos. Con lo anterior, se aplicó carga en la parte central de los especímenes de WPC simplemente apoyadas. Los especímenes se flexionaron hasta la ruptura, en la superficie externa a tensión. Se registró la carga y las deflexiones en el centro de la longitud entre apoyos y se calculó el esfuerzo y deformación por flexión a la ruptura. Además, fueron obtenidas las curvas esfuerzo-deformación para observar y obtener el comportamiento mecánico y así obtener las propiedades mecánicas (módulo elástico, resistencia, esfuerzo último, etc.) para tener parámetros de diseño en el rango elástico y plástico hasta la ruptura.

De igual manera, se realizó un diagrama de flujo para estandarizar el proceso de actuación durante la investigación, el cual se muestra a continuación en la Figura 1.

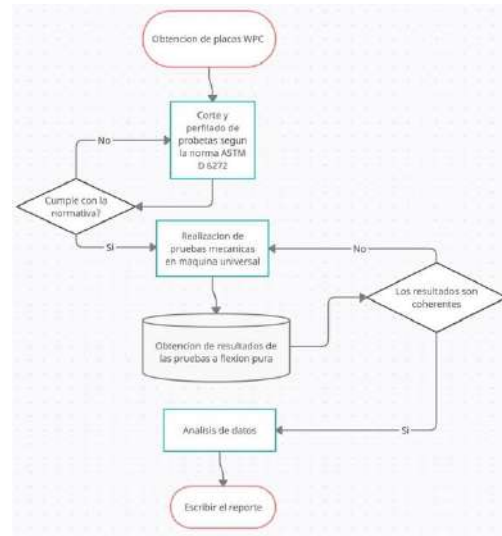


Figura 1. Diagrama de flujo de trabajo.
Fuente: Elaboración propia.

El perfilado de muestras se realizó con ayuda de una cinta cortadora ubicada apta para polímeros y una caladora automática. Las muestras se perfilaron de acuerdo con la normativa ASTM D 6272, en la cual especifica las dimensiones mínimas y máximas para cada muestra, así como las tolerancias permitidas (Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending 1, n.d.). En la Figura 2, se muestran el ensayo de los especímenes.



Figura 2. Ensayos a flexión pura con ayuda de un soporte con 4 puntos de aplicación de carga.
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 a 3, se muestran las características geométricas de los especímenes.

Tabla 1. Especificaciones de las muestras codificadas, con una proporción de plástico-madera de 100-0. Fuente: Elaboración propia.

E_I-1 B			E_I-1 C		
Espesor			Espesor		
e-1	16	mm	e-1	15	mm
e-2	15	mm	e-2	15.5	mm
e-3	15	mm	e-3	16	mm
e-4	16	mm	e-4	19	mm
Longitud			Longitud		
L-1	147	mm	L-1	151	mm
L-2	147	mm	L-2	151	mm
L-3	148	mm	L-3	151	mm
L-4	148	mm	L-4	149	mm
Arista			Arista		
A-1	27	mm	A-1	27	mm
A-2	26	mm	A-2	26	mm
A-3	24	mm	A-3	24	mm
A-4	26.5	mm	A-4	26.5	mm

Tabla 2. Especificaciones de las muestras codificadas, con una proporción de plástico-madera de 90-10. Fuente: Elaboración propia.

E_II-2 A			E_II-2 B		
Espesor			Espesor		
e-1	8.00	mm	e-1	9.00	mm
e-2	9.50	mm	e-2	9.00	mm
e-3	8.00	mm	e-3	9.00	mm
e-4	9.00	mm	e-4	9.00	mm
Longitud			Longitud		
L-1	151.00	mm	L-1	150.00	mm
L-2	152.00	mm	L-2	149.00	mm
L-3	150.00	mm	L-3	149.00	mm
L-4	150.00	mm	L-4	150.00	mm
Arista			Arista		
A-1	25.00	mm	A-1	24.00	mm
A-2	24.00	mm	A-2	25.00	mm
A-3	24.00	mm	A-3	25.00	mm
A-4	25.00	mm	A-4	24.00	mm

Tabla 3. Especificaciones de las muestras codificadas, con una proporción de plástico-madera de 80-20. Fuente: Elaboración Propia.

E_III-3 A			E_III-3 C		
Espesor			Espesor		
e-1	10.00	mm	e-1	9.00	mm
e-2	9.00	mm	e-2	7.00	mm
e-3	8.00	mm	e-3	16.00	mm
e-4	10.00	mm	e-4	19.00	mm
Longitud			Longitud		
L-1	149.00	mm	L-1	147.00	mm
L-2	149.00	mm	L-2	147.00	mm
L-3	149.00	mm	L-3	147.00	mm
L-4	150.00	mm	L-4	147.00	mm
Arista			Arista		
A-1	25.00	mm	A-1	23.50	mm
A-2	28.00	mm	A-2	24.00	mm
A-3	25.00	mm	A-3	24.00	mm
A-4	25.00	mm	A-4	24.00	mm

Con base en los datos obtenidos, se realizaron varias corridas del análisis de carga desplazamiento para descartar errores en la toma de cargas y medidas del micrómetro. Se procedió a realizar la determinación de los esfuerzos y deformaciones de acuerdo con las siguientes fórmulas.

Esfuerzo máximo:

$$S = PL/bd^2 \quad (1)$$

Donde:

S= Esfuerzo máximo en las fibras exteriores a través del claro de carga, Mpa.

P= Carga dada en un punto en la curva de carga-desplazamiento, N.

L= Claro del soporte, mm

b= Ancho de la viga, mm

d= Espesor de la viga, mm

Deformación máxima:

$$r = 4.70Dd/L^2 \quad (2)$$

Donde:

r= Deformación máxima en las fibras exteriores, mm/mm

D= Deflexión máxima en el centro de la viga, mm

d= Espesor de la viga, mm

L= Claro del soporte, mm

Resultados

Los resultados obtenidos se analizaron y compararon con muestras de control a base de una matriz polimérica termo fusionada sin residuos de madera

incorporada. Los resultados se presentan por relación de sustitución de madera con respecto al contenido de polímero.

Placas con relación plástico-madera 100-0.

La Tabla 4 muestra las medidas de los especímenes ensayados y parámetros para la determinación de los resultados.

Tabla 4.
Datos de interés para la aplicación de la Norma ASTM D6272.
Fuente: Elaboración Propia.

E_I-1 B		E_I-1 C	
APOYO		APOYO	
A	12.70 mm	A	12.70 mm
B	12.70 mm	B	12.70 mm
L	122.10 mm	L	125.10 mm
L/3	40.70 mm	L/3	41.70 mm
Espesor	15.50 mm	Espesor	16.38 mm
Ancho	25.88 mm	Ancho	25.88 mm

El espécimen E_I 1B presentó una curva esfuerzo-deformación como se muestra en la Figura 3.

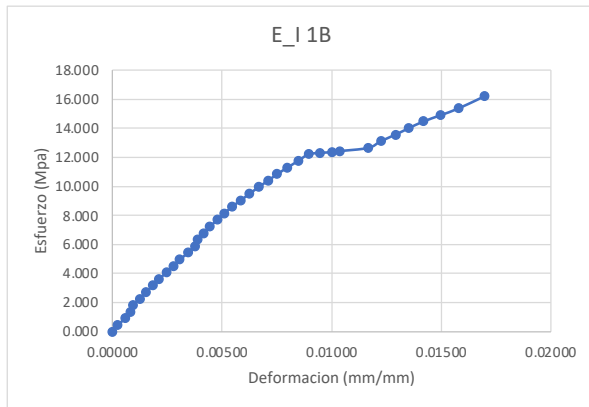


Figura 3. Curva Esfuerzo-Deformación representativa para el espécimen E_I 1B.
Fuente: Elaboración propia.

En la curva, se puede apreciar cómo la placa presenta una respuesta lineal hasta los 12 Mpa, que es cuando comenzó a fracturarse; después presentó una zona de deformación sin necesidad de aumento de carga. Al final, mostró una zona semilineal de nuevo hasta lograr el momento de quiebre a los 16 Mpa.

En la Figura 4 se muestra la imagen del experimento.



Figura 4. Prueba a flexión pura del espécimen E_I 1B. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4, se logra apreciar cómo el espécimen presentó la falla en el punto de aplicación de carga y no en su centro, lo cual puede indicar una deficiencia del proceso de fabricación o en la fase de cristalización.

Por su parte, el espécimen E_I 1C reveló la siguiente curva de esfuerzo-deformación la cual se muestra en la Figura 5.

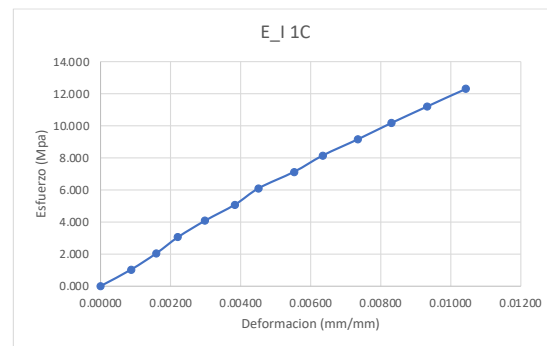


Figura 5. Curva esfuerzo-deformación representativa para el espécimen E_I 1C.
Fuente: Elaboración propia.

Se logra apreciar cómo la muestra E_1 1C proyecta una respuesta lineal elasto-plástica a la aplicación de carga cuyo punto de fallo a los 12 Mpa evidencia un comportamiento elastofrágil.

En la Figura 6 se muestra el resultado del ensayo a flexión pura.



Figura 6. Prueba a flexión pura del espécimen E_I 1C. Fuente: Elaboración propia.

El punto de falla observado en este espécimen fue justo en el centro de la aplicación de carga, por lo cual presenta una linealidad más definida en su gráfica de esfuerzo-deformación. Al contrario, su homónimo E_I 1B el cual exhibió una deflexión en su curva característica ocasionada por el tipo de falla que presento.

Ambos especímenes mostraron deformaciones y esfuerzos similares por lo que se puede concluir que el procedimiento en ambos casos fue realizado de manera satisfactoria.

Placas con relación plástico-madera 90-10.

La Tabla 5 muestra las medidas de los especímenes ensayados y parámetros para la determinación de los resultados.

Tabla 5. Datos de interés para la aplicación de la Norma ASTM D6272. Fuente: Elaboración propia.

E_II-2 A		E_II-2 B	
APOYO		APOYO	
A	12.70 mm	A	12.70 mm
B	12.70 mm	B	12.70 mm
L	125.35 mm	L	124.10 mm
L/3	41.78 mm	L/3	41.37 mm
Espesor	8.63 mm	Espesor	9.00 mm
Ancho	24.50 mm	Ancho	24.50 mm

El espécimen E_II 2A presentó una curva esfuerzo-deformación como se muestra en la Figura 7.

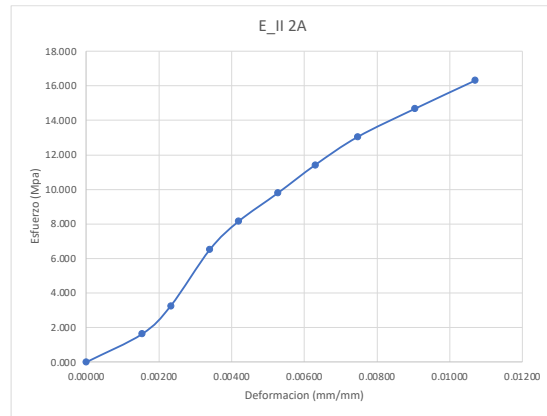


Figura 7. Curva esfuerzo-deformación representativa para el espécimen E_II 2A. Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente, el espécimen evidenció un comportamiento extraño, causado a un pequeño espacio vacío identificado después de la prueba. Una vez superado ese espacio vacío, mostró un comportamiento elasto-plástico a la aplicación de carga, por lo que mostró su punto de fallo en 16 Mpa que exhibe de igual manera un comportamiento elasto-frágil.

En la Figura 8, se muestra el resultado del experimento.



Figura 8. Prueba a flexión pura del espécimen E_II 2ª. Fuente: Elaboración propia.

El punto de falla del espécimen E_II 2A se presentó justo en el centro del claro de falla. Se aprecia solo una pequeña grieta, pero fue suficiente para detener la prueba por cuestiones de seguridad.

Por su parte, el espécimen E_II 2B se proyectó en la siguiente curva de esfuerzo-deformación la cual se muestra en la Fig. 9.

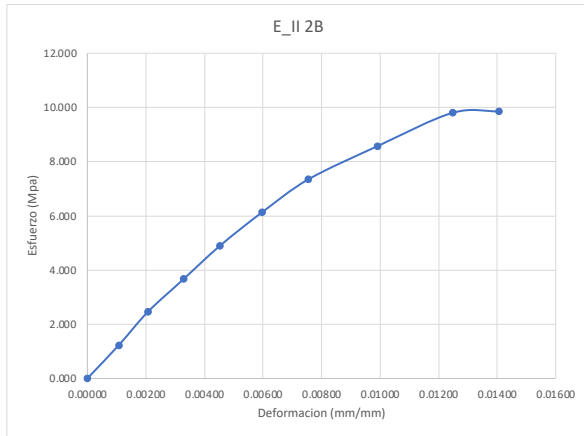


Figura 9. Curva esfuerzo-deformación representativa para el espécimen E_II 2B.
Fuente: Elaboración propia.

En la anterior figura, Se aprecia un comportamiento completamente típico a los anteriores, la que muestra una respuesta elastoplástica lineal. Una peculiaridad de este espécimen fue su resistencia última dado a que se presenta antes de su punto de quiebre en los 10 Mpa. Lo anterior evidencia en cierta manera un poco de ductilidad.

La Figura 10 se muestra el resultado del ensayo a flexión pura.



Figura 10. Prueba a flexión pura del espécimen E_II 2B.
Fuente: Elaboración propia.

La falla del espécimen E_II 2B se mostró en el centro de la carga y un poco cargado hacia el punto de aplicación de carga superior izquierda. Esto podría haber ocasionado ese punto de falla un poco inusual al fallar antes de romperse y no al mismo tiempo. Ambos especímenes mostraron un comportamiento similar con cargas máximas de falla entre los 10 y 16 Mpa y unas deflexiones que rondan entre los 0.0010 y los 0.0014 mm/mm.

Placas con relación plástico-madera 80-20.

La Tabla 6 muestra las medidas de los especímenes ensayados y parámetros para la determinación de los resultados.

Tabla 6.
Datos de interés para la aplicación de la Norma ASTM D6272.
Fuente: Elaboración Propia.

E_III-3 A		E_III-3 C	
APOYO		APOYO	
A	12.70 mm	A	12.70 mm
B	12.70 mm	B	12.70 mm
L	123.85 mm	L	121.60 mm
L/3	41.28 mm	L/3	40.53 mm
Espesor	9.25 mm	Espesor	12.75 mm
Ancho	25.25 mm	Ancho	23.88 mm

El espécimen E_III 3A se formó en una curva esfuerzo-deformación como se muestra en la Figura 11.

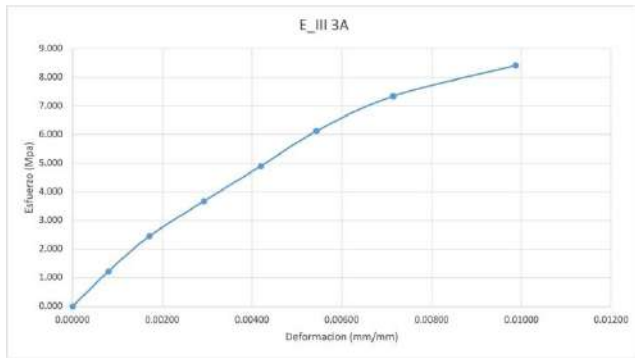


Figura 11. Curva esfuerzo-deformación representativa para el espécimen E_III 3A.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar un comportamiento elástico lineal hasta el momento de la falla. Estos especímenes fueron los que soportaron menos carga alrededor de los 9.2 Mpa, por lo que dejaron un poco de lado los 10 -12 Mpa de los anteriores. Sin embargo, se nota una disminución en la deformación unitaria al contrario de los demás.

En la Figura 12, se muestra el resultado del experimento.



Figura 12. Prueba a flexión pura del espécimen E_II 2A.

Fuente: Elaboración propia.

El punto de falla del espécimen E_III 3A se presentó justo en el centro del claro de falla. Se aprecia solo una pequeña grieta, pero fue suficiente para detener la prueba por cuestiones de seguridad. Por su parte el espécimen E_III 3C mostró la siguiente curva de esfuerzo-deformación (véase la Figura 13).

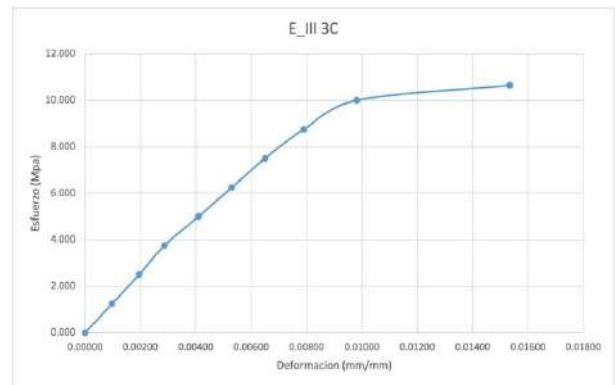


Figura 13. Curva esfuerzo-deformación representativa para el espécimen E_III 3C.

Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia un comportamiento completamente típico a los anteriores, en la que se observa una respuesta elasto-plástica lineal. Una peculiaridad de este espécimen fue su ductilidad presentada en la parte final de su experimentación.

La Figura 14 se muestra el resultado del ensayo a flexión pura.



Figura 14. Prueba a flexión pura del espécimen E_III 3C.

Fuente: Elaboración propia.

La falla del espécimen E_III 3C se presentó en el centro de la carga.

Discusión y conclusiones

Esta etapa preliminar consistió en concretar el procedimiento y la mezcla para obtener especímenes adecuadamente consolidados; además, fueron evaluadas las propiedades mecánicas a flexión para obtener un primer indicador de la calidad de los laminados de material compuesto obtenidos.

En lo que se refiere a las gráficas esfuerzo-deformación, se observa que los laminados mostraron un comportamiento elástico-lineal hasta la falla (elastofrágil). Tal comportamiento es típico para materiales compuestos fibroreforzado, plásticos, cerámicos, etc. Se espera que con algunas modificaciones en el proceso y tipos de refuerzos se pueda obtener un comportamiento elasto-plástico, similar a un material dúctil, lo cual es benéfico para los materiales utilizados en la construcción.

Tales resultados son alentadores, sin embargo, es importante ratificar los resultados con más experimentación para obtener un grado de confiabilidad. Además, debe de efectuarse con otras condiciones y combinaciones de carga (flexión y torsión, etc.) para caracterizar el comportamiento estático y dinámico de tal material. Otra situación que debe corroborarse es checar el proceso térmico de termofusión con calorimetría diferencial y termogravimetría con el objetivo de mejorar la interacción o compatibilidad de los constituyentes para asegurar más adherencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos otorgados para la realización de este trabajo, así mismo se agradece a la Universidad Autónoma de Querétaro por todas las facilidades otorgadas y por el préstamo del uso de los laboratorios.

Referencias

Arandha, Y., Satyarno, I., Awaludin, A., Irawati, I. S., Prasetya, Y., Prayitno, D. A., Winata, D. C., Satrio, M. H., & Amalia, A.

- (2017). Physical and Mechanical Properties of WPC Board from Sengon Sawdust and Recycled HDPE Plastic. *Procedia Engineering*, 171(April), 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.412>
- Barbos, J. D. V., Azevedo, J. B., Cardoso, P. da S. M., da Costa Garcia Filho, F., & del Río, T. G. (2020). Development and characterization of WPCs produced with high amount of wood residue. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 9684–9690. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.073>
- Chaudemanche, S., Perrot, A., Pimbert, S., Lecompte, T., & Faure, F. (2018). Properties of an industrial extruded HDPE-WPC: The effect of the size distribution of wood flour particles. *Construction and Building Materials*, 162, 543–552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.061>
- Dantas, J., Barbos, V., Batista, J., Cardoso, S. M., Garcia, C., & Gómez, T. (2020). Development and characterization of WPCs produced with high amount of wood residue. *Integrative Medicine Research*, 9(5), 9684–9690. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.073>
- Demets, R., van Kets, K., Huysveld, S., Dewulf, J., de Meester, S., & Ragaert, K. (2021). Addressing the complex challenge of understanding and quantifying substitutability for recycled plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105826. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105826>
- Faruk, O., & Matuana, L. M. (2008). Nanoclay reinforced HDPE as a matrix for wood-plastic composites. *Composites Science and Technology*, 68(9), 2073–2077. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.03.004>
- Friedrich, D. (2021). Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. En *Composite Structures* (Vol. 262, p. 113649). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113649>
- Friedrich, D. (2022). Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector expert study. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 506–517. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.030>
- Hutyrová, Z., Zajac, J., Mital, D., Harničárová, M., & Valíček, J. (2015). Evaluation of share material after turning of wood plastic composite. *Proceedings - International Conference on Solar Energy and Building, ICSOEB 2015*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/ICSOEB.2015.7244946>
- Khalid, M. Y., Arif, Z. U., Ahmed, W., & Arshad, H. (2022). Recent trends in recycling and reusing techniques of different plastic polymers and their composite materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 31(December 2021), e00382. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00382>
- Liikanen, M., Grönman, K., Deviatkin, I., Havukainen, J., Hyvärinen, M., Kärki, T., Varis, J., Soukka, R., & Horttanainen, M. (2019). Construction and demolition waste as a raw material for wood polymer composites – Assessment of environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 225, 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.348>

- Ratanawilai, T., & Srivabut, C. (2022). Case Studies in Construction Materials Physico-mechanical properties and long-term creep behavior of wood-plastic composites for construction materials : Effect of water immersion times. *Case Studies in Construction Materials*, 16(November 2021), e00791. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00791>
- Sammouda, H., & Mbarek, T. ben. (2015). Prediction by numerical simulation of the mechanical behavior of structures abutting composite wood/plastic (Wood plastic composite-WPC). *Proceedings - International Conference on Solar Energy and Building, ICSOEB 2015*. <https://doi.org/10.1109/ICSOEB.2015.7244942>
- Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending 1. (s/f).
- Zhao, H., Zhu, H. Y., Zhou, Y. L., & Wang, Q. W. (2011). Reasearch of Wood Plastic Composites application based on Fused Deposition Modeling technology. *Proceedings of 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, EMEIT 2011*, 3, 1560–1562. <https://doi.org/10.1109/EMEIT.2011.6023394>
- Zhou, H., Li, W., Hao, X., Zong, G., Yi, X., Xu, J., Ou, R., & Wang, Q. (2022). Recycling end-of-life WPC products into ultra-high-filled, high-performance wood fiber/polyethylene composites: A sustainable strategy for clean and cyclic processing in the WPC industry. *Journal of Materials Research and Technology*, 18, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.091>

Anidación, dieta y patrones de actividad de *Sciurus oculatus* en un bosque mixto

Torres Campos José Pablo^{*}; Zamora Prieto Ximena¹; Aznar Cruz Diego Emilio¹; Ramos-Lara Nicolás^{**}
Arkansas State University Campus Querétaro Email: [*jose.torres@astate.edu](mailto:jose.torres@astate.edu);
[**nramoslara@astate.edu](mailto:nramoslara@astate.edu)

Resumen

La ardilla de Peters (*Sciurus oculatus*) es una especie de ardilla arborícola poco estudiada que habita los bosques de pino-encino a lo largo del Eje Neovolcánico Transversal. Existe una severa falta de información acerca de la ecología, dieta y comportamiento de esta especie de ardilla. En este trabajo se examinaron las características de los sitios de anidación, dieta y patrones de actividad de *S. oculatus* en un bosque de pino-encino ubicado en Querétaro. Las ardillas anidaron principalmente en lo alto del dosel (lo cual hicieron similarmente en pinos y encinos) y su dieta consistió principalmente de semillas de pino. El comportamiento más observado en *S. oculatus* fue el desplazamiento arbóreo, con persecuciones de apareamiento observadas en mayo. Nuestros resultados brindan una base de información para estudios posteriores que involucren a *S. oculatus*, así como esfuerzos de conservación para esta especie endémica y otras especies arbóreas en bosques neotropicales.

Palabras Clave — ardilla de Peters, especie endémica, comportamiento, nidos, *Sciurus oculatus*.

Abstract

The Peters's squirrel (*Sciurus oculatus*) is a poorly studied species of tree squirrel inhabiting oak-pine forests along the Trans-Mexican neovolcanic belt. There is a severe lack of information about the ecology, diet, and behavior of this squirrel species. We examined nest-site characteristics, diet, and activity patterns of *S. oculatus* in an oak-pine forest in Querétaro. Squirrels nested mostly on top of the tree canopy, nesting similarly in oak and pine trees, and diet consisted primarily of pine seeds. Arboreal traverse was the most common behavior observed in *S. oculatus* during the study, with mating chases observed in May. Our findings provide a baseline of information for further studies involving *S. oculatus* as well as conservation efforts for this endemic species and other arboreal species in neotropical forests.

Keywords — behavior, endemic species, nests, Peters's squirrel, *Sciurus oculatus*.

1 Introducción

Los patrones de actividad son una herramienta efectiva para comprender la ecología de un organismo, pues incluyen sus estrategias de forrajeo, adaptaciones y respuestas fisiológicas hacia el ambiente (Zhang et al., 2017; Aschoff, 1966). Estudiar patrones de actividad de mamíferos arbóreos es beneficioso para entender su comportamiento. Sin embargo, esta información es comúnmente muestreada usando animales en cautiverio o bajo condiciones de laboratorio, esto en razón de que el muestreo resulta más sencillo (Astiazarán Azcarraga et al., 2020). El comportamiento de ardillas arborícolas es raramente estudiado, en especial por ser especies elusivas y poco carismáticas, lo cual las hace más vulnerables a amenazas antropogénicas (Ramos-Lara y Koprowski, 2014).

La ardilla de Peters (*Sciurus oculatus*) es una especie de ardilla arborícola endémica de México (Best, 1995). Aunque son escasos los estudios que señalan el rango geográfico exacto de esta especie, se estima que está distribuida a lo largo del eje Neovolcánico Transversal (Ramos-Lara y López-González, 2017; Thorington y Hoffmann, 2006) y habita principalmente bosques de pino (*Pinus*) y encino (*Quercus*) con un rango de elevación entre 1 500 msnm y 3 600 msnm (Best, 1995). A pesar de que para la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) la especie está enlistada como “Preocupación Menor” (*Least Concern*) (Álvarez-Castañeda et al., 2016), en México se encuentra enlistada como “Sujeta a Protección Especial” por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Norma Oficial Mexicana, 2010).

Debido a los beneficios que brindan los nidos, la selección de sitios de anidación es un comportamiento crucial para las ardillas arbóreas y tiene un impacto directo en su supervivencia y reproducción (Ramos-Lara y López-González, 2017). Es más, los nidos y los sitios de anidación afectan la densidad y reproducción de una variedad de mamíferos y son un recurso crítico para su conservación (Cudworth y Koprowski, 2011;

Doncaster y Woodroffe, 1993; Carey et al., 1997; Magoun y Copeland, 1998; Smith et al., 2007). Aunque el comportamiento de anidación de *S. oculatus* ha sido muy poco estudiado, otras especies de ardillas arbóreas utilizan tanto cavidades en los árboles como nidos de hojas (*dreys*). Estos últimos son estructuras entrelazadas y construidas en ramas u horquillas en una variedad de árboles. Estos nidos pueden estar recubiertos con pasto, musgo o pelaje (Gurnell, 1987). Las ardillas arbóreas son excelentes indicadores de las condiciones del bosque, pues estos organismos dependen directamente de la calidad de comida, sitios de anidación y sitios de despegue de los árboles (Ramos-Lara y López-González, 2017; Koprowski y Nandini, 2008). Por otra parte, no se conoce prácticamente nada sobre la ecología, dieta y el comportamiento de *S. oculatus* (Ramos-Lara y Koprowski, 2014; Ramos-Lara y López-González, 2017). Debido a esto, se requiere más información acerca de esta especie para diseñar planes para su conservación y del ecosistema en el que se encuentran.

Debido a la preferencia de esta ardilla por la estabilidad del nido, el efecto negativo del viento sobre la estructura del nido y al riesgo de depredación, tanto aérea como terrestre, se predijo que los nidos estarían colocados cerca del tronco, en dirección opuesta al viento y construidos en la parte inferior de la copa del dosel. Debido al beneficio de tener más disponibilidad de alimento y protección del ambiente, también se predijo que los nidos se encontrarían mayormente en encinos (*Quercus*) con un gran número de conexión entre árboles, con grandes diámetros basales y con una mayor cobertura del dosel. De igual manera, se predijo que las ardillas arborícolas serían más activas durante la mañana y antes del anochecer debido al incremento de humedad y la disminución de temperatura a estas horas del día. Finalmente, dado que el estudio se realizó durante la temporada seca, se predijo que *S. oculatus* pasaría gran parte de su tiempo buscando alimento, principalmente semillas de pino (*Pinus*).

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de Estudio

El estudio fue realizado en El Bosque de las Hojas (20°51N, 99°35W; 2 616 msnm), un área de campismo privada en bosque de pino y encino, cercada la comunidad de El Doctor, en el estado de Querétaro, México. Las temperaturas más altas en el área de estudio se dan durante el verano, mientras que la temporada de lluvia es de junio a octubre. En el período de abril a julio del 2022, se buscaron nidos de hojas, ardillas y rastros de comida al caminar calladamente por los senderos del bosque (Figura 1). Las observaciones de nidos y ardillas fueron realizadas con binoculares (Celestron Outland X). Sólo se consideraron nidos en condiciones relativamente buenas (forma e integridad estructural) para maximizar la probabilidad de que estuvieran activamente ocupados por las ardillas (Ramos-Lara y López-González, 2017; Palmer et al., 2013).

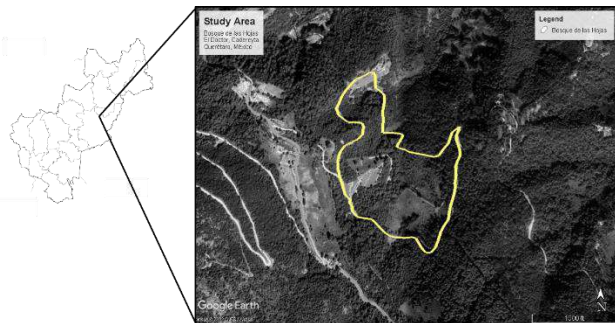


Fig. 1. Área de estudio en Querétaro, México. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Anidación

Al observar un nido, se anotó la fecha y coordenadas del árbol, así como su condición (vivo o muerto); de igual manera, se midió la altura en metros utilizando un clinómetro electrónico (Haglöf). También se midió el diámetro basal y la distancia al árbol más cercano con cinta métrica DBH (Forestry Suppliers, Inc). La cobertura del dosel, para cada árbol con nido, se midió usando un densitómetro GRS (Forestry Suppliers, Inc) en

cuatro direcciones cardinales. Se contó el número de árboles interconectados considerando solamente conexiones directas con las ramas del árbol con nido.

Para cada nido se midió la altura (m), se estableció la dirección (360 °), se señaló si estaba apoyado sobre una rama u horquilla, la posición relativa en la copa del dosel (superior, medio o bajo), la distancia al tronco, los materiales del nido (ramas de encino, agujas de pino, etc.) y su condición (fresco o seco).

2.3 Dieta y Patrones de Actividad

Cuando una ardilla era avistada, se anotó la fecha y hora del día, coordenadas (UTM), temperatura y humedad (con la ayuda de un higrómetro), clima y especie del árbol en el cual la ardilla fue vista inicialmente. También se registró la altura y sitio del primer avistamiento (árbol, suelo, roca, etc.), así como el alimento (en el caso que la ardilla estuviera comiendo). Manteniendo una distancia de al menos

10 m, se registraron todos los comportamientos realizados por la ardilla. Los comportamientos se registraron por 10 min y, posteriormente, no se regresó al sitio por dos horas después del avistamiento para evitar observar al mismo individuo.

2.4 Análisis Estadísticos

Se emplearon análisis circulares para la dirección de los nidos y la hora de actividad de las ardillas (24 h). Se usaron pruebas de chi-cuadrado para comparar el género de los árboles con nido y la posición de los nidos en relativa a la copa del dosel.

3 Resultados

3.1 Nidos

Se midieron un total de 17 nidos, de los cuales 70.6 % estaban secos y 29.4 % frescos. Se encontró que la mayoría de los nidos fueron construidos sobre ramas (64.7 %), mientras que las horquetas (35.3

(%) no fueron muy utilizadas ($X^2 = 0.752$, $df = 1$, $P = 0.386$). Los nidos se encontraron en promedio a 13.36 m ($\pm 5.57 DE$; rango = 4.5-26 m) del suelo. Los nidos fueron construidos en su mayoría en lo alto de la copada del dosel (76.4 %), con 11.8 % en medio y 11.8 % en la parte baja ($X^2 = 6.354$, $df = 2$, $P = 0.041$). En promedio, los nidos se encontraron a 3.44 m ($\pm 2.02 DE$; rango = 0-5.6 m) del tronco del árbol. Los nidos no estuvieron orientados en alguna dirección en particular (Rayleigh, $R = 0.351$, $P = 0.122$).

3.2 Árboles con Nido

Los 17 nidos examinados fueron construidos de manera similar, tanto en encinos (*Quercus*; 47.05 %) como en pinos (*Pinus*; 52.95 %— $X^2 = 0.029$, $df = 1$, $P = 0.864$) (Figura 2). Las especies de árbol más utilizadas para anidar por *S. oculatus* fueron *P. pseudostrobus* y *Q. laurina* (Figura 2). La altura promedio de los árboles con nido fue de 16.86 m ($\pm 5.84 DE$; rango = 10-33.1 m). El diámetro basal promedio del árbol con nido fue de 51.52 cm ($\pm 15.22 DE$; rango = 31.3-81 cm), mientras que la cobertura de dosel promedio fue de 74.68 % ($\pm 15.25 DE$; rango = 45-96.25 %). Los árboles con nido estaban conectados en promedio a otros 6.53 árboles ($\pm 2.63 DE$; rango = 3-11), con una distancia media al árbol más cercano de 5.78 m ($\pm 14.14 DE$; rango = 0.45-60 m). No se encontró evidencia de anidación de *S. oculatus* en cavidades de árboles muertos.

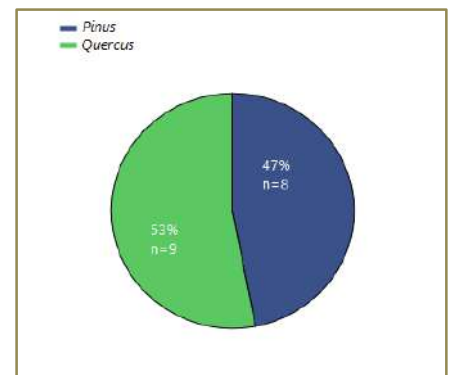
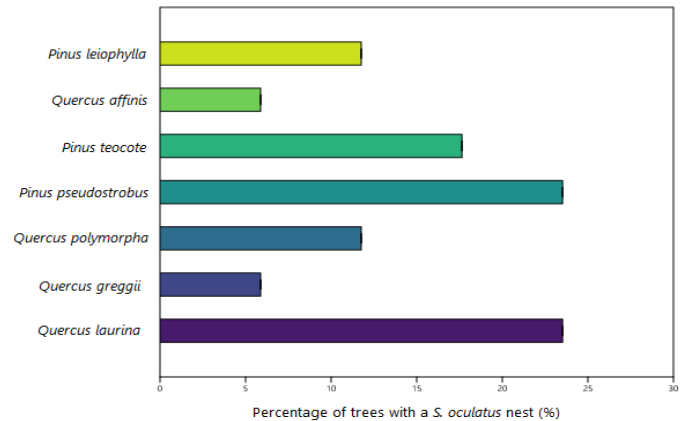


Figura 2. Género taxonómico y especie de árboles para anidación usados por *S. oculatus*. Fuente: Elaboración Propia

3.3 Dieta

Se encontraron rastros de comida en siete ocasiones. En abril, se observó que las ardillas se alimentaban principalmente de semillas de pino y estróbilos de pino. En mayo, las ardillas se alimentaban de semillas de pino y manzanas (*Malus domestica*). En junio y julio, las ardillas aún se alimentaban de semillas de pino y manzanas, añadiendo hongos y semillas de ciprés (*Cupressus sp.*) a su dieta. En julio, se observaron las primeras muestras de la producción de bellotas de encino (*Q. mexicana*, *Q. crassipes*) en el área de estudio.

3.4 Patrones de Actividad

Se observaron un total de 23 ardillas. Las ardillas fueron activas principalmente en la mañana (Rayleigh, $R = 0.725$; $P < 0.0001$) (Figura 3). Las

ardillas fueron avistadas principalmente entre las ramas de los árboles (47.83 %, $n = 11$), mientras que los sitios de observación menos comunes fueron el dosel (26.09 %, $n = 6$), el suelo (13.04 %, $n = 3$) y los troncos (13.04 %, $n = 3$).

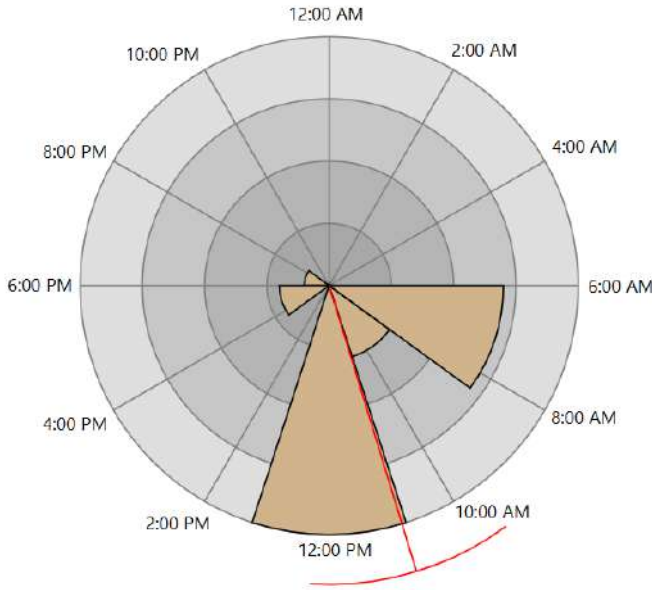


Figura 3. Patrón de actividad de *S. oculatus*. Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de las ardillas observadas mostraron una coloración gris, mientras que dos individuos presentaron melanismo (8.70 %). El comportamiento más común en *S. oculatus* fue el desplazamiento arbóreo, el cual fue observado en 23 ocasiones (Figura 4). El 22 de mayo de 2022 se observaron persecuciones de apareamiento, en las cuales varios machos escrotados perseguían a hembras en el dosel.

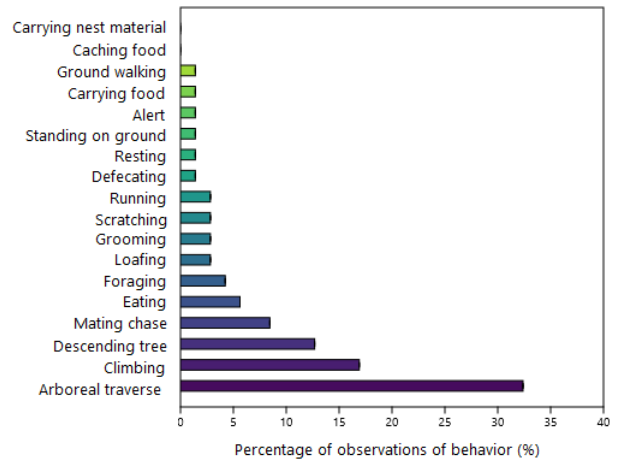


Figura 4. Comportamiento de *S. oculatus*. Fuente: Elaboración propia.

3 Discusión

Contrario a lo esperado, los nidos no se encontraron en una posición cercana al tronco del árbol, ni en dirección contraria al viento, ni tampoco en la parte inferior de la copa del dosel. El *S. oculatus* no mostró preferencia con respecto a la orientación del nido. Consecuentemente, los nidos se encontraron en la parte más alta de la copa del dosel, lo cual sugiere que en este bosque en particular hay mayor abundancia de depredadores terrestres que de depredadores aéreos. Esto también puede ser que, debido a la densidad en la cobertura del dosel, el *S. oculatus* prefiere tener más acceso a la luz solar a pesar del aumento de susceptibilidad de ser cazados por depredadores aéreos. Otra ventaja de anidar en la parte superior del dosel es que incrementa el acceso al alimento, lo cual ya ha sido un comportamiento observado anteriormente en otras especies como la ardilla zorro (*Sciurus niger*) (Sovie et al., 2020; Caswell, 1978; Van Der Merwe et al., 2005; Potash et al., 2019).

S. oculatus tampoco mostró preferencia de árbol de anidación entre individuos pertenecientes a los géneros *Quercus* o *Pinus*, lo cual pudo deberse a los recursos que cada especie de árbol provee. Los encinos (*Quercus*) ofrecen mejores recursos para construir nidos, pero brindan menor cantidad de

comida ya que las bellotas son producidas durante un periodo específico al año. Por el contrario, los pinos proporcionan más comida pero menor calidad en los materiales de anidación, pues se necesita recolectar una cantidad de espigas de pino mucho mayor para construir un nido, esto en comparación al uso de hojas y ramas de encino (Ramos-Lara y López-González, 2017; Riege, 1991).

Como se esperaba, los árboles de anidación presentaron una mayor conexión con otros árboles, así como un mayor diámetro basal y más cobertura en el dosel. *S. oculatus* puede beneficiarse de árboles con más conectividad debido a que dan acceso a rutas paratransportarse sin necesidad de bajar al suelo, en donde abundan los depredadores (Riege, 1991). Una mayor cobertura de dosel provee protección de factores abióticos como el viento o la lluvia, lo cual ayuda a mantener la estabilidad del nido. De igual manera, un mayor diámetro basal se relaciona directamente con la resistencia del árbol al viento, así como a la cantidad de comida que el árbol ofrece a las ardillas (Ramos-Lara y López-González, 2017; Riege, 1991; Edelman y Koprowski, 2005).

El desplazamiento por el dosel fue el comportamiento más observado, lo cual confirmó nuestra predicción sobre que *S. oculatus* emplea la mayor parte de su tiempo durante la temporada seca en forrajeo. Desplazarse por el dosel está relacionado directamente con las ardillas buscando comida activamente, lo cual ha sido reportado en previos estudios de *S.*

oculatus (Ramos-Lara y López-González, 2017). Aunque nuestra información sobre dieta fue limitada, nuestros resultados sobre la composición de la dieta de *S. oculatus* indican que (al menos durante la temporada seca) esta especie se alimenta mayormente de semillas de pino, esto confirmó nuestra predicción y respaldó la información de otros estudios (Ramos-Lara y López-González, 2017; Best, 1995). Asimismo, se encontraron rastros de bellotas comidas hacia el inicio de la temporada de lluvias, lo cual sugiere que *S. oculatus* ajusta su dieta de forma estacional,

lo cual es consistente con lo reportado en poblaciones de *S. aureogaster* en Pinal de Amoles, Querétaro, las cuales habitan en simpatria con *S. oculatus* (Ramos-Lara y López-González, 2017). Más estudios se necesitan para profundizar en la composición de la dieta de esta especie, particularmente si consideramos las altas temperaturas causadas por el cambio climático.

Nuestra predicción acerca de que *S. oculatus* tendría más actividad en la mañana y antes del anochecer fue parcialmente respaldada. *S. oculatus* parece mostrar más actividad en la mañana y menos actividad antes del anochecer. Este comportamiento es consistente en poblaciones de *S. oculatus* cuando hay simpatria con *S. aureogaster* (Ramos-Lara y López-González, 2017). Lo interesante es que, a pesar de que en nuestra población de estudio de *S. oculatus* no existe simpatria con ninguna otra especie de ardilla arborícola, la actividad diurna continúa siendo benéfica debido a las bajas temperaturas y alto índice de humedad, lo cual reduce de tal manera la deshidratación.

4 Conclusión

Actualmente, existe una preocupante falta de información acerca de la ecología de ardillas arbóreas neotropicales, de las cuales *S. oculatus* está entre las especies menos estudiadas de este grupo (Ramos-Lara y Koprowski, 2014). La investigación de esta ardilla es imperativa para la creación de estrategias de conservación de esta especie. Los resultados indican que *S. oculatus* es principalmente activa en la mañana, no muestra preferencia en el género taxonómico de árbol para anidar, anida en la parte superior del dosel y se alimenta principalmente de semillas de pino. Este estudio busca contribuir con información más detallada acerca de la ecología de esta especie endémica de México. Adicionalmente, se requieren más estudios para el entendimiento y la conservación de las ardillas neotropicales, incluyendo a *S. oculatus*.

Agradecimientos

Agradecemos a la familia Trejo por permitirnos tener un lugar de estudio para nuestro trabajo, así como por brindarnos comida y hospitalidad durante el trabajo de campo. También, le agradecemos a *Arkansas State University* por darnos acceso libre a literatura científica y al CONCYTEQ por la publicación de este trabajo.

Referencias

- Álvarez-Castañeda, S.T., Castro-Arellano, I., Lacher, T. & Vázquez, E. 2016. *Sciurus oculatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T20017A22246721. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T20017A22246721.en>
- Aschoff, J. (1966). Circadian Activity Pattern with Two Peaks. *Ecology*, 47(4), 657–662. <https://doi.org/10.2307/1933949>
- Astiazarán Azcarraga, A., Gallina Tessaro, S., & Delfin-Alfonso, C. A. (2020). Activity patterns of arboreal mammals in a tropical rain forest in México. *Therya*, 11(2), 225–231. <https://doi.org/10.12933/therya-20-779>
- Barua, M., Root-Bernstein, M., Ladle, R. J., & Jepson, P. (2011). Defining Flagship Uses is Critical for Flagship Selection: A Critique of the IUCN Climate Change Flagship Fleet. *AMBIO*, 40(4), 431–435. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0116-2>
- Best, T. L. 1995. *Sciurus oculatus*. *Mammalian Species* 498:1–3.
- Carey, A. B., Wilson, T. M., Maguire, C. C., & Biswell, B. L. (1997). Dens of Northern Flying Squirrels in the Pacific Northwest. *The Journal of Wildlife Management*, 61(3). <https://doi.org/10.2307/3802176>
- Caswell, H. (1978). Predator-mediated coexistence: a nonequilibrium model. *Am. Nat.* 112, 127–154. doi: 10.1086/283257
- Cudworth, N. L., & Koprowski, J. L. (2011). Importance of scale in nest-site selection by arizona gray squirrels. *Journal of Wildlife Management*, 75(7), 1668-1674. Retrieved from <https://ezproxy.library.astate.edu/login?url=https%3A%2F%2Fwww.proquest.com%2Fscholarly-journals%2Fimportance-scale-nest-site-selection-arizona-gray%2Fdocview%2F919424985%2Fse-2%3Faccountid%3D8363>
- Doncaster, C. P., & Woodroffe, R. (1993). Den Site Can Determine Shape and Size of Badger Territories: Implications for Group-Living. *Oikos*, 66(1). <https://doi.org/10.2307/3545199>
- Edelman, A. J., and J. L. Koprowski. 2005. Diet and tree use of Abert's squirrels (*Sciurus aberti*) in a mixed-conifer forest. *Southwestern Naturalist* 50:461–465.
- Garnett, S., Crowley, G., & Balmford, A. (2003). The costs and effectiveness of funding the conservation of australian threatened birds. *Bioscience*, 53(7), 658. doi:[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0658:TCAEOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0658:TCAEOF]2.0.CO;2)
- Gómez-Sánchez, M. and Meraz-Pérez, B. 2016. Encinos (Fagaceae: *Quercus*): Su panorama en Querétaro. In: *Historia Natural de Querétaro* (Jones, R. W. and Serrano- Cárdenas, V, eds.). Pp. 178-195. Universidad Autónoma de Querétaro.
- Gurnell, J. (1987). *The Natural History of Squirrels* (1st ed.). Christopher Helm Publishers Ltd.
- Koprowski, J. L., and R. Nandini. 2008. Global hotspots and knowledge gaps for tree and flying squirrels. *Current Science* 95:851–856
- Magoun, A. J., & Copeland, J. P. (1998). Characteristics of Wolverine Reproductive Den Sites. *The Journal of Wildlife Management*, 62(4). <https://doi.org/10.2307/3801996>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (2010). *Diario Oficial de La Federación*. https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Palmer, G. H., J. L. Koprowski, and A. J. Pernas. 2013. Nest tree and site selection of an introduced population of red-bellied squirrels (*Sciurus aureogaster*). *Journal of Mammalogy* 94:1274–1281.
- Potash, A. D., Conner, L. M., and McCleery, R. A. (2019). Vertical and horizontal vegetation cover synergistically shape prey behaviour. *Anim. Behav.* 152, 39–44.
- Ramos-Lara, N., & Cervantes, F. A. (2011). Ecology of the Mexican Red-Bellied Squirrel (*Sciurus aureogaster*) in Michoacán, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 56(3), 400–403. [https://doi.org/10.1894/n02-rts-11.Ramos-Lara, N., & Koprowski, J. L. \(2014\). Deforestation and knowledge gaps threaten conservation of less charismatic species: status of the arboreal squirrels of Mexico. *Mammalia*, 78\(4\). <https://doi.org/10.1515/mammalia-2013-0115>](https://doi.org/10.1894/n02-rts-11.Ramos-Lara, N., & Koprowski, J. L. (2014). Deforestation and knowledge gaps threaten conservation of less charismatic species: status of the arboreal squirrels of Mexico. <i>Mammalia</i>, 78(4). https://doi.org/10.1515/mammalia-2013-0115)
- Ramos-Lara, N., & López-González, C. A. (2017). Niche segregation between *Sciurus aureogaster* and *S. oculatus* in a disturbed forest in central Mexico. *Journal of Mammalogy*, 98(6). <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx136>
- Riege, D. A. 1991. Habitat specialization and social factors in distribution of red and gray squirrels. *Journal of Mammalogy* 72:152–162.
- Smith, G. C., Mathieson, M., & Hogan, L. (2007). Home range and habitat use of a low-density population of greater gliders, *Petauroides volans* (Pseudocheiridae: Marsupialia), in a hollow-limiting environment. *Wildlife Research*, 34(6). <https://doi.org/10.1071/wr06063>
- Sovie, A. R., Greene, D. U., & McCleery, R. A. (2020). Woody Cover Mediates Fox and Gray Squirrel Interactions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00239>
- Thorington, R., & Hoffmann, R. *Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference* (3rd edition). (2006). Reference Reviews, 20(5), 754–818.

Anidación, dieta y patrones de actividad de *Sciurus oculatus* en un bosque mixto

<https://doi.org/10.1108/09504120610673024>

Van Der Merwe, M., Brown, J. S., and Jackson, W. M. (2005). The coexistence of fox (*Sciurus niger*) and gray (*S. carolinensis*) squirrels in the Chicago metropolitan area. *Urban Ecosyst.* 8:335. doi: 10.1007/s11252-005-4865-9

Zhang, J., Hull, V., Ouyang, Z., He, L., Connor, T., Yang, H., Huang, J., Zhou, S., Zhang, Z., Zhou, C., Zhang, H., & Liu, J. (2017). Modeling activity patterns of wildlife using time-series analysis. *Ecology and Evolution*, 7(8), 2575–2584. <https://doi.org/10.1002/ece3>.

Modelaje de COVID-19 con estructura etaria para el estado de Querétaro

Rojas-García, Luis-Andrés¹; Álvarez-Martínez, Roberto¹.

¹ Laboratorio de Biología Cuantitativa y Sistemas Complejos. Universidad Autónoma de Querétaro. lrojas26@alumnos.uaq.mx, roberto.alvarez@uaq.edu.mx

Resumen

En los últimos dos años, hemos presenciado el surgimiento y rápida expansión de la enfermedad conocida como COVID-19, declarada como pandemia en marzo del 2020. A raíz de esta problemática, un sinnúmero de estudios se han desarrollado para entender y explicar su desarrollo. En particular, los modelos matemáticos epidemiológicos han sido una herramienta importante para prevenir, predecir y controlar los casos de COVID-19. El uso de modelos heterogéneos permite tener una visión más clara de lo que ocurre en una población estratificada, como la nuestra, donde la dinámica de la infección es diferente por cada nivel. Para este proyecto, se usó un modelo heterogéneo basado en grupos etarios para modelar el desarrollo de la epidemia de COVID-19 en el estado de Querétaro, en donde no se contemplaron medidas epidemiológicas de control. Este es el primer modelo heterogéneo con estructura etaria con parámetros inferidos de los datos. A partir de este, se pudo describir el comportamiento de los casos y su comparativa con los reales. Además, permitió caracterizar los rangos de edades adecuados para una descripción heterogénea y observar el escenario que se tendría de no haberse tomado medidas de control.

Palabras clave: Modelos matemáticos epidemiológicos, modelo heterogéneo, grupos etarios, probabilidad de transición.

Abstract

In the last two years, we have witnessed the emergence and rapid spread of the disease known as COVID-19, which was declared a pandemic in March 2020. In response to this problem, countless number of studies have been developed to understand and explain the development of this pandemic. In particular, mathematical epidemiological models have been an essential tool for preventing, predicting and controlling COVID-19 cases. The use of heterogeneous models allows for a clearer understanding of what is happening in a stratified population, such as ours, where the dynamics of infection are different for each level. For this project, a heterogeneous model based on age groups was used to model the development of the COVID-19 epidemic in the state of Querétaro, where epidemiological control measures were not considered. This mathematical model is the first age-structured heterogeneous with parameters inferred from the data proposed for Mexico. From this model, it was possible to describe the behavior of the cases and their comparison with the actual cases. This model allowed us to characterize the appropriate age ranges for a heterogeneous description and observe the scenario that would have been without control measures.

Keywords: Epidemiological mathematical models, heterogeneous models, age groups, transition probability.

Introducción

El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró a la nueva enfermedad COVID-19, resultado del brote de coronavirus en Wuhan, China, como pandemia a nivel mundial (Sharma et al., 2021). Esta ha infectado a cerca de 640 millones de personas en todo el mundo, mientras que ha cobrado la vida de al menos 6.5 millones de ellas (Worldometer, 2022). La llamada COVID-19 puede presentarse en seres humanos como infecciones asintomáticas o en diferentes cuadros clínicos, que abarcan desde dolores de cabeza, tos o fiebre, hasta ocasionar neumonía grave e, incluso, la muerte del paciente (Sharma et al., 2021).

El SARS-CoV 2, virus responsable de la COVID-19, ha tenido una gran transmisibilidad entre las poblaciones y, debido a esto, es un problema sanitario a nivel mundial. El virus se transmite por contacto directo o a través de tos o estornudos, además puede estar presente en la materia fecal de los individuos infectados. Al mismo tiempo, puede estar en superficies contaminadas (Murugan et al., 2021).

Durante más de 100 años, el uso de los modelos matemáticos para describir el comportamiento de las infecciones en epidemiología ha sido de suma importancia (Grassly & Fraser, 2008); por ejemplo, para entender la dinámica de las infecciones y poder comprender, predecir y prevenir los diferentes escenarios que pueden presentarse (Zeb et al., 2020). Junto con el desarrollo de las tecnologías para el análisis de datos, los modelos matemáticos constituyen herramientas útiles y poderosas, que pueden aplicarse para la comprobación de hipótesis, la predicción de posibles escenarios o para realizar experimentos con condiciones difíciles de obtener en laboratorios, que a su vez, puede ayudar a los gobiernos a generar medidas de prevención o asesorar las medidas de salud pública (Adiga et al., 2020; Grassly & Fraser, 2008; Zeb et al., 2020).

A raíz de la pandemia de COVID-19, diversos grupos de investigación plantearon distintos modelos matemáticos epidemiológicos para obtener proyecciones e intentar, con ello, controlar los efectos más perniciosos asociados a la infección (Grassly & Fraser, 2008). En diferentes estudios, un

modelo de infección tipo SIR (Susceptible, Infectado y Recuperado) es apropiado para describir la dinámica de la COVID-19 (Grassly & Fraser, 2008; Zeb et al., 2020). Estos modelos se basan en un ciclo básico de infección, donde los individuos transitan a determinadas tasas de individuos susceptibles (S) a individuos infectados (I) y, al cabo de determinados días, van a ser recuperados (R) (Grassly & Fraser, 2008; Zeb et al., 2020).

Sin embargo, estos modelos, en su formulación original, no contemplan características distintas en la población; es decir, consideran que todos los individuos pertenecientes a una categoría son idénticos ante la infección. En las poblaciones, las características demográficas no son iguales, y por ello, el curso de una enfermedad es distinto; por ejemplo en las tasas de infección, recuperación, hospitalización, etc. Debido a lo anterior, surgen los modelos heterogéneos, donde se toma en cuenta la heterogeneidad de la población total, para modelar a distintos niveles las características de toda la población (Adiga et al., 2020). Es por esta razón, que el desarrollo de un modelo heterogéneo es crucial para el modelaje de la COVID-19, puesto que de primera instancia, se puede observar que no en todos los casos, se comportan de la misma forma.

La modificación del modelo básico SIR puede resultar útil para arrojar resultados más cercanos a un escenario real, agregando más compartimentos que describen, por ejemplo, a individuos expuestos, infectados asintomáticos, infectados hospitalizados, infectados en unidad de terapia intensiva, etc. (Miramontes, 2020; Aliseda, 2020), como en el modelo epidemiológico desarrollado para la CDMX.

A partir de los datos epidemiológicos de casos de la COVID-19 acumulados durante un año y medio, es posible observar con detalle cómo ha sido la dinámica de la enfermedad en nuestro país, incluido el estado de Querétaro. Al observar el comportamiento de los casos, se puede hacer la distinción de la estructura de edad en los casos positivos, por lo que es una observación relevante para el transcurso y desarrollo de la enfermedad. Es por esto que el desarrollo de modelos heterogéneos basados en la estructura de edad es crucial para poder establecer nuevas y

mejores medidas de control de la epidemia a nivel local. A su vez, dada la capacidad de los modelos matemáticos de poder predecir escenarios, el objetivo de este trabajo es determinar un modelo matemático heterogéneo por estructura etaria para la dinámica de las infecciones por COVID-19, donde no existieron las principales intervenciones epidemiológicas, como el aislamiento social, el uso de mascarillas o de sanitizantes, en el estado de Querétaro.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se trabajó con los datos abiertos de la Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud (Secretaría de Salud, 2022 <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>).

Procesamiento de los datos

Los datos se procesaron en el lenguaje de programación R (R Core Team, 2022) a partir de la base de datos abiertos de México, los datos del estado de Querétaro del 1 de enero de 2020 hasta el 19 de octubre de 2021. Con estos, se determinaron los rangos de edades por cada caso, en intervalos de 10 años. Posteriormente, se elaboró una gráfica de los casos positivos definidos de acuerdo con los diccionarios disponibles adjuntos a los datos.

Se determinaron las probabilidades de transición que existen entre los distintos estados de la infección, entre los distintos grupos de edad, definidos previamente. Para determinar cada probabilidad, se siguieron las siguientes reglas: $p(I|S) = \frac{\Sigma I}{N}$ para obtener la probabilidad de que una persona susceptible (S), sea infectada (I); $p(I_l|I) = \frac{\Sigma I_l}{\Sigma I}$ para obtener la probabilidad de que una persona infectada sea un caso ambulatorios/leve (I_l); $p(I_h|I) = \frac{\Sigma I_h}{\Sigma I}$ para obtener la probabilidad de que una persona infectada sea un caso hospitalizado/grave (I_h); $p(I_i|I_h) = \frac{\Sigma I_i}{\Sigma I_h}$ para obtener la probabilidad de que la persona hospitalizada tenga que ser intubada/ICU (I_i); $p(M|I_i) = \frac{\Sigma M}{\Sigma I_i}$ para obtener la probabilidad de que la persona intubada muera (M).

En los anteriores, $p(Y|X)$ es la probabilidad de que, dado que un paciente se encuentra en el estado X , la probabilidad de que cambie al estado Y está definida según la regla. Para la realización de esta parte, desarrollamos una función en R, para obtener las probabilidades de transición, a partir del filtrado de la base de datos para así obtener los datos necesarios en cada caso.

Determinación de grupos etarios

Se elaboró un análisis de agrupamiento (*clustering*), donde a partir de una matriz de distancias de las probabilidades de transición de los grupos edad, se realizaron los agrupamientos con los algoritmos de agrupamiento *complete*, *ward.D*, *ward.D2*, *single*, *average*, *mcquitty*, *median* y *centroid* (R Core Team, 2022b). Para visualizar los agrupamientos, se realizaron dendrogramas por cada algoritmo y se compararon entre sí. Aquellos grupos que más se repitieron, se tomaron como las categorías que se usaron para definir los grupos etarios; es decir, se agruparon por similitud para definir grupos que responden ante la infección de forma similar.

Construcción del modelo matemático

Se construyó un modelo matemático heterogéneo, tomando en cuenta los grupos etarios previamente definidos como los niveles del modelo. Se tomó como base el modelo epidemiológico empleado por la Ciudad de México (Gobierno de la Ciudad de México, s.f.), al cual se le hicieron las modificaciones necesarias de acuerdo a los parámetros y variables que se pudieron definir a partir de los datos de casos. El resto de parámetros se tomó de la literatura (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros del modelo.

* Parámetros obtenidos con estructura etaria.

Parámetro	Descripción	Cita
β	Tasa de infección por interacción SI*.	Calculado a partir de los datos.
α	Tasa a la que los individuos infectados expuestos se vuelven infectantes I/Dincub.	Quesada et al., 2021.
p_l	Fracción de individuos infectados que no son hospitalizados, se vuelven infectados leves $0 \leq p_l \leq 1$ *.	Calculado a partir de los datos.
p_h	Fracción de individuos infectados que son hospitalizados $0 \leq p_h \leq 1$ *.	Calculado a partir de los datos.
δ_l	Tasa a la que los individuos infectados se vuelven infectados leves/ambulatorios I/Dinfect.	Xin et al., 2021.
δ_h	Tasa a la que los individuos infectados se vuelven infectados hospitalizados/graves I/Dhosp.	Buchholz et al., 2020.
γ_R	Tasa en la que los individuos infectados leves se recuperan I/DRL.	Bhapkar et al., 2020.
p_i	Fracción de individuos hospitalizados que son intubados $0 \leq p_i \leq 1$ *.	Calculado a partir de los datos.
$(1 - p_i)$	Resto de individuos hospitalizados que no son intubados, se recuperan*.	Calculado a partir de los datos.
γ_h	Tasa a la que los individuos hospitalizados se recuperan I/DRH.	Zhou et.al., 2020.
δ_i	Tasa a la que los individuos hospitalizados son intubados I/DICU.	Heiden y Buchholz, 2020.
μ	Fracción de individuos intubados que mueren $0 \leq \mu \leq 1$ *.	Calculado a partir de los datos.
$(1 - \mu)$	Resto de individuos intubados que no mueren, se recuperan*.	Calculado a partir de los datos.
δ_m	Tasa a la que los individuos intubados mueren I/Dm.	Zhou et.al., 2020).
γ_i	Tasa a la que los individuos intubados se recuperan I/DICU.	Zhou et.al., 2020).

Se construyó un diagrama de compartimentos (Figura 1), donde se establecieron las variables y el flujo de la infección donde hay individuos susceptibles (S), que por interacción con individuos infectados, pueden pasar a ser expuestos (E), que se vuelven infectados al cabo de un tiempo (I). Aquí hay un porcentaje de la población que va hacia hospitalizados (I_h) y el resto a

infectados leves (I_l). De los hospitalizados, un porcentaje de los individuos se vuelven infectados intubados (I_i) y el resto son recuperados (R). Por último, un porcentaje de los individuos intubados pasan a muertos (M) al cabo de un tiempo, mientras que el resto se recuperan. Los I_l , al cabo de un tiempo pasan a ser recuperados.

A partir del diagrama por compartimentos, se desarrollaron todas las ecuaciones diferenciales que conforman al modelo, para cada nivel que lo conforma, que en este caso son los grupos etarios.

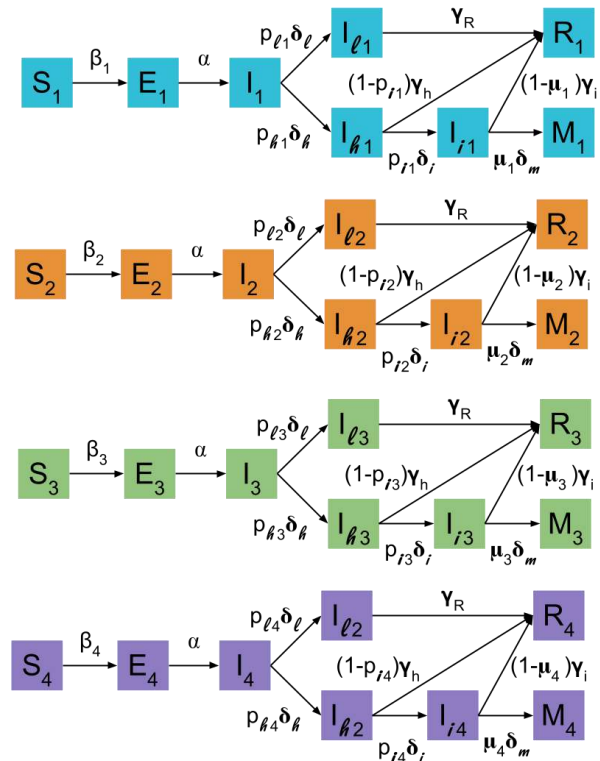


Figura 1 Diagrama por compartimentos con estructura etaria para COVID-19. Fuente: elaboración propia

Solución numérica de las ecuaciones diferenciales
 Las ecuaciones se resolvieron numéricamente en R, con el uso de la librería *deSolve* (Soetaert et al., 2010).

Supuestos del modelo

Este modelo fue construido con base en que los individuos infectados son los que transmiten la enfermedad al estar en contacto con los individuos susceptibles. Se contempla un escenario donde no hubo intervenciones epidemiológicas para el control de la pandemia.

No existen limitaciones geográficas para toda la población del estado para la diseminación de la infección, es decir personas registradas en distintos municipios, de acuerdo a los datos, tienen la misma probabilidad de infectarse que personas que habitan el mismo lugar.

Resultados

Al separar los casos positivos del estado de Querétaro por rangos de edades (Figura 2), se puede observar que la edad del paciente influye en la dinámica de la infección, ya que se observa que casos positivos de personas menores a 60 años son más abundantes que los casos en edades más avanzadas. Esto, si bien, solamente se observa gráficamente es un punto de partida relevante para el desarrollo de un modelo heterogéneo con estructura etaria.

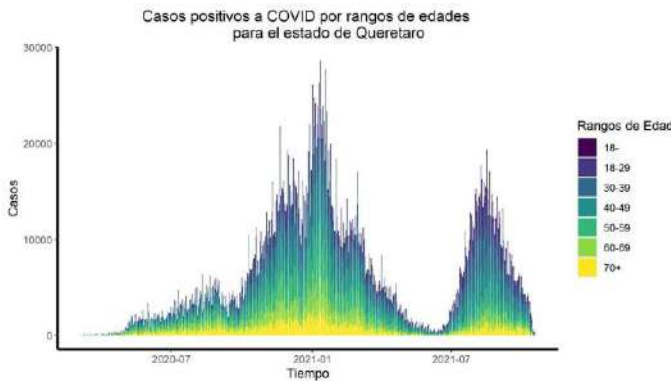


Figura 2 Casos positivos a COVID-19 del estado de Querétaro separados por grupos de edad. Fuente: elaboración propia.

Con la determinación de las probabilidades de transición, se empezaron a observar diferencias entre las distintas edades de la población. Por lo anterior, para determinar los distintos niveles del modelo, era necesario establecer los grupos etarios con los que se van a trabajar.

Para reducir la aleatoriedad en la asignación de grupos, se realizó el análisis de *clustering*, donde los grupos de edad se agrupan de acuerdo con la distancia entre las probabilidades de transición; es decir, para aquellas probabilidades que sean más cercanas o menos distantes, serán agrupadas en un conjunto, con los distintos algoritmos previamente mencionados.

Se realizaron dendrogramas por cada algoritmo (Figura 4) para poder visualizar los agrupamientos, donde se pudo observar la forma en que los rangos de

edades son definidos en los distintos grupos etarios. Aquellos agrupamientos que más se repitieron, fueron los que se usaron para definir los grupos etarios que quedaron conformados de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Grupos etarios obtenidos.

Rangos de Edad	Grupo etario
Menores de 18 años.	1
Personas de 18 a 29 años y personas de 30 a 39 años.	2
Personas de 40 a 49 años y personas de 50 a 59 años.	3
Personas de 60 a 69 años, y personas mayores de 70 años.	4

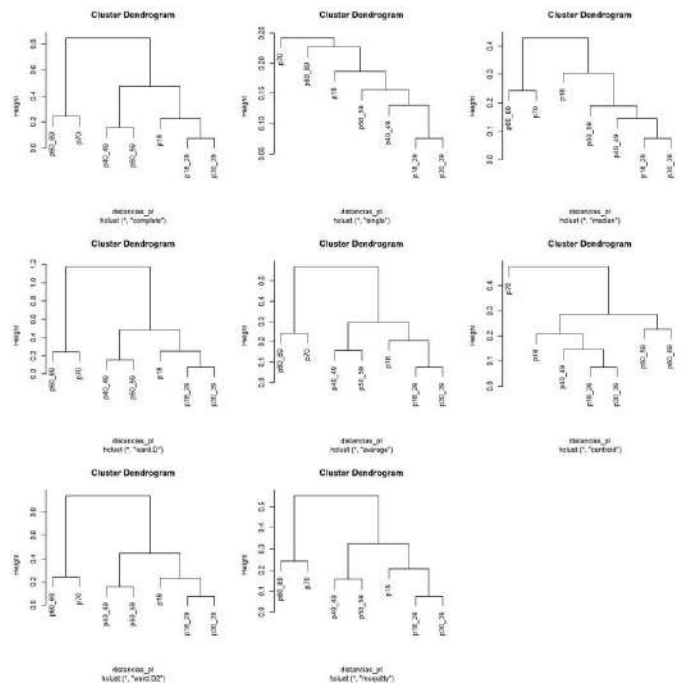


Figura 3 Dendrogramas del análisis de *clustering* de las probabilidades de transición. (“complete” (izquierda superior), “ward.D” (centro superior), “ward.D2” (derecha superior), “single” (izquierda centro), “average” (centro centro), “mcquitty” (derecha centro), “median” (izquierda inferior) y “centroid” (derecha inferior)). Fuente: elaboración propia.

Una vez que se definieron los grupos etarios con los que se trabajó, se desarrolló el diagrama por compartimentos previamente mencionados, junto con la definición de los parámetros y variables, basado principalmente en el modelo epidemiológico de la Ciudad de México. Sin embargo, dado que este modelo está basado en el uso de los Datos Abiertos

de la Dirección General de Epidemiología, se realizaron variaciones al modelo de la Ciudad de México. Entre las más destacables se encuentra la eliminación de la variable/estado de “infectados graves”, ya que con los datos no se puede determinar este estado, pues este tipo de pacientes son hospitalizados (Secretaría de Salud, 2020). Con base en el diagrama por compartimentos, se desarrollaron las ecuaciones diferenciales que conforman al modelo:

$$\begin{aligned} \dot{S}_j &= -\frac{\beta_j}{N} S_j \Sigma I_j \\ \dot{E}_j &= \frac{\beta_j}{N} S_j \Sigma I_j - \alpha E_j \\ \dot{I}_j &= \alpha E_j - p_{hj} \delta_h I_j - p_{lj} \delta_l I_j \\ \dot{I}_{lj} &= p_{lj} \delta_l I_j - \gamma_R I_{lj} \\ \dot{I}_{hj} &= p_{hj} \delta_h I_j - p_{ij} \delta_i I_{hj} - (1 - p_{ij}) \gamma_h I_{hj} \\ \dot{I}_{ij} &= p_{ij} \delta_i I_{hj} - \mu_j \delta_\mu I_{ij} - (1 - \mu_j) \gamma_i I_{ij} \\ \dot{M}_j &= \mu_j \delta_\mu I_{ij} \\ \dot{R}_j &= \gamma_R I_{lj} + (1 - p_{ij}) \gamma_h I_{hj} + (1 - \mu_j) \gamma_i I_{ij} \end{aligned}$$

Teniendo como $j \forall = 1, 2, 3$ y 4 que corresponde a cada uno de los cuatro grupos etarios definidos para este modelo. Las ecuaciones diferenciales se resolvieron con el uso de la librería *deSolve* en R, y graficaron con la librería *ggplot2*. Las gráficas del comportamiento temporal de casos infectados, muertos y recuperados se muestran en las siguientes figuras (Figura 4-6).

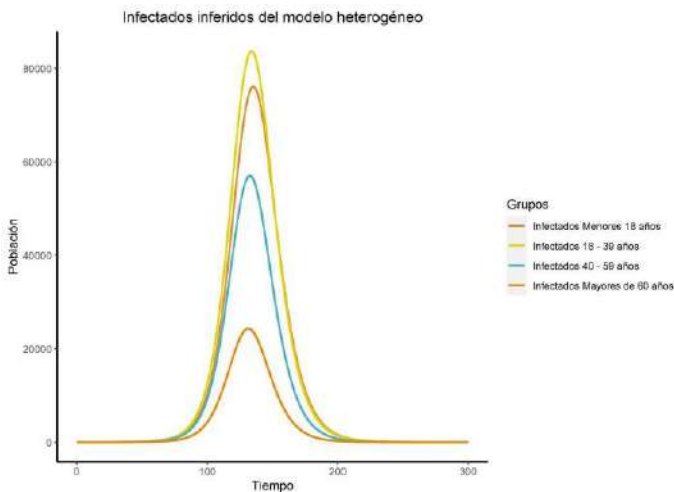


Figura 4 Modelo matemático de COVID-19 con estructura etaria para el estado de Querétaro sin intervenciones epidemiológicas para Casos Infectados Inferidos. B) Casos Fallecidos. C) Casos Recuperados. Fuente: elaboración propia.

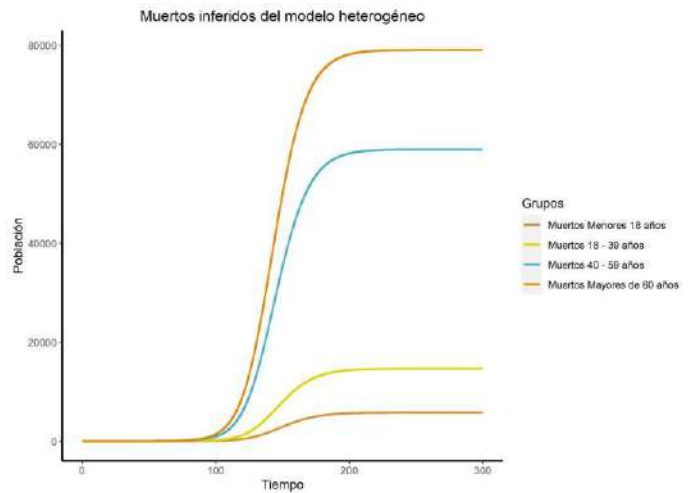


Figura 5 Modelo matemático de COVID-19 con estructura etaria para el estado de Querétaro sin intervenciones epidemiológicas para Casos Muertos Inferidos. C) Casos Recuperados. Fuente: elaboración propia.

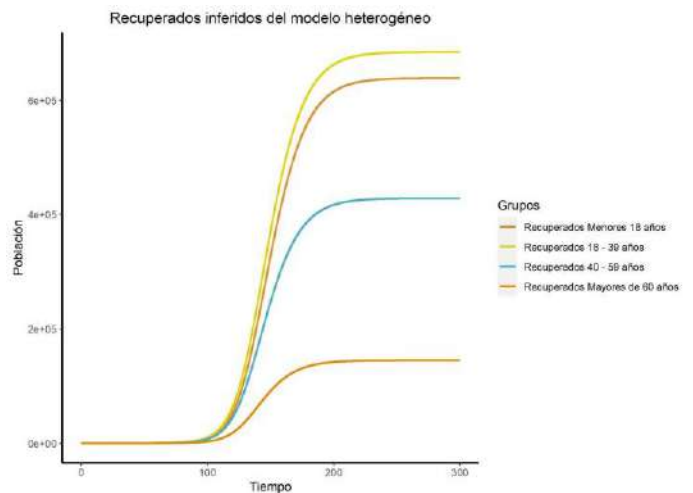


Figura 6 Modelo matemático de COVID-19 con estructura etaria para el estado de Querétaro sin intervenciones epidemiológicas para Casos Recuperados Inferidos. Fuente: elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Como se ha observado en distintos estudios, la edad es un factor que influye en la dinámica de la infección de COVID-19 (Ahrenfeldt et al., 2021; Bruine de Bruin, 2021; Costagliola et al., 2021). Debido a esto, se obtuvieron las probabilidades de transición para los distintos estadios de enfermedad por COVID, en cada rango de edad. Estas pueden representar una aproximación para visualizar el riesgo de ser

infectados, hospitalizados, intubados o de fallecer, al observar qué transición tiene más probabilidad de suceder que otras (Ahrenfeldt et al., 2021; Bruine de Bruin, 2021; Costagliola et al., 2021). En nuestro caso, concluimos que los grupos etarios se pueden dividir en 4 grupos:

Varios estudios refieren que existe una diferencia entre los casos de COVID-19, en donde es más probable que las personas jóvenes sean las que pueden infectarse fácilmente. Sin embargo, en adultos mayores, aumenta considerablemente el riesgo de sufrir complicaciones derivadas de la infección (Ahrenfeldt et al., 2021; Bruine de Bruin, 2021; Bhopal et al., 2021; Costagliola et al., 2021).

Al tener 7 rangos de edad era necesario reducir los niveles existentes, para hacer que el modelo sea más factible de analizar e interpretar, por lo que se propuso el análisis de *clustering*. En este, se reduce el componente aleatorio para hacer el agrupamiento de los rangos de edad en grupos etarios, ya que se parte de una matriz de distancias de las probabilidades de transición, por lo que aquellos rangos de edad que tienen probabilidades de transición menos distantes entre sí, son los que formarán un grupo. Esto reduce los niveles del modelo heterogéneo a cuatro, porque las probabilidades de transición son muy similares entre los rangos de edad que comparten el mismo grupo etario, por lo que pueden considerarse como un único grupo.

En Bhopal et al. (2021), refieren que los niños y jóvenes tienen un riesgo bajo de mortalidad, aunque esto depende de la variante del virus. Lo anterior corresponde con lo observado, ya que los casos de menores de 18 años fueron escasos, a comparación de otras edades, por lo que la distancia de este grupo con los demás es relevante para asignarse un único grupo.

Con la resolución numérica del modelo, se obtuvo que los pacientes menores de 18 años, y personas de 18 a 39 años presentan cifras muy altas, tanto de pacientes recuperados, como de pacientes infectados ambulatorios/leves (Figura 4 y Figura 6). Esto se esperaba desde que se obtuvieron las probabilidades de transición, ya que estas dos eran las más altas en las transiciones a esos estados.

Por otro lado, los pacientes de 40 hasta mayores de 70 años, presentaron cifras menores en todas las variables definidas en el modelo. Sin embargo, en las cifras de muertes, estos dos grupos etarios fueron los que más muertes presentaron (Figura 5).

Esto ciertamente es relevante, ya que en muchos otros estudios (Costagliola et al., 2021), y con los datos reales de la dinámica de la pandemia en todo el mundo, estos grupos de edad fueron los más afectados. Contrastando los casos de infectados inferidos del modelo (Figura 4) con la gráfica de casos positivos (Figura 2), se puede observar que el modelo también estimó de forma aproximada el primer pico de la epidemia en el Estado, que ocurre en abril del 2020; mientras que el pico de infectados en el modelo, ocurre 100 días después de enero de 2020.

Las cifras inferidas por el modelo superan los casos reales referidos para el estado. En este modelo se proyecta el escenario en donde no se hubiera tomado ninguna medida de control. Es decir, si no hubiera existido aislamiento y se hubiera dejado circular al virus, y a sus portadores de forma libre, ni la aplicación de vacunas u otras medidas de contención epidemiológica. Por lo que los resultados de este modelo plantean un escenario interesante para la implementación de las medidas epidemiológicas.

Un punto que es importante recalcar es que se trabajó considerando que la población de todo el estado estuvo interactuando entre sí, es decir, no se consideran limitaciones geográficas o de movilidad, en especial con las localidades de la sierra. Esto puede sumar a la explicación de las elevadas cifras que se obtuvieron en el modelo.

Por otro lado, la justificación de la asignación de los grupos etarios es importante, ya que durante el desarrollo de la pandemia, existieron muchas excepciones a las planteadas en el modelo, por lo que es otro punto en el que se está centrando la investigación actual.

Agradecimientos

Al fondo FONDEC-UAQ-2022 número de registro FNB-2022-05 por la beca otorgada a Andrés Rojas-García.

A Etzel Garrido y a Víctor Lázaro por sus contribuciones, fructífera discusión y retroalimentación al proyecto.

Referencias bibliográficas

- Adiga, A., Dubhashi, D., Lewis, B., Marathe, M., Venkatramanan, S., & Vullikanti, A. (2020). Mathematical models for covid-19 pandemic: A comparative analysis. *Journal of the Indian Institute of Science*, 100(4), 793–807. <https://doi.org/10.1007/s41745-020-00200-6>
- Ahrenfeldt, L. J., Otavova, M., Christensen, K., & Lindahl-Jacobsen, R. (2021). Sex and age differences in COVID-19 mortality in europe. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 133, 393–398. <https://doi.org/10.1007/s00508-020-01793-9>
- Aliseda, A. (2020). Modelos epidemiológicos y COVID-19. *Boletín Sobre COVID-19, Salud Pública y Epidemiología. Publicación Del Departamento de Salud Pública de La Facultad de Medicina*, 7–11. <https://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2022/03/COVID-19-No.11-04-Modelos-Epidemiologicos.pdf>
- Bhapkar, H., Mahalle, P. N., Dey, N., & Santosh, K. (2020). Revisited COVID-19 mortality and recovery rates: Are we missing recovery time period? *Journal of Medical Systems*, 44(12), 202. <https://doi.org/10.1007/s10916-020-01668-6>
- Bhopal, S. S., Bagaria, J., Olabi, B., & Bhopal, R. (2021). Children and young people remain at low risk of COVID-19 mortality. *The Lancet Child & Adolescent Health*, 5(5), e12–e13. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(21\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(21)00066-3)
- Bruine de Bruin, W. (2020). Age Differences in COVID-19 Risk Perceptions and Mental Health: Evidence From a National U.S. Survey Conducted in March 2020. *The Journals of Gerontology: Series B*, 76(2), e24–e29. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbaa074>
- Buchholz, U. et al. (2020). *Modellierung von beispielszenarien der SARS-CoV-2-ausbreitung und schwere in deutschland*. <https://edoc.rki.de/bitstream/handle/176904/6547/ModellierungSARS-CoV-2.pdf?sequence=1>
- Costagliola, G., Spada, E., & Consolini, R. (2021). Age-related differences in the immune response could contribute to determine the spectrum of severity of COVID-19. *Immunity, Inflammation and Disease*, 9(2), 331–339. <https://doi.org/10.1002/iid3.404>
- Dirección_General_de_Epidemiología. (2022). *Datos abiertos dirección general de epidemiología*. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
- Gobierno_de_la_Ciudad_de_México. *Modelo epidemiológico COVID-19 del gobierno de la ciudad de México*. <https://modelo.covid19.cdmx.gob.mx/modelo-epidemico>
- Grassly, N. C., & Fraser, C. (2008). Mathematical models of infectious disease transmission. *Nature Reviews Microbiology*, 6(6), 477–487. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1845>
- Miramontes, O. (2020). Entendamos el COVID-19 en México. *COVID-19 En México*. https://www.fisica.unam.mx/personales/mir/corona19/covid19_v6.pdf
- Murugan, C., Ramamoorthy, S., Kuppuswamy, G., Murugan, R. K., Sivalingam, Y., & Sundaramurthy, A. (2021). COVID-19: A review of newly formed viral clades, pathophysiology, therapeutic strategies and current vaccination tasks. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 1165–1200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.144>
- Quesada, J. A., López-Pineda, A., Gil-Guillén, V. F., Arriero-Marín, J. M., Gutiérrez, F., & Carratala-Munuera, C. (2021). Incubation period of COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *Revista Clínica Española (English Edition)*, 221(2), 109–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rceng.2020.08.002>
- R Core Team. (2022a). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- R Core Team. (2022b). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Secretaria_de_Salud. (2020). *Lineamiento para la atención de pacientes por COVID-2019*. <http://cvoed.imss.gob.mx/wp-content/uploads/2020/02/Linemaineto-cl%C3%ADnico-COVID-19-CCINSHAE-14feb2020.pdf.pdf.pdf>
- Sharma, A., Ahmad Farouk, I., & Lal, S. K. (2021). COVID-19: A review on the novel coronavirus disease evolution, transmission, detection, control and prevention. *Viruses*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/v13020202>
- Soetaert, K., Petzoldt, T., & Setzer, R. W. (2010). Solving differential equations in R: Package deSolve. *Journal of Statistical Software*, 33(9), 1–25. <https://doi.org/10.18637/jss.v033.i09>
- Worldometers.info. (2022). *COVID live - coronavirus statistics*. <https://www.gob.mx/salud/documentos/datos-abiertos-152127>
- Xin, H., Li, Y., Wu, P., Li, Z., Lau, E. H. Y., Qin, Y., Wang, L., Cowling, B. J., Tsang, T. K., & Li, Z. (2021). Estimating the Latent Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 74(9), 1678–1681. <https://doi.org/10.1093/cid/ciab746>
- Zeb, A., Alzahrani, E., Erturk, V. S., & Zaman, G. (2020). Mathematical model for coronavirus disease 2019 (COVID-19) containing isolation class. *BioMed Research International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/3452402>

Efecto del DEP en la locomoción y mielogénesis del pez cebra

María Guadalupe García Martínez^{1*}, Iván Lazcano Sánchez², Juan Carlos Solís Sainz¹, Hebert Luis Hernández Montiel³, Aurea Orozco Rivas², Ana Gabriela Hernández Puga^{1*}.

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro

² Instituto de Neurobiología, UNAM-Campus Juriquilla

³ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro

[*mariagegarcia224@gmail.com](mailto:mariagegarcia224@gmail.com) (MGGM); juyastick@gmail.com (AGHP)

Resumen

El dietil ftalato (DEP) es un disruptor endócrino que altera los sistemas endocrinos en humanos y animales; es común encontrarlo en productos como maquillaje, cremas, jabones, biberones, comida, entre otros. Estudios previos han demostrado que el DEP afecta el sistema nervioso durante la gestación, contribuyendo a ser un factor para el desarrollo de patologías neuroendocrinas como la depresión y la demencia; además, su efecto sobre el proceso de mielinización y de locomoción no ha sido estudiado, por lo cual es importante evaluar los peligros asociados a su exposición. Por lo anterior, el objetivo del presente artículo fue determinar el efecto del DEP sobre la locomoción y mielinización en el modelo embrionario de pez cebra (*Danio rerio*). Se emplearon embriones de pez cebra que fueron tratados con concentraciones de 50 µg/L, 500 µg/L, 5 000 µg/L y 25 000 µg/L durante 120 hpf, y se evaluó su efecto sobre la locomoción, el contenido de mielina y la expresión de genes asociados a la mielinización. Los resultados mostraron que el tratamiento con DEP induce una alteración en la locomoción; estos resultados se obtuvieron utilizando el sistema a blanco-negro y la evaluación de la respuesta evocada al tacto. En esta última prueba encontramos que las larvas tratadas con la dosis máxima 25 000 µg/L aumentaron el tiempo de reacción mientras la velocidad disminuía. Adicionalmente, se encontró una disminución de la intensidad de las fibras de mielina teñidas con *Black Gold II* en las larvas tratadas con 500 µg/L, 5 000 µg/L y 25 000 µg/L de DEP. Asimismo, la expresión de proteína básica de mielina (MBP, por sus siglas en inglés) disminuyó en todos los tratamientos con DEP. En conjunto, los resultados obtenidos mostraron que la exposición a dosis elevadas de DEP disminuyen la formación de mielina en las larvas de pez cebra, lo cual repercutió en su locomoción.

Palabras clave: disruptor endócrino, dietil ftalato, mielina, pez cebra.

Abstract

Diethyl phthalate (DEP) is an endocrine disruptor that disrupts endocrine systems in humans and animals; It is common to find it in products such as makeup, creams, soaps, baby bottles, food, among others. Previous studies have shown that DEP affects the nervous system during pregnancy, contributing to the development of neuroendocrine pathologies such as depression and dementia, and its effect on the myelination and locomotion processes has not been studied, for so it is important to assess the hazards associated with their exposure. Therefore, the objective of this thesis was to determine the effect of DEP on locomotion and myelination in the embryonic model of zebrafish (*Danio rerio*). Zebrafish embryos were used that were treated with concentrations of 50 µg/L, 500 µg/L, 5000 µg/L and 25 000 µg/L for 120 hpf, and their effect on locomotion, myelin content and the expression of genes associated with myelination were evaluated. The results show that DEP treatment induces an alteration in locomotion using the black-white system and in the evaluation of the evoked response to touch. In this last test we found that the larvae treated with the maximum dose of 25,000 µg/L increased the reaction time and the speed decreased. Additionally, a decrease in the intensity of myelin fibers stained with Black Gold II was found in larvae treated with 500, 5000 and 25,000 µg/L of DEP. Likewise, the expression of MBP decreased in all treatments with DEP. Taken together, the results obtained show that exposure to high doses of DEP decreases myelin formation in zebrafish larvae, affecting their locomotion.

Keywords: endocrine disruptor, diethyl phthalate, myelin, zebrafish.

Introducción

El dietil ftalato (DEP) es un compuesto que altera el equilibrio hormonal debido a su capacidad de unirse a receptores hormonales, por lo cual se le reconoce como un perturbador endócrino. Las vías de exposición al DEP en los humanos son transdérmica, inhalación e ingestión; por otro lado, puede, una vez metabolizado, ser acumulado en diferentes órganos y tejidos. Esta acumulación produce toxicidad, la cual varía en intensidad de acuerdo con la etapa de vida de los organismos, dosis y tiempo de exposición (Gore *et al.*, 2015). El DEP es empleado principalmente para proporcionar flexibilidad a los plásticos, por lo que se encuentra en diversos productos de consumo y uso diario como pinturas, juguetes, envases de comida, fármacos, cepillos de dientes, shampoos y perfumes (ATSDR, 1995; You *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018). Los niveles de ftalatos en orina han sido relacionados con alteraciones conductuales como aumento de ansiedad y trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) (Engel *et al.*, 2010). Por otro lado, estudios moleculares han mostrado que el tratamiento con DEP induce un aumento en la expresión de la proteína básica de la mielina en embriones de pez cebra, lo cual genera alteraciones en la síntesis de mielina y repercute a nivel neurológico (Xu *et al.*, 2013). Sin embargo, aún se desconoce si el DEP podría afectar la mielinización neuronal y, a su vez, impactar en procesos conductuales. Por estas razones, en el presente estudio se determinaron los efectos del DEP sobre la locomoción y mielinización en un modelo de pez cebra.

Dietil ftalato (DEP)

El dietil ftalato (DEP) es un éster de ácido ftálico de estado líquido, ligeramente color amarillo, perteneciente a la familia de los disruptores endocrinos (DE), los cuales son compuestos que

alteran los sistemas endocrinos. El DEP es empleado principalmente para proporcionar flexibilidad a los plásticos y se encuentra en diversos productos como maquillaje, juguetes, envases de comida, muebles, fármacos, cepillos de dientes, shampoos, talcos, perfumes, tortillas de maíz, entre otros (ATSDR, 1995; You *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018). El DEP no está unido por enlaces covalentes al plástico, por el contrario, su unión es débil y puede liberarse a temperaturas moderadamente altas o en una disminución de pH ligeramente ácido (National Research Council, 2008). El humano y los animales se encuentran expuestos al DEP a través de la inhalación, ingestión y absorción dérmica (ATSDR, 1995).

Los ftalatos inducen distintas alteraciones en el sistema nervioso con implicaciones funcionales relevantes. En un estudio realizado por Tseng y coautores (2013) se encontró que el tratamiento con los ftalatos DEHP, DBP y DIBP modifican la concentración de especies reactivas de oxígeno como iones de oxígeno y peróxido en las neuronas, provocando neurotoxicidad y alteraciones en el sistema locomotor de *Caenorhabditis elegans*. En un modelo experimental empleando embriones de pez cebra que fueron expuestos a dosis de 5, 50 y 500 µg/L de DEP, se encontró que la dosis más alta de DEP aumento la expresión de proteína básica de mielina (MBP, por sus siglas en inglés), la cual es una proteína estructural de la vaina de mielina que rodea los axones de las neuronas, mismo que indujo la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa causando neurotoxicidad en los embriones (Xu *et al.*, 2013). En un estudio realizado por Engel y coautores (2010), se determinó la concentración de los ftalatos MEP, MiBP, MBP y MMP en orina de madres embarazadas y de sus hijos, desde el nacimiento y hasta la edad de nueve años; este estudio encontró que existía una asociación positiva

entre la concentración de ftalatos y un mayor número de niños con diagnóstico con TDAH y ansiedad.

Mielinización

Los oligodendrocitos sintetizan la mielina que recubre los axones neuronales en Sistema Nervioso Central (SNC). (Snell, 2007). Esta oligodendrogénesis comienza en la etapa embrionaria con la formación de la capa germinativa ectodermo, la cual da origen a una placa denominada notocorda en donde se sintetiza la proteína *sonic hedgehog* (SHH, por sus siglas en inglés) para iniciar con la neurogénesis. La expresión de SHH induce la formación del dominio de precursores de neuronas motoras (pMN) que genera a las células progenitoras neurales (NPC) (Rojas *et al.*, 2014; Kuhn *et al.*, 2019) y a las células progenitoras de oligodendrocitos de tipo 2 de astrocitos (O-2A). A su vez, las células O-2A maduran hacia células precursoras de oligodendrocitos (OPCs), que expresan marcadores específicos como Olig2, Olig1 y SOX10, los cuales son esenciales para la diferenciación celular (Barateiro *et al.*, 2016).

La proliferación de OPCs se determina por tres oleadas posteriores al cierre del tubo neural en todos los vertebrados: 1) la primera genera OPCs en prosencéfalo; 2) la segunda inicia en la zona dorsal y genera OPCs; 3) la tercera inicia en zonas de la corteza durante etapas postnatales (Kuhn *et al.*, 2019; Barateiro *et al.*, 2016). Entonces, las OPCs que están en prosencéfalo y zona dorsal comienzan a expresar diferentes mitógenos, los cuales promueven un aumento de la proliferación celular (Kuhn *et al.*, 2019).

Posteriormente, las OPCs migran desde el dominio pMN a otras partes del encéfalo (Barateiro *et al.*, 2016) a través de señalización de

morfógenos, las cuales actúan como mediadoras cerebrales al iniciar con actividad reguladora para la migración (Baumann, 2001; Ackerman *et al.*, 2016). Después de que las OPCs migran y se instalan en las áreas destinadas, inicia la segunda proliferación celular por señales provenientes de astrocitos y neuronas, tales como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF, por sus siglas en inglés) (Kuhn *et al.*, 2019). Una vez concluida la oleada de proliferación, las OPC maduran hacia oligodendrocitos premielinizantes (OL-premielinizantes) (Ackerman *et al.*, 2015). La maduración hacia OL-premielinizantes es influenciada por señales de otras células como astrocitos y la actividad neuronal, las cuales ayudan a determinar el número determinado de axones por mielinizar (Farsetti *et al.*, 1992; Baumann, 2001). Posteriormente, los OLs se extienden y retraen hacia los axones neuronales a través de su citoesqueleto, para asentarse en su posición final y dar comienzo a la formación de mielina. Los OL maduros se caracterizan por sintetizar proteínas estructurales de la vaina de mielina, tales como: MBP, proteína de proteolípidos (PLP), proteína asociada a glucoproteína (MAG) y glicoproteína de la mielina de oligodendrocitos (MOG); esto además de expresar el factor regulador del gen de mielina (MRF) (Barateiro *et al.*, 2016).

A parte de las proteínas antes mencionadas, las hormonas participan de manera directa en el proceso de génesis de las células mielinizantes; sin embargo, a pesar de que la mayoría de los procesos por los cuales intervienen no son del todo conocidos, estudios recientes mencionan que varias hormonas juegan un rol importante en este proceso, pues si estas se inhiben o disminuyen, el proceso se ve afectado. Algunas de las hormonas que participan en la oligodendrogénesis son:

1) cortisol, el cual aumenta la diferenciación, maduración, supervivencia y mielinización, esto a través de la fosforilación de la proteína SGK1 (kinasa 1 de glucocorticoides), la cual, a su vez, fosforila a NDRG1 y, como resultado, ambos aumentan la expresión de N-cadherina y α/β catenina, lo cual mantiene la estabilización y unión del axón con los OL, además de promover la mielinización.

2) 17β -estradiol, hormona que aumenta la proliferación de las NPC a OPC, acrecenta la diferenciación y disminuye la salida de las OPC del ciclo celular, lo cual, como consecuencia, aumenta la proliferación, así como la síntesis de actina para conferir mayor estabilidad a la vaina de mielina.

3) andrógenos, los cuales aumentan la diferenciación de los OL.

4) hormonas tiroideas, las cuales participan en la regulación de la proliferación, diferenciación y mielinización de los OL y la muerte de las células de oligodendrocitos. La inhibición de estas hormonas disminuye la proliferación de los OL (Long *et al.*, 2021).

Composición de la mielina

La mielina se caracteriza por tener una composición en el SNC de 70 % de lípidos y un 30 % de proteínas. Entre las proteínas más abundantes se encuentran la MBP, PLP y proteína cero (P0); mientras que las de menor abundancia son la CNP, MAG, P2 y PMP-22 (Harry *et al.*, 1998). Las tres primeras proteínas se encuentran altamente conservadas en humano y pez cebra. Su estudio

permite comprender el proceso de mielinización y el rol de factores que pueden afectar su estabilidad y funcionalidad, además de favorecer el desarrollo de patologías asociadas a procesos de desmielinización.

En la actualidad existe un elevado uso de productos y comida que contienen DEP. La presencia de DEP y sus metabolitos se ha detectado en diferentes fluidos biológicos en humanos. Asimismo, el DEP posee la capacidad de alterar la homeostasis hormonal y se le ha relacionado a la presencia de enfermedades de índole neurológico, en donde la glía es uno de los posibles blancos de afectación. El desarrollo de los oligodendrocitos en etapas embrionarias puede verse afectado por el DEP, pues podría alterar la formación de mielina y repercutir negativamente en la transmisión del impulso nervioso. Por lo anterior, como un primer acercamiento para comprender los efectos del DEP en el sistema nervioso, en el presente trabajo nos planteamos evaluar si el DEP podría alterar la formación de mielina, para lo cual empleamos el modelo experimental de pez cebra (*Danio rerio*).

Metodología

Para la obtención de embriones de pez cebra, se colocaron peces adultos (un macho y dos hembras) en cajas de reproducción durante toda una noche y divididos por un separador en cada caja. Al día siguiente se removió el separador y se dejaron juntos para la reproducción por un tiempo de 20-25 min. Una vez que los embriones fueron expulsados de la hembra, se agruparon en cajas Petri (n = 25 grupo) con medio de cultivo embrionario (ME) y se incubaron a 28° C durante 120 h, esto en presencia o ausencia de DEP (50 $\mu\text{g/L}$; 500 $\mu\text{g/L}$; 5 000 $\mu\text{g/L}$; 25 000 $\mu\text{g/L}$). Las dosis empleadas de DEP equivalieron a aquellas administradas en estudios previos (Xu 0063 *et al.*, 2013) o en concentraciones

reportadas en sangre y orina de humano (García *et al.*, 2018). El tratamiento fue administrado por inmersión durante cinco días (120 h) con recambio de medio cada 24 h (Figura 1).

Evaluación de la locomoción

Al término de la exposición con DEP, se evaluó la locomoción de las larvas mediante un sistema de imagen blanco y negro automatizado. El fundamento de este sistema es evaluar la movilidad locomotora de las larvas simulando la corriente de los lagos o ríos. El sistema consistió en una imagen con barras negras y blancas intercaladas de forma horizontal, las cuales se proyectaban en formato de video que creaba un movimiento de las líneas.



Figura 2. Imagen del sistema de imagen blanco y negro. Las cajas Petri que contenían a las larvas fueron posicionadas sobre la imagen en movimiento de barras alternadas de color blanco y negro. Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se empleó el sistema de locomoción mediante respuesta evocada por el tacto, el cual se fundamenta en la evaluación de la respuesta o movimiento de las larvas al ser provocadas por un estímulo externo, mismo que se caracteriza por simular una amenaza a la larva. Para simular esta amenaza se proporciona un pequeño toque (en este experimento se realizó con una aguja de insulina) en el tronco de la larva y, posteriormente, determinar su reacción en locomoción. De esta manera, se midió el tiempo de reacción de la larva inmediatamente después del estímulo, la distancia recorrida por la larva después de su respuesta y la velocidad después del estímulo externo hasta los 0.20 cm como distancia establecida (Sztal, *et al.*, 2016). Los movimientos de las larvas fueron monitoreados a través de una cámara de video durante todo el experimento y los videos obtenidos fueron procesados en el programa *Kinovea* (versión 0.9.5).

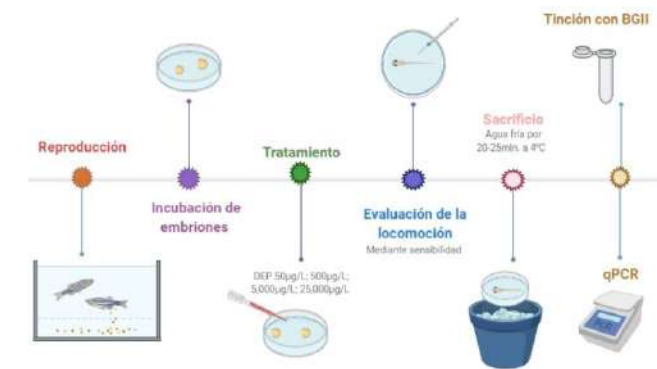


Figura 1. Diagrama de flujo del protocolo de experimentación, el cual inicia con la reproducción de los peces hasta obtener los embriones, mismos que pasan a ser incubados con los tratamientos con DEP hasta llegar a las 120 hpf. Posteriormente, se evaluó la capacidad de locomoción y se sacrificaron para analizar el contenido de mielina (BGII) y la cuantificación de genes implicados en la mielogénesis (qPCR). Fuente: elaboración propia.

De esta manera, las cajas Petri con las larvas fueron colocadas sobre el video (Figura 2). Se tomaron fotografías para determinar la posición de las larvas y se registraron por cuadrantes superior e inferior. Dicho proceso se realizó en cuatro ocasiones (Creton, 2009).

Sacrificio

Una vez concluidas las evaluaciones conductuales, se realizó el sacrificio de las larvas mediante frío durante 25-30 min, esto hasta verificar que su corazón se hubiera detenido mediante microscopia. La manipulación de los animales se realizó de

acuerdo a las guías nacionales e internacionales para el uso de animales de laboratorio. El protocolo fue aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) (No. de registro 12468).

Tinción de la mielina en el pez cebra

Para este proceso las larvas fueron divididas en dos grupos para destinarlos a tinción con *Black Gold II* (BGII) y la determinación de la expresión génica (n = 12 / grupo). El BGII es un aurohalofosfato en polvo color amarillo que se utiliza para marcar fibras de mielina al teñirlas de color violeta. Para esta tinción de las fibras de mielina en el pez cebra, se empleó la técnica de BGII en una preparación del animal completo o “whole-mount”. Las fotografías fueron analizadas con el algoritmo de edición de imágenes de Matlab.

Determinación de la expresión *SOX10*, *MBP*, *PLP*, *P0*

Para determinar el efecto del tratamiento con DEP en la expresión de genes relacionados al proceso de mielinización, se extrajo el ácido ribonucleico (ARN) total de las larvas a las 120 hpf, esto mediante el método del TRIZol; posteriormente, las secuencias de interés fueron amplificadas en el Laboratorio de Receptores Nucleares y Neurobiología de la UNAM, Campus Juriquilla. Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) de una vía acoplado a una prueba post-hoc de Tukey, esto para determinar diferencias entre tratamientos y controles a través del programa GraphPad Prism 7.

Resultados

Evaluación de la locomoción

Al emplear el sistema de imagen blanco y negro se encontró que la mayoría de las larvas tratadas realizan el primer desplazamiento hacia abajo; sin embargo, los siguientes movimientos de desplazamiento ya no son comparables con los controles (ver Figura 3).

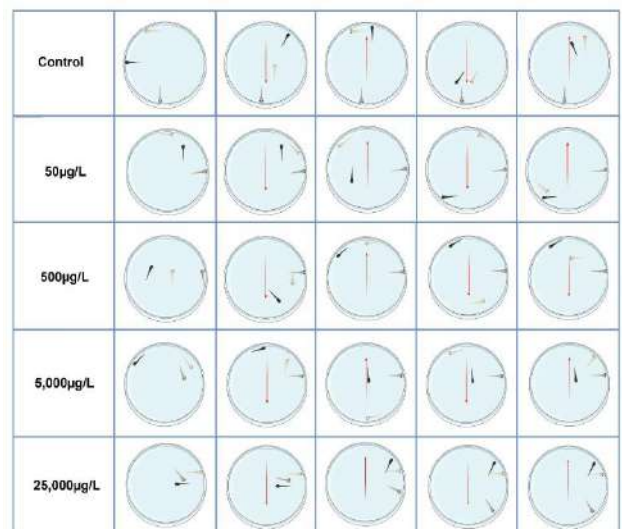


Figura 3. Evaluación de la locomoción mediante el sistema a blanco y negro. Se muestran las ilustraciones del desplazamiento hacia abajo y hacia arriba de las larvas controles y tratadas con DEP (n=3). La primera columna muestra la posición de las larvas antes de la evaluación y después de su adaptación al nuevo ambiente de la imagen. La segunda y cuarta columna muestran el desplazamiento hacia abajo; mientras que la tercera y quinta columna muestran el desplazamiento hacia arriba. Fuente: elaboración propia.

En el sistema de respuesta a un estímulo de sensibilidad proporcionado por un agente externo, se midió la distancia recorrida, el tiempo de reacción de las larvas y el tiempo para recorrer una distancia proporcionada (0.20 cm) una vez que las larvas fueron expuestas al estímulo externo. Los datos del análisis de la distancia recorrida de las larvas no mostraron diferencias significativas entre

los grupos (ver Figura 4), sin embargo, el tiempo de reacción aumento en el grupo tratado con 25,000 µg/L DEP (**p<0.0004), es decir, las larvas con el tratamiento más agudo reaccionaron al estímulo externo de manera tardía en comparación con el control. En cuanto a la determinación de la velocidad (0.20 cm), las larvas tratadas con la dosis mayor de 25,000 µg/L DEP realizaron el recorrido con una menor velocidad (*p<0.0139).

Fibras de mielina con BGII

Las vainas de mielina de las larvas de pez cebra de 120 hpf fueron teñidas utilizando el colorante Black Gold II. Se realizó un análisis de imagen (Matlab, 2019) para determinar el porcentaje de intensidad teñida con BGII del área del tronco (ver Figura 5), el cual mostro una disminución de la intensidad de tinción en todos los tratamientos con DEP: 50 µg/L (*p<0.0196); 500 µg/L (**p<0.018); 5000 µg/L (**p<0.0009); 25 000 µg/L (**p<0.0013) (ver Figura 6).

Evaluación de la expresión de *SOX10*, *MBP*, *PLP* y *P0*

Finalmente se evaluó la expresión génica de *MBP*, *PLP*, *P0* y *SOX10* (ver Figura 7) en las larvas con y sin tratamiento a las 120 hpf (n=20). Los resultados muestran una disminución de la expresión de *MBP* en todos los tratamientos con DEP (**p<0.005); mientras que en la expresión de *P0*, *PLP*, y *SOX10* no mostró cambio

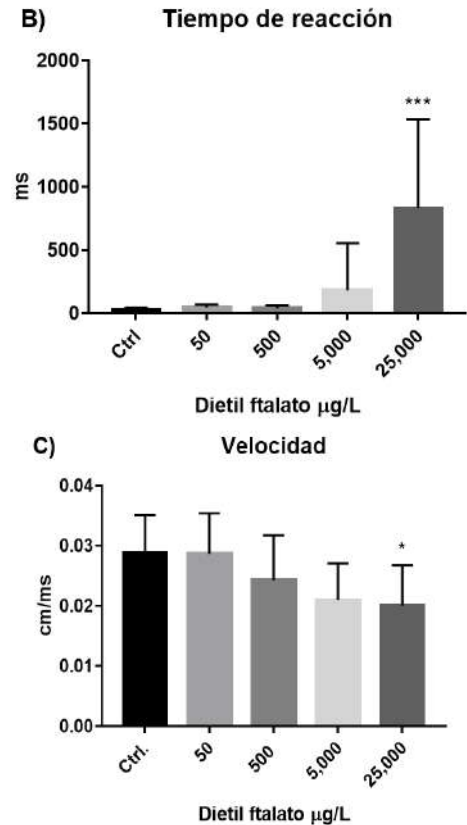


Figura 4. Evaluación de la locomoción mediante una respuesta evocada al tacto. Los gráficos muestran los diferentes parámetros evaluados en respuesta al estímulo externo (n=13). A. Distancia recorrida, B. Tiempo de reacción de las larvas al recibir el estímulo; C. Velocidad del movimiento (0.20 cm). Los datos fueron analizados con ANOVA de una vía (*p<0.0004). Fuente: elaboración propia

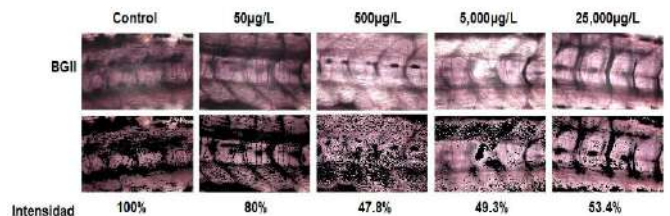
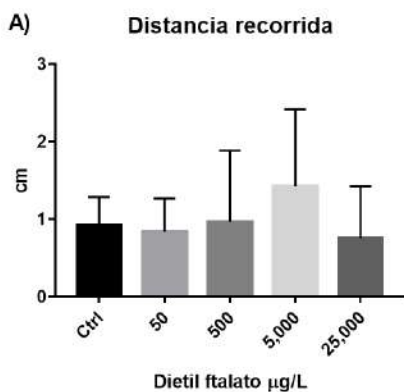


Figura 5. Porcentajes de intensidad de la mielina con BGII. Se muestran imágenes representativas del tronco de las larvas para cada tratamiento. La primera fila muestra los troncos teñidos con BGII, la segunda fila muestra los troncos con un enmascaramiento de la señal generada con el programa de Matlab. Se indica el porcentaje de intensidad de mielina para cada dosis. Fuente: elaboración propia.

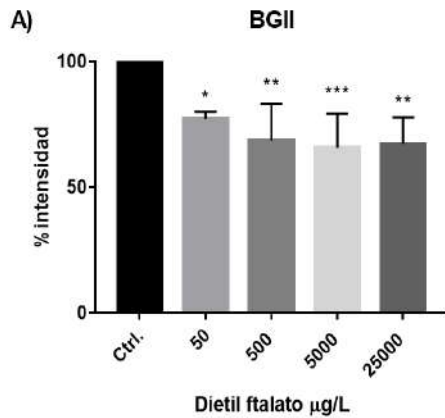


Figura 6. Intensidad de mielina teñida con BGII. Se muestran el porcentaje de intensidad de la tinción con BGII del tronco de las larvas control y tratadas con DEP (n=4). Los datos fueron analizados con ANOVA de una vía (*P<0.0196; **P<0.0018; ***P<0.0009; **P<0.0013). Fuente: elaboración propia.

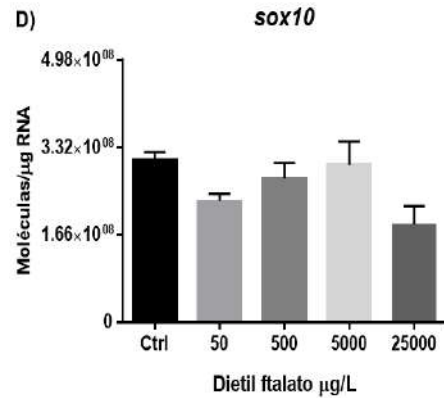
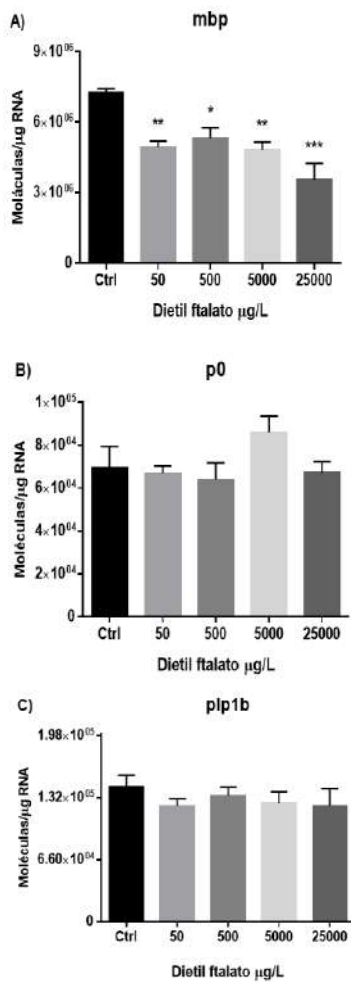


Figura 7. Expresión de *MBP*, *P0*, *PLPL*, *SOX1010* en peces con o sin tratamiento con DEP. Las gráficas muestran la expresión de A. *MBP*, B. *P0*, C. *PLP*; D. *SOX10*. Los datos fueron analizados con ANOVA de una vía (**p<0.005). Fuente: elaboración propia.

Discusión

En el presente estudio se analizaron los efectos del DEP sobre el proceso de mielinización en el SN del pez cebra. Los peces fueron tratados con distintas concentraciones de DEP durante su etapa embrionaria y se evaluó la locomoción del pez cebra mediante un análisis de blanco y negro y un análisis evocado a una respuesta. Además, se analizó la formación de mielina mediante tinción de BGII y la expresión de genes asociados a la mielinización.

El análisis de la locomoción de las larvas del pez cebra con el sistema a blanco y negro mostró una disminución en el desplazamiento en la mayoría de las larvas tratadas con las dosis más altas del DEP, quienes se limitaban a realizar un único movimiento de desplazamiento, así permanecían en el mismo lugar sin movimiento alguno posteriormente. De igual manera, los resultados del análisis de locomoción con el sistema de una respuesta evocada al tacto mostraron un aumento del tiempo de reacción y una disminución de la velocidad únicamente en las larvas tratadas con las dosis de 25,000 µg/L de DEP. Al respecto, existen estudios similares que muestran resultados contradictorios.



Por un lado, el estudio realizado por Tran y coautores (2021), quienes expusieron embriones de pez cebra a diferentes concentraciones de DEP (0.5, 5, 50, 500, 1000, 10,000 y 100,000 $\mu\text{g/L}$) desde las 4 hpf hasta las 120 hpf y evaluaron el movimiento de las larvas mediante pruebas de nado e interrupción del nado, no encontraron diferencias entre los grupos tratados con DEP y el grupo sin tratamiento. Nuestros resultados coinciden con los datos obtenidos de Tran y coautores al no encontrar alteraciones del movimiento del pez cebra en las dosis de 50 y 500 $\mu\text{g/L}$ de DEP.

En contraste Pu y coautores (2020) realizaron tratamientos con DEP en embriones de pez cebra a seis diferentes dosis (1500, 2000, 4000, 6000, 8000 y 10,000 $\mu\text{g/L}$) desde las 4 hpf hasta las 120 hpf y evaluaron el movimiento de los embriones a las 24 hpf. Ellos encontraron que el tratamiento con 8,000 $\mu\text{g/L}$ DEP disminuye el movimiento de las larvas mientras que la dosis máxima de 10,000 $\mu\text{g/L}$ indujo muerte temprana de las mismas. Los datos obtenidos, aunque no son comparables con nuestros resultados por el tiempo de medición de la locomoción y dosis de DEP empleadas, muestran efectos del DEP en la locomoción de los peces (Pu *et al.*, 2020). En conjunto, la evidencia sugiere que el DEP podría alterar la locomoción de los peces; sin embargo, es necesario realizar más estudios para evaluar su efecto en relación a la dosis y tiempo de exposición.

Para determinar el efecto del DEP en el proceso de mielinización, evaluamos las fibras de mielina de las larvas tratadas con DEP a 120 hpf mediante tinción con BGII. La tinción con BGII se ha empleado previamente para tinciones en áreas de médula espinal, tectum, telencéfalo en cortes de pez cebra (Larson *et al.*, 2010) y nuestro estudio analizó la tinción con BGII a su exposición con DEP en una larva completa (*whole-mount*) de acuerdo al

protocolo de Farias-Serratos y coautores (2021). Nuestros resultados mostraron una disminución de la tinción a partir de la dosis de 50 $\mu\text{g/L}$ de DEP, lo cual indica una disminución en la cantidad de mielina en el sistema nervioso periférico dada por la exposición al DEP durante la etapa embrionaria, lo que podría afectar negativamente a procesos de conducción nerviosa neuronal. En este sentido, en nuestro estudio observamos afectaciones funcionales en el movimiento de los peces tratados únicamente con la dosis más alta de DEP; por lo que convendría realizar más estudios para determinar si los cambios observados en el depósito de mielina podrían inducir alteraciones de otros procesos biológicos asociados a sistema nervioso.

Posteriormente, el análisis de la expresión de genes asociados a la mielinización en sistema nervioso central y periférico: *MBP*, *PLP*, *P0* y *SOX10* mostraron una disminución de la expresión de *MBP* en las larvas tratadas con DEP a las diferentes dosis (50, 500, 5000, 25,000 $\mu\text{g/L}$) y no se observaron cambios en *PLP*, *P0*, *SOX10*.

La disminución en la expresión de *MBP* podría producir una alteración en la formación de la estructura de la vaina de mielina, lo cual genera una estructura inestable y funcional de la misma (Naffaa *et al.*, 2021). Nuestros resultados difieren de aquellos obtenidos por Xu y coautores (2013), quienes determinaron la expresión de *MBP* en larvas tratadas con DEP a tres concentraciones (5, 50, 500 $\mu\text{g/L}$) a 96 hpf y encontraron que en la dosis máxima de 500 $\mu\text{g/L}$, el DEP indujo un aumento de la expresión de *MBP*. Esta discrepancia de los datos podría ser porque los primeros expusieron a los embriones por solo 96 h, mientras que nosotros los llevamos hasta los 120 hpf. Además, Xu y coautores reemplazaron las soluciones con el DEP cada 12 h, mientras que en nuestro protocolo se realizó cada 24 h. A la fecha, no existe evidencia

sobre los mecanismos que subyacen el efecto del DEP en la expresión de *MBP*; sin embargo, en estudios realizados con otro tipo de disruptores como el BPA encontraron una disminución de la expresión de *MBP* a nivel SNC, la cual se asoció con una reducción de la actividad de exploración en ratones tratados con 50 mg/kg de BPA durante 15 días (Luo *et al.*, 2017). Esta alteración de la expresión podría estar dada en parte por la interferencia de la señalización en parte de hormonas tiroideas, al disminuir la expresión de una de las isoformas de su receptor (TR β 1) produciendo una disminución de la proliferación, maduración y supervivencia celular (Tandon, *et al.* 2020). Del mismo modo, se encontró que esta exposición al BPA causa inhibición de la vía del desarrollo Notch, la cual es esencial para la formación de OL (Tandon *et al.*, 2020). Lo anterior realza la relevancia de estudiar los mecanismos de acción moleculares involucrados en los efectos del DEP a nivel de la regulación génica en el sistema nervioso.

Conclusiones

Nuestro estudio es la primera investigación que evalúa el efecto del DEP sobre la formación de mielina y su actividad motora en pez cebra. Nuestro trabajo aprovechó las ventajas que tiene la tinción de BGII en larvas al brindar una visión más completa de éstas y no únicamente en cortes como se había realizado anteriormente. Además, se puede visualizar la fibra de mielina de manera más completa. Nuestros hallazgos dan pauta a estudios posteriores para investigar los mecanismos que subyacen a los efectos del DEP sobre el proceso de mielinización en etapas embrionarias y adultas.

Entre las limitaciones de nuestro estudio se encuentran evaluar el efecto de la exposición a DEP en etapas adultas del pez y a exposiciones por un

tiempo mayor a las 120 hpf, así como determinar los niveles de DEP durante el experimento. Sería interesante analizar el efecto sobre la exposición a DEP sobre la mielinización en etapas adultas y explorar los mecanismos moleculares implicados, esto debido a que el DEP podría estar afectando de manera diferente al sistema nervioso, en cuanto al tipo de células, vías de señalización, etc. y de tal manera posiblemente se encuentre un efecto diferente al encontrado en este trabajo; así como comparar los resultados de la tinción de mielina de BGII contra otra tinción, por ejemplo, el luxol fast blue y dar un seguimiento de la locomoción a las 48, 72 y 96 hpf para poder realizar una comparación con el cambio de exposición al DEP.

El tratamiento con DEP repercute en la locomoción de larvas de pez cebra con la concentración máxima del disruptor (25,000 μ g/L) y disminuye la formación de mielina y la expresión de *MBP* en larvas de pez cebra tratados con todas las dosis del disruptor.

Referencias

- Ackerman, S. D., & Monk, K. R. (2016). The Scales and Tales of Myelination: Using zebrafish and mouse to study myelinating glia. *Brain Research*, 1641, 79-91. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.10.011>
- Baumann, N., & Pham-Dinh, D. (2001). Biology of oligodendrocyte and myelin in the mammalian central nervous system. *Physiological Reviews*, 81(2), 871-927. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.871>
- Chen, L., Huang, C., Hu, C., Yu, K., Yang, L., & Zhou, B. (2012). Acute exposure to DE-71: Effects on locomotor behavior and developmental neurotoxicity in zebrafish larvae. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(10), 2338-2344. <https://doi.org/10.1002/etc.1958>
- Creton, R. (2009). Automated analysis of behavior in zebrafish larvae. *Behavioural Brain Research*, 203(1), 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.04.030>

- Engel, S. M., Miodovnik, A., Canfield, R. L., Zhu, C., Silva, M. J., Calafat, A. M., & Wolff, M. S. (2010). Prenatal phthalate exposure is associated with childhood behavior and executive functioning. *Environmental Health Perspectives*, 118(4), 565-571. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901470>
- García Fabila, M. M., Amaya Chávez, A., Bustamante Montes, P., Reyes García, A., & Sánchez Meza, J. C. (2018). Ftalatos en alimentos de la canasta básica mexicana. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*.
- Genuis, S. J., Beesoon, S., Lobo, R., & Birkholz, D. (2012). Human Elimination of phthalate Compounds: blood, urine, and Sweat (BUS) study. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-10. <https://doi.org/10.1100/2012/615068>
- Gore, A. C., Chappell, V. A., Fenton, S. E., Flaws, J. A., Nadal, A., Prins, G. S., Toppari, J., & Zoeller, R. T. (2015). EDC-2: The Endocrine Society's second scientific
- MBP Myelin Basic Protein [Homo sapiens (human)] - Gene - NCBI. (s. f.). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=4155>
- PLP1 Proteolipid Protein 1 [Homo sapiens (human)] - Gene - NCBI. (s. f.). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene?Db=gene&Cmd=DetailsSearch&Term=5354>
- SOX10 SRY-Box Transcription Factor 10 [Danio Rerio (Zebrafish)] - Gene - NCBI. (s. f.). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/140616>
- Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals. *Endocrine Reviews*, 36(6), E1-E150. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1010>

La paradoja como generador de discusiones críticas en primaria

María Fernanda Jiménez Torres, Luisa Josefina Alarcón Neve, Karina Paola García Mejía Universidad Autónoma de Querétaro
Correspondencia: mjimenez101@alumnos.uaq.mx , lalarcon@uaq.edu.mx , karina.paola.garcia@uaq.edu.mx

Resumen

En esta investigación exploratoria, se indagó qué elementos de una discusión crítica se generan al usar una paradoja entre niñas y niños de sexto grado de primaria. Para ello, se partió de la teoría de la argumentación pragmatológica en la cual se caracteriza una discusión crítica. Así, se estructuró una discusión que partió de la presentación de una paradoja por medio de un video animado, en la cual se exponía un tema de interés: los animales de crianza doméstica para el consumo. Igualmente, se realizó una entrevista individual antes y después de la discusión entre niñas y niños, para reconocer el impacto que tuvo participar en una discusión crítica.

En esa medida, se identificó que las niñas y los niños usan los actos de habla característicos de una discusión crítica. Sin embargo, se señala que el acto de habla directivo/declarativo es usado con poca frecuencia. Adicionalmente, se reconoce que hay un movimiento dialéctico que permite tejer colectivamente una nueva postura frente a la paradoja, como lo fue en este caso con la construcción de una postura concesiva. Además, se observó que, tras participar en una discusión crítica, las niñas y los niños retoman los argumentos construidos colectivamente para defender sus puntos de vista. En consecuencia, se reconoce la importancia de la paradoja para suscitar una oposición inicial que permita que surja una discusión crítica. Asimismo, con estos resultados, se espera suscitar nuevas reflexiones para generar estrategias que promuevan esta propuesta de una argumentación dialógica.

Palabras clave: Pragmatológica, discusión crítica, paradoja, argumentación oral, escuela primaria.

Abstract

In this exploratory research, it was investigated what elements of a critical discussion are generated when using a paradox between girls and boys in the sixth grade of primary school. To achieve this, we based our investigation on the theory of Pragmatology in which a critical discussion is characterized. Thus, we organized a discussion that began with the presentation of a paradox through an animated video, in which the topic of interest was presented: animals raised domestically for consumption. Likewise, an individual interview was conducted before and after the discussion to assess the impact of participating in a critical discussion.

To this extent, it was identified that girls and boys use the characteristic speech acts of a critical discussion. However, it is noted that the directive/declarative speech act of use is only used rarely. Additionally, it is observed that there is a dialectical movement that allows collectively building a new stance in relation to the paradox, as it was in this case with the development of a concessive stance. In addition, it was noted that after participating in a critical discussion, the girls and boys use the arguments built collectively to defend their points of view. Consequently, we can assert the importance of the paradox to provoke a starting opposite stance that allows a critical discussion to arise. Likewise, with these results it is expected to promote new reflections that help generate strategies to promote this kind of dialogical argumentation.

Keywords: Pragmatological theory, critical discussion, paradox, oral argument, primary school.

Introducción

En México, existe una necesidad de fomentar una actitud crítica y reflexiva en las y los estudiantes (SEP, 2017). En esa medida, entendemos la argumentación como una herramienta indispensable para construir seres críticos y reflexivos. Por tal razón, es importante indagar sobre la argumentación oral en primaria, ya que esta es la base de la que se escribe y permite consolidar las bases para mejorar las habilidades argumentativas a futuro (Santos, 2012; Kuhn y Crowell, 2011). Además, profundizar en estas investigaciones permite ampliar las estrategias didácticas que favorecen el aprendizaje de niñas y niños en este campo.

De acuerdo con la teoría pragmatialéctica (Van Eemeren & Grootendorst, 2011), la argumentación se entiende como un acto de habla¹ complejo, caracterizado por ser una actividad verbal, social y racional, en tanto que hace uso del lenguaje en un determinado contexto de interacción social y se apoya en consideraciones intelectuales. Igualmente, se afirma que este acto de habla complejo consta de una o varias expresiones que implican una toma de posición dirigida a refutar o justificar un determinado punto de vista.

Así, esta teoría permite construir una concepción de la argumentación amplia. Dicha perspectiva facilita dimensionar el ejercicio argumentativo como un movimiento constante y bidireccional, en el cual ambas partes tienen intercambios críticos, racionales y contextualizados. De igual forma, dicho carácter dialéctico implica un movimiento en las posiciones tomadas inicialmente, ya sea porque el antagonista se convenza o porque el protagonista reformule sus proposiciones presentadas inicialmente para defender su punto de vista. Todo ello dentro del modelo de discusión crítica planteado por la pragmatialéctica, que propone una perspectiva dialógica de la argumentación.

Este modelo de una discusión crítica implica intercambiar y analizar los diferentes argumentos

expuestos respecto a una diferencia de opinión por medio de un diálogo organizado y, así, identificar la solidez del argumento frente a las objeciones que se puedan presentar (Van Eemeren & Grootendorst, 2011). De este modo, la discusión crítica implica a grandes rasgos un carácter dialéctico, es decir, un movimiento en el cual los sujetos intercambian puntos de vista y un carácter pragmático en tanto que hacen uso de los actos de habla desde un contexto específico.

En relación con este modelo de discusión crítica, Van Eemeren y Grootendorst (2011) proponen unas etapas argumentativas en relación con los actos de habla. La primera etapa es la confrontación en tanto que hay desacuerdo o duda respecto a un punto de vista. Luego, aparece la etapa de apertura en la cual se crean las bases o compromisos entre las partes para la consecución del intercambio argumentativo. Posteriormente, surge la etapa de argumentación en la cual se genera el intercambio argumentativo. Finalmente, la etapa de clausura presenta una resolución sobre la diferencia de opinión inicial. Dichas etapas argumentativas y actos de habla se distribuyen según se observa en la Tabla 1:

Tabla 1

Distribución de los actos de habla en una discusión crítica

Etapas argumentativas	Actos de habla
I. Confrontación	<u>Asertivo</u> : Expresar un punto de vista
	<u>Compromisorio</u> : Aceptar o no aceptar un punto de vista, mantener la no aceptación de un punto de vista
	<u>Directivo</u> : Solicitar un declarativo de uso
II. Apertura	<u>Directivo de uso</u> : Definición, especificación, amplificación, etc.
	<u>Directivo</u> : Desafiar a defender un punto de vista
	<u>Compromisorio</u> : Aceptar el desafío de defender un punto de vista. Concordar con las premisas y las reglas de la discusión. Decidir comenzar una discusión
	<u>Directivo</u> : Solicitar un declarativo de uso

¹ Los autores parten de la propuesta de los actos de habla de Searle (1969, 1979).

	<u>Declarativo de uso:</u> Definición, especificación, ampliación, etc.
III. Argumentación	<u>Directivo:</u> Solicitar argumentación
	<u>Asertivo:</u> Presentar argumentación
	<u>Compromisorio:</u> Aceptar o no aceptar la argumentación
	<u>Directivo:</u> Solicitar un declarativo de uso
	<u>Declarativo de uso:</u> Definición, especificación, ampliación, etc.
IV. Clausura	<u>Compromisorio:</u> Aceptar o no aceptar un punto de vista
	<u>Asertivo:</u> Mantener o retractarse de un punto de vista. Establecer el resultado de la discusión
	<u>Directivo:</u> Solicitar un declarativo de uso
	<u>Declarativo de uso:</u> Definición, especificación, ampliación, etc.

Nota. Basada en la propuesta de distribución de los actos de habla en una discusión crítica de Van Eemeren y Grootendorst (2011).

Dentro de esta teoría, Van Eemeren y Grootendorst (2011) consideran que la vida cotidiana es una fuente de desafíos epistemológicos, morales y prácticos, lo cual se convierte en una oportunidad para generar una teorización de la argumentación a partir de la práctica de la misma. Así, la paradoja puede ser situada en el nivel práctico de la pragmatialéctica, en tanto que implica una práctica argumentativa motivada por una situación desafiante para unos interlocutores específicos.

En ese sentido, para Sopeña y Olivares (2002), la paradoja, entendida desde la retórica, va más allá de una figura de estilo, ya que se trata de una “figura macroestructural” y no de una “microestructural”. Así, la paradoja es definida como macro-figura en tanto que implica la confrontación de dos términos opuestos semánticamente con la finalidad de abrir una nueva concepción del mundo, según afirman las autoras anteriormente mencionadas. Por consiguiente, la perspectiva pragmática y dialéctica crea un vínculo entre la teoría argumentativa aquí expuesta y la configuración de la paradoja como macro-figura. En tal medida, la paradoja se presenta como un elemento potenciador de una discusión crítica que puede ser evaluada bajo los criterios de la Pragmatialéctica.

Bajo este orden de ideas, la presente investigación se enfocó en indagar qué elementos de una discusión crítica se pueden presentar al usar una paradoja en una discusión entre niñas y niños que están finalizando la primaria en una escuela rural en el Estado de Querétaro. Para dicho análisis, se retomaron las características de una discusión crítica mencionadas anteriormente. Además, se construyó una paradoja que parte del contexto y la vida cotidiana de las niñas y niños de la comunidad.

Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cualitativo y un alcance exploratorio. No se han presentado estudios preliminares sobre el alcance de la paradoja en relación a una discusión crítica en el desarrollo argumentativo de niñas y niños en primaria. Este alcance exploratorio permite obtener información que posibilite abrir nuevas rutas de trabajo en futuras investigaciones. Bajo el enfoque cualitativo, se profundiza en la indagación exploratoria a través de herramientas que facilitaron un análisis holístico y hermenéutico de los datos recolectados.

Se trabajó con un grupo de cinco niñas y cinco niños, cuyas edades oscilaban entre los 11 a 13 años y estaban cursando sexto grado de primaria en la Escuela Rural Matutina Ignacio Zaragoza ubicada en la comunidad El Organal del Municipio de San Juan del Río, Querétaro. Dado que en ese grado había un total de 30 estudiantes, se le pidió a la maestra del grupo que identificara diez estudiantes (5 niñas, 5 niños) que se encontraran en un punto medio entre quienes nunca participan y quienes siempre toman totalmente la palabra en los debates.

Para la obtención de datos se diseñó una entrevista semiestructurada, un video animado y un guion de debate. Para la entrevista, se formuló una pregunta relacionada con el tema de la paradoja y que, a su vez, correspondiera a la tensión que implica la misma. Esta pregunta se aplicó antes y después del debate, y fue la siguiente: si las personas cuidan, juegan y quieren a los animales de sus casas, pero después los preparan para comerlos en las festividades, ¿son amigos o no de esos animales?, ¿por qué?

De acuerdo con las características e intereses de la comunidad a la que pertenece la población participante en esta investigación, se diseñó un video animado. La finalidad de usar este recurso audiovisual fue introducir la paradoja a partir de la narración de una historia que se discutió a lo largo de la sesión. La historia narrada audiovisualmente, corresponde a la paradoja titulada "Animales de Crianza Doméstica para el Consumo". Esta presentó la relación de una pareja de hermanos pequeños con los animales que cuidaban, alimentaban y con los que jugaban en su casa: borregos, gatos, perros y gallinas. La situación que detona la paradoja parte de esa relación y del hecho de comer a una de sus gallinas en el cumpleaños de uno de los hermanos.

Después de visualizar el video, la paradoja es retomada desde el guion preestablecido para el debate. La estructura del debate consistió en establecer unas preguntas orientadoras de acuerdo con cada una de las cuatro fases argumentativas (confrontación, apertura, argumentación, cierre) propuestas por la pragmadialéctica, tal como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2

Estructura de la discusión crítica realizada

Etapa argumentativa	Preguntas formuladas
Confrontación y apertura	¿Son los hermanos Juan y Sofía amigos de la gallina Lili, aunque sea la cena en el cumpleaños de Juan? ¿Por qué?
Argumentación	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Juan y Sofía se divertían jugando con las gallinas, borregos, gatos y perros? • ¿Juan y Sofía consideraban como amigos a todos los animales con los que jugaban (borregos, gallinas, perros, gatos)? • Si consideraban como amigos a las gallinas y borregos ¿Por qué cenaron a la gallina Lili en su cumpleaños?, ¿Querían a la gallina como amiga o no?
Cierre	Entonces, ¿Son los hermanos Juan y Sofía amigos de la gallina Lili, aunque sea la cena en el cumpleaños de Juan? ¿Por qué?

Nota. Preguntas formuladas en relación a cada una de las etapas argumentativas de una discusión crítica.

Toda la sesión realizada fue audio-grabada y posteriormente transcrita. Para poder analizar los datos obtenidos, se organizó la información de acuerdo con cada fase argumentativa y pregunta que orientó la discusión. De esta forma, se procedió a clasificar las respuestas en argumentos a favor, en contra y concesivos. Adicionalmente, se identificó el tipo de acto de habla usado en cada uno de esos argumentos, según los postulados de la pragmadialéctica. Igualmente, las entrevistas fueron agrupadas según las respuestas obtenidas por los participantes: a favor, en contra o concesivo. También, se analizó la transformación cualitativa de los argumentos que usó cada participante de forma individual, para saber si se retomaron los que construyeron colectivamente en la discusión crítica.

Resultados

Tras presentar la paradoja por medio del video y de la pregunta inicial del debate, se presentan dos posturas a favor y ocho en contra las que marcan la fase de confrontación y las razones de cada participante dan pauta para la fase de apertura en la discusión.

En este punto, se pueden identificar los actos de habla asertivo y compromisorio. El primer acto de habla corresponde a la manifestación de argumentos que sustentan el punto de vista a favor o en contra. De acuerdo con Van Eemeren y Grootendorst (2011), el acto compromisorio puede tener diferentes roles dentro de una discusión, en donde el acto de habla compromisorio se identifica al tomar una postura a favor o en contra ante la paradoja. Por ejemplo, manifiestan los participantes:

Participante 4: No, porque lo están matando (...) Un amigo no te mata, un amigo no te traiciona.

Participante 1: Sí, la iban a matar, pero se divierten.

Adicionalmente, cabe mencionar que los actos de habla directivo y declarativo de uso son realizados por

la investigadora. En esta primera parte de la discusión estos actos de habla son expresados en forma de preguntas que solicitan alguna ampliación o definición sobre las posturas de las y los participantes.

En el inicio de la fase argumentativa de la discusión, ante la primera pregunta hubo acuerdo general de que se divertían con la gallina. Sin embargo, no manifestaron algún otro argumento reconociendo el conflicto entre divertirse y ser amigos. Por tal razón, se presentó la siguiente pregunta preestablecida para motivar más la reflexión ante dicho conflicto. En esta pregunta se hizo énfasis en si consideraban a todos los animales como amigos por igual. En consecuencia, se empezó a abrir una postura concesiva, la cual permitió construir un punto medio entre las dos posibilidades discutidas hasta el momento.

En cuanto a los actos de habla, se presentó el uso del acto de habla asertivo cuando las y los participantes presentaron argumentación a favor, en contra y para justificar una postura concesiva. Igualmente, se manifestó el acto de habla compromisorio cuando algunas y algunos aceptaron los argumentos presentados por otros participantes. Por ejemplo, se acepta la posibilidad de que los niños no tienen responsabilidad, porque fue decisión de sus padres cocinar a la gallina.

Participante 3: Que sí la querían antes, la alimentaban y la fueron alimentando y ya después ya cuando vieron que estaba creciendo y engordando, pues a lo mejor no quisieron comprar pollo y ya la cocinaron.

Se observa que el acto de habla directivo y declarativo de uso fue usado una sola vez por un integrante de la discusión. En este caso, se empleó el declarativo de uso al solicitar que se ampliara la información respecto a la posible edad que tenían. Lo anterior se destaca debido a que estaban discutiendo si la hermana y hermano del video eran responsables de la muerte de la gallina, pues ellos no podían cocinarla porque eran pequeños.

Participante 4: Sí, no creo que fueran pues que ellos pudieran cocinar, bueno sí, pero ¿cuántos años tenían?, ¿cómo 7 y 8?

Durante esta fase argumentativa, las primeras respuestas se fueron apoyando en uno de los argumentos que ya habían presentado anteriormente. Así, algunos manifestaron que, aunque se comieron a la gallina, no fue por decisión de los niños. Sin embargo, algunos estudiantes se posicionaron en contra al argumentar que ese era el destino que tenían y siempre iban a tener las gallinas. La mayoría de los estudiantes empezaron a inclinarse por argumentos concesivos frente a la situación paradójica. Estos argumentos sostenían como idea central que sí querían a la gallina hasta el momento que tuvieron que cenar al animal.

Participante 6: Yo digo que sí la querían, pero ya la mataron para que tuvieran comida en el cumpleaños.

Principalmente, los actos de habla usados fueron el asertivo y compromisorio. El primero, se evidencia con la formulación de argumentos para sostener un punto de vista. El segundo, se presenta ante la postura de no aceptar los argumentos concesivos de los demás compañeros y mantener un punto de vista en contra. Igualmente, la aceptación de argumentos propuestos con anterioridad para ampliar un punto de vista concesivo, es manifestación de este acto de habla compromisorio.

Para finalizar la discusión crítica, se presentó la misma pregunta que se usó al inicio de la discusión. En las respuestas expresadas solo se evidenció un argumento que expresó un punto de vista totalmente a favor de que eran amigos de la gallina. Igualmente, se empezaron a formular argumentos en contra, pero la mayoría usó argumentos concesivos para expresar su punto de vista.

Participante 6: Que sí eran amigos, porque antes jugaban con ella y hacían cosas con ella y la querían. (A favor).

Participante 4: Como estaba diciendo antes, no eran amigos porque no lo hubieran permitido y además lo estás traicionando. Si lo hubieran querido hubieran

dicho que no, pero y también al parecer ya no quieres a los animales; por ejemplo, los niños así ya no tenían tiempo y ellos crecieron, entonces no lo querían. (En contra).

Participante 2: Sí la querían, pero con el paso de los años empezaron a perder interés con ella. (Concesivo).

Respecto a los actos de habla usados, en esta fase aparece el compromisorio cuando aceptan un punto de vista concesivo y al retomar argumentos que se fueron tejiendo a lo largo de la discusión. Igualmente, este acto de habla aparece cuando algunos participantes no aceptan los argumentos concesivos y mantienen un punto de vista en contra o a favor. En el caso del acto de habla asertivo, este se encuentra cuando argumentan para mantenerse en un punto de vista en contra, a favor o para sostener su punto de vista concesivo. A partir de estos resultados, se puede afirmar que no hubo un acuerdo general, pero sí hubo dos tipos de acuerdo para establecer el resultado de la discusión. Por un lado, un grupo mayoritario estableció una posición concesiva como resultado y, por otro, un minoritario mantuvo su posición inicial en contra o a favor.

Dado que algunos insistían en que las niñas y niños tenían la posibilidad de intervenir ante la muerte de la gallina, se propuso una pregunta para profundizar en ese punto de vista. Si bien la participación fue muy concreta, el niño que al principio argumentó que “los hermanos” podían detener la muerte de la gallina, empezó a construir un argumento concesivo, que corresponde con su postura ante la pregunta de cierre previamente establecida.

Cabe señalar que los actos de habla usados corresponden al asertivo y compromisorio porque aceptan un punto de vista y luego se retractan de este a partir de la construcción de un argumento concesivo para cerrar. Además, se manifestó un acto de habla directivo/declarativo de uso cuando uno de las niñas y niños cuestiona la posibilidad de que “los hermanos” pudieran detener la muerte de la gallina, al preguntar qué pasa si los padres no quieren.

Participante 1: Yo creo que sí porque sí la querían, yo digo que la esconderían o se las quitaban a sus papás o lo impedirían.

Participante 3: Pero, ah, ¿si los papás no quieren?

Participante 1: No pues, pues por eso estoy diciendo en qué hubieran hecho los niños.

En consecuencia, se puede decir que en esta discusión crítica entre niñas y niños de primaria que surgió a partir de la paradoja, se evidencia un tejido entre fases argumentativas y actos de habla expuestos por los postulados de la pragmatialéctica. De acuerdo con lo descrito anteriormente se clasificaron los resultados obtenidos en la Tabla 3:

Tabla 3

Resultados discusión crítica

Etapas argumentativa/ Acto de habla	Confrontación y apertura	Argumentación	Cierre
Asertivo y compromisorio	Se manifestaron posturas opuestas	Construyeron un punto de vista concesivo con los argumentos expuestos a lo largo de la discusión	Un grupo asume el punto de vista concesivo o otro grupo un punto de vista en contra
Directivo/declarativo de uso	No se presentó por parte de las y los participantes	Se usó para solicitar ampliación de información	Se usó para solicitar por medio de una pregunta especificar un punto de vista

Nota. Resultados de los actos de habla usados por niñas y niños en relación a cada etapa argumentativa.

Es importante mencionar que en las dos primeras fases, la mayoría de niñas y niños asumen una postura en contra de la posibilidad de ser amigos de la gallina. En cambio, al finalizar el debate, el giro consta de que la mayoría asume un punto de vista concesivo y otro minoritario en contra o a favor. Esta transformación es posible por el movimiento dialéctico en el desarrollo de la discusión, ya que con los argumentos expresados colectivamente se fue construyendo un punto de vista nuevo y concesivo, el cual implicaba aceptar la amistad de los niños con la gallina hasta cierto punto.

Resultados. ¿Qué impacto tuvo participar en una discusión crítica?

En relación con los resultados de las entrevistas que se aplicaron antes y después del debate, se observó que hubo un cambio en el punto de vista de las niñas y niños tras participar en una discusión crítica. Además, se logró identificar si los argumentos usados en la entrevista individual eran los mismos de la entrevista inicial, o si recuperaban elementos contruidos durante la discusión crítica.

En la entrevista inicial, se encontraron ocho puntos de vista en contra y dos a favor. En el caso de la entrevista final, los resultados fueron dos puntos de vista en contra: uno a favor y siete concesivos. En esa medida, se puede ver entre la entrevista inicial y final un cambio cuantitativo, pues disminuyó la posición a favor y en contra; mientras que aumentó el punto de vista concesivo, ya que la mayoría finalmente se posicionó en este último.

Por lo anterior, se identificó que hubo un cambio de opinión en la mayoría, lo cual coincide con el cierre de la discusión crítica. Asimismo, se retoman los argumentos contruidos durante la discusión crítica para defender el punto de vista que asumieron en la entrevista final. Adicionalmente, se refleja un incremento de los argumentos expresados, no solo por parte de quienes asumen una postura concesiva, sino también por quienes se quedan en un punto de vista en contra o a favor. Por ejemplo, en la entrevista inicial el participante 7 manifestó una postura en

contra argumentando que “a los animales se le cuida y no se hace eso, no se deben de comer” y en la entrevista final expresó que “a los amigos no se mata (...) y si hubieran sido amigos de los animales lo hubieran impedido”. En esta última parte, retomó un argumento que surgió de la discusión crítica al intentar identificar si los niños podían o no podían impedir la muerte de la gallina.

En el caso de quien manifestó al inicio y al final estar a favor, se puede identificar un cambio en sus argumentos. En la entrevista inicial el participante 6 afirmó que “puede ser que sí sean amigos porque conviven” y en la entrevista final expresó que “pues yo digo que sí son amigos porque al final mataron a la gallina por necesidad para que el niño tuviera comida en su fiesta”. En ambas respuestas, asume que los niños son amigos de la gallina, pero en la respuesta de la entrevista final retoma de la discusión crítica el argumento que expresaron grupalmente de que se mataba a la gallina por necesidad y no por falta de cariño o amistad hacia la gallina.

Se reconoce en las respuestas de la entrevista final que se apoyaron en los argumentos concesivos de la discusión crítica. Un ejemplo se encuentra en las respuestas del participante 8, quien afirma en la entrevista inicial que “no son amigos porque se la comen” y en la entrevista final dice “sí son amigos en ese momento, pero ya después cuando los comen ya no porque un amigo no se traiciona”. En este caso, se evidencia un cambio de postura en contra a un punto de vista concesivo. Además, para justificar su punto de vista final se apoya en los argumentos de la discusión crítica, pues retoma la idea de que eran amigos hasta que se genera una traición que rompería con la posible amistad que tenían los niños con la gallina hasta ese momento.

En consecuencia, se puede afirmar que tras participar en una discusión crítica las niñas y los niños pueden reconsiderar sus puntos de vista iniciales, ya sea para cambiarla o para acoplar argumentos más sólidos para su defensa. En tal medida, esta investigación evidencia la importancia de considerar posturas dialógicas al igual que la pragmadialéctica, para promover situaciones interactivas que desarrollen las

habilidades argumentativas a nivel oral desde temprana edad.

Conclusiones

A partir de los análisis realizados, se han formulado cuatro conclusiones puntuales en esta investigación. La primera consiste en la importancia que tiene evidenciar una oposición inicial entre las y los participantes para que surja una discusión crítica. Esta necesidad de oposición es esencial para el intercambio dialéctico de argumentos, de acuerdo con la teoría pragmadialéctica. Así, la paradoja al estar caracterizada por una contradicción, permite plantear un desafío que promueva esta oposición inicial entre las y los integrantes de una discusión crítica.

En segundo lugar, se puede afirmar que la confrontación inicial genera un movimiento entre los argumentos expuestos en la discusión crítica. De esta forma, los puntos de vista iniciales no son estáticos, aun cuando al final se mantenga el mismo punto de vista. Dicha aseveración es posible ya que se evidenció en los resultados de la discusión crítica y el análisis de las entrevistas: quienes mantuvieron su punto de vista inicial, retomaron argumentos que se construyeron colectivamente y que les permitieron defender con mayor amplitud su posición original.

En tercer lugar, los actos de habla que se usan con frecuencia en una discusión crítica entre niñas y niños de primaria son los asertivos y compromisorios. En el caso de los actos asertivos, se usan para expresar el punto de vista inicial, presentar argumentación y mantener o retractarse de su punto de vista. Por su parte, el uso de los actos de habla compromisorios se identifica cuando las y los participantes sí o no aceptan el punto de vista y la argumentación presentada por las otras partes. En cambio, el acto de habla directivo/declarativo de uso es poco frecuente, ya que requiere que las y los participantes soliciten aclaraciones o especificaciones a las otras partes involucradas en la discusión. Esta dificultad con este último acto de habla se puede relacionar con el hecho de que las y los estudiantes suelen entender la argumentación como una exposición armónica y sin oposiciones, según mencionan Kuhn y Crowell

(2011). Sin embargo, la poca frecuencia del uso de este acto de habla, según se reporta aquí, debe suscitar una reflexión a futuro para generar estrategias que promuevan su apropiación y uso en los espacios de discusiones críticas en el aula.

Finalmente, se observó que es posible encontrar una salida interpretativa a una paradoja dentro de una discusión crítica; pues, este tipo de discusión implica un movimiento dialéctico y la confrontación de puntos de vista, que conlleven a una resolución. En este caso, se evidenció que las y los participantes se posicionaron en un punto de vista concesivo o mantuvieron su punto de vista inicial gracias a las reflexiones que los llevaron al convencimiento de las mismas.

Cabe mencionar que el análisis de esta discusión crítica permite trazar nuevas rutas de reflexión para futuras investigaciones en el área de la didáctica de la lengua, especialmente en el campo de la argumentación. Por ello, será importante seguir reflexionando sobre cómo promover una práctica argumentativa dialógica dentro del aula, a partir de la teoría de la Pragmadialéctica.

Referencias

- García Mejía, K. (2019). *Desarrollo de estrategias argumentativas en el nivel Medio Superior a través de un programa de intervención* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Querétaro]. Repositorio institucional DGBSDI-UAQ <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1853>
- García Mejía, K. P., & Alarcón Neve, L. J. (2018). El problema de la enseñanza de la argumentación en la escuela mexicana. *Pensamiento Educativo*, 55(2), 1-18. <https://doi.org/10.7764/PEL.55.2.2018.10>
- Hess Zimmermann, K. (2011). El papel que juega la cultura escrita en la reflexión metalingüística: reflexiones de adolescentes de dos entornos diferentes. En K. Hess, G. Calderón, S. Vernon y M. Alvarado (Coord.), *Desarrollo lingüístico y cultura escrita* (pp. 191-210). Miguel Ángel Porrúa.
- Kuhn, D., & Crowell, A. (2011). Dialogic argumentation as a vehicle for developing young adolescents' thinking. *Psychological Science*, 22(4), 545-552. <https://doi.org/10.1177/0956797611402512>
- Navarro, P. (2015) La paradoja en el discurso. Paradoja y discurso didáctico: la explicación del pensamiento saussureano a partir de las nuevas lecturas de su obra. *Tópicos del Seminario* 34, 13-28.

- Padilla, C. (2020) Enseñar y aprender a argumentar a lo largo de la escolaridad: desafíos actitudinales, epistémicos, colaborativos y situados. *Revista Iberoamericana de Argumentación*, (20), 7-29. <http://doi.org/10.15366/ria2020.20.001>
- Peña, L & Ausín, T. (2011). *Compendio de lógica, argumentación y retórica*. Paradoja. Trotta.
- Rodríguez Hernández, B. A., Jorge Enrique, V. U., & Barrera Retana, A. (2017). Análisis microgenético de las producciones textuales de alumnos de primaria y telesecundaria. *Perfiles Educativos*, XXXIX (156), 37–57.
- Rodríguez Hernández, B. A., & Martínez Serna, C. N. (2018). Análisis del uso de conectores discursivos en la argumentación escrita de alumnos de primaria. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 6(18), 93–107. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.18.65583>
- Rodríguez León, D. M., & Valencia Leguizamón, L. M. (2013). Análisis pragma-dialéctico en la argumentación oral formal de estudiantes universitarios. *Sophia*, 9, 180–195.
- Rodríguez Hernández, B. A., Martínez Serna, C. N., & Ruíz Reyna, N. S. (2020). Enseñar a argumentar en la escuela primaria: una secuencia didáctica basada en el género textual. *Aula de Encuentro*, 22(1), 163–193.
- Sánchez Ceballos, L. M. (2015). La enseñanza de la argumentación escrita desde la teoría de la pragmadialéctica y la lingüística textual. *Revista Reflexiones y Saberes*, 2(2), 21–31. <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaRyS/article/view/598/1134>
- Santos Velandia, N. P. (2012). La argumentación oral: propuesta en las aulas de primaria. *Infancias Imágenes*, 11(2), 8–15.
- Serrano, S. (2016). Paradox and argumentation. *Métode Science Studies Journal*, 6. <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/paradojas-y-argumentacion.html>
- Sopeña Balordi, E. & Olivares Pardo, A. (2001). *La paradoja lingüística. Aspectos semánticos pragmáticos*. Estudio de casos. Universidad de Lleida.
- Tomasini, A. (2002). Russell y Wittgenstein: sobre contradicciones y paradojas. *Theoría. Revista Del Colegio De Filosofía*, (13), 83-99. <https://doi.org/10.22201/ffyl.16656415p.2002.13.287>
- Van Eemeren, F., & Grootendorst, R. (2011). *Una teoría sistemática de la argumentación: la perspectiva pragmadialéctica* (Trad. C. López y A. Vicuña). Biblos (Trabajo original publicado en 2003).
- Vicuña, A. M., & Marinkovich, J. (2008). Un análisis de la discusión acerca de temas controversiales en Enseñanza Media desde la pragma-dialéctica. *Revista Signos*, 41(68), 439–457.

Elección del sistema de propulsión eléctrico de una aeronave remotamente pilotada (RPA)

Michelle Denisse Herrera Kuantay, Adriana Cházaro Zaharias

Universidad Aeronáutica en Querétaro 5358@soyunaq.mx, adriana.chazaro@unaq.mx

Resumen

El siguiente documento tiene como objetivo desarrollar una metodología para elegir el motor eléctrico sin escobillas de corriente directa (BLDC) y la hélice en un sistema de propulsión eléctrico de una RPA de ala fija. Para llevarlo a cabo, se han tomado los datos de dos modelos utilizados para competencias de aeronaves de carga con sus respectivas restricciones; se evalúa la elección de su sistema final, sus estimaciones de modelos de empuje bajo diferentes métodos y los resultados que implican en el rendimiento final, sobre todo en la distancia de despegue en función de la masa del modelo. Al final, se busca sintetizar la información en una metodología que permita la elección de los componentes para el diseño de futuras aeronaves de una forma más sencilla y accesible.

Palabras clave: RPA, motor brushless, hélice, metodología, rendimiento, empuje, despegue.

Abstract

The following document aims to develop a methodology for selecting the brushless, direct current (BLDC) motor and propeller in an electric propulsion system for a fixed-wing RPA. To achieve it, the data from two different models that were used for cargo aircraft competitions with their regulations were used, and their final systems election was evaluated along with the thrust model estimations under different methods and the results on the final performance, especially the take-off distance according to the model's mass. In the end, the information will be summarized in a methodology that makes the components election for future aircraft easier and affordable.

Keywords: RPA, brushless motor, propeller, methodology, performance, thrust, take-off.

1. Introducción

El desarrollo de UAV (en español, vehículos aéreos no tripulados) ha adquirido una mayor importancia con el paso del tiempo gracias a su aplicación en distintos sectores. Dentro de esa agrupación, existe una categoría correspondiente a los modelos manipulados por radio control, conocidos como RPA o aeronaves remotamente pilotadas. Un factor importante para estos sistemas es el tipo de propulsión que utilizan, en donde la eléctrica es una de las más importantes para aeronaves cuyo peso máximo al despegue es inferior a los 22 kg, principalmente debido a su fácil acceso y comercialización.

Sin embargo, el campo de estudio de estos sistemas ha sido todavía poco explorado, ya que la compatibilidad entre las hélices y los motores eléctricos tiene menos historia que con los motores de combustión. Además, para hélices que no superan el metro de diámetro, los análisis convencionales pueden generar algunos problemas matemáticos y aerodinámicos que no se tenían contemplados. Algunos de estos problemas han sido captados por el equipo de desarrollo de RPA de la Universidad Aeronáutica en Querétaro, U-Fly Aerodesign, el cual compete en distintos eventos enfocados en la creación de aeronaves de carga con propulsión eléctrica, donde se busca llevar el modelo al límite en todos sus aspectos para cargar el mayor peso posible bajo las condiciones reglamentarias que se establecen en las competencias. En las figuras 1 y 2, se muestran dos de los aeromodelos diseñados y manufacturados por el equipo. Desde su creación en el año 2013, U-Fly Aerodesign ha competido en eventos nacionales e internacionales en los que han dado a conocer modelos innovadores para solucionar los problemas planteados. Parte de ese desarrollado a lo largo de los años, incluye el análisis de rendimiento y selección del sistema propulsivo.

Los procesos de elección de la hélice y el motor eléctrico han sufrido varios cambios a lo largo de los años con el propósito de encontrar una metodología que sea lo más certera posible a la realidad y que pueda responder a las necesidades del equipo. Lo anterior se puede observar en su facilidad de ejecución y rapidez, sin adquisición exagerada de

materiales o que permita los análisis de rendimiento posteriores. Entre los métodos más utilizados por el equipo hasta el momento, se encuentran los modelos teóricos, el modelo del fabricante de hélices, simulación en *software* especializado y pruebas estáticas en un banco de motores. No obstante, este año todavía se presentaron cambios en la elección tras la etapa conceptual del diseño, lo cual perjudica a las demás áreas involucradas, como la estructural.

La influencia del sistema de propulsión repercute principalmente en el despegue de la aeronave además de en el vuelo crucero y aterrizaje. Al diseñar una aeronave, se lleva a cabo un análisis de rendimiento y uno de los parámetros de diseño más importantes es la distancia de despegue, especialmente en una de carga, ya que ésta es la que se encarga de limitar la



Figura 1. Primera versión de X'kau. Elaboración propia.

cantidad de peso adicional con la que se puede viajar. Mientras mayor empuje pueda tener el sistema de propulsión, mayor peso puede llevarse; aunque esto no debe ser lo único a considerarse, tomando en cuenta que algunos sistemas podrían requerir de mayores o menores velocidades en el vuelo, mayor consumo de potencia o componentes más costosos que dificultan la viabilidad de la decisión.



Figura 3. Versión final de Zotz. Fuente: Elaboración propia.

Debido a estos problemas que han complicado el diseño de la aeronave desde la perspectiva del área de propulsión y rendimiento, se ha propuesto este trabajo de investigación, cuyo objetivo es el desarrollo de una metodología de elección de motor eléctrico y hélice en conjunto de acuerdo con los requerimientos de una RPA de ala fija, mediante el análisis del comportamiento de ambos componentes y sus repercusiones en el rendimiento en vuelo. Para esto, se han estudiado las variables que se consideran en el momento de la elección del motor, como el KV, el voltaje y corriente permitidos; para la hélice, el material, diámetro, paso y modelo de empuje. Este documento cubre los resultados obtenidos de simulación y los que se utilizaron previamente para poder estimar la elección de los sistemas de propulsión en sus respectivas etapas de diseño.

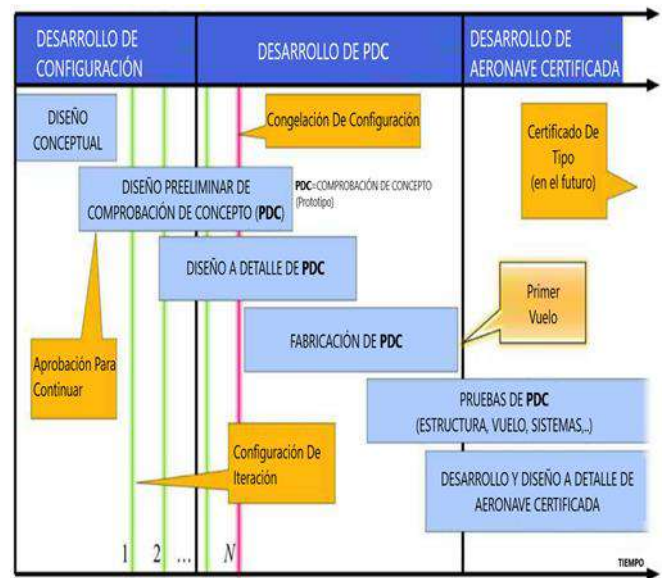


Figura 2. Metodología de diseño general del autor Snorri Gudmundsson.

2. Metodología

Para llevar a cabo el siguiente proyecto, se tomó en cuenta el trabajo previamente desarrollado en el equipo U-Fly Aerodesign y los procesos anteriores para crear la base de este trabajo. Después de esto, se realizaron estudios sobre la hélice y el motor seleccionados y la distancia de despegue, así como de otros casos que pudieran ser útiles para comprender el producto generado. A partir de eso, se hace una estimación de los procesos que se pueden seguir para la creación de una metodología de diseño. De manera inicial, el equipo toma como referencia el procedimiento de Snorri Gudmundsson (2022) para aeronaves de aviación general (Figura 3), pero de forma detallada algunos pasos se han adaptado a las necesidades de la magnitud de sus proyectos.

Los primeros resultados se obtuvieron de los análisis realizados para el desarrollo de dos RPA de ala fija de competencia en el año presente: la primera, X'kau, para SAE Aerodesign México 2022; la segunda, Zotz, para Air Cargo Challenge Múnich 2022. Ambos modelos son bastante diferentes y permitieron evaluar los comportamientos de los sistemas propulsivos ante estos dos casos.

Los modelos anteriores tuvieron resultados aproximados (ver Tabla 1), los cuales cambiaron en distintos aspectos gracias a las condiciones ambientales del vuelo, la carga utilizada; de igual manera, los componentes eléctricos que acompañaron al sistema de propulsión, como el controlador electrónico de velocidad (ESC por sus siglas en inglés) o la batería de polímero de litio o LiPo. Además, es importante destacar que ambas competencias establecieron límites diferentes en la elección de la propulsión; solo que el evento en México no especificó una marca o modelo específicos, sino que se cumplieran con las reglas establecidas. Por otro lado, la competencia europea fijó el motor AXI 2826/10 V2 Goldline para todos los participantes, y se dio a elegir la hélice entre el modelo de 10x6in eléctrico de la marca APC o la marca Aeronaut CamCarbon; por la complejidad de la obtención de la segunda, se utilizó la primera opción.

En resumen, los procesos tuvieron que ser diferentes para ambos casos: en el primero, fue abierto para satisfacer los requerimientos de la aeronave conceptual; el segundo, para crear el diseño en torno a esta restricción. Para poder comprender más las decisiones tomadas en su momento y los análisis presentes, se hablará primero sobre las características a considerar en la elección.

Aeronave	X'kau	Zotz
Envergadura	4m	2.14m
Motor	Hacker A50-16L	AXI 2826/10 V2 Goldline
Hélice	APC 20x10E	APC 10x6E
Potencia aprox.	1000W	250W
Empuje máx aprox.	4800g	1200-1400g
Peso máximo	22kg	5kg
Distancia de despegue máx	61m	40m
Altitud de diseño	1900m (Marqués, Qro)	520m (Múnich, Alemania)

Tabla 1. Datos de los modelos X'kau y Zotz. Fuente:Elaboración propia.

2.1.Motor BLDC

Los BLDC son motores eléctricos cuya principal ventaja es que no emplean escobillas para realizar la conmutación para la transferencia de energía; con esto, se evita el rozamiento, pérdidas de eficiencia y bajo rendimiento, pero requieren de un controlador adicional llamado ESC para poder funcionar. El motor más utilizado es el llamado *out-runner*, el cual tiene el estator en la parte interna y el rotor por fuera. Entre los elementos más importantes que se consideran de este tipo de motor para una RPA es su KV o la relación RPM (revoluciones por minuto) por Volt; esto es que mientras más bajo sea mayor torque tendrá el motor y viceversa. El motor Hacker A50-16L usado en X'kau tiene un KV de 265, mientras que el motor de Zotz tiene un valor de 920KV. Otros



Figura 4. Banco de pruebas de motores eléctricos. Fuente: Elaboración propia.

factores incluyen el número de polos y los valores que limitan la capacidad del motor como voltaje y corriente.

2.2. Hélices de paso fijo

Dentro de los parámetros de las hélices, aquellas que definen su tamaño, se considera el diámetro y el paso. Este último corresponde a la distancia que podría avanzar la hélice si se viera como la cuerda de una tuerca sobre un tornillo. Mientras mayor sea el diámetro o el paso, mayor empuje podrán generar, pero esto también requiere de mayor exigencia al sistema que lo propulsa. Adicionalmente, el material también juega un papel muy importante, sobre todo en la eficiencia de esta, ya que las hélices de plástico son más propensas a sufrir de desperfectos, desgastes y son más elásticas a altas velocidades; mientras que las hélices más eficientes son las de fibra de carbono, por lo que resultan ser mejores que las de madera por su ligero peso y su estructura; por ello, terminan siendo las más caras de todas.

Las propelas son las encargadas de producir el empuje o tracción a partir de la acción del motor sobre éstas. El comportamiento de esta variable se determina principalmente mediante un modelo de ecuación cuadrática descendiente, donde el empuje es dependiente de la velocidad y su valor más alto es cuando la velocidad es cero, a lo que se le llama empuje estático. No obstante, es posible crear otros modelos en relación potencia-empuje, por ejemplo, a criterio del diseñador.

2.3. Análisis utilizados

Los estudios que se han realizado para poder seleccionar o estudiar un sistema de propulsión se dividen en teóricos, simulados y prácticos. El primero se compone de modelos de empuje obtenidos de forma teórica o con el modelo estimado por el fabricante de la hélice; la marca APC es la única de las probadas que brinda esta información. Los modelos simulados corren bajo el uso del *software* eCalc, el cual utiliza una base de datos interna para hacer estimaciones del comportamiento del modelo en relación potencia-empuje. Por último, las pruebas prácticas se dividen en estáticas y dinámicas o de vuelo, donde las primeras se realizan dentro de un banco de pruebas de motores eléctricos (como el que se muestra en la Figura 4) que mide su empuje estático

o máximo; las de vuelo se llevan a cabo cuando la aeronave ya está manufacturada y lista para volar.

Los análisis del fabricante han probado ser más exactos que otros análisis teóricos, y pueden proveer más datos para crear un modelo de empuje a partir de la velocidad, eficiencia o la potencia en un valor fijo de revoluciones por minuto; además de que son más fáciles de ejecutar, pero no siempre están disponibles para todos los modelos. Por otro lado, eCalc presenta la desventaja de que no permite crear un modelo velocidad-empuje al presentar únicamente la velocidad máxima, pero sí es posible estimar los demás datos. Por último, el banco de pruebas sólo está diseñado para medir potencia, empuje y revoluciones, pero al ser una estimación práctica es el método más preciso para determinar los valores máximos.

2.4. Requerimientos de diseño

Para diseñar las aeronaves, se siguieron los requerimientos de las competencias, de los cuales se destacan los siguientes para la elección de la propulsión en el caso de X'kau:

- Motor BLDC y batería LiPo de 6 a 12 celdas en serie
- Despegue en máximo 61m
- Hélice no metálica
- Límite de potencia de 1000W

Mientras que para Zotz se consideró lo siguiente:

- Puntuación por carga, altura alcanzada y distancia recorrida.
- Bonificación por despegue en menos de 40m. Puntuación normal en máximo 60m.
- Motor fijo, hélice a elegir entre dos marcas.
- Batería LiPo de 3 celdas en serie.

Como se puede notar, ambos casos tuvieron restricciones diferentes y esto afectó en las elecciones rendimiento fina.

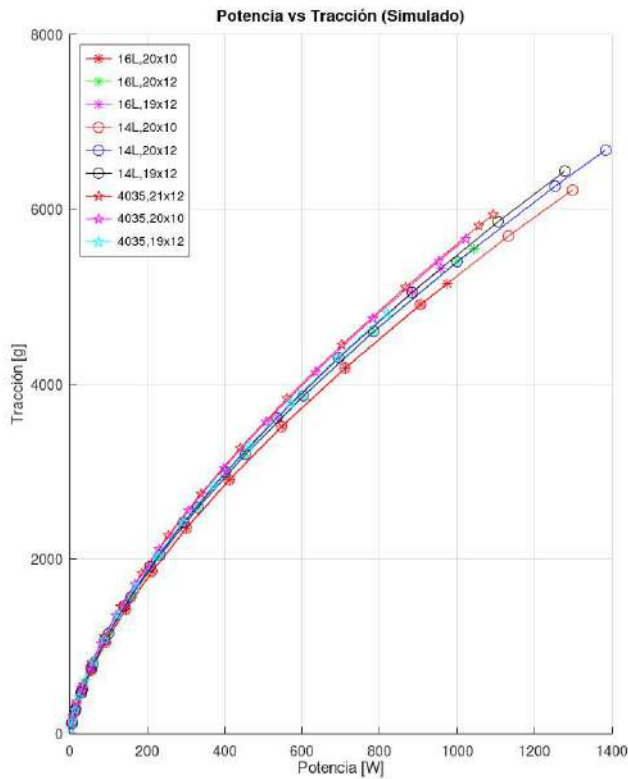


Figura 5. Potencia vs Tracción en eCalc para X'kau. Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados

3.1. Elección final de los RPA

Los resultados obtenidos cuando se crearon ambas aeronaves son mostrados en las imágenes siguientes. Empezando por X'kau, una parte importante de su análisis consistió en el uso del programa eCalc para poder hacer comparaciones entre distintas hélices. La estimación del tamaño de ambos se basó en la aeronave de la edición anterior de la competencia, la cual tuvo una misión bastante similar a la de este año. Ese sistema utilizó el motor Hacker A50-16L y la hélice APC 20x10E, por lo que se usaron motores con un KV y voltaje similar para el motor; mientras que para la propela se consideraron modelos de una pulgada más baja y alta. La Figura 5 muestra el

resumen de los datos más destacados que se probaron en eCalc.

Lo anterior ayudó a estimar que el motor deseado sería el Scorpion 4035-250KV, pero la adquisición de este motor y de otras hélices no pudo concretarse para ese entonces. Por ello, se hicieron pruebas estáticas con los materiales ya existentes: el motor ya mencionado y el modelo A50-14L de su misma marca, así como las hélices indicadas en la Figura 5.

Los resultados fueron bastante complejos de estimar, ya que los motores tuvieron distintos comportamientos con cada hélice. Un caso notorio fue el modelo 14L con la propela más grande, la cual, a pesar de su alto empuje, se descartó por su límite de potencia, que indicó que sería fácil para esta

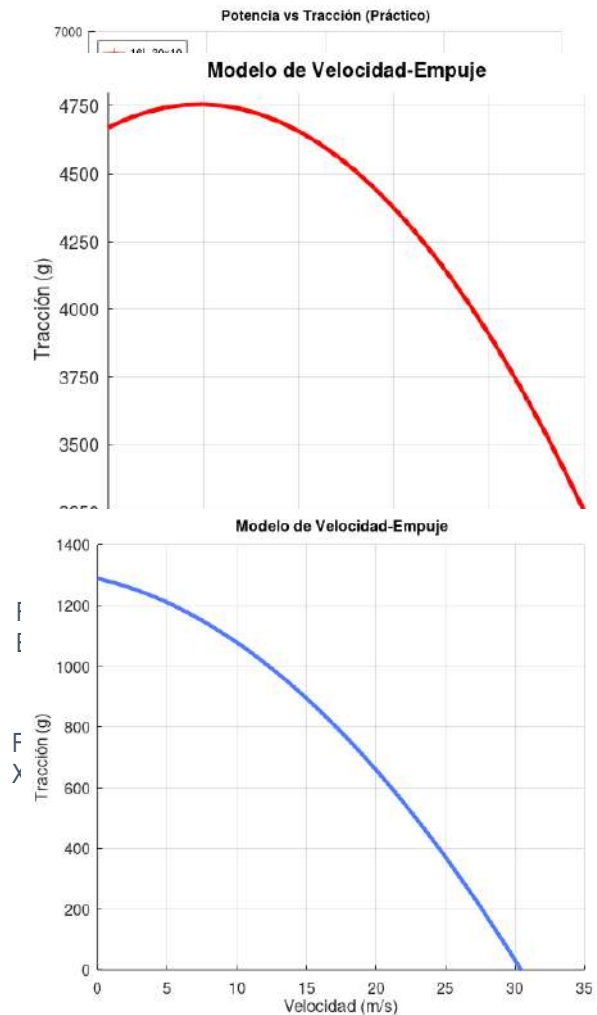


Figura 8. Modelo de empuje del sistema de Zotz. Fuente: Elaboración propia.

combinación pasar los 1000W establecidos como límite. Al final, por esta última razón, se optó por el modelo 16L con APC 20x10E, manteniendo la potencia detrás del límite y con el valor más alto de empuje. El caso de Zotz fue más fácil de obtener, ya que su elección estaba hecha, por lo que sólo se obtuvo el modelo a partir de la hélice. Los resultados de ambas gráficas se visualizan en las Figuras 7 y 8. Se debe destacar que para ambos casos se hizo el ajuste de la densidad de acuerdo con la altitud de diseño.

Además de los resultados anteriores, el diseño resultante se reflejó en la carga que ambas aeronaves pudieron llevar consigo dentro de los límites de la distancia de despegue a partir de las ecuaciones planteadas por Mohammad Sadraey (2017) (ver Figuras 9 y 10). Para Zotz, se especificó la diferencia

de carga cuando se despliegan sus *flaps* contra el caso en que no lo hagan.

Los resultados iniciales fueron definitivos para sus modelos, pero eso no significa que estos hayan sido las mejores opciones. Un mejor procedimiento y análisis más profundos buscan poder corroborar o refutar las elecciones de diseño presentadas. Los siguientes apartados son los estudios realizados.

3.2. Análisis posteriores

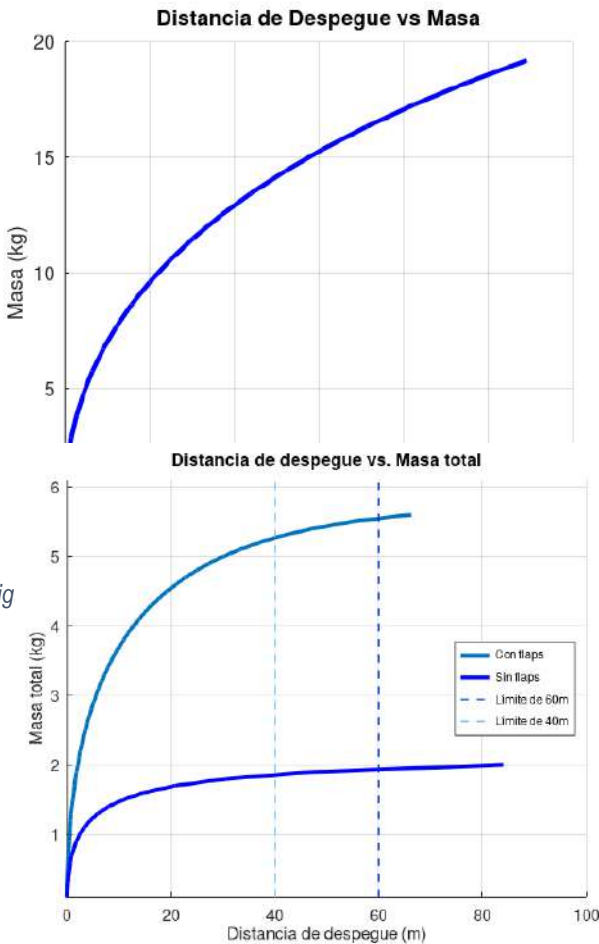


Figura 10. Distancia de despegue para Zotz. Fuente: Elaboración propia.

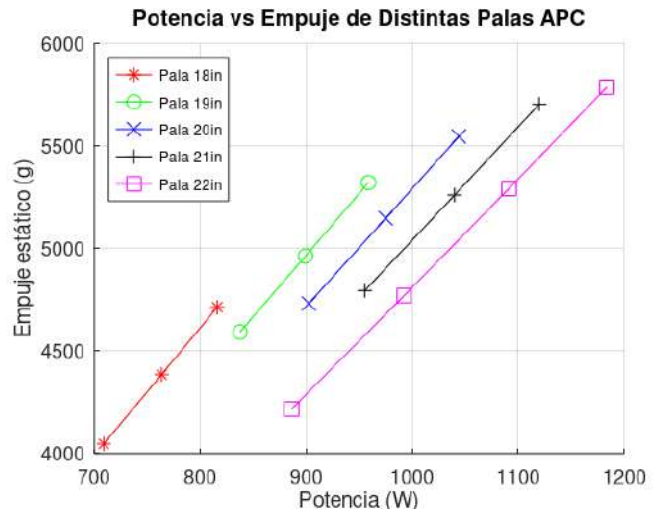


Figura 11. Potencia vs Empuje de palas APC en el motor Hacker A50-16L. Fuente: Elaboración propia.

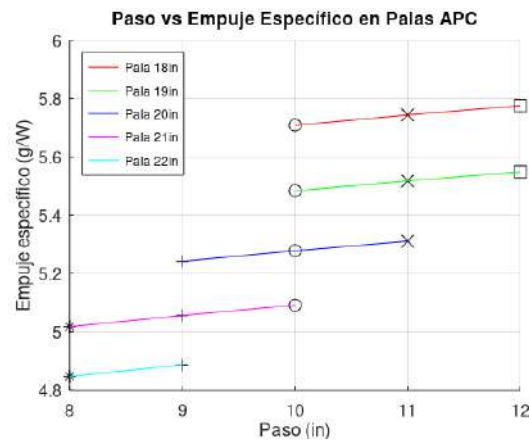


Figura 12. Paso vs Empuje Especifico de palas APC en el motor Hacker A50-16L. Fuente: Elaboración propia.

Las primeras observaciones se dirigieron hacia la relación entre diámetro y el paso de la hélice, por lo que utilizando eCalc. En la Figura 11, se graficó la potencia contra el empuje de distintos tamaños de hélices de la marca APC, y se compararon sus

resultados tomando en cuenta también el paso de estas. Después, se mostró, en la Figura 12, la relación del paso de dichas hélices contra el empuje específico, el cual es la relación de empuje estático entre potencia, o, mejor dicho, cuántos gramos de empuje pueden proporcionar 1W de potencia. A pesar de la similitud del propósito de ambas gráficas, las perspectivas que ambas dan generan un resultado muy importante.

Paso 8	Paso 9	Paso 10	Paso 11
21 - 22: 0.1701	20 - 21: 0.1855	18 - 19: 0.2244	17 - 18: 0.2470
	21 - 22: 0.1696	19 - 20: 0.2051	18 - 19: 0.2257
		20 - 21: 0.1865	19 - 20: 0.2063

Tabla 2. Diferencias de empuje específico de hélices con el mismo paso. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 establece que hay una diferencia constante sobre las líneas de la Figura 12. Por ejemplo, las hélices de 18 y 19in de diámetro tienen una diferencia

de empuje específico de 0.2244 y 0.2257, valores muy cercanos entre sí y que denotan la similitud entre

	Paso 9	Paso 10	Paso 11	Paso 12
Hélice 18in	-	5.7080	5.7433	5.7750
Hélice 19in	-	5.4836	5.5176	5.5486
Hélice 20in	5.2427	5.2785	5.3113	-
Hélice 21in	5.0572	5.0920	-	-

Tabla 3. Empuje específico de algunas de las hélices probadas. Fuente: Elaboración propia.

ellos. Además de esto, en la Tabla 3, las diferencias entre las hélices del mismo diámetro no sólo son constantes para ese mismo tamaño, sino que, en todos los casos, las diferencias se mantienen en un rango entre 0.031 y 0.036.

Esto también puede corroborarse con el cálculo de las pendientes. En la Figura 11, las pendientes de cada diámetro de hélice se definen por la Tabla 4, las cuales también muestran la constancia y linealidad visibles en la gráfica. Todos estos resultados muestran que

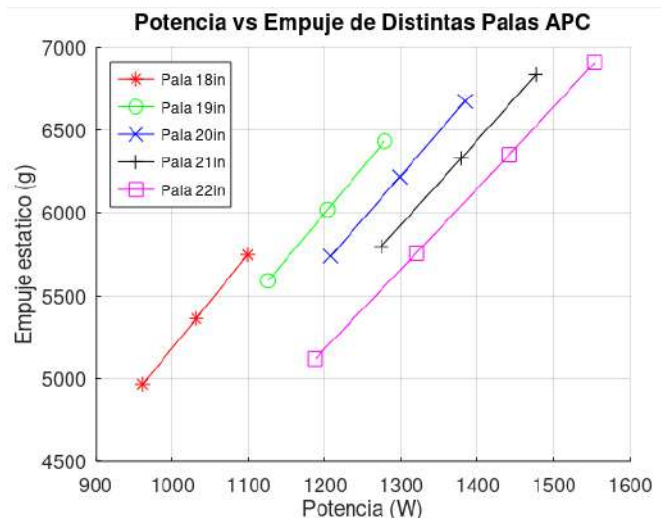


Figura 13. Potencia vs Empuje de palas APC en el motor Hacker A50-14L. Fuente: Elaboración propia.

las relaciones diámetro-paso en las propelas siguen un comportamiento predecible entre ellas, que les permite incluso establecer relaciones con otras hélices sabiendo el comportamiento que tienen bajo la misma longitud o el mismo paso.

Diámetro	Pendiente 1	Pendiente 2
Hélice 18in	6.2018	6.2357
Hélice 19in	5.9774	6.0168
Hélice 20in	5.7241	5.7742
Hélice 21in	5.4900	5.5444
Hélice 22in	5.2072	5.2733

Tabla 4. Pendientes entre dos pasos de una hélice con mismo diámetro. Fuente: Elaboración propia.

Tras evaluar este caso, se buscó corroborar si el motor tenía alguna influencia entre el resultado, por lo que se cambió el motor al modelo 14L y se corrieron las mismas pruebas. Los resultados variaron en cuanto a los valores obtenidos, pero los comportamientos siguieron las mismas tendencias. En el caso de las diferencias de empuje específico de hélices con el mismo paso; las relaciones se mantuvieron iguales, pero con una disminución en los resultados de aprox. 0.025, mientras que las pendientes de cada caso disminuyeron entre 0.4 y 0.6. Con base en esto, se obtuvo un rango con valor mínimo de 4.8 para la hélice de 22x6 y con valor máximo de 5.7143 para la 18x12.

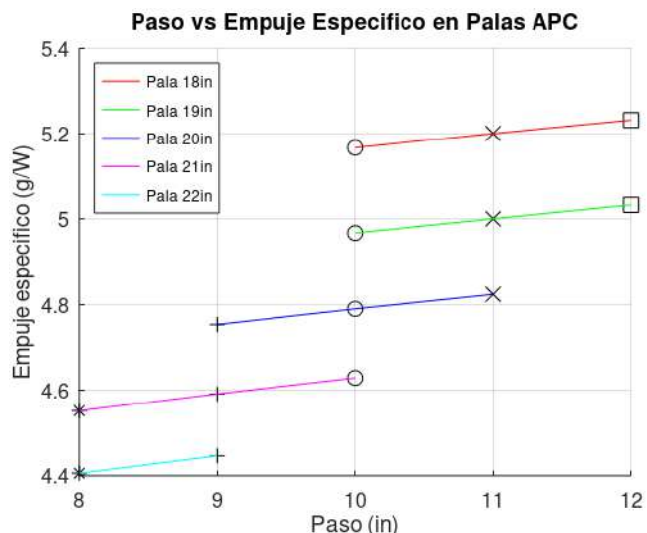


Figura 14. Paso vs Empuje Específico de palas APC en el motor Hacker A50-14L. Fuente: Elaboración propia.

Un comportamiento relevante que también se puede destacar de esto es la diferencia de potencia y empuje que requieren ambos motores con las mismas hélices. El motor 16L se mantiene alrededor de los 1000W establecidos para este, mientras que el 14L se va mucho más allá de dicho límite, lo que también le otorga un aumento de empuje bastante alto. No obstante, la relación de empuje específico para las hélices disminuye para el motor 14L, lo que significa que ese consumo de potencia no está brindando más empuje por cada unidad como el otro motor, y fácilmente una hélice de un gran tamaño podría llevar al motor a sus límites operativos. Por otro lado, obtener un mayor empuje de parte del modelo 16L directamente requiere de una hélice de mayor tamaño o del aumento del voltaje de alimentación. Las Figuras 5 y 6 son la mejor comparativa de ambos casos, pero los análisis anteriores demuestran una nueva cara del rendimiento de cada combinación.

Finalmente, se hizo una prueba con diferentes marcas para una hélice de las mismas dimensiones con el propósito de evaluar la influencia del material sobre la misma. En este caso, se consideró APC para un compuesto de nylon y fibra de vidrio, la marca XOAR para hélices de madera, y Aeronaut CamCarbon para fibra de carbono. Lo anterior dio como resultado la Figura 15, donde es posible notar que la hélice de

madera requiere de mayor potencia para otorgar el mismo empuje que las otras dos, las cuales tienen un comportamiento muy similar.

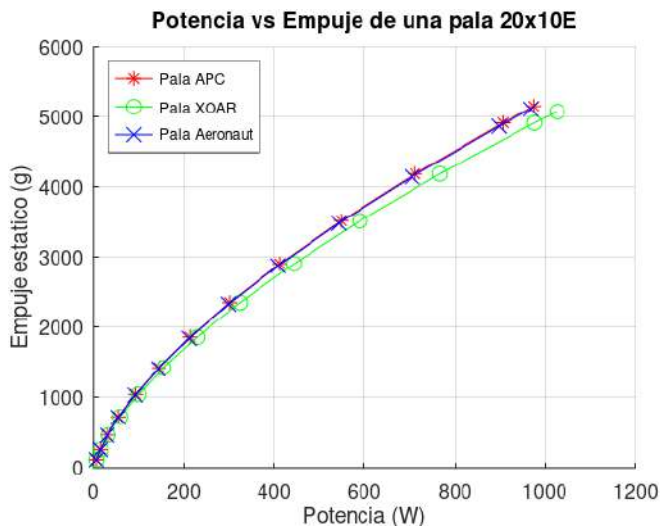


Figura 15. Potencia vs Empuje en hélices 20x10E de distintas marcas. Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión y conclusiones

La primera parte de los resultados muestra que hay un problema para la elección final del sistema de propulsión en una de las aeronaves, ya que los resultados requieren de mayores especulaciones y comprensión de sus resultados al no tener una tendencia tan clara que indiquen que una combinación presenta mayor ventaja que los otros casos. Esto no significa que no sean buenos los resultados, pero el hecho de que no puedan evaluarse bajo los mismos parámetros lo complica aún más.

Los resultados de la segunda parte han mostrado comportamientos diferentes de las hélices y los motores que se habían estudiado inicialmente para la aeronave X'kau, lo cual genera nuevas interrogantes para poder afirmar que la primera elección de su sistema de propulsión fue la más acertada.

El trabajo continúa desarrollándose con el propósito de evaluar de manera más profunda los resultados obtenidos y poder compararlos con los prácticos de uno a uno, evaluando la diferencia entre la teoría, simulación, prueba estática y finalmente en vuelo de una misma combinación. Se espera que dichas actividades puedan converger hacia una misma

tendencia que ayude a comprender la ruta que podría seguirse para la creación de una metodología de elección de motor y hélice mucho más exacta.

5. Referencias

1. AkaModell München (1 de julio de 2022). *Air Cargo Challenge 2022 participation handbook version 01.15*. https://akamodel-muenchen.de/wp-content/uploads/2022/07/regulations_acc_2022_munich_v01_15.pdf
2. APC Propellers. (s.f.). *Performance data*. <https://www.apcprop.com/technical-information/performance-data/>
3. Coates, E. M., Wenz, A., Gryte, K., and Johansen, T. A. (2019). *Propulsion System Modeling for Small Fixed-Wing UAVs*. 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 748–757. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8798082>
4. Gudmundsson, S. (2022). *General Aviation Aircraft Design. Applied Methods and Procedures*. Butterworth-Heinemann, 2^o ed.
5. Hacker Brushless Motors. (s.f.). *Manual A50-V4*. http://www.hacker-motor.com/daten/anleitungen/motoren/Anleitung_A50_V4.pdf
6. Model Motors. (s.f.) AXI 2826/10 Gold Line V2. <https://www.modelmotors.cz/product/detail/394/>
7. Prisacariu, V. (2017). *The History and the Evolution of UAVs from the Beginning till the 70s*. Dresmara, 8(15):181–189. http://journal.dresmara.ro/issues/volume8_issue1/15_Vasile_PRISACARIU.pdf
8. Sadraey, M. H. (2017). *Aircraft Performance: An Engineering Approach*. CRC Press.
9. SAE Aero Design México (25 de enero 2022). *XII Competición Oficial, Clase Regular, Reglamento de Competición*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-politecnica-del-valle-de-mexico/mecanica-clasica/reglamento-sae-aero-design-2021-22-rev-b/29988326>
10. Skybrary (2021). *Introduction to Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*. <https://skybrary.aero/articles/introduction-remotely-piloted-aircraft-systems-rpas>
11. Younis, M. C. and Abuhammad, H. (abril de 2021). *A hybrid fusion framework to multi-modal bio metric identification*. Multimedia Tools and Applications, 80(17):1-24. https://www.researchgate.net/publication/351089248_A_hybrid_fusion_framework_to_multi-modal_bio_metric_identification
12. Zhang, B., Song, Z., Zhao, F., and Liu, C. (2022). *Overview of propulsion systems for unmanned aerial vehicles*. Energies, 15(2):45. <https://doi.org/10.3390/en15020455>

Efecto del disruptor endócrino MEHP en la regulación de la adipogénesis

Suastegui-Otero Nelly Alejandra¹, Hernández-Puga Ana Gabriela²

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Universidad 231, Cerro de las campanas S/N, C.P. 76010, Querétaro, Qro. nsuastegui04@alumnos.uaq.mx

²Profesor-investigador, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus Aeropuerto, Carr. a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. ana.gabriela.hernandez@uaq.mx

Resumen

Los disruptores endócrinos son sustancias químicas presentes en el ambiente capaces de alterar el equilibrio hormonal de los organismos. El mono-2-etilhexil ftalato (MEHP) es un obesógeno que participa en la inducción de la adipogénesis y favorece la acumulación de tejido adiposo en el cuerpo, por lo que está asociado al desarrollo de la obesidad. En este estudio se analizó el efecto del tratamiento con MEHP en la expresión relativa de *C/EBP α* , un factor de transcripción clave en la adipogénesis, en células 3T3-L1 por medio de PCR en tiempo real. Se extrajo y cuantificó el RNA total de las células, posteriormente se sintetizó el cDNA para realizar la qPCR. Las células tratadas con 3 y 100 μM muestran una disminución significativa en la expresión génica de *C/EBP α* , lo que podría indicar un efecto anti-adipogénico del MEHP.

Palabras clave: Adipogénesis, *C/EBP α* , MEHP, obesidad.

Abstract

Endocrine disruptors are chemical substances present in the environment capable of altering the hormonal balance of organisms. Mono-2-ethylhexyl phthalate (MEHP) is an obesogen involved in the induction of adipogenesis and favors the accumulation of adipose tissue in the body, so it is associated with the development of obesity. This study analyzed the effect of MEHP treatment on the relative expression of *C/EBP α* , a key transcription factor in adipogenesis, in 3T3-L1 cells employing real-time PCR. RNA samples were extracted and quantified from the cells, then cDNA was synthesized to perform qPCR. Cells treated with 3 and 100 μM show a significant decrease in *C/EBP α* gene expression, which could indicate an anti-adipogenic effect of MEHP.

Keywords: Adipogenesis, *C/EBP α* , MEHP, obesity

Introducción

La obesidad representa uno de los problemas de salud pública más preocupantes en el mundo. Siendo México el segundo lugar a nivel mundial, con el 36.1 % de la población adulta obesa (Barquera & Rivera, 2020). La obesidad es una enfermedad crónica de etiología multifactorial influenciada por factores genéticos, de estilo de vida y ambientales que se caracteriza por una acumulación excesiva de tejido adiposo (Gore et al., 2015). Recientemente, se ha evidenciado que el incremento de la producción global de plásticos y diversos productos químicos se relaciona con el aumento de la exposición humana a sustancias químicas contaminantes presentes en el ambiente, entre ellas se encuentran los disruptores endocrinos (DE) (Flaws et al., 2020). Los DEs son compuestos que alteran el equilibrio hormonal y que se han relacionado con el desarrollo de distintos desordenes metabólicos, neurológicos y reproductivos. Asimismo, los DE son considerados factores obesogénicos, ya que alteran procesos que afectan el metabolismo de lípidos, como la adipogénesis, que favorece la acumulación de tejido adiposo en el cuerpo; con lo anterior, se contribuye al desarrollo de la obesidad (Gore et al., 2015).

La adipogénesis se refiere al proceso en el cual una célula madre mesenquimal se diferencia hacia un adipocito maduro, principal constituyente del tejido adiposo (González et al., 2020). El receptor activado del proliferador de peroxisoma gamma (PPAR γ) y la proteína de unión al potenciador/CCAAT- α (C/EBP α) son dos factores de transcripción clave durante este proceso e inducen la expresión de genes que confieren las características de un adipocito maduro, como la proteína Ap2, el receptor de insulina y el transportador de glucosa Glut4 (Hao et al., 2012). Los DE poseen características toxicológicas particulares: pueden actuar en dosis muy bajas e inducen efectos no lineales, así como efectos en combinaciones de DE, por lo que actualmente no es posible establecer límites seguros de exposición (Romano et al., 2012).

Los ftalatos son disruptores endocrinos de vida corta ampliamente utilizados como plastificantes en la industria, dado que confieren la flexibilidad y dureza de los materiales. Se encuentran presentes en plastificantes de PVC, recubrimientos, insecticidas, repelentes y cosméticos como perfumes y esmaltes de uñas en los que forman interacciones no covalentes, lo que los hace fácilmente transferibles al medioambiente. La exposición a los ftalatos en la vida cotidiana se realiza a través de la inhalación, el contacto dermal y, principalmente, a través de la ingesta. Entre los ftalatos de mayor uso en la industria se encuentra el di(2-etilhexil) ftalato (DEPH), cuyo metabolito principal es el mono-2-etilhexil ftalato (MEPH), el cual posee una vida media de 12 h y su consumo diario estimado es de 3.0-30 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$ (Gore et al., 2015). Particularmente, el MEHP posee un efecto pro-adipogénico en líneas celulares 3T3-L1, al estimular la vía de señalización mediada por PPAR γ y genes involucrados en la adipogénesis, como C/EBP α (González et al., 2020).

Se ha reportado que la exposición *in vitro* e *in vivo* a dosis de 1 a 100 μM MEHP incrementa significativamente el peso y la grasa corporal de ratones machos expuestos en etapas perinatales y el contenido de grasa en células 3T3-L1, a través de la inducción de la expresión de PPAR γ y los genes implicados en la adipogénesis. Sin embargo, aún no se conoce el efecto de concentraciones ambientalmente relevantes de MEHP en la expresión de C/EBP α (Hao et al., 2012). Por lo anterior, el presente estudio propone que el tratamiento con dosis ambientalmente relevantes de 3, 30 y 100 μM de MEPH durante la etapa de proliferación celular, aumentará la expresión de C/EBP α en células 3T3-L1.

Metodología

a. Muestras biológicas

Las muestras biológicas fueron obtenidas de células 3T3-L1 que recibieron tratamientos con dosis ambientalmente relevantes de MEPH. Brevemente, células 3T3-L1 fueron tratadas con 3, 30 y 100 μM de MEPH durante la etapa de proliferación celular (10

días). Posteriormente, las células fueron diferenciadas hacia adipocitos empleando inductores de la diferenciación adipogénica (insulina 174 nM, dexametasona 10 μ M y 3- isobutil-1-metilxantina (IBMX) 0.5 nM). A las 48 h postdiferenciación se recolectó el RNA total empleando el método de Trizol™ (Invitrogen). Las muestras fueron almacenadas a -80 °C hasta su uso. Se analizaron las muestras biológicas de los grupos basal (sin tratamiento), vehículo (tratamiento con vehículo: DMSO) y tratamiento con MEPH a 3, 30 y 100 μ M.

b. Calidad del RNA

La concentración y pureza del RNA total obtenido fue determinada mediante espectrofotometría empleando un NanoDrop ONE^c (ThermoScientific™). Se colocaron 2 μ L de cada muestra en el NanoDrop para su análisis. La concentración de ácido nucleico se reportó en ng/ μ L, asimismo se midió la absorbancia de la muestra a 260/280 y a 260/230 para la determinar la contaminación por proteínas y residuos fenólicos, respectivamente. Por último, se evaluó la integridad de las muestras mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5 %.

c. Síntesis de cDNA

Se realizó la retrotranscripción de 100 ng de RNA total para la síntesis de cDNA mediante la técnica RT-PCR, empleando el kit Script cDNA Synthesis (Jenna Bioscience™) y se evaluó la integridad de este mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5 %.

d. PCR en tiempo real

Para determinar la expresión de C/EBP α en las muestras, se realizó una qPCR de las muestras de cDNA de los controles (basal y vehículo) y los tratamientos (3, 30 y 100 μ M). Las muestras se analizaron por duplicado (100 ng por reacción) en un termociclador Applied Biosystems StepOne™. Se emplearon los siguientes oligonucleótidos para amplificar a C/EBP α : FWD 5'-ACCAAGTGACAATGACCGCCT-3', REV 5'-GCGACCCGAAACCATCTCT-3' y se utilizó el kit Bio-rad SsoAdvanced Universal SYBR Green

Supermix, siguiendo el programa: 95°C x 10'; 95°C x 15"; 62°C x 30"; 72°C x 30" por 35 ciclos. Para la amplificación del gen endógeno β -actina, se emplearon los siguientes oligonucleótidos: FWD 5'-TACAGCTTCACCACCACAGC-3', REV 5'-TCTCCAGGGAGGAAGAGGA-3' y el siguiente programa: 95°C x 10'; 95°C x 15"; 60°C x 30"; 72°C x 30" por 40 ciclos. Los datos de Ct fueron analizados con el método $2^{-\Delta\Delta ct}$ para calcular la expresión relativa del gen C/EBP α con respecto al grupo basal (sin tratamiento). La integridad de los productos de PCR fue analizada por electroforesis en gel de agarosa al 1.5 %.

e. Análisis estadístico.

Los datos de expresión relativa fueron analizados mediante ANOVA de 1-vía para determinar diferencias entre el grupo basal y los grupos experimentales ($P < 0.05$), utilizando el programa GraphPad Prism 9™.

Resultados

El RNA total extraído resultó ser integro y de buena calidad puesto que se observan los fragmentos de las subunidades ribosomales 18S y 28S (Figura 1) y los valores de pureza >1.5 (Tabla 1).

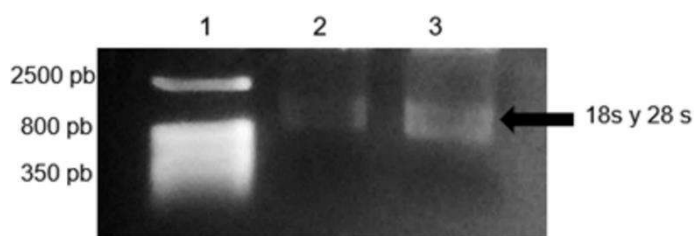


Figura 1. Integridad del RNA total de células 3T3-L1 tratadas con MEPH. Se muestra carril: 1. Marcador de peso molecular 50 bp, 2. RNA total del grupo 30 μ M MEPH, 3. RNA total del grupo 3 μ M MEPH. La flecha indica el RNAr de las subunidades 18S y 28S, respectivamente. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Calidad del RNA total de células 3T3-L1 tratadas. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	RNA (ng/ μ l) actual	Absorbancia 260/280	Absorbancia 260/230
3 μ M1	246.9	2.08	1.13
3 μ M2	220.3	2.01	0.81
30 μ M1	179.5	2.02	0.92
30 μ M2	240.2	2.02	1.21
100 μ M1	236.6	2.02	0.82
100 μ M2	129.7	1.55	1.55

La Figura 2a muestra la amplificación de un fragmento de 195 pb aproximadamente en todas las muestras experimentales, el cual corresponde al gen C/EBP α . El control negativo (-) no muestra ningún barrido o fragmento, lo que indica que la reacción no está contaminada y se llevó a cabo correctamente. La amplificación de β -actina fue efectiva al obtener un amplicón de 121 pb aproximadamente en todas las muestras experimentales (Figura 2b); no obstante, se observa un barrido en algunas muestras, que pudiera deberse al elevado número de ciclos (40 ciclos) y concentración de oligonucleótidos (0.4 μ M) (Thermo Fisher Scientific, s.f.).

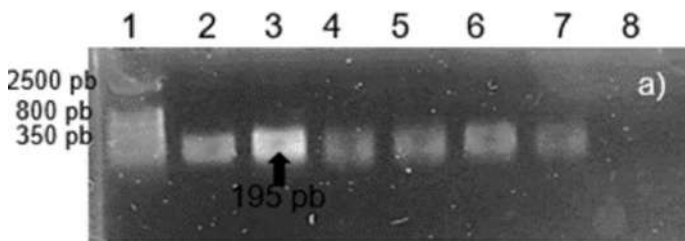


Figura 2a.

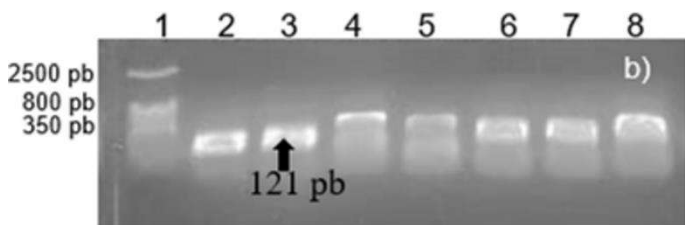


Figura 2b.

Figura 2. qPCR de C/EBP α y β -actina. a) Amplicones del gen C/EBP α obtenidos en la qPCR. Se muestran carril: 1. Marcador de peso molecular 50 bp, 2-3. Grupo 3 μ M MEHP, 4-5. Grupo 30 μ M MEHP, 6-7. Grupo 100 μ M MEHP y 8. Control negativo. b) Amplicones del gen β -actina obtenidos en la qPCR. Se muestran carril: 1. Marcador de peso molecular 50 bp, 2-3. Grupo 3 μ M MEHP, 4-5. Grupo 30 μ M MEHP, 6-7. Grupo 100 μ M MEHP y 8. grupo vehículo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra la expresión relativa de C/EBP α bajo los diferentes tratamientos con MEHP. En comparación con el grupo basal, se observa que la expresión de C/EBP α se ve disminuida significativamente con los tratamientos de MEHP a 3 y 100 μ M, en ambos casos con un valor de 0.2895 ± 1.411 ; $P < 0.05$.

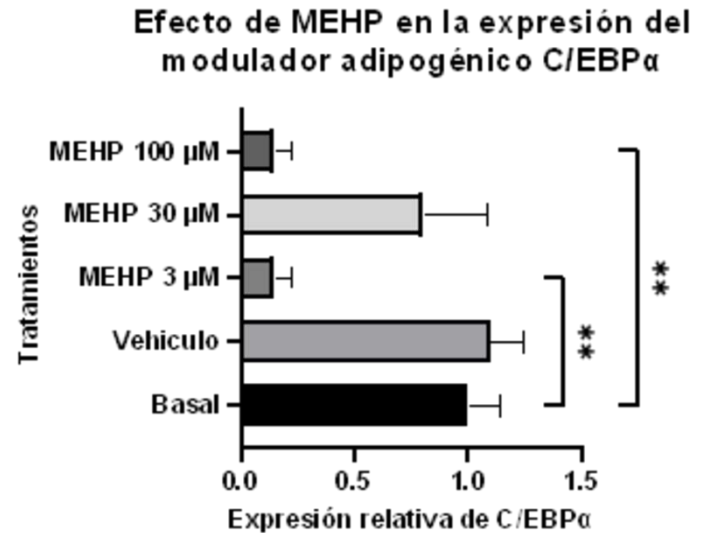


Figura 3. Efecto de tratamientos de MEHP en la expresión génica del modulador adipogénico C/EBP α . Los niveles de expresión de C/EBP α fueron analizados por PCR tiempo real, empleando como gen endógeno a β -actina. Los datos representan duplicados de las muestras, los valores son promedios \pm DE (n=2). ** $P < 0.05$. Fuente: elaboración propia.

Discusión y conclusiones

La exposición a 3 y 100 μ M MEHP durante la proliferación celular disminuyó la expresión del modulador adipogénico C/EBP α en células 3T3-L1 (Figura 3). En este sentido, Hao *et al.* (2012) observaron un incremento significativo en la expresión inducida por MEHP en hígado de ratón para los marcadores adipogénicos PPAR γ , aP2 y LPL; sin embargo, para C/EBP α no hubo cambios significativos en la expresión, lo que podría indicar que MEHP por sí solo como tratamiento individual induce la adipogénesis a través de la vía PPAR γ

activando a los demás moduladores adipogénicos; pero no lo hace a través de la vía de C/EBP α , pues no posee un efecto proadipogénico a través de C/EBP α . Sin embargo, no se ha reportado una disminución significativa en la expresión de C/EBP α por efecto de MEHP, por lo que esta discrepancia en los resultados puede deberse a distintas razones. Se ha observado que a dosis mayores a 100 μ M de MEHP, se podría inducir una respuesta citotóxica en la célula y llevar a la apoptosis (Hao et al., 2012), dado que el tratamiento con menor expresión relativa para C/EBP α fue el de 100 μ M quizá, se debió a una disminución de la actividad celular por citotoxicidad en la célula.

Por otro lado, se ha reportado que la combinación de tratamientos con distintos disruptores incrementa la expresión de C/EBP α , lo que habla de un efecto sinérgico entre bisfenol A, butil parabeno y MEHP para inducir la adipogénesis a través de esta vía (Guerrero-Meza, 2020); sin embargo, tratamientos individuales con BPA inducen un incremento de la expresión de C/EBP α (Ariemma et al., 2016), lo que podría indicar que el tratamiento individual con MEHP no posee efecto proadipogénico a través de C/EBP α . Cabe recalcar que en el presente proyecto se administraron tratamientos diferentes a los ya reportados, como la etapa de exposición. En nuestro modelo experimental, lo anterior se administró durante la etapa de proliferación celular y no durante la adipogénesis, aunado a los tiempos de exposición y las concentraciones del disruptor. Estos podrían haber contribuido a la disminución en la expresión relativa de C/EBP α , ya que los efectos del MEHP son dependientes de la dosis y tiempo de exposición y no se ha encontrado que exista una correlación lineal entre estos (Romano et al., 2012).

Al disminuir los niveles de expresión de C/EBP α , la célula podría tener una disminución en la acumulación de lípidos; sin embargo, no es posible confirmarlo puesto que no se tienen datos de la expresión relativa de PPAR γ bajo estas condiciones experimentales, por lo que la información de la

acumulación de lípidos en adipocitos maduros y estos últimos datos resultan importantes para entender las causas y consecuencias de dicho efecto. Por lo tanto, es necesario realizar más estudios en donde puedan estandarizarse factores como el tiempo de exposición, la concentración y la etapa en la que se llevan a cabo los tratamientos con los disruptores, para tomar en cuenta todas las variables y obtener resultados más precisos.

El estudio del mecanismo de acción de los disruptores endócrinos en la expresión de genes involucrados en la adipogénesis podría contribuir al desarrollo de biosensores para la detección de estos compuestos en el cuerpo humano e incluso en el ambiente, así como contribuir a las regulaciones actuales sobre las dosis de exposición mínimas en productos alimenticios o de uso cotidiano. Asimismo, al estudiar el efecto obesogénico de estos compuestos podría contribuir a caracterizarlos como un factor de riesgo de obesidad en humanos, y adaptar información para su tratamiento y prevención.

Referencias bibliográficas

- Ariemma, F. et al. (2016) Low-Dose Bisphenol-A Impairs Adipogenesis and Generates Dysfunctional 3T3-L1 Adipocytes. *PLOS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150762>
- Barquera, S., & Rivera, J. (2020). Obesity in Mexico: rapid epidemiological transition and food industry interference in health policies. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 8(9), 746–747. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(20\)30269-2](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(20)30269-2)
- Flaws, J. et al. (2020). Plastics, EDCs & health: A guide for public interest organizations and policy-makers on endocrine disrupting chemicals & plastics. Endocrine Society. <https://www.endocrine.org/topics/edc/plastics-edcs-and-health>
- González, J. et al. (2020). Adipogenesis Regulation and Endocrine Disruptors: Emerging Insights in Obesity. *BioMed Research International*. 1–13. <https://doi.org/10.1155/2020/7453786>
- Gore, A., et al. (2015). EDC-2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals. *Endocrine Rev*, 36(6), E1-E150. <https://doi.org/10.1210/er.2015-1010>
- Guerrero, F. (2020). Análisis De Los Efectos De Distintas Combinaciones De Bisfenol-A, Mono (2-Etilhexil) Ftalato Y Butilparabeno En La Regulación Genética Y Morfológica Durante La Adipogénesis En Modelo In Vitro. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro, México. <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/handle/123456789/2506>
- Hao, C. et al., (2012). The endocrine disruptor mono-(2-ethylhexyl) phthalate promotes adipocyte differentiation and induces obesity in

mice. *Bioscience Reports*, 32(6), 619–629.
<https://doi.org/10.1042/bsr20120042>

Romano, D. et al. (2012) Disruptores endocrinos, Nuevas respuestas para nuevos retos. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
<https://saludsindanio.org/articulos/americalatina/disruptores-endocrinos-nuevas-respuestas-para-nuevos-retos>

Thermo Fisher Scientific (s.f.) PCR Cycling Parameters—Six Key Considerations for Success.
<https://www.thermofisher.com/mx/es/home/life-science/cloning/cloning-learning-center/invitrogen-school-of-molecular-biology/pcr-education/pcr-reagents-enzymes/pcr-cycling-considerations.html>

Bagazo de betabel como agente antimicrobiano e indicador de pH

Noemi Takebayashi-Caballero¹, Monserrat Escamilla-García*¹

¹ Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro 76010, México; ntakebayashi13@alumnos.uaq.mx
*monse41214@gmail.com

Resumen

Debido al uso excesivo de plástico en los empaques, se ha optado por producirlos de manera comestible a partir de biopolímeros naturales. Recientemente se han popularizado los empaques activos, que se encargan de inhibir o reducir la carga microbiana de los alimentos, y los empaques inteligentes, que se encargan de monitorear la calidad de los alimentos. Una manera de monitorear la calidad de los alimentos es a través de pH, ya que cambia según los metabolitos que los microorganismos producen. El objetivo del presente trabajo es aprovechar el bagazo de betabel para extraer betalaínas para su uso como agente antimicrobiano e indicador de pH. Se extrajeron betalaínas a partir de bagazo de betabel (producto de desecho) con agitación en ácido cítrico 2 %. La solución de betalaínas obtenidas se acidificó o alcalinizó cubriendo toda la escala de pH para observar el cambio de color de estas. Los resultados mostraron que las betalaínas actúan como indicador de pH. También se realizaron cinéticas de crecimiento para observar la actividad antimicrobiana de las betalaínas ante *Listeria innocua* y *Salmonella enterica*. Se obtuvo que a mayor concentración de betalaínas, menor densidad óptica en la curva de crecimiento, así como una menor velocidad específica de crecimiento, mientras que el tiempo de duplicación aumentó. Para inhibir a *Salmonella enterica*, se usó mayor porcentaje de betalaínas, ya que es menos susceptible por la membrana externa de las Gram negativas. La incorporación de betalaínas ante un empaque inteligente podría brindar actividad antimicrobiana, así como la capacidad de actuar como indicador de pH.

Palabras clave: betalaínas, indicador de pH, agente antimicrobiano, *Listeria innocua*, *Salmonella enterica*

Summary

Due to the excessive use of plastic in packaging, edible packaging has been produced from natural biopolymers. Recently, active packaging, which inhibits or reduces the microbial load of food, and intelligent packaging, which monitors food quality, have become popular. One way to monitor food quality is through pH, since it changes according to the metabolites produced by the microorganisms present in food. The objective of the present work is to extract betalains from beetroot bagasse to use them as an antimicrobial agent and pH indicator. Betalains were extracted from beetroot bagasse (waste product) with agitation in 2% citric acid. The obtained betalains solution was acidified or alkalized covering the whole pH scale to observe the color change of betalains. The results showed that betalains act as a pH indicator. Growth kinetics were also performed to observe the antimicrobial activity of betalains against *Listeria innocua* and *Salmonella enterica*. It was found that the higher the concentration of betalains, the lower the optical density in the growth curve and the specific growth velocity, while the doubling time increased. To inhibit *Salmonella enterica*, a higher percentage of betalains was used since it is less susceptible due to the external membrane that is characteristic of Gram negative bacteria. The incorporation of betalains in a smart package could provide antimicrobial activity, as well as the ability to act as a pH indicator.

Key words: betalains, pH indicator, antimicrobial agent, *Listeria innocua*, *Salmonella enterica*

1. Introducción

El propósito de los empaques es proteger al alimento del ambiente. El material más usado para empaques es el plástico, ya que es barato; sin embargo, es difícil de reciclar y contribuye a la contaminación ambiental. Se ha tratado de remplazar por polímeros naturales como polisacáridos, proteínas y lípidos, por ello se les denomina como empaques comestibles. Además, existen empaques denominados activos, que son adicionados con agentes antimicrobianos para inhibir o reducir la carga microbiana de los alimentos. Por último, los empaques inteligentes tratan de monitorear la calidad de los alimentos con los que se detectan factores como la temperatura, la composición de gases y el cambio de pH (Mataragas et al., 2019).

Una manera de monitorear el cambio de pH es a través de indicadores. Se ha empleado colorantes sintéticos, los cuales son estables, de bajo costo y eficientes para cambiar de color; sin embargo, son tóxicos. Por ello se ha buscado la forma de remplazarlos por pigmentos naturales, tales como las betalaínas. El betabel es consumido por sus beneficios a la salud en forma de jugo, cuyo bagazo se ha considerado producto de desecho. Este se puede aprovechar, ya que posee pigmentos llamados betalaínas, del que se ha reportado que pueden cambiar de color a diferente pH y presentar actividad antimicrobiana (Chhikara et al., 2019).

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de las betalaínas para actuar como indicador de pH y determinar la actividad inhibitoria de estas ante *Listeria innocua* y *Salmonella enterica*, calculando la velocidad específica de crecimiento, así como el tiempo de duplicación.

2. Metodología

2.1. Extracción de betalaínas

Se siguió el método propuesto por Halwani et al. (2018). Se recolectó el bagazo de betabel de diferentes locales del mercado Escobedo (Santiago de Querétaro, Qro.). Se agitó bagazo de betabel en ácido

cítrico (2 %) en una proporción 1:3 durante 5 min, posteriormente se filtró con papel Whatman No. 4.

2.2. Cambio de color de las betalaínas ante el pH

El cambio de color se evaluó mediante el método descrito por Zhang et al. (2022) con modificaciones. Se midió el pH inicial de la solución de betalaínas con un potenciómetro (PHS-3CU, Yueping, Shanghai) y se añadió hidróxido de sodio 1 M para alcalinizar o ácido clorhídrico 1 N para acidificar, de modo que se obtuvo la solución de betalaínas en pH 1-12.

2.3. Actividad antimicrobiana de las betalaínas ante “*Listeria innocua* y *Salmonella enterica*”

La actividad antimicrobiana se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Pérez (2016). Primero se realizó una cinética de crecimiento para *Listeria innocua* en caldo *Listeria*. Se activó un inóculo de 10^6 UFC/mL y se transfirió a matraces Erlenmeyer de 25 mL con 20 mL de caldo *Listeria*. Se midió la densidad óptica a 600 nm usando un espectrofotómetro UV-VIS (Genesys 10, Thermo Scientific, Massachusetts, Estados Unidos), tomando lecturas cada hora hasta alcanzar la fase estacionaria. Se usó un agitador orbital (MaxQ 6000, Thermo Scientific, Massachusetts, Estados Unidos) a 120 rpm, y 30 °C. Para medir la inhibición de las betalaínas se añadió 1 y 2 % del extracto de betalaínas al caldo antes de inocular.

Para la cinética de crecimiento de *Salmonella enterica* se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, cambiando el caldo *Listeria* por soya tripticaseína y añadiendo 5, 20 y 50 % de betalaínas. Se calculó el tiempo de duplicación y velocidad específica de crecimiento usando GraphPad Prism 8.0.

3. Resultados

Se observó que, a diferente pH, las betalaínas cambian de color. En pH 1-5 se obtuvo una tonalidad rosa, en pH de 7-9 morado, en pH de 6 una transición entre rosa y morado y finalmente, en un pH mayor a 10, se observa una tonalidad amarilla (Figura 1).

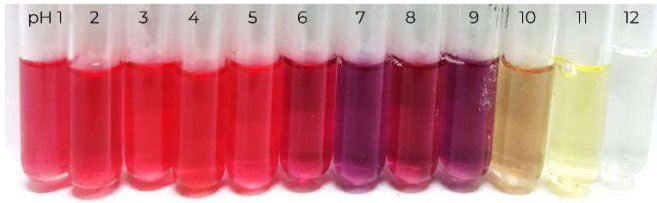


Figura 1. Cambio de color dependiente de pH. Fuente: elaboración propia.

La cinética de crecimiento de *Listeria innocua* (Figura 2) muestra que esta es más susceptible ante las betalaínas, ya que se obtiene una mínima concentración inhibitoria (MIC) de 2 %, mientras que para *Salmonella enterica* se alcanzó un decremento en la densidad óptica con 5 y 20 % de betalaínas; sin embargo, la MIC fue con 50 % (Figura 2)

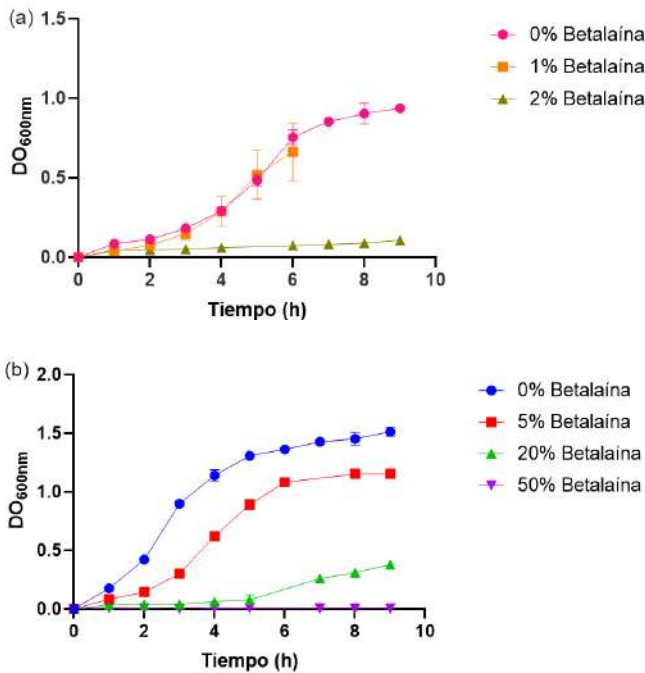


Figura 2. Cinéticas de crecimiento ante la presencia de betalaínas. *Listeria innocua* (a) y *Salmonella enterica* (b). Fuente: elaboración propia.

La velocidad de crecimiento específica (μ) muestra que la adición de 2 % de betalaínas baja la μ significativamente ($p < 0.5$) ante *Listeria innocua*.

Para *Salmonella*, se encontró que la μ fue significativa para todos los tratamientos; sin embargo, la adición de 50 % permitió una μ cercana a 0 (Figura 3)

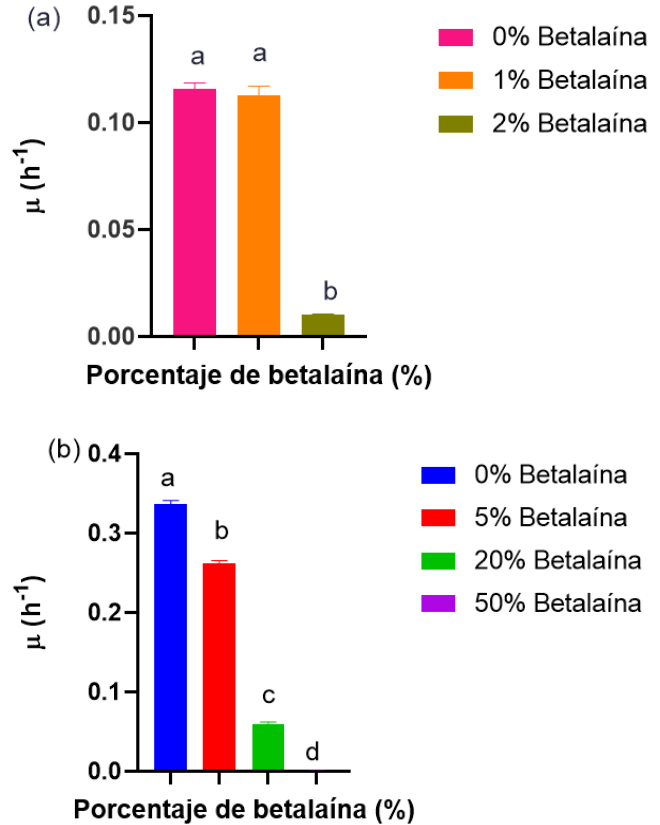


Figura 3. Velocidad específica de crecimiento de *Listeria innocua* (a) y *Salmonella enterica* (b). Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se puede observar que el aumento en el tiempo de duplicación (TD) es directamente proporcional al incremento en la concentración de betalaínas. En *Listeria innocua*, la concentración de 2 % de betalaína presentó el mayor TD (3.88 ± 0.014 h), mientras que el TD del control y la concentración de 1 % no presentaron diferencia significativa. *Salmonella enterica* presentó un TD de 1.4 ± 0.11 h, con betalaína el TD aumentó con valores de 2.03 ± 0.086 h y 3.68 ± 0.023 h para las concentraciones de 5 y 20 % respectivamente. Las concentraciones de 5 y 20 % mostraron inhibición; sin embargo, la concentración mínima bactericida (MBC) obtenida fue de 50 %, con un TD de 27.18 ± 0.014 h (Figura 4).

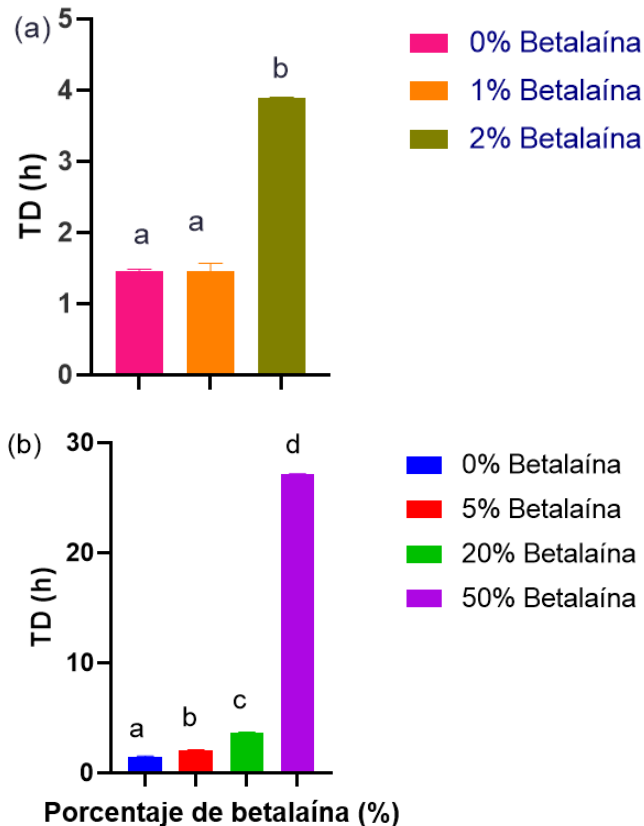


Figura 4. Tiempo de duplicación de *Listeria innocua* (a) y *Salmonella enterica* (b). Fuente: elaboración propia.

4. Discusión y conclusión

4.1. Cambio de color dependiente de pH

Como se mencionó anteriormente, las betalaínas presentaron un cambio de color ante los diferentes valores de pH (Figura 1), estos cambios son similares a los reportados por Calva-Estrada et al., (2022) quienes observaron que las betalaínas son estables en un pH de 3-7 con una tonalidad roja, cambiando a un color morado a pH 7 y color azul a pH de 8-9; finalmente a pH alcalino se obtiene un color amarillo. Esto se debe a los cambios estructurales de las betalaínas, ya que se degradan por hidrólisis de los enlaces aldimina, con lo que se produce un ácido ferúlico con un grupo amino. Este cambio estructural se debe a que la betalaína posee en un extremo un grupo electro-donador y en el otro extremo un grupo electro-aceptor, lo que genera una transferencia electrónica intramolecular (Mancha et al., 2019). La capacidad de la betalaína para virar de color a diferentes pH, la convierte en una alternativa viable

para el monitoreo de la calidad de los alimentos. El cambio de pH es un indicador de la degradación de los alimentos, generado principalmente por la actividad de microorganismos que afectan a su vez las propiedades sensoriales de los alimentos, mismos que generan compuestos nitrogenados volátiles (Ziyaina et al., 2018; Lorenzo et al., 2018).

La adición de betalaínas en empaques podría ayudar al monitoreo del pH de los alimentos y de esta manera identificar el estado de la comida. La coloración en el empaque por efecto del pH ayudará al consumidor evaluar la calidad del alimento sin tener que percibir cambios sensoriales como agriado, producción de limo y formación de gases.

4.2. Actividad antimicrobiana

Los resultados obtenidos muestran que la betalaína posee actividad antimicrobiana ante *Salmonella enterica* y *Listeria innocua*. Las betalaínas mostraron mayor inhibición ante *Listeria* (2 % betalaína), mientras que *Salmonella* requirió una mayor concentración de estas para lograr inhibición (50 %).

La velocidad específica de crecimiento obtenida fue inversamente proporcional a la concentración de betalaínas; es decir, a mayor concentración menor velocidad específica de crecimiento. La velocidad específica de crecimiento obtenida para *Listeria innocua* disminuyó 11.4 veces en presencia de betalaína 2 % en comparación a *Listeria innocua* sin betalaína. *Salmonella enterica* presentó una velocidad específica casi nula con una concentración de betalaína al 50 %. El tiempo de duplicación obtenido para ambos microorganismos aumentó al incrementar la concentración de betalaína. El TD de *Listeria innocua* aumentó 2.6 veces utilizando una concentración de 2 %, mientras que el TD de *Salmonella* aumentó 19 veces con la concentración de 50 %.

Los resultados indican que las betalaínas permiten inhibir al crecimiento de *Listeria innocua* y *Salmonella enterica*. *Listeria innocua* presentó una mayor susceptibilidad a la betalaína. Esto se puede deber a la diferencia estructural entre Gram negativas y positivas. *Salmonella*, como Gram negativa,

presenta una membrana externa que le confiere resistencia a antibióticos y antimicrobianos (Breijyeh et al., 2020). Este resultado fue reportado por Khorshidian et al., (2022) usando lisozima como agente antimicrobiano, por lo que se observó que sí actúa ante Gram positivas, pero no ante negativas, debido a que la membrana externa actúa como barrera que limita el acceso. De manera similar, Canadanović-Brunet et al. (2021) lograron inhibir mediante un extracto de betabel a Gram positivas y Gram negativas. Esto lo atribuyeron a los compuestos fenólicos, encargados de aumentar la permeabilidad de la membrana citoplasmática que causa una disminución de los niveles de ATP y pérdida de la fuerza motriz del protón, lo que se traduce a muerte celular. Además, obtuvieron que la MIC fue menor para las Gram positivas (0.75 y 0.5 mg/mL para *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* respectivamente) en comparación a las Gram negativas (1.5 y 4.5 mg/mL para *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) debido a la membrana exterior que le confiere resistencia.

Gong et al. (2022) estudiaron la actividad de un extracto comercial de betabel ante *Listeria monocytogenes* y describieron que la muerte celular es causada por “muerte similar a la apoptosis” o ALD por sus siglas en inglés (apoptosis-like death) inducida por daño severo en el ADN, exposición a ambientes estresantes, estrés oxidativo y tratamiento farmacológico. Encontraron que *Listeria* tratada con el extracto disminuyó el nivel intracelular de ATP debido al agotamiento y fuga de ATP intracelular. En condiciones normales, el potencial de membrana se mantiene, mientras que, en apoptosis, el potencial se interrumpe, dando como resultado la despolarización de la membrana. El betabel, como agente antimicrobiano, causa una despolarización.

A partir de esto, podemos deducir que la actividad antimicrobiana de la solución de betalaínas radica en la depleción de ATP por despolarización de la membrana, así como un aumento en su permeabilidad. A pesar de que las Gram negativas son menos susceptibles ante las betalaínas, se pudo inhibir a *Salmonella enterica*, decrementando su velocidad específica de crecimiento significativamente y

aumentando su tiempo de duplicación, lo que se traduce en que tomará más tiempo para que una bacteria pueda duplicarse, por lo tanto, se tendrá una menor carga microbiana al usar betalaínas como agente antimicrobiano.

Las betalaínas son efectivas para actuar como indicador de pH, cambiando de rosa a morado y amarillo en condiciones alcalinas. Por otra parte, se encontró que la solución de betalaínas tiene actividad ante *Listeria innocua* y *Salmonella enterica*, por lo cual podríamos deducir que tiene actividad ante Gram positivas y Gram negativas (aunque futuros estudios son necesarios para confirmar).

La solución de betalaínas se podría incorporar a películas comestibles, con lo que se produce una película inteligente (por su capacidad de monitoreo de pH) y con características de película activa (por su capacidad de inhibición de microorganismos). Debido a que se probó que las betalaínas actúan como indicador de pH y agente antimicrobiano, se podría tomar ventaja de esto, y al momento de incorporarlas en una película inteligente, en lugar de costear para un agente antimicrobiano como aceites esenciales e indicador de pH, se podría omitir la adición de un agente antimicrobiano extra ya que las betalaínas cumplen con dicha función. Con base en esto, se podría reducir los costos finales si dicha película se llegara a producir o comercializar.

5. Referencias

- Breijyeh, Z., Jubeh, B., y Karaman, R. (2020). Resistance of gram-negative bacteria to current antibacterial agents and approaches to resolve it. *Molecules*, 25(6), 1340. <https://doi.org/10.3390/molecules25061340>
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., y Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Čanadanović-Brunet, J. M., Savatović, S. S., Četković, G. S., Vulić, J. J., Djilas, S. M., Markov, S. L., y Cvetković, D. D. (2011). Antioxidant and antimicrobial activities of beet root pomace extracts. *Czech Journal of Food Sciences*, 29(6), 575-585. DOI: 10.17221/210/2010-CJFS
- Chhikara, N., Kushwaha, K., Sharma, P., Gat, Y., y Panghal, A. (2019). Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing

- industry: A critical review. *Food chemistry*, 272, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Gong, S., Jiao, C., y Guo, L. (2022). Antibacterial mechanism of beetroot (*Beta vulgaris*) extract against *Listeria monocytogenes* through apoptosis-like death and its application in cooked pork. *LWT*, 165, 113711. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113711>
- Halwani, A. F., Sindi, H. A., y Jambi, H. A. (2018). Characterization of physical properties of red beet pigments. *Journal of Biochemical Technology*, 9(2), 16.
- Khorshidian, N., Khanniri, E., Koushki, M. R., Sohrabvandi, S., y Yousefi, M. (2022). An overview of antimicrobial activity of lysozyme and its functionality in cheese. *Frontiers in Nutrition*, 325. 10.3389/fnut.2022.833618
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., Dominguez, R., Pateiro, M., Saraiva, J. A., y Franco, D. (2018). Main groups of microorganisms of relevance for food safety and stability: general aspects and overall description. In *Innovative technologies for food preservation* (pp. 53-107). *Academic Press*.
- Mancha, M. A. F., Monterrubio, A. L. R., Vega, R. S., y Martínez, A. C. (2019). Estructura y estabilidad de las betalainas. *Interciencia*, 44(6), 318-325. 0378-1844/14/07/468-08
- Mataragas, M., Bikouli, V. C., Korre, M., Sterioti, A., y Skandamis, P. N. (2019). Development of a microbial Time Temperature Indicator for monitoring the shelf life of meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.11.003>
- Pérez, S. (2016). Informe científico de Beca de Perfeccionamiento: Pérez, Silvina (2015-2016).
- Ziyaina, M., Govindan, B. N., Rasco, B., Coffey, T., y Sablani, S. S. (2018). Monitoring shelf life of pasteurized whole milk under refrigerated storage conditions: Predictive models for quality loss. *Journal of food science*, 83(2), 409-418. DOI: 10.1111/1750-3841.13981

Estudio teórico de la actividad reductora de la quercetina

Oscar Eduardo Ortiz Contreras¹, Dra. María de los Ángeles Cuán Hernández^{1*}, Dr. Rufino Nava Mendoza¹, Dr. Carlos Martín Cortés Romero²

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. ² Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México. oortiz13@alumnos.uaq.mx, angelescuan@gmail.com

Resumen

La quercetina es una de los compuestos flavonoides más conocidos debido a su capacidad antioxidante, antiviral y antirradical. A pesar de su importancia en diferentes sistemas fisicoquímicos, la capacidad reductora de esta molécula disuelta en sistemas binarios, no ha sido estudiada. Los cálculos realizados para esta configuración se realizaron a través de la teoría funcional de la densidad (DFT) empleando el funcional B3LYP con un conjunto base 6-311g+(d, p), con el objetivo de explorar la estructura, potencial electrostático, modos vibracionales y transiciones electrónicas bajo la influencia de un solvente binario etanol-agua (25-75 %v/v) por medio de un modelo de solvatación continuo universal (SMD). Los resultados muestran que los grupos -OH en las posiciones 7, 3', 4' son los sitios más probables de anclaje y donde se llevará a cabo una primera transferencia electrónica; además de ser los sitios donde se presentan los hidrógenos más ácidos. Para los espectros IR y UV-Vis, se contrastó con su parte experimental, donde se pudo obtener información acerca de los modos vibracionales específicos, así como los orbitales involucrados para cada caso.

Palabras clave: Flavonoides, quercetina, actividad reductora, DFT, química cuántica.

Abstract

Quercetin is one of the best-known flavonoids there is due to its antioxidant, antiviral and antiradical properties. Despite its importance in different physicochemical systems, the reducing capacity of this molecule in the presence of a binary solvent has not been studied. Density Functional Theory (DFT) calculations under the level of B3LYP and a 6-311g+(d, p) basis set have been used to explore the structure, electrostatic potential, vibrational modes and electronic transitions under the influence of an ethanol-water mixture (25-75 %v/v) by means of a universal continuum solvation model (SMD). The results show that the -OH at positions 7, 3', 4' are the most likely binding sites and are the sites where the first electron transfer will take place. In addition to being the sites where the most acidic hydrogens are located. For the IR and UV-Vis spectra, it was contrasted with its experimental part, where it can be pointed the specific vibrational modes, as well as the orbitals involved in the electronic transitions.

Keywords: Flavonoids, quercetin, reducing activity, DFT, quantum chemistry.

Introducción

Los flavonoides son algunos de los principales metabolitos secundarios de las plantas, una clase de compuestos polifenólicos con más de 9000 estructuras que se encuentran en la naturaleza (Rakha et al., 2022; Yi et al., 2021). Estas estructuras (Figura 1) se caracterizan por la presencia de 15 átomos de carbono como constituyentes básicos, con dos anillos benceno (A y B) unidos entre sí por un anillo de pirano hererocíclico (C). En los últimos años, además de su papel fundamental en la fisiología de las plantas, se ha documentado una amplia gama de acciones farmacológicas de estos compuestos sobre los diversos sistemas del cuerpo humano (Moldovan et al., 2021).

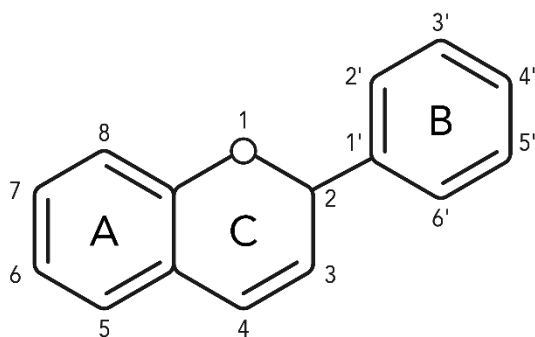


Figura 1. Estructura básica de un flavonoide (Rakha et al., 2022).

Estas acciones o actividades biológicas, atribuidas a los flavonoides, incluyen efectos anticancerígenos, antiinflamatorios, antivirales, antibacterianos y antioxidantes; así como una serie de funciones cardio-, neuro- y hepato- protectoras (Pagliuso et al., 2020; Rakha et al., 2022). Todas estas propiedades generalmente se atribuyen a su actividad de eliminación de radicales libres, capacidad de quelación de metales y a su capacidad de unión a proteínas con un alto grado de especificidad (Rakha et al., 2022).

La quercetina, es un flavonol, una de las seis subclases de compuestos flavonoides, con un grupo -OH en las posiciones 3, 5, 7, 3' y 4' (Figura 2). Es un compuesto lipofílico moderadamente soluble en etanol (4.0 mg/ml, 37°C) y con baja solubilidad en agua (0.01 mg/ml, 25°C), lo que limita la incorporación de altas

concentraciones de quercetina en soluciones acuosas (Wang et al., 2016).

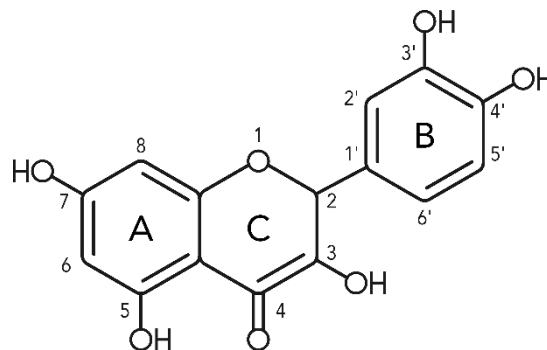


Figura 2. Estructura química de la molécula de quercetina (Ulusoy & Sanlier, 2020).

La forma más común de la quercetina, que generalmente se encuentra glicosilada, es la rutina; mientras que la estructura sin azúcar se conoce como aglicona (Batiha et al., 2020; Ulusoy & Sanlier, 2020). Una de las características más relevantes de esta molécula es la presencia de varios grupos hidroxilo (-OH) y la fracción carbonilo en la estructura flavonoide que conduce a la quelación de iones metálicos y le da la capacidad de fungir como una molécula donadora de electrones. Sin embargo, la capacidad de la quercetina está restringida debido a su baja biodisponibilidad, poca solubilidad, e inestabilidad causada por la naturaleza de la molécula (Chahardoli et al., 2021), misma que puede ser explorada a través de cálculos mecánico cuánticos. Usualmente se suele estudiar esta molécula en sistemas glicosilados o en fase gaseosa sin considerar el efecto de disolvente, que repercute en la estabilidad final de la molécula. Por lo anterior, el estudio de estos sistemas, en ambientes químicos con solventes binarios, es necesario para poder entender las diferentes interacciones con agentes oxidantes o carentes de electrones, así como los posibles sitios activos; con esto proponer vías de reducción y transferencia electrónica, que puedan servir para el diseño métodos para la quelación de iones metálicos.

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad reductora de la molécula de quercetina en las diferentes posiciones de los grupos -OH, en su forma aglicona, por medio de los diferentes descriptores moleculares y proponer los sitios más propicios donde

se llevará a cabo una transferencia de carga, empleando un disolvente binario etanol-agua, para conocer su posible capacidad como agente quelante de iones metálicos.

Metodología

Todos los cálculos se realizaron mediante el *software* Gaussian 09W (M. J. Frisch et al., 2016) Se empleó el método de la Teoría Funcional de la Densidad (DFT) bajo un funcional híbrido (B3LYP) y utilizando un conjunto base 6-311g+(d, p). Los cálculos de optimización estructural, energía, frecuencia (IR) y transiciones electrónicas (UV-VIS) se realizaron a 25 °C en una mezcla 25-75 % v/v (etanol-agua) aplicando una corrección a la energía libre de Gibbs y utilizando un modelo de solvatación basado en densidad (SMD). La proporción de la mezcla 25-75 % v/v (etanol-agua) se obtuvo como resultado de un trabajo previo y la constante dieléctrica, necesaria para el modelo de solvatación, se obtuvo del trabajo de Wyman (Wyman, 1931).

Resultados

A. Densidad electrónica total

La Figura 3 muestra la superficie de energía potencial proyectada en la densidad electrónica total de la molécula de quercetina. Los colores rojo y amarillo de la densidad electrónica representan la cargada negativamente, mientras el color azul corresponde a densidad de carga positiva.

Como se puede observar en la figura, los tres anillos de la estructura permanecen prácticamente neutros; mientras que, en donde se localizan los átomos de oxígeno, presentan un color amarillento, lo que indica una densidad electrónica negativa, debido al par de electrones libres característico de este tipo de átomos.

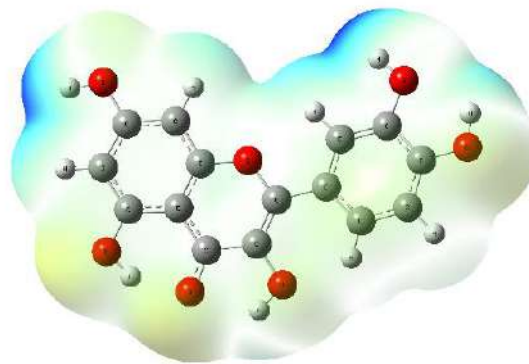


Figura 3. Distribución de isosuperficie de energía potencial calculada para la molécula de quercetina .Fuente: Elaboración propia.

También se puede detectar una densidad de carga positiva en tres de los cinco grupos -OH de la molécula de quercetina. Esta densidad de carga se atribuye a los átomos de oxígeno a los que están unidos, ya que contribuyen a esta diferencia de carga; además, no existen átomos vecinos con los que estos hidrógenos puedan interactuar y así contrarrestar su carga positiva, lo que los convierte en posibles sitios de anclaje o reacción de moléculas.

B. Descriptores moleculares

Los distintos parámetros descriptivos moleculares (Tabla 1), incluyendo la electronegatividad (χ), potencial de ionización (IP), afinidad electrónica (EA), dureza química (η), blandura (S) e índice electrofílico (ω), son vitales para caracterizar la actividad reductora y antioxidante de los flavonoides.

Tabla 1

Descriptores moleculares calculados a partir del método de energía total. Fuente: Elaboración propia.

Descriptor molecular	χ	η	S	ω
3-OH	462.2757	75.6577	0.0066	1412.2739
5-OH	507.7730	76.7604	0.0065	1679.4684
7-OH	520.1732	68.7343	0.0073	1968.3062
3'-OH	490.7611	87.2952	0.0057	1379.4934
4'-OH	478.0235	73.9039	0.0068	1545.9704

Las propiedades electrónicas se calcularon a través de la energía total de las especies. El IP se calcula como la diferencia de energía entre el compuesto derivado

de la transferencia de electrones y su respectivo compuesto neutro:

$$IP = E_{cación} - E_{neutro} \quad (1)$$

La EA se calcula como la diferencia de energía entre la molécula neutra y su compuesto aniónico:

$$EA = E_{neutro} - E_{anión} \quad (2)$$

Los parámetros χ , η , S y ω se calculan usando las ecuaciones (3-6) (Zheng et al., 2017).

$$\chi = -\mu \approx (IP + EA)/2 \quad (3)$$

$$\eta \approx (IP - EA)/2 \quad (4)$$

$$S \approx 1/(2\eta) \quad (5)$$

$$\omega \approx \mu^2/2\eta \quad (6)$$

Estos descriptores moleculares nos indican la resistencia o facilidad de transferencia de carga, así como la tendencia a atraer electrones en un enlace químico y el flujo máximo de electrones entre un donante y un aceptor. Las propiedades moleculares confirman que la quercetina oxidada en la posición 7 es la primera posición o la posición más probable en la que se llevará a cabo la primera transferencia de carga. Lo anterior actúa como donador de electrones, lo cual confirma el carácter reductor de la molécula.

C. Frecuencia (IR)

En la Figura 4, podemos observar el espectro IR de la molécula de quercetina, tanto teórico como experimental. Se puede distinguir la aparición de bandas en 3294.20 y 1671.24 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de estiramiento de los grupos hidroxilo y carbonilo, así como señales en 1614.62, 1513.53 y 1457.72 cm^{-1} , todas ellas pertenecientes a

los modos de vibración de estiramiento de los anillos benceno (Ma et al., 2018).

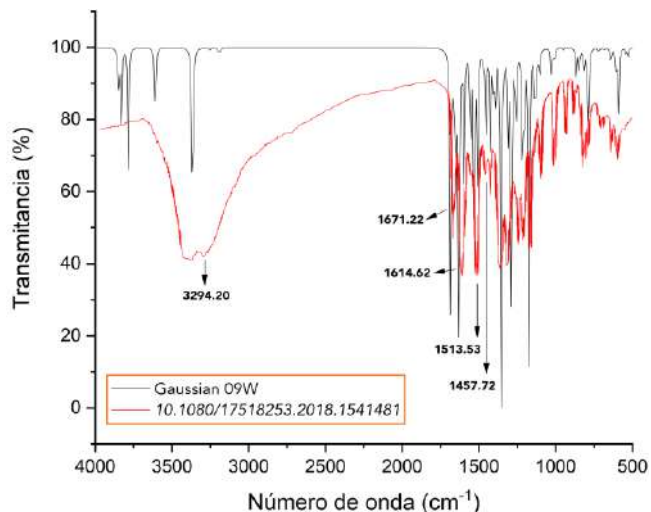


Figura 4. Espectro IR calculado (negro) y experimental (rojo) para la molécula de quercetina. Fuente: Ma et al. (2018).

Como se puede observar, el espectro calculado no solo coincide con su contraparte experimental, sino que también nos permite analizar de forma más precisa algunos de los diferentes modos vibracionales para la molécula de quercetina, ya que disponemos de bandas más definidas. Algunos de estos modos son los que se encuentran en 3751.63, 3737.76, 3602.84 y 3331.19 cm^{-1} , correspondientes a las vibraciones de estiramiento de los grupos -OH en posiciones 3, 7 y 4', 3', y 5, respectivamente, que desde el modelo teórico podemos definir a qué modos vibracionales corresponden, mientras que, en el experimental, solo se observa una banda no bien definida. Estas vibraciones alrededor de los 3200 cm^{-1} nos indican también posiciones preferentes para el anclaje de especies oxidantes o carentes de electrones, así como de los sitios más activos dentro de la molécula.

D. Orbitales moleculares de frontera

En la Figura 5, se muestra la isosuperficie correspondiente al orbital molecular más alto ocupado (HOMO)

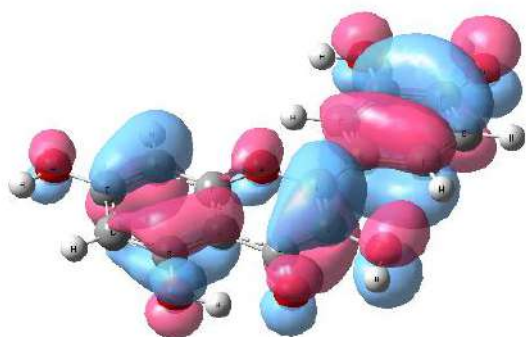


Figura 5. Distribución de isosuperficie HOMO calculada para la molécula de quercetina. Valor de isosuperficie 0.02. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, en la distribución HOMO, los electrones se distribuyen a lo largo de la molécula con una cierta resonancia entre los enlaces $-C=C-$ además de un desplazamiento hacia los átomos laterales. Lo que se puede observar es que en los anillos B y C se distribuyen principalmente los electrones; mientras que para los grupos $-OH$, los electrones parecen estar confinados dentro de su grupo funcional.

Para el caso de la isosuperficie LUMO (Figura 6), se puede percibir que los electrones ya no se encuentran distribuidos sólo en los anillos B y C, sino a lo largo de toda la molécula. Esto sugiere que los grupos $-OH$, en los anillos B y C de la quercetina, son los más susceptibles a un ataque por especies oxidantes.

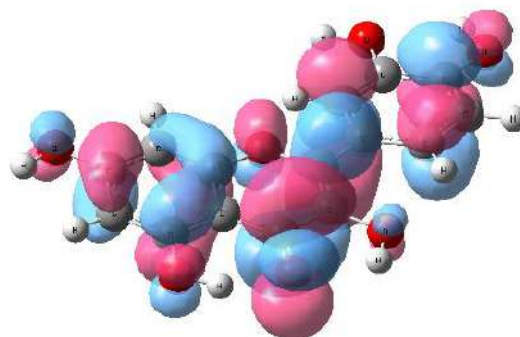


Figura 6. Distribución de isosuperficie LUMO calculada para la molécula de quercetina. Valor de isosuperficie 0.02. Fuente: Elaboración Propia.

Por último, en la Tabla 2, se muestra cómo la capacidad de donación de electrones de los flavonoides está relacionada con las energías orbitales, principalmente el HOMO.

Tabla 2.

Energías orbitales HOMO, LUMO y brecha energética de la molécula de quercetina reducida en diferentes posiciones. Fuente: Elaboración propia.

	E_{HOMO} (eV)	E_{LUMO} (eV)	E(eV)
Quer	-5.8442	-2.2101	3.6341
3-OH	-5.5979	-2.3799	3.2180
5-OH	-5.8989	-2.0909	3.8080
7-OH	-6.0668	-2.4109	3.6559
3'-OH	-5.9841	-2.4041	3.5799
4'-OH	-5.7593	-2.2664	3.4929

Las moléculas con mayor capacidad reductora presentan una mayor energía HOMO. Por lo que podemos observar cómo la quercetina oxidada en las posiciones 3-OH y 4'-OH son los sitios de mayor capacidad reductora. Por otro lado, a pesar de que estos dos últimos son los que presentan la menor brecha energética, no existe un efecto significativo, por lo que el efecto reductor de la molécula es prácticamente el mismo para cualquiera de las posiciones de los $-OH$.

E. Transiciones electrónicas

En la Figura 7, se muestra el espectro UV-Vis para la molécula de quercetina en una solución de etanol. Este compuesto presenta una absorción máxima en el rango UV-A, a 375 nm, que se atribuye al anillo B de la quercetina; asimismo, una segunda banda de absorción, en el rango UV-C, aproximadamente a 258 nm, que corresponde con el sistema benzoílo A-C. Por último, se tiene una banda débil alrededor de los 300 nm, que se atribuye únicamente al anillo C de la estructura flavonol.

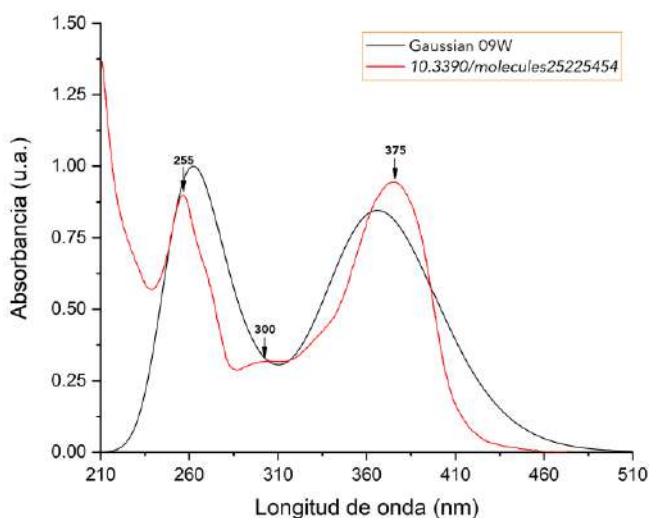


Figura 7. Espectro UV-Vis calculado (negro) y experimental (rojo) para la molécula de quercetina. Fuente: (Golonka et al., 2020)

Por otro lado, cabe aclarar que las señales de absorbancia individuales en un espectro UV-Vis para este tipo de flavonoides cambian dependiendo de la composición de la preparación y el tiempo de exposición (Golonka et al., 2020).

Como se puede observar, existe una diferencia en el número de bandas observable entre el espectro teórico y experimental, lo cual se atribuye al ambiente químico, así como al número de moléculas presentes en un compuesto real. No hay que perder de vista que, para el espectro calculado, sólo se modeló una molécula. No obstante, el cálculo TD-DFT nos permite saber que las absorciones a 300 y 375 nm corresponden con transiciones electrónicas entre los orbitales HOMO-1 y HOMO al LUMO; mientras que

para la absorción a 258 nm las transiciones suceden entre los orbitales HOMO-3 y HOMO-2 al LUMO, y entre HOMO al LUMO+3.

Para los espectros teóricos de la Figura 8, podemos observar absorbancias a diferentes longitudes de onda, 370, 386, 394, 422 y 460 nm, que corresponden con la oxidación de la molécula de quercetina en las posiciones 5, 7, 3', 4', y 3, respectivamente.

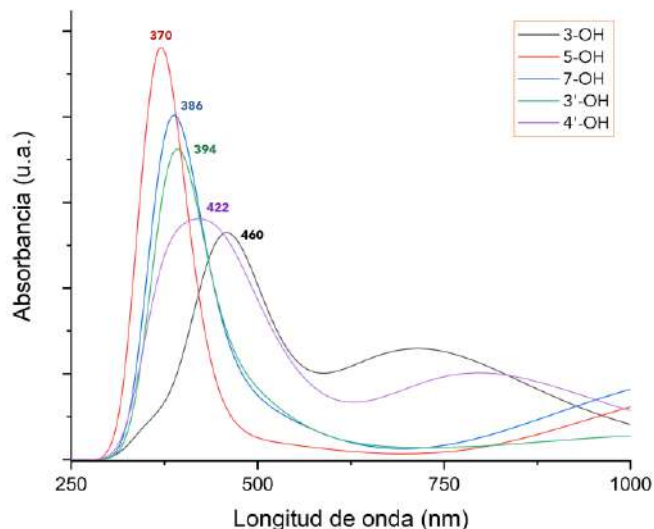


Figura 8. Espectro UV-Vis calculado para la molécula de quercetina reducida en diferentes posiciones. Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que, dependiendo la posición del grupo hidroxilo, en el proceso de oxidación, existe un desplazamiento hacia el rojo; por lo que, si se tuviera una configuración en donde la molécula de quercetina solo proporcionara un electrón, se podría saber la posición en la que se realiza esta transferencia de electrones, por medio de una espectroscopia UV-Vis. Por último, este corrimiento de los compuestos hacia el rojo, una vez que se da la transferencia electrónica, se atribuye principalmente a un efecto conjunto entre la formación de un doble enlace (C=O), por parte del átomo del grupo -OH, que es donde se lleva a cabo la oxidación de la molécula y la deslocalización de los electrones a lo largo de los 3 anillos de la estructura flavonol.

Discusión y Conclusiones

Este es uno de los primeros estudios empleando DFT con un nivel de teoría B3LYP y un conjunto base 6-311g+(d, p) que toma en cuenta el efecto de un disolvente binario en la estabilidad y actividad reductora de la molécula de quercetina en su forma aglicona, con el fin de estudiar los sitios más probables de transferencia de carga.

De acuerdo con la isosuperficie de energía potencial, se pudo observar cómo las posiciones 7, 3', 4' son las que presentan una densidad de carga positiva, debido a la presencia de hidrógenos ácidos, lo cual sirve como primer indicador de la capacidad para ceder electrones. Posteriormente, a partir de los distintos descriptores moleculares, se encontró que la posición 7 es donde se da una mayor facilidad para la transferencia de carga (electrones) seguida por la posición 4', mientras que las posiciones 7 y 5 es donde se presenta un mayor flujo de electrones, de acuerdo con su índice electrofílico. Posteriormente del análisis de frecuencias, se corroboró el buen nivel de cálculo al contrastar los espectros teórico y experimental, posteriormente se visualizaron los modos vibracionales de los sitios más propensos a formar uniones, esto corresponde con los sitios 3, 7, 4', 3', y 5, en ese orden.

De la distribución de las isosuperficies para los orbitales frontera, se corroboró la capacidad para donar electrones de la molécula y fungir como un agente reductor y se confirmó que todas las posiciones presentan una capacidad de transferencia de carga. Finalmente, para los cálculos de las transiciones electrónicas, se obtuvieron los espectros para las diferentes estructuras oxidadas, donde se mostró un desplazamiento hacia el rojo resultado de la formación de un doble enlace del átomo de oxígeno y, por ende, se pueda llevar a cabo la deslocalización de los electrones por parte de los anillos en la estructura flavonoide. Lo anterior sugiere que de ser capaces de realizar un sistema donde solo exista la transferencia electrónica de un solo portador, esta podría ser

monitoreada a través de una espectroscopia UV-Vis y que también podría ser trasladada a un sistema de más moléculas; así, se podría determinar lo que se observa experimentalmente.

Agradecimientos

Los autores agradecen el tiempo de cómputo al Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Desempeño y a CONACYT por el tiempo otorgado en Yoltla a través de la UAM-Iztapalapa, así como al proyecto 511-6/17-7498 (apoyo a la incorporación de nuevos PTC), por los recursos otorgados para la compra del software Gaussian 06 y Gaussian 09W.

Referencias bibliográficas

- Batiha, G. E.-S., Beshbishy, A. M., Ikram, M., Mulla, Z. S., El-Hack, M. E. A., Taha, A. E., Algammal, A. M., & Elewa, Y. H. A. (2020). The Pharmacological Activity, Biochemical Properties, and Pharmacokinetics of the Major Natural Polyphenolic Flavonoid: Quercetin. *Foods*, 9(3), Art. 3. <https://doi.org/10.3390/foods9030374>
- Chahardoli, A., Hajmomeni, P., Ghowsi, M., Qalekhani, F., Shokoohinia, Y., & Fattahi, A. (2021). Optimization of Quercetin-Assisted Silver Nanoparticles Synthesis and Evaluation of Their Hemocompatibility, Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antibacterial effects. *Global Challenges*, 5(12), 2100075. <https://doi.org/10.1002/gch2.202100075>
- Golonka, I., Wilk, S., & Musiał, W. (2020). The Influence of UV Radiation on the Degradation of Pharmaceutical Formulations Containing Quercetin. *Molecules*, 25(22), Art. 22. <https://doi.org/10.3390/molecules25225454>
- M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, G. E. Scuseria, M. A. Robb, J. R. Cheeseman, G. Scalmani, V. Barone, G. A. Petersson, H. Nakatsuji, X. Li, M. Caricato, A. Marenich, J. Bloino, B. G. Janesko, R. Comper, B. Mennucci, H. P. Hratchian, J. V. Ortiz, ... D. J. Fox. (2016). *Gaussian 09*. Gaussian, Inc.
- Ma, X., Lin, H., Zhang, J., Zhou, X., Han, J., She, Y., Qiu, C., He, Q., Wang, J., & Rabah, T. (2018). Preparation and characterization of dummy molecularly imprinted polymers for separation and determination of farrerol from *Rhododendron aganniphum* using HPLC. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 11(4), 513-522. <https://doi.org/10.1080/17518253.2018.1541481>
- Moldovan, C., Băbăuță, M., Mocan, A., Menghini, L., Cesa, S., Gavan, A., Sîsea, C., Vodnar, D. C., Dias, M. I., Pereira, C., Ferreira, I. C. F. R., Crișan, G., & Barros, L. (2021). Optimization of the drying process of autumn fruits rich in antioxidants: A study focusing on rosehip (*Rosa canina* L.) and sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson)

and their bioactive properties. *Food & Function*, 12(9), 3939-3953. <https://doi.org/10.1039/D0FO02783A>

Pagliuso, D., Palacios Jara, C. E., Grandis, A., Lam, E., Pena Ferreira, M. J., & Buckeridge, M. S. (2020). Flavonoids from duckweeds: Potential applications in the human diet. *RSC Advances*, 10(73), 44981-44988. <https://doi.org/10.1039/D0RA06741E>

Rakha, A., Umar, N., Rabail, R., Butt, M. S., Kieliszek, M., Hassoun, A., & Aadil, R. M. (2022). Anti-inflammatory and anti-allergic potential of dietary flavonoids: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 156, 113945. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113945>

Ulusoy, H. G., & Sanlier, N. (2020). A minireview of quercetin: From its metabolism to possible mechanisms of its biological activities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(19), 3290-3303. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1683810>

Wang, W., Sun, C., Mao, L., Ma, P., Liu, F., Yang, J., & Gao, Y. (2016). The biological activities, chemical stability, metabolism and delivery systems of quercetin: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 21-38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.004>

Wyman, Jeffries. (1931). THE DIELECTRIC CONSTANT OF MIXTURES OF ETHYL ALCOHOL AND WATER FROM -5 TO 40°. *Journal of the American Chemical Society*, 53(9), 3292-3301. <https://doi.org/10.1021/ja01360a012>

Yi, D., Bayer, T., Badenhorst, C. P. S., Wu, S., Doerr, M., Höhne, M., & Bornscheuer, U. T. (2021). Recent trends in biocatalysis. *Chemical Society Reviews*, 50(14), 8003-8049. <https://doi.org/10.1039/D0CS01575J>

Zheng, Y.-Z., Deng, G., Liang, Q., Chen, D.-F., Guo, R., & Lai, R.-C. (2017). Antioxidant Activity of Quercetin and Its Glucosides from Propolis: A Theoretical Study. *Scientific Reports*, 7(1), 7543. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08024-8>

Obstáculos en PYME y la idoneidad de políticas públicas

Paulina Hernández Mendoza (FCA, UAQ),

phernandezm23@gmail.com

Enrique Leonardo Kato Vidal (FCA, UAQ)

enriquekato@uaq.mx

Resumen

Como parte de su agenda, los gobiernos ofrecen un conjunto de programas para dar apoyos a las micro y pequeñas empresas. Al revisar las convocatorias y las reglas de operación, es posible describir a qué y a quiénes se dirigen los apoyos. En cambio, suele pasar desapercibido el punto de vista de las empresas dado que no es sencillo tener un diagnóstico de los obstáculos que enfrentan en la región; en esa medida, poder comparar el grado y magnitud en que coinciden los apoyos gubernamentales y las necesidades apremiantes en las empresas. El objetivo de esta ponencia fue conciliar la oferta de los apoyos estatales en relación a los obstáculos autorreportados por gerentes y dueños de pequeñas y medianas empresas. Para ello, se hizo una recopilación de los programas en los portales de los gobiernos estatales; se describieron cuáles eran los principales problemas de las pequeñas empresas en los 32 estados y, a través de una revisión de la literatura, se reseñó qué características tenían los programas con impacto o efectividad. Estos resultados sirven para valorar el rango de áreas atendidas por los gobiernos locales de México y lograr una perspectiva de lo que faltaría por hacer.

Palabras clave: Obstáculos empresariales, Programas públicos, PYME, Economía subnacional, México.

Abstract

As part of their agenda, governments offer a set of programs to support small and medium-sized enterprises. By reviewing the calls and the rules of operation it is possible to describe to what and to whom the supports are addressed. On the other hand, the point of view of companies often goes unnoticed, since it is not easy to have a diagnosis of the obstacles faced by companies in the region and, to that extent, to be able to compare the degree and extent to which government support and the pressing needs of businesses coincide. The aim of this paper was to reconcile the offer of state support in relation to the obstacles self-reported by managers and owners of small and medium enterprises. For this purpose, a compilation of the programs was made in the portals of the state governments, the main problems faced by small businesses in the 32 states were described and a review of the literature reviewed the characteristics of programs with impact or effectiveness. Among the results, they highlight that although the programs face certain problems, the governments still do not propose programs that diminish or eliminate those that affect companies. These results serve to assess the range of areas served by the local governments of Mexico and achieve a perspective of what would remain to be done.

Keywords: Business barriers, Public policies, SME, Subnational economy, Mexico.

Introducción

Las pequeñas y medianas empresas, de acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas representan cerca del 6.4 % del total de empresas a nivel nacional. Si bien no representan una porción grande, pues las micro empresas tienen la mayor presencia en el país (93.3 %), las pequeñas y medianas empresas mantienen una importante cantidad de la fuerza laboral. Por ello, hacer frente a los retos y limitaciones que experimentan es de gran relevancia, con lo que se asegura su posicionamiento y continuidad dentro del mercado.

Los gobiernos tienen un gran reto, a través de la creación de programas y políticas: atacar la mayor cantidad de problemáticas comunes que enfrentan las pequeñas y medianas empresas, así como disminuir o erradicar el impacto de las diversas fallas de mercado (problemas estructurales). A pesar de la diversidad de programas y políticas existentes, no todo resulta en casos de éxito, debido a que las políticas no se enfocan directamente en la problemática o porque existen otros factores externos no considerados (Carvalho & Yordanova, 2018).

Para llevar a cabo el presente análisis, se revisaron dos fuentes de información. En primer lugar, se tomó en cuenta la Encuesta Nacional de Productividad y Competitividad (ENAPROCE), en su versión más reciente de 2018, la cual es publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Esta encuesta reporta las problemáticas que enfrentan las pequeñas y medianas empresas. En segundo lugar, se consideraron las páginas oficiales de los gobiernos estatales con el fin de conocer los programas de apoyo implementados para las mismas empresas. Dichas fuentes de información fueron útiles, pues permitieron contrastar las problemáticas reportadas por las empresas y los programas que los diferentes gobiernos han puesto en marcha.

Entre los principales resultados encontrados están: i) en las empresas de comercio las problemáticas principales fueron problemas de inseguridad pública y la competencia de empresas informales; ii) las empresas de servicios reportaron también problemas de inseguridad pública, así como altos impuestos, y

iii) las empresas manufactureras presentaron como problemáticas los costos de energía y la competencia de empresas informales.

Para enfrentar las problemáticas empresariales, los gobiernos estatales postulan diversos programas. Como ejemplo, en Querétaro la Secretaría de Desarrollo Sustentable auspicia el “Programa para la Competitividad de las empresas”, el cual tiene como objetivos: 1) Fomentar la creación, desarrollo, consolidación, viabilidad, productividad, competitividad y sustentabilidad de las empresas y emprendedores, y 2) Impulsar a emprendedores, así como la inversión productiva, la innovación y el desarrollo tecnológico para generar empleo, y el aumento de la competitividad empresarial. Este programa en 2021 (tercer trimestre) tuvo un alcance de 57 personas físicas y morales y una bolsa de 11 millones de pesos ¿Son este tipo de programas los que demandan los dueños y gerentes de las empresas pequeñas?

El objetivo del presente estudio es conciliar la oferta de los apoyos estatales respecto a los obstáculos autorreportados por gerentes y dueños de pequeñas y medianas empresas. El documento se estructura de la siguiente manera: en la primera sección se expone la revisión de literatura, en la que se postulan diversos ejemplos de políticas a nivel internacional. Enseguida, se describe la información utilizada y reportan los resultados obtenidos. Posteriormente, se presenta la discusión y las conclusiones. Al final, se incluyeron tres anexos.

Revisión de literatura

Esta sección contiene tres apartados. En el primero se describen políticas para empresas nuevas; en el segundo, se retoma un meta análisis de la experiencia europea; finalmente, se exponen algunos motivos de por qué deben existir las políticas para emprendedores.

a) Políticas para la creación y supervivencia de las empresas.

Las empresas de nueva o reciente creación enfrentan retos y barreras importantes que les dificultan su continuidad y estabilidad dentro del mercado. Por lo

que la creación de políticas que disminuyan el impacto de dichos retos o barreras es esencial para permitir el progreso de las mismas y con ello fortalecer la economía, la creación de empleo, entre otras variables. El reto de las personas que postulan dichas políticas es crear los mecanismos correctos acorde con las necesidades que demandan las empresas y de esta manera tener las condiciones para mantenerse en el mercado. Un caso de éxito lo exponen Butler, Galassi y Ruffo (2016), denominado programa “Buenos Aires Emprende”, creado en 2008, con el objetivo identificar y apoyar a los empresarios con nuevas ideas.

El programa se enfoca en dos etapas. Una primera etapa hace la selección de las instituciones, organizaciones y universidades que serán apoyo para que las empresas diseñen su plan de negocios y las guíen durante el proceso de aplicación. En la segunda etapa se evalúan a los solicitantes y sus proyectos, tanto en la viabilidad del proyecto como en su capacidad emprendedora. En ambas etapas, los participantes acumulan puntos y serán seleccionados si obtienen un puntaje igual o superior a 55 puntos. Resulta interesante que tanto los participantes como los asesores reciben incentivos económicos. Los beneficiarios reciben un apoyo de 70 000 pesos argentinos (ARS) y las instituciones colaboradoras reciben dos montos: 3 000 ARS por cada proyecto asignado y 2 000 ARS mensuales durante el periodo de tutorías. En 2012, cuando se aplicó la encuesta, 1 000 ARS equivalía a 3 000 pesos mexicanos (MXN).

De acuerdo con una encuesta realizada a 108 empresas, de las cuales 68 eran beneficiarias del programa y 40 no, fue posible conocer el segmento de la población en el que el programa tenía mayor participación. La edad media de los empresarios beneficiados era 36 años, 70 % eran hombres, 42 % eran graduados de universidad y 40 % tenían maestría. Los sectores a los que se apoyaron eran diversos; sin embargo, el 33 % tenían relación con las empresas de Tecnologías de la Información (TI) y el 16 % eran empresas manufactureras. Como se mencionó, el programa expuesto ha sido un caso de éxito debido a que ha mostrado un impacto positivo en la creación

de empresas, la supervivencia y la duración en el mercado.

Referente a la creación de empresas, los resultados muestran que el 97 % de los beneficiarios comenzaron sus proyectos, mientras que de los no beneficiarios únicamente el 63 % lo hizo. Por otra parte, al ser aprobado en el programa la probabilidad de ejecutar un proyecto aumenta entre un 20 % y un 32 %. En cuanto a la supervivencia de las empresas, los resultados muestran que el 92 % de los beneficiarios tiene una mayor probabilidad de continuar el proyecto, frente al 79 % de los no beneficiarios (Butler, Galassi & Ruffo, 2016).

Finalmente, conocer la duración de las empresas fue útil para profundizar en el tema de la supervivencia. Para este punto, se obtuvo que ser beneficiario reduce la probabilidad de salida en el mercado (Butler, Galassi & Ruffo, 2016). Una vez presentados los resultados, se concluyó que el programa tiene un impacto positivo en la tasa de creación y supervivencia de empresas, con diferencias que no solo son estadísticamente significativas, sino también importantes desde una perspectiva económica.

b) Las políticas de la experiencia europea

Además de Argentina, los países de la Unión Europea han puesto en marcha programas y políticas con el objetivo de apoyar el espíritu empresarial, con lo que se busca incrementar su competitividad y la riqueza de las economías, para superar las principales fallas de mercado. Sin embargo, no todas las políticas han resultado en casos de éxito. En un análisis de 30 estudios empíricos, Dvouletý, Srhoj y Pantea (2021) revisó políticas basadas en subvenciones (subsídios), así como el impacto que tuvieron dentro de las empresas. En todos los casos, esos programas otorgaban apoyos a las pequeñas y medianas empresas en materia de competitividad o espíritu empresarial.

Los países que se tomaron en cuenta fueron: Italia (8 estudios), Reino Unido (4), Croacia (3), República Checa (3), Irlanda (3) y Alemania (2), así como un estudio de Bélgica, Estonia, Finlandia, Hungría, Letonia, España y Suecia. La mayoría de los estudios evaluaron los efectos a corto plazo, los cuales

generalmente se capturan dos años después del final de la intervención. Al igual que el estudio realizado por Butler, Galassi y Ruffo (2016), la efectividad de los programas implementados fue medida a través de la supervivencia de las empresas; no obstante, también se tomó en cuenta el efecto sobre la productividad.

Los resultados de Butler, Galassi y Ruffo (2016) varían según el indicador estudiado. En las investigaciones que analizaron la variable de supervivencia, se reportaron que existen mayores tasas de supervivencia si las empresas fueron subsidiadas (18 estudios muestran resultados positivos). En cuanto al crecimiento de las empresas, se consideró el crecimiento de los activos tangibles-fijos (nueve estudios obtuvieron resultados positivos sobre los activos materiales o fijos).

En tercer lugar, para evaluar la productividad de las empresas, se consideró tanto la productividad laboral, como la productividad total de los factores. La productividad laboral se utilizó más frecuentemente porque puede calcularse fácilmente a partir de los registros financieros de la empresa (seis estudios mostraron efectos positivos). Los resultados que hicieron referencia a la productividad total de los factores son menos favorables a incrementos de la productividad (cinco estudios mostraron efectos positivos).

Evaluando los efectos de las políticas bajo distintos panoramas fue posible determinar en qué programa hubo un mayor impacto. Al respecto, en 14 estudios se observó que las subvenciones concedidas en las regiones menos desarrolladas tuvieron efectos positivos en el rendimiento de las empresas. Por otra parte, al evaluar los resultados comparando empresas pequeñas y grandes, se muestran pruebas no confirmadas de los efectos positivos en las empresas más pequeñas. Por otra parte, las subvenciones muestran efectos positivos en el desempeño de las empresas cuando el monto de la subvención es mayor al 10 % de los beneficios del año previo; mientras que no se mostraron efectos cuando el importe de la subvención es inferior al 10 %. Como se puede observar, los diversos estudios muestran panoramas distintos para las diferentes variables, es decir efectos

positivos ante algunas circunstancias y efectos negativos en otras.

c) Las políticas públicas para emprendedores

En diferentes países, los emprendedores tienen un papel importante, pues son reconocidos como creadores de empleo y catalizadores de crecimiento económico. Por ello, al igual que con las empresas de reciente creación, los gobiernos tienen políticas públicas que se enfoquen a incrementar el número de emprendedores y a reducir las barreras que dificultan que las personas se vuelvan emprendedoras; con esto, hacen frente a las diversas fallas de mercado y externalidades (Acs, Åstebro, Audretsch y Robinson, 2016).

Entre las externalidades reconocidas pueden citarse cuatro: i) tecnológicas, ii) de conocimiento, iii) de fracaso y iv) de demostración. Las externalidades tecnológicas se pueden observar como la escasez de emprendedores tecnológicos que generan una barrera en la atracción de emprendedores. En segundo lugar, existe una externalidad de conocimiento, dado que el conocimiento creado por una empresa u organización -como una universidad- puede ser usado por otros emprendedores para empezar o hacer crecer sus propios emprendimientos.

Una tercera externalidad hace referencia al fracaso, puesto que puede haber valor cuando algunos emprendedores fracasan o el emprendimiento falle. Esto es que, aunque ocurra lo anterior, el conocimiento generado, así como la experiencia, las ideas y la innovación, puede ser retomado por otros emprendedores para crear nuevos emprendimientos. En cuarto, y último lugar, se encuentra la externalidad por demostración. En este caso se reconoce a los emprendedores como un modelo positivo a seguir, independientemente del resultado, el cual puede influir en la decisión de otros de convertirse en emprendedores.

Aunque se han descrito los tipos de externalidades asociadas al emprendimiento, persiste la posibilidad de las políticas implementadas no siempre alcancen los resultados previstos y en el proceso ocurran afectaciones al mercado laboral y el mercado de capitales. Por ello, deben reconocerse que existen las

externalidades, para prever posibles efectos secundarios, superarlos y poder mejorar las condiciones de los emprendedores, así como de las empresas, fortaleciendo la economía, el mercado laboral y las condiciones de los menos favorecidos.

Metodología y resultados

Primero se expone cuáles son los principales problemas que reportan las pequeñas empresas en México. Posteriormente, se describen el tipo de programas o políticas vigentes de los gobiernos estatales.

a) Problemas autorreportados de las pequeñas empresas mexicanas para crecer

En la revisión de la literatura se ofreció una perspectiva internacional de las políticas públicas destinadas a apoyar a empresas. También se recopiló información sobre las políticas subnacionales para apoyar a micro y pequeños empresarios. En esta sección, se muestran cuáles son los principales problemas que declaran tener los pequeños empresarios en México. La fuente de información fue la Encuesta Nacional de Productividad y Competitividad (ENAPROCE), cuya edición más reciente es 2018. La ENAPROCE es publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Para identificar cuáles son los tres principales problemas que tienen las empresas para crecer, en la pregunta 81 de la ENAPROCE se enlistan los 15 diferentes problemas y se incluye un ítem 16 para considerar como respuesta “No tiene problemas”. Quizá no sorprenda que la gran mayoría de las empresas reporta tener algún obstáculo. Sólo una de cada 10 empresas eligió la opción: No tener problemas. Además de ser grande la cantidad de pequeños empresarios con dificultades, también las problemáticas son diversas. En la Figura 1, se muestran los seis principales obstáculos, aunque los problemas son comunes, difieren en intensidad por sector.

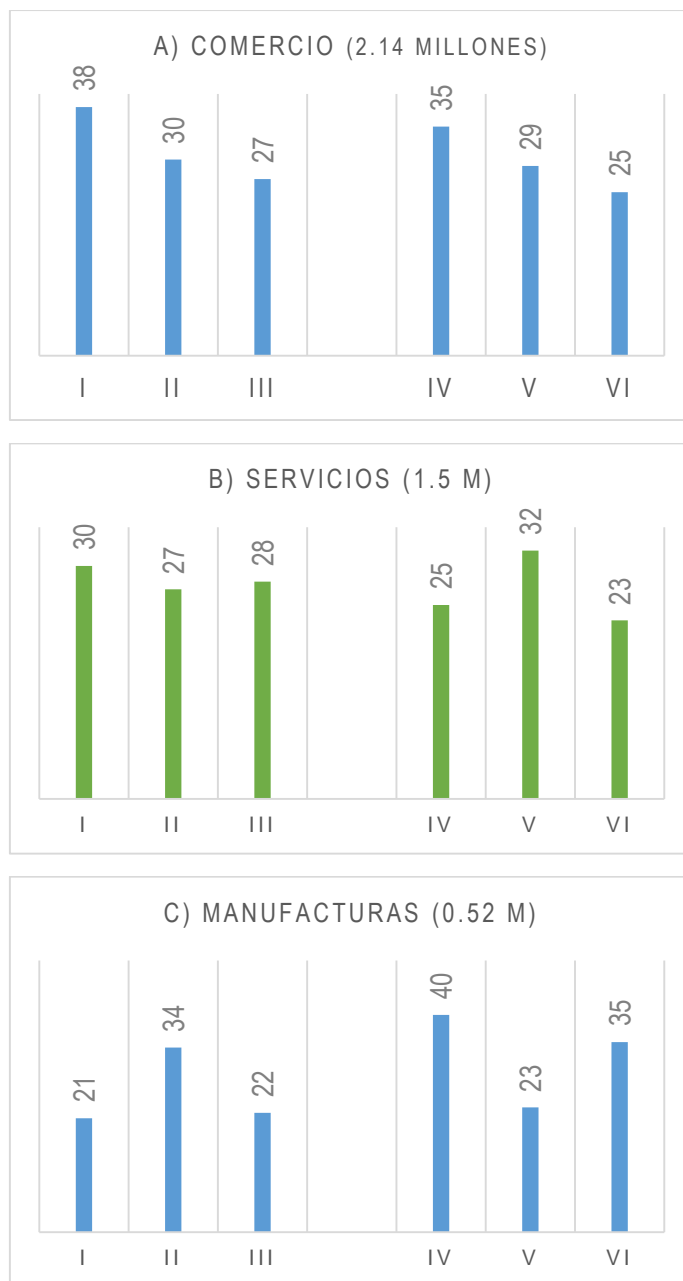


Figura 1. Problemas que enfrentan las empresas para crecer (Porcentaje por gran sector). Leyendas: I Problemas de inseguridad pública; II Costo de energía; III Falta de crédito; IV Competencia de empresas informales; V Impuestos altos; VI Baja demanda de sus productos. *Nota.* Las empresas eligieron hasta tres problemas, los porcentajes suman más del 100. Fuente: ENAPROCE, INEGI, 2018.

Los seis principales problemas pueden subdividirse en dos grupos, los problemas relacionados al mercado (ventas) y problemas no de mercado. En la parte izquierda de la Figura 1, se muestran los problemas

no de mercado, estos son la inseguridad pública, el costo de la energía y la falta de crédito. Estos problemas fueron reportados aproximadamente por un 30 % de las empresas de los sectores comercio y servicio; el impacto de la inseguridad y la escasez de crédito fue menor en la industria manufacturera. Cabe señalar que las manufacturas es un sector con diferentes problemáticas y también es el sector relativamente más pequeño, con cerca de 520 mil empresas, en comparación al comercio con más de dos millones de negocios y servicios con 1.5 millones de empresas.

Respecto a los problemas de mercado, se identifican tres tipos: i) la excesiva competencia con empresas informales, que reducen las ventas; ii) los impuestos altos, que reduce la rentabilidad y el margen de ganancia; y iii) la baja demanda de los productos, es decir, un volumen de clientes menor al esperado, además implica algún grado de capacidad instalada ociosa. Del lado derecho de la Figura 1, se muestra la intensidad con que se identifican estos problemas en cada sector. Cerca del 30 % de las empresas en los sectores de comercio y servicio respondió que los problemas de mercado son un obstáculo para el crecimiento. En manufactura, los problemas de mercado son un obstáculo mucho más frecuente, particularmente la competencia con empresas informales y la baja demanda de sus productos. Una vez descritos los problemas autorreportados por las pequeñas empresas en México, corresponde valorar qué políticas existen y qué problemas buscan resolver.

b) ¿Están alineados los apoyos públicos a las necesidades de las empresas?

Una vez identificados los problemas que las empresas reportan como principales amenazas para su crecimiento, se recurrió a identificar los programas realizados por los gobiernos estatales, los cuales ponen a disposición de las empresas. Para ello, se realizó una búsqueda en las páginas oficiales de los gobiernos, con el fin de conocer el abanico de programas disponibles para las pequeñas y medianas empresas. De los 32 estados, fue posible obtener información de programas en 20 de ellos; entre los que destacan con el mayor número Baja California Sur, Coahuila, Guanajuato, Morelos, Yucatán y

Zacatecas. Dentro de dichos estados se reportaron un total de 48 programas, aunque, es importante mencionar, que únicamente se consideraron los programas que estaban disponibles durante el tiempo de estudio (octubre y noviembre). Esta aclaración se enfatiza debido a que posiblemente en algún otro periodo de tiempo los gobiernos postulan una mayor cantidad de programas, e incluso, nuevos programas (ver Anexo 1).

Los programas tienen cuatro objetivos prioritarios. Primero, se busca aumentar la demanda de los productos; esto a través su mejoramiento, la comercialización, el aumento de la competitividad y calidad de los mismos. Del total de 48 programas que se encontraron, se identificó que 25 programas eran para estimular la demanda de productos (el 52 %). Segundo, otra prioridad en el otorgamiento de créditos y financiamiento (18 programas, 38 %), los cuales pueden ser utilizados para la compra de maquinaria y equipo, como capital de trabajo o para la compra de materias primas. Los siguientes dos rubros fueron menos frecuentes. Tercero, existen programas que fomentan la utilización de energías limpias (tres programas, 6 %), en Ciudad de México, Guanajuato y Morelos, que otorgan financiamiento para la compra e instalación de sistemas de aprovechamiento de energía solar o maquinaria y equipo ahorrador de energía. Cuarto y último, se identificaron dos programas (el 4 %) dedicados a la reducción de costos para tramites, permisos, licencias, registro de marca, entre otros (ver ejemplos en Anexo 3).

Discusión

Una vez planteadas las problemáticas reportadas por las empresas y las generalidades de los programas, fue posible identificar a qué problemática iba enfocado cada programa y si los propuestos resolvían o hacían frente directamente a las problemáticas que afectan con mayor frecuencia a las empresas. De las seis problemáticas reportadas, los diversos programas hacen frente a cinco de ellas:

Problemas de mercado:

- *Baja demanda de productos y competencia de empresas informales:* la mayor cantidad de programas se enfocan en mejorar los productos, hacerlos más competitivos tanto en precio y calidad, así como facilitar su comercialización y posicionamiento de los mismos; lo anterior, con la finalidad de aumentar la demanda y compra, así como convertirlos en la opción más viable para todos.
- *Impuestos altos:* si bien no existen programas enfocados directamente en la reducción de impuestos, algunos de ellos proponen la disminución de costos en trámites administrativos.

Problemas no de mercado:

- *Costos de energía:* hay pocos programas en esta materia, los cuales buscan la integración de sistemas o maquinarias que hacen uso de energías renovables con el fin de disminuir el consumo de energía convencional y con ello el gasto en dicho servicio.
- *Falta de crédito:* una cantidad importante de programas otorgan financiamiento para las empresas, tanto para la adquisición de maquinaria y equipo, como de insumos, con el fin de mejorar la productividad, rentabilidad, progreso y crecimiento de las mismas.

A pesar de todos los programas propuestos en cada entidad, los problemas no de mercado son poco atendidos, pues de las tres problemáticas expuestas, la de *inseguridad pública* no ha sido tomada en cuenta y la de costo de energía únicamente es considerada en tres estados. Por su parte, respecto a los problemas de mercado, si bien, los programas no resuelven de forma directa todas las problemáticas, los tres problemas de mercado cuentan con programas que eliminan o disminuyen los efectos negativos en las empresas.

Es importante que existan programas públicos para que las empresas reduzcan situaciones de riesgo o inestabilidad en las mismas. Tal como lo postulan Butler, Galassi y Ruffo (2016), las empresas que son aprobadas en un programa tienen desde un 20 % hasta un 32 % más de probabilidad de ejecutar un proyecto, respecto a las que no. Asimismo, sostienen que este hecho, reduce la probabilidad de salir del mercado.

No basta con implementar programas para resolver todas las problemáticas de las empresas; además, se necesita hacer evaluaciones, con el fin de conocer qué medidas, montos y condiciones de apoyo pueden mejorar efectivamente las condiciones negativas de las empresas (Storey y Potter, 2020). Un ejemplo consiste en el otorgamiento de crédito. De acuerdo con Dvouletý, Srhoj y Pantea (2021), el monto de apoyo debería ser superior al 10 % de los beneficios que la empresa tuvo el año anterior, con el fin de que este muestre efectos positivos.

Conclusiones

En el presente análisis, se buscó responder si la oferta de los apoyos estatales responde a los obstáculos autorreportados por gerentes y dueños de pequeñas y medianas empresas. Para ello se documentó que los gobiernos estatales tienen en marcha diversos programas, con el fin de hacer frente a los retos de las pequeñas y medianas empresas. Sin embargo, la mayoría de los estados cuentan con una cantidad muy limitada de los mismos, aun cuando las empresas reportan una gama más amplia de problemáticas.

Entre los programas existentes se encontraron aquellos enfocados principalmente en el otorgamiento de apoyos y financiamientos, así como en la mejora y competitividad de los productos. Sin embargo, los apoyos no consideran algunas problemáticas que las empresas postulan como importantes, situación que se podría entender como que los programas no son del todo idóneos. Para lograr reducir la intensidad de las problemáticas empresariales, los programas deberían combatir la inseguridad pública como parte esencial de las políticas empresariales, así como, aumentar los apoyos para disminuir los costos de energía y los impuestos.

Los gobiernos deben escuchar a las empresas, conocer los panoramas que enfrentan y, con ello, adaptar los programas a las necesidades que tengan en determinado momento (Potter et al., 2013). Se sabe de las dificultades para atender simultáneamente todas las problemáticas; sin embargo, se podrían alinear los apoyos a los obstáculos empresariales y avanzar gradualmente. Así mismo, resulta de gran importancia determinar apropiadamente los montos de apoyo y lograr incrementar el número de empresas beneficiarias; de esa manera, trascendería el impacto de los programas en las economías de los estados.

Para postular un mayor número de programas, los gobiernos locales pueden recurrir a modelos como el que se propone en el programa “Buenos Aires Emprende”, en donde el gobierno se alió con instituciones (universidades). Lo anterior tiene la finalidad de que estas desarrollen programas que las instancias gubernamentales no consideran. Las instituciones, más allá de considerar las problemáticas reportadas por las empresas, pueden ser importantes para incorporar programas que permitan a las empresas contar con asesorías financieras, tanto para superar el obstáculo de impuestos altos, como para lograr mayor flujo de efectivo, que a su vez, reduzca la necesidad de crédito.

Para futuras investigaciones sería de gran interés identificar si los programas postulados por los gobiernos son utilizados preferentemente por las empresas que más necesitan los recursos, así como poder evaluar si con el paso del tiempo disminuyen las problemáticas atendidas en las empresas beneficiadas.

Referencias

- Acs, Z., Åstebro, T., Audretsch, D., & Robinson, D. T. (2016). Public policy to promote entrepreneurship a call to arms. *Small business economics*, 47(1), 35-51. DOI 10.1007/s11187-016-9712-2
- Butler, I., Galassi, G. & Ruffo, H. (2016). Public funding for startups in Argentina: an impact evaluation. *Small Business Economics*, 46(2), 295-309. DOI 10.1007/s11187-015-9684-7
- Carvalho, N., & Yordanova, Z. (2018). Why say no to innovation? Evidence from industrial SMEs in European Union. *Journal of technology management & innovation*, 13(2), 43-56. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242018000200043>
- Dvouletý, O., Srhoj, S. & Pantea, S. (2021). Public SME grants and firm performance in European Union: A systematic review of empirical evidence. *Small Business Economics*, 57(1), 243-263. <https://doi.org/10.1007/s11187-019-00306-x>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía -INEGI-. (2018). Encuesta Nacional de Productividad y Competitividad, INEGI. México.
- Potter, J., Marchese, M., Feldman, M., Kemeny, T., Lawton-Smith, H., & Pike, A. (2013). The Local Dimension of SME and Entrepreneurship Issues and Policies in Mexico. *OECD Local Economic and Employment Development -LEED- Papers 2013/14*. OECD.
- Storey, D., & Potter, J. (2020). A research agenda for entrepreneurship policy. En Smallbone, D. y Welter, F. (Eds.), *A Research Agenda for Entrepreneurship Policy*, Edward Elgar, 47-68.

Anexos

Anexo 1. México: principales problemas atendidos por los gobiernos locales

Problema identificado	Programas
Baja demanda de sus productos	25
Falta de crédito	18
Costos de energía	3
Impuestos altos	2
Total de programas	48

Fuente: Elaboración propia a través de consultas a las páginas web de los gobiernos locales (octubre de 2022). Nota. No hubo información disponible en los siguientes estados: Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Colima, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tamaulipas.

Anexo 2. México: número de programas por estado

Número de programas	Lista de estados
Uno	Chihuahua, Guerrero, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz.
Dos	Baja California, Ciudad de México, Durango, Sinaloa, Sonora, Tabasco.
Tres	Baja California Sur, Yucatán, Zacatecas.
Cinco	Coahuila, Jalisco.
Seis	Guanajuato, Morelos.

Fuente: Elaboración propia. Ver detalles al pie del anexo 1.

Anexo 3. Ejemplos de los programas para PYME

Panel a. Estado de Guanajuato

Problemática	Programa
Baja demanda de sus productos	Mipyme al 100
Baja demanda de sus productos	Distintivo marca Guanajuato
Falta de crédito	Fábrica de empresas
Costos de energía	Gto sustentable (Energía limpia)
Falta de crédito	Crédito mayor
Falta de crédito	Crédito menor

Panel b. Estado de Querétaro

Problemática	Programa
Baja demanda de sus productos	Programa para la profesionalización de empresas (Proempresa)

Fuente: Elaboración propia con información de las páginas web de los gobiernos estatales.

Aumento de permeabilidad intestinal y disminución de memoria por obesidad

Perla Viridiana Ocampo Anguiano¹, Laura Lizeth Victoria Ruiz¹, Minerva Ramos Gómez¹, Erika María Orta Salazar², Azucena Ruth Aguilar Vázquez², y Santiago Marisela Ahumada Solórzano³

¹Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Centro Universitario

²Instituto de Neurobiología, Departamento de Neurobiología del Desarrollo y Neurofisiología, Universidad Nacional Autónoma de México. Campus Juriquilla

³Laboratorio de investigación interdisciplinaria en biomedicina, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Juriquilla

Correspondencia: perla_viri_25@hotmail.com; minervaramos9297@gmail.com; santiago.marisela.ahumada@uaq.mx

Resumen

La ingesta excesiva de grasas y azúcares (HFFD) promueve obesidad, neuroinflamación y disbiosis intestinal. Estudios previos han evaluado el efecto de dietas altas en grasa o altas en carbohidratos simples en el desarrollo de obesidad y alteraciones metabólicas relacionadas (Horne *et al.*, 2020; Becerril *et al.*, 2022). Asimismo, este tipo de dieta se ha asociado con disbiosis y neuroinflamación. Este proyecto determinó el efecto en ratones que fueron alimentados con una dieta de HFFD durante 14 semanas y sus efectos en obesidad, disbiosis y neuroinflamación. Se evaluó la composición corporal, la permeabilidad intestinal por FITC-dextrán, marcadores de neuroinflamación y el efecto sobre la memoria de corto y largo plazo mediante pruebas de comportamiento. El consumo por 14 semanas de HFFD generó aumento de peso corporal (26.6 %), circunferencia abdominal (36.22 %), grasa visceral (3677 ± 862 mm³), hiperglucemia (340 mg/dL) e hipertrigliceridemia (140 mg/dL) respecto al grupo SD. La permeabilidad intestinal aumentó por HFFD (1.87 ± 0.13 vs 0.90 ± 0.01 µg/mL en SD) relacionado con disbiosis. En el laberinto en T la alternancia fue menor en HFFD (59.72 ± 5.11%) respecto a SD (87.30 ± 4.48) asociado a daño en el hipocampo. La dieta HFFD indujo obesidad, permeabilidad intestinal y neuroinflamación del hipocampo que tuvo como efecto pérdida en la memoria a corto plazo. Este modelo de obesidad inducida con alteración en la integridad intestinal y neuroinflamación en hipocampo podrá ser empleado para determinar el efecto de diversas intervenciones dietéticas como la inclusión de alimentos fuente de fibra y compuestos fenólicos que forman parte de nuestra alimentación diaria.

Palabras clave: integridad intestinal, neuroinflamación, obesidad

Abstract

Excessive intake of fats and sugars (HFFD) promotes obesity, neuroinflammation, and intestinal dysbiosis. Previous studies evaluated the effect of high-fat diets or diets high in simple carbohydrates on the development of obesity and associated metabolic disorders (Horne *et al.*, 2020; Becerril *et al.*, 2022). Also, this type of diet has been associated with dysbiosis and neuroinflammation. In this project, the effect of HFFD intake on obesity, dysbiosis, and neuroinflammation of mice fed for 14 weeks was determined. Body composition, intestinal permeability by FITC-dextran and neuroinflammation markers and the effect on memory will be assessed by behavioral tests. HFFD generated obesity with an increase of 26.6 % in body weight and 36.22 % in abdominal circumference with respect to the SD diet, with visceral fat (3677 ± 862 mm³), hyperglycemia (340 mg/dL) and hypertriglyceridemia (140 mg / dL). Intestinal permeability increased in HFFD (1.87 ± 0.13 vs 0.90 ± 0.01 µg/mL in DS) related to dysbiosis. In the T-maze, the alternation was lower in HFFD (59.72 ± 5.11%) compared to SD (87.30 ± 4.48) associated with hippocampal damage. The HFFD diet induced obesity, intestinal permeability, and hippocampal neuroinflammation with short-term memory loss. This model of induced obesity with alteration in intestinal integrity and neuroinflammation in the hippocampus can be used to determine the effect of various dietary interventions such as the inclusion of fiber source foods and phenolic compounds of our daily diet, such as beans.

Keywords: intestinal integrity, neuroinflammation, obesity

Introducción

El desarrollo de la obesidad, donde el consumo excesivo de grasa y azúcares se relaciona con mayor acumulación de tejido adiposo y alteraciones metabólicas como dislipidemias, hiperglicemia y resistencia a la insulina, promueve la alteración de la microbiota intestinal con menor cantidad de microorganismos potencialmente benéficos y mayor cantidad de microorganismos patógenos (Horne *et al.*, 2020). Lo anterior se denomina disbiosis intestinal y consecuentemente genera la disfuncionalidad de la barrera intestinal y endotoxemia por antígenos derivados del tracto gastrointestinal, entre ellos los lipopolisacáridos (LPS) que viajan por la circulación llegando a órganos como el hígado y el cerebro, lo cual promueve la inflamación sistémica (Agustí *et al.*, 2018; Horne *et al.*, 2020).

La neuroinflamación se caracteriza por la desregulación en la activación de las células inmunitarias del cerebro, particularmente la microglía. Una de las zonas que puede afectarse por este proceso neuroinflamatorio es el hipocampo, región del cerebro asociada con la memoria y el aprendizaje (Noble *et al.*, 2017; Martínez-Orozco, 2020). Asimismo, la evidencia indica que la obesidad contribuye al desarrollo del déficit en las funciones cognitivas como la consolidación de la memoria a corto y largo plazo (Noble *et al.*, 2017; Martínez-Orozco, 2020).

Por otro lado, el consumo de alimentos fuente de fibra y compuestos fenólicos como lo es la semilla de frijol promueve efectos benéficos en modelos murinos que se relacionan con beneficios a la salud. A partir de lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del consumo de una dieta alta en grasa y alta en fructosa en el desarrollo de la obesidad, la alteración de la integridad intestinal y la neuroinflamación en el hipocampo y la pérdida de memoria. Este modelo es una herramienta para estudiar diferentes alternativas dietarias que puedan emplearse como tratamiento, entre ellas la hoja y semilla de frijol.

El objetivo específico de la investigación consistió en determinar el efecto del consumo de una dieta alta en grasa y fructosa en ratones sobre la inducción de la obesidad, la permeabilidad intestinal y la

neuroinflamación del hipocampo. Además, se tuvieron los siguientes objetivos generales:

- 1) Analizar el efecto del consumo de HFFD en la composición corporal y la acumulación de tejido adiposo en ratones alimentados durante 14 semanas
- 2) Determinar el impacto del consumo de HFFD en la memoria de ratones alimentados durante 14 semanas
- 3) Evaluar los cambios en la permeabilidad intestinal por el consumo de HFFD

Metodología

Animales de experimentación

En el trabajo experimental por 14 semanas se emplearon 16 ratones C57BL/6 (ocho por grupo, machos de ocho semanas de edad entre 25-30 g) que se obtuvieron del bioterio del Instituto de Neurobiología (INB-UNAM Campus Juriquilla). Los animales se alojaron colocando cuatro ratones por caja (dimensiones: 19 x 29 x 12 cm, con pisos y paredes continuas sólidas con tapa removible, con cama sanitaria de viruta estéril 1.5 cm de alto), temperatura (22 ± 3 °C), humedad relativa (60 ± 5 %) bajo un ciclo regulado de 12 h luz/oscuridad. Se les administró alimento y agua *ad libitum*. La limpieza de las jaulas, bebederos y comederos se realizó cada tercer día.

Diseño de dietas para los animales experimentales

El alimento base en las dietas fue Rodent Lab Chow 5001 (alimento recomendado para roedores). Su fórmula de nutrición cubre los requerimientos nutricionales, pues tiene un aporte energético adecuado de 3.36 Kcal/g (proteína 28.5 %, grasa 13.5 % e hidratos de carbono 58 %). Mientras que la dieta HFFD tuvo un aporte energético de 4.7 Kcal/g (proteína 19.6 %, grasa saturada 40 % e hidratos de carbono 40.3 %, de los cuales el 20 % corresponde a fructosa).

Composición corporal

Se registró de manera semanal el peso de los animales, la ingesta de alimento y el consumo de agua. Para conocer la distribución de la grasa corporal, en la última semana previo a la eutanasia, se registraron las circunferencias torácica y abdominal de los ratones y se determinó la relación circunferencia abdominal/circunferencia torácica. El índice de masa corporal (IMC) e índice de Lee, indicadores relacionados con el desarrollo de obesidad, se midieron a partir del peso y longitud de los animales (nariz a base de la cola).

Grasa visceral y subcutánea por resonancia magnética

La distribución de grasa corporal se determinó por resonancia magnética (servicio del laboratorio, LANIREN INB- UNAM, Campus Juriquilla). Se utilizó isoflurano al 2 % como anestésico inhalatorio (Kundumani-Sridharan *et al.*, 2019) en los animales. Las imágenes se analizaron con el programa ITK-SNAP versión 3.8.0 (Universidad de Pensilvania, Pensilvania, USA).

Construcción de nidos

Esta prueba evaluó el estado cognitivo general de los animales por medio del comportamiento innato de construcción del nido. Los ratones se alojaron individualmente en una jaula limpia con aserrín de 0.5 cm de grosor y se les proporcionó un cuadrado de algodón prensado de 2 g. Se tomaron fotos de la jaula durante 12 h en el ciclo activo de los animales. Se utilizó la puntuación de nido de Deacon (Deacon, 2012) y el peso del nido no desgarrado para evaluar las actividades de la vida diaria relacionadas con alteraciones en personas con deterioro cognitivo (Johnson *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2020).

Prueba de laberinto en T

Esta prueba evaluó la integridad funcional del hipocampo relacionado con la memoria y el aprendizaje, mediante la elección alterna y espontánea al explorar dos brazos (izquierdo y derecho del laberinto) en un entorno novedoso. El

espacio de trabajo fue un lugar tranquilo, con poca luz, utilizado exclusivamente para las pruebas. El laberinto estuvo en la misma posición para todos los ensayos. Se aleatorizó el orden de los animales y posteriormente se aplicó un ensayo de muestra denominado T0. Se colocó el ratón en la parte distal del brazo inicial; la cabeza estaba orientada hacia el extremo sur del laberinto. Se dejó explorar libremente al ratón y, una vez que el ratón giró la cabeza hacia la zona central, se comenzó a contar el tiempo en que entró el animal por completo a uno de los brazos, anotando la elección (máximo 60 s). Enseguida, se retiró el animal y se volvió a colocar en el extremo distal del brazo de inicio, deteniendo y reiniciando el cronómetro. La prueba se repitió en nueve ocasiones para cada animal (d'Isa *et al.*, 2021). Se calculó el porcentaje de alternancia como índice de memoria de trabajo, a partir de la siguiente fórmula:

$$(\text{Número total de alternancias correctas}/9) * 100$$

Permeabilidad intestinal con FITC-dextrán

La permeabilidad intestinal se evaluó mediante el ensayo de permeabilidad *in vivo* FITC-dextrán. Se hizo que los ratones ayunaran durante 12 h y, tras el periodo sin alimentos, recibieron por canulación oral una dosis de FITC-dextrán (600 mg/kg peso corporal) disuelto en tampón de fosfato salino estéril. 2.5 h después de la administración del FITC-dextrán, se extrajeron aproximadamente 200 μ L de sangre por la vena femoral, la cual se centrifugó durante 15 min a 3,500 g a 4 °C. El plasma se colocó en tubos nuevos y se almacenó a -80 °C para su posterior análisis. Las concentraciones plasmáticas de FITC-dextrán se evaluaron en un lector de placas con una longitud de onda de excitación de 490 nm y de emisión de 520 nm. Los resultados se expresaron en μ g/mL de FITC-dextrán en plasma.

Eutanasia

Los animales de cada grupo se dividieron y a la mitad de los animales se les dio muerte por administración de CO₂ con un flujo del 20 % del volumen de la cámara/ min y, posteriormente, se realizó una punción cardíaca donde se obtuvo alrededor de 1 mL de

sangre. Los animales se disectaron, se extrajo el tracto gastrointestinal, el contenido de colon proximal, el hígado, los riñones, el cerebro y el tejido adiposo. En la otra mitad de los animales, la eutanasia se realizó utilizando pentobarbital (120 mg/kg) disuelto en solución fisiológica vía intraperitoneal y punción cardíaca para la recolección de sangre. Se bloqueó la circulación de la parte inferior del cuerpo y se perfundió con solución salina y, posteriormente, con paraformaldehído al 4% a nivel de la cabeza, lo que aseguró la fijación y obtención adecuada del cerebro. El resto de los órganos se extrajeron de la misma manera que en los animales no perfundidos. El suero se obtuvo por centrifugación a 3,500 g a 4 °C por 15 min y se almacenó en alícuotas a -20 °C hasta su análisis. Los intestinos se colocaron en una solución de formaldehído al 10 % para fijación e inclusión en parafina, los cortes fueron de 3-4 μm , en laminillas hasta el análisis histológico de su morfometría.

Inmunohistoquímica de la proteína Iba-1

Se analizó la presencia de la proteína Iba-1 por inmunodetección en hipocampo. Para el análisis en el hipocampo, el tejido cerebral se cortó en secciones de 40 μm con ayuda de un criostato y se localizaron las regiones de acuerdo con un atlas de cerebro de ratón estándar. Las muestras se mantuvieron en tampón de fosfato salino con azida de sodio hasta su análisis. A partir de los anticuerpos correspondientes, se analizó la presencia de Iba-1 por inmunohistoquímica. Los cortes de cerebro se incubaron con amortiguador de citratos durante 20 min a 80 °C, seguido de una incubación con el anticuerpo primario anti-Iba-1 (Invitrogen, Massachusetts, USA) a 4 °C durante la noche. Después, los cortes se lavaron y se incubaron con anticuerpo secundario y las secciones se contrastaron con diaminobencidina y glucosa oxidasa para revelar la inmunoreactividad a Iba-1 en hipocampo. Finalmente, se tomaron las imágenes con microscopio. Para posteriores estudios se superpondrá una cuadrícula con imágenes de las regiones de hipocampo, se contarán el número de puntos de cruce de cuadrícula por celda individual y se calculará el número medio de puntos de cruce de cuadrícula por celda con la finalidad de determinar el número de las

células glias como indicador de respuesta proinflamatoria en hipocampo (Shi *et al.*, 2020).

Análisis estadístico

Los cambios en composición corporal, el consumo de agua y alimento, el perfil lipídico y la prueba de permeabilidad intestinal se presentaron como la media \pm error estándar (SE). Las pruebas conductuales se cuantificaron de acuerdo con el tiempo, se calcularon los resultados y se aplicaron los mismos análisis para las demás determinaciones. Se aplicó la prueba t-test ($p \leq 0.05$). Se empleó el programa estadístico GraphPad Prism 8 (1995-2022 GraphPad Software, LLC.) para los gráficos y SPSS Statistical Software versión 18.0 (IBM) para los análisis.

Resultados

La dieta HFFD produjo obesidad en ratones C57BL/6 alimentados durante 14 semanas. El desarrollo de obesidad se estableció a partir de la diferencia en peso corporal entre ambos grupos. Los animales del grupo HFFD presentaron un peso corporal mayor en relación con los animales del grupo SD, a partir de la semana 2 hasta la semana 14 (ver Figura 1). El peso corporal inicial de ambos grupos fue similar estadísticamente; mientras que, el peso corporal final fue 26.6 % mayor en los animales con dieta HFFD, es decir, bajo este parámetro los animales del grupo HFFD presentaron obesidad. La combinación de una dieta alta en grasa y alta en fructosa demostró ser una opción para el desarrollo de un modelo con obesidad.

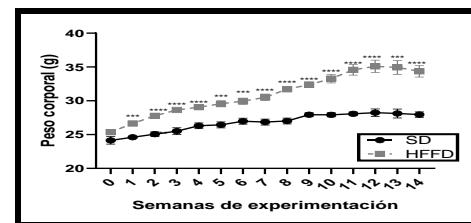


Figura 1. Efecto de la dieta HFFD en la ganancia de peso semanal de ratones macho C57BL/6 alimentados con dieta HFFD y SD por 14 semanas. Los valores se expresan como la media \pm SE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. *** $p \leq 0.001$, **** $p \leq 0.0001$. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo

con dieta alta en grasa y alta en fructosa. Tamaño de grupo en SD (n = 7) y HFFD (n = 8). Fuente: elaboración propia.

El consumo de dieta HFFD durante 14 semanas incrementó los parámetros de composición corporal asociados a obesidad. Las circunferencias abdominal y torácica de los animales incrementaron 36.22 y 31.69 % respectivamente en HFFD comparado con las circunferencias de los animales del grupo SD. El índice CA/TC fue 12.96 % mayor por el consumo de HFFD (ver Tabla 1). La ingesta de HFFD en ratones aumentó el IMC (0.33 g/cm²) e índice de Lee (704) al compararse con los valores de los animales que consumieron la dieta SD (0.28 g/cm² y 645, respectivamente) (ver Tabla 1).

La grasa visceral y subcutánea incrementó por el consumo de dieta HFFD durante 14 semanas. Para determinar los efectos de la grasa y la fructosa en la dieta sobre la acumulación de grasa corporal, se analizó el contenido de tejido adiposo visceral y subcutáneo por resonancia magnética en los animales de ambos grupos. El impacto significativo fue en la grasa visceral (3677 ± 862 mm³), ya que fue 6.75 veces mayor en los animales del grupo HFFD al compararse con la grasa visceral de los animales del grupo SD (466 ± 206 mm³). Asimismo, la grasa subcutánea incrementó 4.42 veces en los animales HFFD (1376 ± 329 mm³) comparada con la grasa subcutánea de los animales SD (247 ± 148 mm³) (ver Figura 2). Para evaluar el impacto de la dieta HFFD en el metabolismo de lípidos, medimos los niveles de triglicéridos en suero, la concentración sérica promedio de éstos en los animales del grupo HFFD fue 1.75 veces mayor respecto a los animales del grupo SD. Además, la media de triglicéridos en los animales con dieta HFFD (140 mg/dL) fue indicativo de trigliceridemia (ver Tabla 1).

A partir de la dieta HFFD, que se asemeja a la dieta occidental, se demostraron los cambios en composición corporal y concentración de glucosa y triglicéridos característicos de obesidad.

Tabla 1. Efecto de la dieta HFFD sobre la composición corporal y la concentración de triglicéridos en suero en ratones C57BL/6 alimentados durante 14 semanas

	SD		HFFD	
Peso inicial (g)	24.14	± 1.11	25.36	± 0.70
Peso corporal final (g)	27.95	± 1.06	34.35	± 2.38****
Circunferencia abdominal (cm)	7.50	± 0.45	10.40	± 0.43**
Circunferencia torácica (cm)	7.12	± 0.42	9.20	± 0.73*
Índice CA/CT	1.05	± 0.03	1.15	± 0.07*
IMC (g/cm ²)	0.28	± 0.02	0.33	± 0.01
Índice de Lee	645	± 12.48	704	± 2.45**
Triglicéridos séricos (mg/dL)	83.93	± 1.96	140.98	± 9.70**
Glucosa sérica (mg/dL)	140	± 18	331	± 5**

Los valores se expresan como la media ± SE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. * p ≤ 0.05, ** p ≤ 0.01, **** p ≤ 0.0001. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo con dieta alta en grasa y alta en fructosa. Tamaño de grupo en SD (n = 7) y HFFD (n = 8). Fuente: elaboración propia.

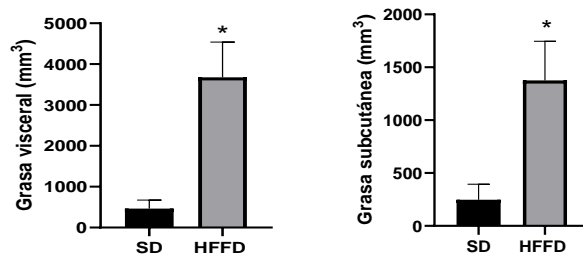


Figura 2. Efecto del consumo de la dieta HFFD durante 14 semanas en la acumulación de tejido adiposo a) visceral y b) subcutáneo en ratones C57/BL. Los valores se expresan como la media ± SE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. * p ≤ 0.05. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo con dieta alta en grasa y alta en fructosa. Tamaño de grupo en SD (n = 3) y HFFD (n = 5). Fuente: elaboración propia.

El consumo de la dieta HFFD incrementó la permeabilidad intestinal. La concentración sérica de FITC-dextrán fue dos veces mayor en los animales que consumieron la dieta HFFD (1.87 ± 0.13) en comparación con la concentración en los animales con dieta SD (0.90 ± 0.01) (ver Figura 3), lo que sugiere la alteración en la función de la barrera intestinal permitiendo el flujo de este marcador desde el intestino hasta la sangre. La dieta HFFD generó daño en la barrera intestinal, lo cual provocó el aumento en la permeabilidad, lo que puede repercutir en que lleguen moléculas tóxicas desde el intestino hasta el cerebro.

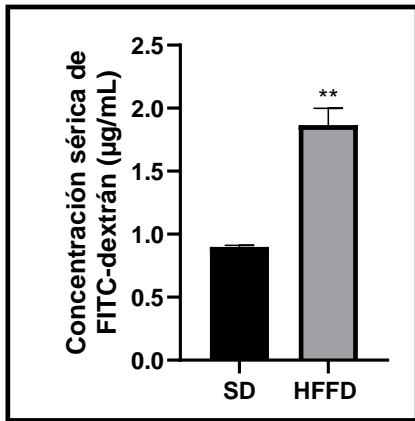


Figura 3. Efecto del consumo de la dieta HFFD durante 14 semanas en la permeabilidad intestinal en ratones macho C57BL/6 alimentados. Los valores se expresan como la media \pm SE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. ** $p \leq 0.01$. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo con dieta alta en grasa y alta en fructosa. $n = 6$ para ambos grupos. Fuente: elaboración propia.

El consumo de la dieta HFFD disminuyó el peso relativo de los órganos. Los pesos del intestino delgado (5.16 ± 0.16 g) y del colon (1.32 ± 0.32 g) fueron menores en los animales del grupo HFFD respecto a los órganos de los animales del grupo SD (7.68 ± 0.58 y 1.83 ± 0.22 g, respectivamente) (Tabla 2). Lo anterior se atribuyó a la mayor cantidad de tejido adiposo en los animales con dieta HFFD que abarca una mayor cantidad del peso corporal en relación con los animales con dieta SD, lo cual demostró que la dieta HFFD no incrementa el tamaño de los órganos.

El consumo de la dieta HFFD promovió la inflamación del intestino. La longitud de los intestinos se midió como parte del análisis de la integridad intestinal; el intestino delgado del grupo HFFD (36.62 ± 1.58 cm) fue significativamente menor respecto al intestino delgado del grupo SD (44.00 ± 2.92 cm); mientras que, el colon de los animales con dieta HFFD (6.97 ± 0.63 cm) fue menor respecto a la longitud del colon de los animales con dieta SD (8.86 ± 0.77 cm) (ver Tabla 2). Entre las alteraciones relacionadas con la obesidad, se encuentra el aumento en la permeabilidad intestinal y la inflamación de bajo grado que falta por comprobar en este modelo de inducción de obesidad.

Tabla 2. Relación del peso de órganos/peso corporal total de los ratones C57BL/6 alimentados con dieta HFFD durante 14 semanas.

	SD	HFFD
Peso del hígado/peso corporal (g)	6.16 \pm 0.18	5.12 \pm 0.23**
Peso del intestino delgado/peso corporal (g)	7.68 \pm 0.58	5.16 \pm 0.16***
Longitud del intestino delgado (cm)	44.0 \pm 2.92	36.62 \pm 1.58*
Peso del colon/peso corporal (g)	1.83 \pm 0.22	1.32 \pm 0.32
Longitud del colon (cm)	8.86 \pm 0.77	6.97 \pm 0.63

Los valores se expresan como la media \pm SE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo con dieta alta en grasa y alta en fructosa. Tamaño de grupo en SD ($n = 7$), HFFD ($n = 8$). Fuente: elaboración propia.

El consumo de la dieta HFFD disminuyó la actividad del hipocampo asociada a la pérdida de la memoria a corto plazo. Las pruebas conductuales permitieron conocer el efecto de la dieta HFFD en la función del hipocampo por la pérdida de memoria a corto plazo y daño en la cognición generalizada. En el laberinto en T, el porcentaje de alternancia fue menor en los animales del grupo HFFD (59.72 ± 5.11 %) que en los animales del grupo SD (87.30 ± 4.48) (ver Figura 4a). La prueba de nidos no mostró diferencia significativa entre ambos grupos (ver Figura 4b), lo anterior pudo deberse a que esta prueba conductual no es innata.

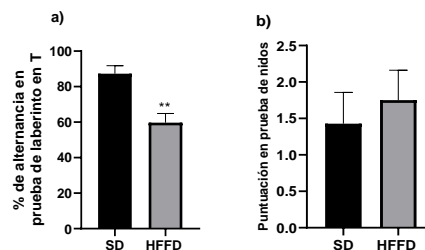


Figura 4. Efecto del consumo de la dieta HFFD durante 14 semanas en las pruebas conductuales a) laberinto en T y b) nidos en ratones macho C57BL/6. Los valores se expresan como la media \pm EE analizados por la prueba de t-test entre los animales de los grupos HFFD y SD. * $p \leq 0.01$. Abreviaturas: SD, grupo estándar; HFFD, grupo con dieta alta en grasa y alta en fructosa. Tamaño de grupo en SD ($n = 7$) y HFFD ($n = 8$). Fuente: elaboración propia.

El consumo de la dieta HFFD incrementó la presencia de Iba-1 en el hipocampo. Las pruebas de conducta, junto con el análisis por inmunohistoquímica de la presencia de Iba-1 como marcador de activación de microglía en hipocampo, permitieron determinar el efecto del consumo de la dieta HFFD en la funcionalidad del hipocampo. En la Figura 5 a y c se muestra la expresión de Iba-1 en los hemisferios del hipocampo del cerebro de un animal con dieta HFFD, es posible observar que el consumo de la dieta HFFD durante 14 semanas incrementó la respuesta para Iba-1 respecto al hipocampo de animales con la dieta SD (ver Figura 5 b y d). Para posteriores trabajos es posible cuantificar el número de células activas de la microglía y diferenciar la morfología de las mismas en ambos grupos mediante el análisis de la densidad de la microglía y la cuantificación de los esqueletos de las células microgliares de los diferentes grupos.

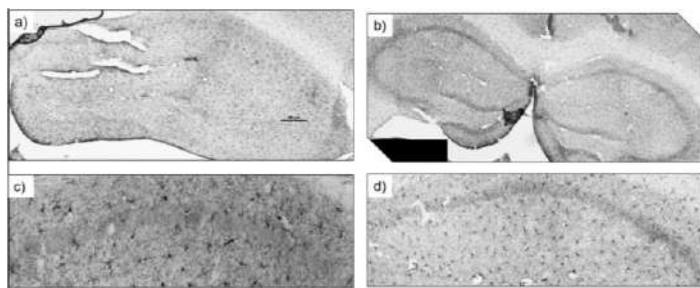


Figura 5. Efecto del consumo de la dieta HFFD durante 14 semanas en la presencia de Iba-1 en el hipocampo de ratones macho C57BL/6. a) Micrografía de hemisferio derecho del hipocampo de ratón alimentado con dieta HFFD, 4 X. b) Micrografía de ambos hemisferios del hipocampo de ratón alimentado con dieta SD, 4 X. c) Micrografía de células microgliares en la región CA1 del hipocampo en ratón con dieta HFFD, 40 X. d) Micrografía de células microgliares en la región CA1 del hipocampo en ratón con dieta SD, 40 X. Fuente: elaboración propia.

La ganancia de peso, así como los incrementos en el índice de Lee, la circunferencia abdominal, el tejido adiposo y la concentración sérica de triglicéridos que se encontraron a partir de la ingesta de la dieta HFFD durante 14 semanas en ratones C57BL/6 permitieron comprobar la inducción de obesidad. Asimismo, el incremento en la permeabilidad intestinal por FITC-dextrán en suero y la disminución en la longitud intestinal demostraron el efecto de la dieta HFFD en la alteración de la integridad intestinal. Finalmente, el incremento en la presencia de Iba-1 en el hipocampo

se asoció con la pérdida de memoria espacial por el consumo de la dieta HFFD.

Discusión y conclusiones

La dieta HFFD se asemeja a la dieta occidental, caracterizada por un contenido elevado de grasa y azúcar, donde se disminuye el consumo de proteínas y fibra dietaria (Zinöcker & Lindseth, 2018). El aumento en el aporte de lípidos en la dieta incrementó la densidad energética, ya que los lípidos aportan 9 Kcal/g a diferencia de las proteínas y los carbohidratos que aportan 4 Kcal/g (Luis Román *et al.*, 2017). Las dietas altas en grasa reportadas para inducir obesidad en modelos animales en su mayoría aportan 60% de las Kcal a partir de lípidos y el intervalo de consumo es de 8 a 12 semanas (Neil *et al.*, 2019; Monk *et al.*, 2021). Dietas altas en carbohidratos simples (65 %) con el 85 % a partir de glucosa o de fructosa causaron aumento de tejido adiposo y alteraciones metabólicas sin diferencia en el peso corporal (Do *et al.*, 2018). La combinación de alto contenido de grasa y fructosa en la dieta en este proyecto pudo exacerbar las alteraciones metabólicas que acompañan a la obesidad, lo cual tuvo como consecuencia el incremento incluso en el peso.

Respecto a la ingesta de alimento en función de las kcal consumidas y el consumo de agua observada en los animales coincidieron con lo reportado por otros autores, no hubo diferencia significativa en el consumo de alimento en gramos. Lo anterior puede estar relacionado a que la ingesta de alimento en los roedores está regulada por dos vías; en la primera vía, la distensión del estómago envía impulsos nerviosos en los nervios sensoriales hacia el cerebro indicando saciedad. En la segunda vía se reconocen los nutrimentos por las células enteroendócrinas que secretan hormonas anorexigénicas que actúan sobre el hipotálamo regulando la cantidad de comida (Diaz Urbina *et al.*, 2018). Sin embargo, la diferencia en el aporte energético entre las dietas fue suficiente para promover una mayor ingesta calórica en los animales del grupo HFFD respecto a los animales del grupo SD. Lo anterior se atribuyó a la densidad energética de las dietas, ya que las condiciones de mantenimiento de ambos grupos fueron similares, donde los

componentes de la dieta fue lo único que se modificó. Del mismo modo, el consumo de agua fue significativamente menor en los animales del grupo HFFD; lo anterior pudo deberse también al aumento en la ingesta energética. Una dieta alta en grasa (48 %) y alta en fructosa (33 %) en ratones C57BL/6 durante 10 semanas incrementó la ingesta energética con aumento del tejido adiposo (Martínez Orozco *et al.*, 2020). Ratas Wistar macho con una dieta similar a la de este estudio (HFFD) incrementaron el consumo energético y disminuyeron la ingesta de agua (Becerril-Campos *et al.*, 2022). El aumento del aporte energético, el menor contenido de fibra en la dieta y la disminución de la ingesta de agua podrían incrementar la digestión y la absorción de los nutrientes por el decremento en la motilidad intestinal y el aumento en el tiempo de absorción de los nutrientes causando estreñimiento.

En cuanto al desarrollo de obesidad, el peso corporal final fue 26.6 % mayor en los animales con dieta HFFD, es decir, bajo este parámetro los animales del grupo HFFD presentaron obesidad. Buettner y colaboradores hicieron una revisión de dietas altas en grasa (42–60 %) con diferentes fuentes de lípidos y administradas por periodos distintos (entre 21 y 300 días) que promovieron el desarrollo de obesidad y, en promedio, los estudios con ratones mostraron diferencia en el peso corporal mayor al 10 %. Por otra parte, Martínez Orozco (2020) demostró una ganancia mayor al 50 % en ratones C57BL/6 alimentados con dieta alta en grasa (48 %) y alta en fructosa (33 %) durante 10 semanas; mientras que, una dieta sólo alta en fructosa (33 %) no generó diferencia en el peso corporal final, respecto a la del grupo control (Kim *et al.*, 2019; Horne *et al.*, 2020). Lo anterior sugiere que tanto el tipo de lípidos, la cantidad y el periodo de experimentación influyen en la ganancia de peso y las alteraciones metabólicas asociadas con la obesidad.

El aumento en la circunferencia abdominal y torácica son indicadores de acumulación de tejido adiposo. En humanos, el aumento en la circunferencia abdominal se ha considerado un predictor independiente de morbilidad y el índice de Lee es un indicador de obesidad y riesgo de sufrir un evento cardiovascular (ENSANUT, 2020). En relación a los modelos murinos, el incremento en la circunferencia

abdominal se asocia a tejido adiposo visceral e inflamación crónica de bajo grado. La ingesta de una dieta alta en grasa (22.5 %) durante 20 semanas incrementó el peso corporal, la circunferencia abdominal y el IMC respecto al grupo control en ratas (Moreno-Fernández *et al.*, 2018). Por otro lado, el consumo de una dieta alta en grasa (23 %) con fructosa en agua (2.31 %) y colesterol (0.2 %) en ratones aumentó la ganancia de peso corporal y los triglicéridos en suero (Rahman *et al.*, 2016). El aumento en el tejido adiposo corporal es característico de la obesidad, como consecuencia del desbalance energético que aumenta la cantidad de ácidos grasos en los adipocitos e incide en la cantidad y el tamaños de estas células (León-Pedroza *et al.*, 2015). Nuestros datos coinciden con lo reportado por otros estudios en modelos murinos con dietas altas en grasa y altas en fructosa que promovieron la ganancia de tejido adiposo, principalmente del visceral (Moreno-Fernández *et al.*, 2018; Horne *et al.*, 2020; Becerril-Campos *et al.*, 2022). En humanos, la distribución de tejido adiposo visceral se asocia con el incremento en el desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas como diabetes e hipertensión (Horne *et al.*, 2020). El incremento de triglicéridos en los animales con HFFD pudo deberse al efecto sinérgico de la grasa y la fructosa que promueven la síntesis de lípidos (Jang *et al.*, 2018). A partir de la dieta HFFD que asemeja la dieta occidental se demostraron los cambios en composición corporal y concentración de triglicéridos característicos en la obesidad.

Para evaluar el daño en la barrera intestinal inducido con una dieta HFFD se determinó la permeabilidad epitelial intestinal con un ensayo de permeabilidad FITC-dextrán *in vivo*, lo que sugiere la alteración en la función de la barrera intestinal que permite el flujo de este marcador desde el intestino hasta la sangre. Rahman y colaboradores (2016) informaron que, a partir del consumo de una dieta alta en grasa, fructosa y colesterol, se incrementó cinco veces más la concentración sérica de FITC-dextrán en ratones comparado con la concentración del grupo control. Asimismo, se ha reportado que el consumo de fructosa produjo disbiosis con permeabilidad intestinal, aún sin cambios en el peso corporal de ratones C57BL/6 (Do *et al.*, 2018), al igual que el

consumo de una bebida con 35 % de fructosa en el agua de la dieta favoreció disbiosis intestinal asociada con la aparición de neuroinflamación del hipocampo en ratones C57BL/6N (Li *et al.*, 2019) con incremento de la expresión de citocinas proinflamatorias (IL-1 β , TNF- α , e IL-6). El aumento de la permeabilidad intestinal se atribuyó a la disminución en la expresión de las proteínas de unión estrecha zonula-1 y ocludina que protegen la barrera intestinal evitando el paso de endotoxinas del lumen a la circulación (Do *et al.*, 2018). La dieta HFFD administrada en este proyecto generó daño en la barrera intestinal provocando aumento en la permeabilidad.

La longitud de los intestinos se midió como parte del análisis de la integridad intestinal; el intestino delgado del grupo HFFD fue significativamente menor respecto al intestino delgado del grupo SD. Otros autores han reportado que la disminución en la longitud del intestino se asocia con aumento en la inflamación de las citocinas IL-6 e IL-1 β (Shi *et al.*, 2020). Se ha informado que dietas altas en grasa y fructosa favorecen la proporción de bacterias intestinales que producen factores proinflamatorios y disminuyen la proporción de microorganismos que secretan moléculas protectoras como *Akkermansia*, causando además disbiosis (Rahman *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2020). Entre las alteraciones relacionadas con la obesidad se encuentra el aumento en la permeabilidad intestinal y la inflamación de bajo grado que falta por comprobar en este modelo de inducción de obesidad.

Las pruebas conductuales permitieron conocer el efecto de la dieta HFFD en la función del hipocampo relacionada con la pérdida de memoria a corto plazo y daño en la cognición generalizada. La prueba de nidos no mostró diferencia significativa entre ambos grupos. En un estudio para determinar la puntuación en la prueba de nidos a partir del daño en hipocampo de ratones C57BL/6, los animales control tuvieron la puntuación más alta respecto a los grupos con daño en hipocampo (región ventral, región dorsal o daño completo), sólo los animales con daño general disminuyeron drásticamente su puntuación (Deacon, 2012). En el laberinto en T, el porcentaje de alternancia fue menor en los animales del grupo

HFFD que en los animales del grupo SD. La alternancia menor al 60 % se asocia con daño en hipocampo (Deacon & Rawlins, 2006). Nuestros resultados coincidieron con lo reportado por Noronha y colaboradores (2019) quienes indujeron obesidad en ratas con una dieta alta en grasa (45 %) durante nueve semanas, que se asoció con la disminución en el porcentaje de alternancia con la prueba de laberinto en T y se relacionó con aumento en la expresión de citocinas proinflamatorias en el hipotálamo y el núcleo amigdaloides, esto se asoció con la presencia de respuestas indicativas de ansiedad (Noronha *et al.*, 2019). Las pruebas de conducta, junto con el análisis por inmunohistoquímica de la presencia de Iba-1 como marcador de activación de microglía en hipocampo, permitieron determinar el efecto del consumo de la dieta HFFD en la funcionalidad del hipocampo. El aumento de la expresión de Iba-1 en hipocampo por el consumo de una dieta hipercalórica alta en grasa y fructosa podría deberse al incremento de estímulos proinflamatorios como el LPS que son reconocidos por las células microgliales y promueven la neuroinflamación (Agustí *et al.*, 2018). Los resultados de esta investigación coincidieron con lo reportado por otros autores con modelos murinos con dieta alta en grasa (60 %) y baja en fibra donde la presencia de la microglía aumentó (Shi *et al.*, 2020). Además, una dieta alta en fructosa (35 %) causó una respuesta inflamatoria y gliosis reactiva en hipocampo (Li *et al.*, 2019). Para posteriores estudios se pueden cuantificar el número de células activas de la microglía y diferenciar la morfología de las mismas en ambos grupos se hará el análisis de la densidad de la microglía y sus esqueletos en los diferentes grupos. El consumo de una dieta HFFD con 40 % de grasa saturada y 20 % de carbohidratos simples durante 14 semanas indujo obesidad, con mayor acumulación de tejido adiposo visceral y subcutáneo, incrementos en la circunferencia abdominal, el índice de Lee, hiperglucemia y trigliceridemia en ratones macho de la cepa C57BL/6. La barrera intestinal se alteró asociado con el aumento en la permeabilidad intestinal mientras que la longitud del intestino delgado disminuyó posiblemente por inflamación. A nivel cerebral, el consumo de la dieta HFFD disminuyó la respuesta de los animales a una prueba

de memoria a corto plazo, lo que probablemente se asocia al desarrollo de neuroinflamación debido a la mayor presencia de Iba-1 en el hipocampo de los ratones con dieta HFFD. Lo anterior sugiere que la dieta HFFD provocó una respuesta inflamatoria en hipocampo que aminoró la memoria. El consumo de una dieta HFFD durante 14 semanas indujo obesidad, permeabilidad intestinal y aumento en la presencia de Iba-1, relacionado con la disminución en la memoria a corto plazo. Nuestro modelo es factible para investigaciones posteriores sobre el efecto de la ingesta excesiva de grasa y azúcares en el eje intestino-cerebro.

Agradecimientos

Agradecemos al FONDEC 2021 y al Laboratorio Universitario de bioterio del Instituto de Neurobiología, UNAM, Campus Juriquilla por su apoyo durante la realización de este proyecto.

Referencias

- Agustí, A., García-Pardo, M. P., López-Almela, I., Campillo, I., Maes, M., Romani-Pérez, M., & Sanz, Y. (2018). Interplay between the gut-brain axis, obesity and cognitive function. *Frontiers in Neuroscience*, 12, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00155>
- Becerril-Campos, A. A., Ocampo-Anguiano, P. V., Mondragón-Jacobo, C., Escobar-García, K., Camacho Barrón, M., Anaya-Loyola, M. A., Feregrino-Perez, A. A., García-Gasca, T., & Ahumada-Solórzano, S. M. (2022). *Phaseolus vulgaris* L. leaves increase short-chain fatty acid (SCFA) production, ameliorating early metabolic alterations. *Plant Foods for Human Nutrition*, 77, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00992-1>
- d'Isa, R., Comi, G., & Leocani, L. (2021). Apparatus design and behavioural testing protocol for the evaluation of spatial working memory in mice through the spontaneous alternation T-maze. *Scientific Reports*, 11(1), pp. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/S41598-021-00402-7>
- Deacon, R.M. (2012). Assessing burrowing, nest construction, and hoarding in mice. *JoVE Journal*, 59, pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.3791/2607>
- Díaz Urbina, D., Escartín Pérez, R. E., López Alonso, V. E., & Mancilla Díaz, J. M. (2018). Efectos de una dieta con alto contenido de grasas sobre patrones conductuales alimentarios. *Acta Colombiana de Psicología*, 21(1), pp. 95–105. DOI: <https://doi.org/10.14718/ACP.2018.21.1.5>
- Do, M. H., Lee, E., Oh, M. J., Kim, Y., & Park, H. Y. (2018). High-glucose or-fructose diet cause changes of the gut microbiota and metabolic disorders in mice without body weight change. *Nutrients*, 10(6), pp. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10060761>
- Horne, R. G., Yu, Y., Zhang, R., Abdalqadir, N., Rossi, L., Surette, M., Sherman, P. M., & Adeli, K. (2020). High fat-high fructose diet-induced changes in the gut microbiota associated with dyslipidemia in Syrian hamsters. *Nutrients*, 12 (11), pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12113557>
- Johnson, L. A., Zuloaga, K. L., Kugelman, T. L., Mader, K. S., Morré, J. T., Zuloaga, D. G., Weber, S., Marzulla, T., Mulford, A., Button, D., Lindner, J. R., Alkayed, N. J., Stevens, J. F., & Raber, J. (2016). Amelioration of metabolic syndrome-associated cognitive impairments in mice via a reduction in dietary fat content or infusion of non-diabetic plasma. *EBioMedicine*, 3, pp. 26–42. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.EBIOM.2015.12.008>
- Kim, S. J., Kim, S.-E., Kim, A.-R., Kang, S., Park, M.-Y. & Sung, M.-K. (2019). Dietary fat intake and age modulate the composition of the gut microbiota and colonic inflammation in C57BL/6J mice. *BMC Microbiology*, 19(1), pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1186/S12866-019-1557-9>
- Kundumani-Sridharan, V., Subramani, J., Raghavan, S., Maiti, G. P., Owens, C., Walker, T., Wasnick, J., Idell, S. & Kumuda, C. (2019). Short-duration hyperoxia causes genotoxicity in mouse lungs: protection by volatile anesthetic isoflurane. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 316, pp. 903–917. DOI: <https://doi.org/10.1152/AJPLUNG.00142.2018>
- León-Pedroza, J. I., González-Tapia, L. A., Del Olmo-Gil, E., Castellanos-Rodríguez, D., Escobedo, G., & González-Chávez, A. (2015). Inflamación sistémica de grado bajo y su relación con el desarrollo de enfermedades metabólicas: de la evidencia molecular a la aplicación clínica. *Cirugía y Cirujanos*, 83(6), pp. 543–551. <https://doi.org/10.1016/J.CIRCI.2015.05.041>
- Li, J.M., Yu, R., Zhang, L.P., Wen, S. Y., Wang, S. J., Zhang, X. Y., Xu, Q. & Kong, L. D. (2019). Dietary fructose-induced gut dysbiosis promotes mouse hippocampal neuroinflammation: a benefit of short-chain fatty acids. *Microbiome*, 7, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1186/S40168-019-0713-7>
- Luis Román, D. A., Bellido Guerrero, D., & García Luna, P. P. (2017). Bases científicas de la alimentación saludable. En *Dietoterapia, nutrición clínica y metabolismo* (pp: 3-4). (3ª ed) Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Martínez Orozco, H. (2020). Efecto de la dieta alta en grasa y fructosa sobre la memoria de reconocimiento y su relación con el ciclo de GABA-Glutamina_Glutamato en la corteza prefrontal e hipocampo de ratones C57BL/6. [Tesis de Doctorado, Universidad de Guanajuato. <http://www.repositorio.ugto.mx/>
- Monk, J. M., Wu, W., Lepp, D., Peter Pauls, K., Robinson, L. E., & Power, K. A. (2021). Navy bean supplementation in established high-fat diet-induced obesity attenuates the

- severity of the obese inflammatory phenotype. *Nutrients*, 13(3), pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU13030757>
- Moreno-Fernández, S., Garcés-Rimón, M., Vera, G., Astier, J., Landrier, J. F., & Miguel, M. (2018). High fat/high glucose diet induces metabolic syndrome in an experimental rat model. *Nutrients*, 10(10), pp. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10101502>
- Neil, E. S., McGinley, J. N., Fitzgerald, V. K., Lauck, C. A., Tabke, J. A., Streeter-McDonald, M. R., Yao, L., Broeckling, C. D., Weir, T. L., Foster, M. T., & Thompson, H. J. (2019). White kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption reduces fat accumulation in a polygenic mouse model of obesity. *Nutrients*, 11(11), pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/NU11112780>
- Noble, E. E., Hsu, T. M., & Kanoski, S. E. (2017). Gut to brain dysbiosis: mechanisms linking western diet consumption, the microbiome, and cognitive impairment. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11(9), pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.3389/FNBEH.2017.00009>
- Shi, H., Wang, Q., Zheng, M., Hao, S., Lum, J. S., Chen, X., Huang, X. F., Yu, Y., & Zheng, K. (2020). Supplement of microbiota-accessible carbohydrates prevents neuroinflammation and cognitive decline by improving the gut microbiota-brain axis in diet-induced obese mice. *Journal of Neuroinflammation*, 17(1), pp. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12974-020-01760-1>
- Rahman, K., Desai, C., Iyer, S. S., Thorn, N. E., Kumar, P., Liu, Y., Smith, T., Neish, A. S., Li, H., Tan, S., Wu, P., Liu, X., Yu, Y., Farris, A. B., Nusrat, A., Parkos, C. A., & Anania, F. A. (2016). Loss of junctional adhesion molecule A promotes severe steatohepatitis in mice on a diet high in saturated fat, fructose, and cholesterol. *Gastroenterology*, 151(4), pp. 733–746. DOI: <https://doi.org/10.1053/J.GASTRO.2016.06.022>

Quimioprevención del garambullo en el estadio temprano de cáncer de colon *in vivo*

Autor: Rosa Iris Godínez Santillán, Haydé Azeneth Vergara Castañeda

Correspondencia: hayde.vergara@uaq.mx

Centro de Investigación Biológica Avanzada

Resumen

El garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) es un fruto endémico mexicano, rico en compuestos fenólicos y fibra. Escasos estudios reportan su actividad biológica en modelos *in vivo*. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto quimiopreventivo de este fruto en un modelo de cáncer de colon *in vivo*, ya que hasta donde es de nuestro conocimiento, ningún estudio lo ha reportado. Para nuestra investigación, los garambullos se obtuvieron de la comunidad Garabatillo, Guanajuato y, posteriormente, toda la muestra fue liofilizada. Se designaron aleatoriamente ratas *Sprague Dawley* macho en 6 grupos de 12 cada uno (control negativo, azoximetano + dextrán sulfato de sodio (AOM+DSS), garambullo (G), G+AOM+DSS, residuo (R), y R+AOM+DSS). El estudio tuvo una duración de 16 semanas. En la matanza, se obtuvo sangre por punción cardíaca para el análisis de la química sanguínea. Asimismo, el colon fue removido y el colon distal se utilizó para la determinación de las fosas crípticas aberrantes (FCA) con tinción de azul de metileno. Los resultados mostraron que los grupos G y R no tuvieron diferencias significativas frente al control; por otra parte, los tratamientos G+AOM+DSS y R+AOM+DSS disminuyeron significativamente el número de FCA frente a AOM+DSS (5.9 ± 2.1 y 6.2 ± 1 vs 9.7 ± 1.5). Los hallazgos sugieren que el garambullo, así como su residuo, pueden prevenir la iniciación del cáncer de colon.

Palabras clave: *Myrtillocactus geometrizans*, fosas crípticas aberrantes, análisis de sangre, azul de metileno

Abstract

Introduction. The garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) is an endemic Mexican fruit, rich in phenolic compounds and fiber. Few studies report its biological activity in *in vivo* models. The objective of this work is to evaluate the chemopreventive effect of this fruit in a colon cancer model *in vivo*, since to the best of our knowledge, no study has reported it. **Methods.** The garambullo was acquired from the Garabatillo community, Guanajuato, and the entire sample was lyophilized. Male Sprague Dawley rats were randomly assigned into 6 groups of 12 each (negative control (C-), azoxymethane+dextran sodium sulfate (AOM+DSS), garambullo (G), G+AOM+DSS, R, R+AOM+DSS), the study lasted 16 weeks. At sacrifice, blood was obtained by cardiac puncture for blood chemistry analysis. Likewise, the colon was removed and the distal colon was used for the determination of aberrant cryptic foci (ACF) with methylene blue staining. **Results.** The G and R groups did not have significant differences vs the control, the treatment of G+AOM+DSS and R+AOM+DSS significantly decreased the number of FCA vs AOM+DSS (5.9 ± 2.1 and 6.2 ± 1 vs 9.7 ± 1.5). **Conclusion.** The findings suggest that garambullo, as well as its residue, may prevent the initiation of colon cancer.

Keywords: garambullo, blood test, colon cancer, methylene blue

Introducción

El cáncer de colon afecta tanto a hombres como a mujeres y es la segunda causa más importante de muerte en el mundo relacionada con enfermedades cancerígenas (Rezaul et al., 2022). En México, cada año se diagnostican cerca de 15 mil casos nuevos de este tipo de cáncer, lo cual lo ubica como el tercer cáncer más común (INSABI, 2022).

El proceso de carcinogénesis colorrectal implica una serie de alteraciones en genes supresores de tumores y en oncogenes, lo cual da lugar a una proliferación descontrolada que resulta en un adenocarcinoma. Se caracteriza por 4 etapas: iniciación, promoción, progresión y metástasis (Afrin et al., 2020). Dentro de la fase de iniciación, se han reportado las fosas cripticas aberrantes (FCA) como un cambio morfológico temprano en la mucosa colorrectal, lo cual es ampliamente aceptado como una lesión precursora de cáncer de colon; esto desde el punto de vista morfológico, histológico, biológico y genético (León & Sáenz, 2007). Además, las FCA son consideradas como el estándar de oro de los biomarcadores de carcinogénesis del colon y han sido extensamente utilizadas para la identificación de potenciales agentes quimioprotectores (Gupta et al., 2007)

La etiología del cáncer de colon es compleja, pues incluye factores genéticos y ambientales; de éstos últimos, la dieta, a través del consumo de frutas y verduras (los cuales contienen altos niveles de polifenoles) son un factor de prevención (Vieira et al., 2017; Chen et al., 2017). Muchos autores a lo largo de la historia han asociado el consumo de polifenoles a la prevención y bajo riesgo del desarrollo de la carcinogénesis colónica, pues se ha analizado su presencia en frutos a través de extractos solubles (para lo cual se utilizan solventes orgánicos acuosos) conformando así los polifenoles extraíbles. Sin embargo, existen compuestos fenólicos ligados a la fibra contenida en los frutos, los cuales no se liberan significativamente de esa matriz alimentaria por procesos de digestión y, por esta razón, llegan al colon casi intactos; es ahí en donde sufren modificaciones químicas y estructurales durante el proceso de

fermentación de carbohidratos y, de esta manera, se producen metabolitos potencialmente absorbibles (Saura, F. & Pérez, J., 2018).

En este sentido, existe un fruto alto en fibra llamado garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*), el cual es una cactácea del reino *Plantae* y presenta un periodo de vida de más de 50 años. El garambullo, además, puede de ser fácilmente propagado con producción abundante de fruto durante los meses de mayo, junio, julio y agosto. En México se produce y cultiva predominantemente en los estados de Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí e Hidalgo; sin embargo, su consumo y comercialización han sido explotados casi en su totalidad por comunidades indígenas y locales (Hernández et al., 2008; Herrera et al., 2011). Este fruto de pigmentación magenta, posee diversos fitoquímicos, tales como: betalaínas, clorofila, carotenoides, vitaminas y diversos compuestos fenólicos (Guzmán et al., 2010; Montiel et al., 2020). Existen escasos reportes de su actividad biológica en modelos *in vivo* y, hasta donde es de nuestro conocimiento, no existe ninguno que analice su efecto en un modelo de cáncer de colon. En consideración de lo anterior, el objetivo del presente proyecto fue analizar el efecto quimiopreventivo del garambullo, así como de su fibra o residuo, en ratas *Sprague Dawley* inducidas con el carcinógeno azoximetano y el promotor DSS; todo esto, se realizó por medio del conteo de FCA en el colon distal de las ratas inducidas, así como de los controles y tratamientos.

Metodología

La muestra de garambullos se obtuvo de la comunidad Garabatillo, Guanajuato, México, los cuales fueron cosechados en el mes de julio del año 2020. Una vez hecho esto, los garambullos fueron seleccionados conforme a su madurez (color púrpura intenso, turgentes al tacto, sin maceraciones), lavados al chorro de agua y liofilizados. Posteriormente, se pulverizó la muestra y se almacenó en bolsas con vacío a -20 °C; esto último, hasta su utilización.

Para el experimento *in vivo*, se designaron aleatoriamente ratas macho *Sprague Dawley* de cuatro semanas de edad, en 6 grupos de 12 cada uno

(control negativo (C-), AOM+DSS, G, G + AOM+DSS, R, R + AOM+DSS). El estudio tuvo una duración de 16 semanas, tiempo que incluyó una semana de adaptación. La ingesta diaria del garrambullo, así como de su residuo, fue a través de adicionar el GL o el R con una dosis de 5g/kg (dosis inocua reportada por Reynoso y coautores [1999]) en el alimento diario, lo cual formó una “galleta” con ayuda de agua pura. A los grupos AOM+DSS, G+AOM+DSS y R+AOM+DSS se les suministraron dos inyecciones subdérmicas de AOM a una dosis de 10mg/kg; esto en las semana 3 y 4. Al grupo C- se les inyectó solución salina para simular el estrés producido por la punción. Posteriormente, se les administró DSS al 2 % en el agua de consumo, esto durante siete días. Desde la primera semana de tratamiento, se registró el consumo de agua y alimento semanalmente, así como la variación en el peso de las ratas. Al final del periodo experimental, se realizó la matanza con CO₂ y se obtuvo sangre por punción cardiaca para el análisis de la química sanguínea. Asimismo, el colon fue removido, el cual fue sumergido en formaldehído al 10 %. Posterior a esto, 1 cm² del colon distal de cada rata fue teñido con azul de metileno y observado al microscopio 20x para la identificación de FCA.

Los resultados se reportan como la media \pm DE. Se realizó un análisis de varianza ANOVA ($\alpha=0.05$) y uno *post-hoc* Tukey para los resultados de química sanguínea y FCA. También, se realizó una prueba Dunnet para los datos del consumo de alimento, agua, así como en la ganancia de peso.

Resultados

En la Figura 1, Figura 2 y Figura 3, se muestran los resultados del efecto del garrambullo y su residuo administrados oralmente a través de una galleta, sobre el consumo de alimento, agua, así como en la ganancia de peso.

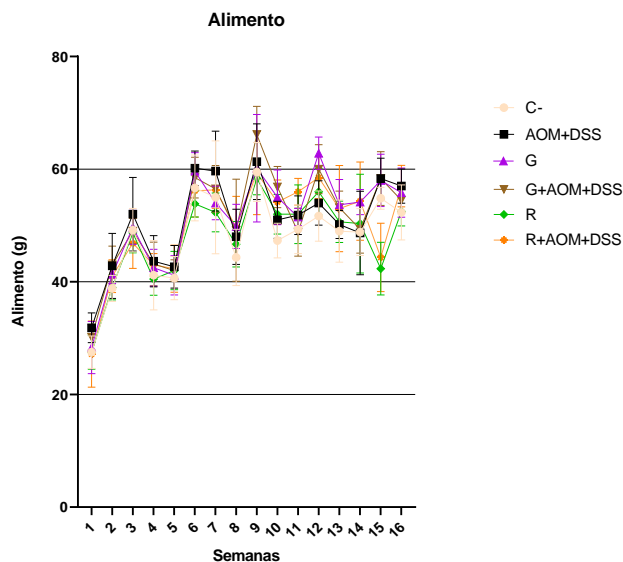


Figura 1. Consumo de alimento en grupos alimentados con garrambullo, residuo de garrambullo y administrados con azoximetano. C-: Control negativo, AOM: azoximetano, DSS: dextrán sulfato de sodio, G: garrambullo, R: residuo. Los resultados se muestran como el promedio ($n=12$) \pm DE. *Diferencia significativa, prueba Dunnet ($\alpha=0.05$). Fuente: elaboración propia

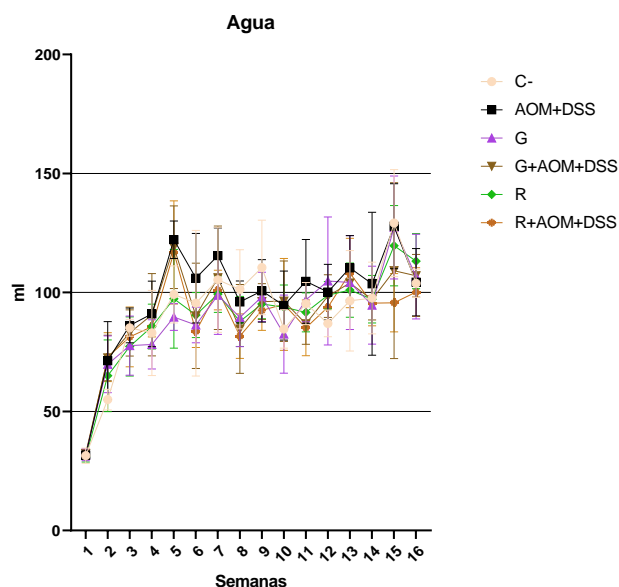


Figura 2. Consumo de agua en grupos alimentados con garrambullo, residuo de garrambullo y administrados con azoximetano. C-: Control negativo, AOM: azoximetano, DSS: dextrán sulfato de sodio, G: garrambullo, R: residuo. Los resultados se muestran como el promedio ($n=12$) \pm DE. *Diferencia significativa, prueba Dunnet ($\alpha=0.05$). Fuente: elaboración propia

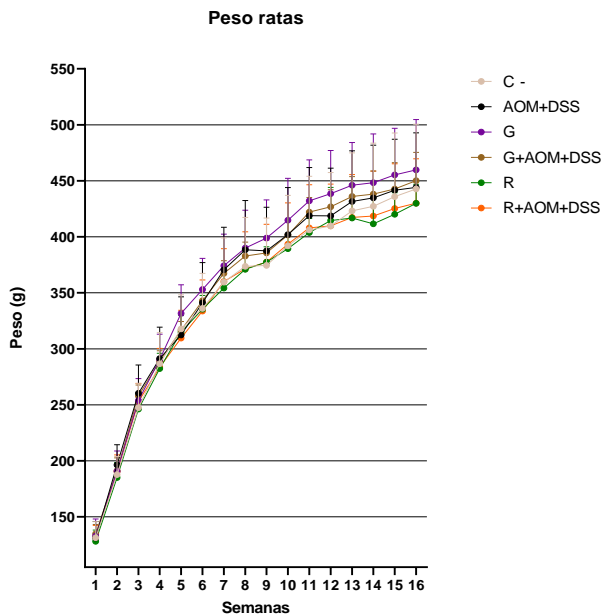


Figura 3. Ganancia de peso en grupos experimentales
 C-: Control negativo, AOM: azoximetano, DSS: dextrán sulfato,
 G: gámbullo, R: residuo
 Los resultados se muestran como el promedio (n=12) ± DE
 *Diferencia significativa, prueba Dunnet (α= 0.05)
 Fuente: elaboración propia

Mostramos los resultados del efecto del gámbullo y su residuo en la química sanguínea en el Tabla 1.

Tabla 1. Efecto del gámbullo y su residuo en la química sanguínea de ratas *Sprague Dawley* inducidas con AOM+DSS.

	C-	AOM+DSS	G	G + AOM+DSS	R	R+ AOM+DSS
ACURIC (mg/dl)	5.9 ± 1.3	8.8 ± 0.84	5.7 ± 0.9	7.2 ± 0.9*	6.4 ± 1	7.5 ± 0.9*
ALB (g/dl)	3.6 ± 0.2	3.5 ± 0.2	3.5 ± 0.2	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.2	3.4 ± 0.2
COL (mg/dl)	72.6 ± 7.9	98.5 ± 9.7	81.6 ± 8.2	94.7 ± 7.9	76.5 ± 8	92 ± 5.5
HDLc (mg/dl)	46.6 ± 4	36.5 ± 3.4	57.7 ± 7.1	52.5 ± 5.2	44.1 ± 4.6	52.4 ± 5.5
CREAT (mg/dl)	0.7 ± .07	0.6 ± 0.09	0.6 ± 0.05	0.6 ± 0.07	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.09
GLU (mg/dl)	353.6 ± 4.5	330.9 ± 30	340.2 ± 17	350 ± 15	349 ± 3.6	342 ± 26
TGO (mg/dl)	214 ± 20.4	186.3 ± 8.7	164.9 ± 21*	169.5 ± 17	186 ± 13	181 ± 18
TGP (mg/dl)	213 ± 19.4	188.3 ± 17	167.1 ± 14*	144.9 ± 15*	168 ± 22	178.3 ± 20
PT (g/dl)	7.0 ± 0.24	6.8 ± 0.4	6.9 ± 0.3	6.8 ± 0.4	7.0 ± 0.2	6.6 ± 0.5
TRIG (mg/dl)	120.8 ± 12	116 ± 16	162.7 ± 28*	162 ± 25*	153 ± 14*	184.5 ± 19*
UREA (mg/dl)	42.9 ± 4.1	44.3 ± 4.5	45.8 ± 3.1	41.3 ± 2.3	43.1 ± 3.5	43.3 ± 5.1
BUN	19.5 ± 1.7	20.4 ± 1.7	21.6 ± 1.4	19.6 ± 1.8	20.1 ± 1.4	19.7 ± 1.6
GLOB (mg/dl)	3.4 ± 0.51	3.3 ± 0.5	3.4 ± 0.5	3.3 ± 0.4	3.3 ± 0.5	3.3 ± 0.5
AG	1.0 ± 0	1.2 ± 0.6	1.0 ± 0	1.0 ± 0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0
LDL (mg/dl)	15.6 ± 2.8	13.5 ± 1.4	13.8 ± 2	13.8 ± 2.4	13 ± 3.3	16.6 ± 3.4

VLDL (mg/dl)	23.1 ± 5.2	27.9 ± 3.9	33.3 ± 3.7	29.3 ± 4.4	28.3 ± 3.2	32.6 ± 4.2
FACL (U/L)	294.2 ± 19	312 ± 34	239.4 ± 24*	226.1 ± 22*	219 ± 31*	222 ± 25*
BILIST (mg/dl)	0.3 ± 0.08	0.2 ± 0.03	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.06	0.2 ± 0.06	0.2 ± 0.03
BILISD (mg/dl)	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.05	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.0	0.0 ± 0.02	0.0 ± 0.01

Resultados muestran el promedio de 12 repeticiones n=12. * muestra una diferencia significativa en comparación con grupo AOM+DSS (ANOVA, prueba de Tukey pos hoc, p <0.05) + muestra una diferencia significativa en comparación con grupo C- (ANOVA, prueba de Tukey pos hoc, p <0.05)
 Fuente: elaboración propia

En la Figura 4 mostramos la identificación de FCA con tinción azul de metileno.

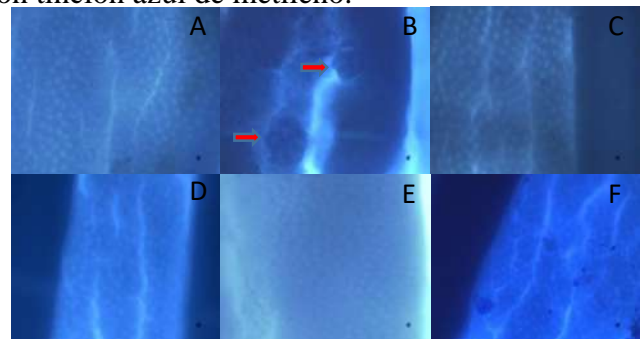


Figura 4. Fosas cópticas normales y aberrantes (flechas rojas) del colon distal con tinción azul de metileno. A: control, B: AOM+DSS, C: G, D: G+AOM+DSS, E: R, F: R+AOM+DSS.
 Fuente: elaboración propia

A continuación mostramos el efecto del gámbullo y su residuo en la formación de FCA en las ratas inducidas con AOM.

Tabla 2. Efecto del gámbullo y su residuo en la formación de FCA en 72 ratas macho *Sprague Dawley* inducidas con AOM

GRUPO	FCA	Multiplicidad			
		1	2	3	4+
C	2.1 ± 1.2 ^a	1.83 ± 0.8 ^a	0.58 ± 0.52 ^a	0 ± 0 ^a	0 ± 0 ^a
AOM+DSS	9.7 ± 1.5 ^b	1.27 ± 1 ^a	1.54 ± 1 ^a	1.92 ± 1.2 ^b	2.81 ± 1 ^b
G	1.08 ± 0.7 ^a	0.83 ± 0.6 ^a	0.25 ± 0.46 ^a	0 ± 0 ^a	0 ± 0 ^a
G+AOM+DSS	5.9 ± 1.2 ^c	1.63 ± 0.67 ^a	2.72 ± 0.69 ^b	0.92 ± 0.94 ^b	0.37 ± 0.42 ^c
R	2.08 ± 0.8 ^a	1.66 ± 0.50 ^a	0.33 ± 0.46 ^a	0.08 ± 0.30 ^c	0 ± 0 ^a
R+AOM+DSS	5.2 ± 1.6 ^c	2.25 ± 1.45 ^a	2.25 ± 0.40 ^{ab}	1.25 ± 0.46 ^d	0.08 ± 0.30 ^c

Los resultados se expresan como el promedio de n=12 ratas ± DE
 Letras diferentes por columna expresan diferencia significativa p=0.05, prueba Tukey.
 Fuente: elaboración propia

Discusión y conclusiones

Semanalmente se registró el consumo de agua y alimento, los cuales son presentados en la Figura 1 y la Figura 2. La ingesta, tanto de agua como el consumo de alimento, fue similar en los seis grupos, sin presentar diferencia estadísticamente significativa al comparar los datos entre grupos semanalmente. Sin embargo, podemos observar que de la semana 4 a la 5, y de la semana 6 a la 7, hubo una tendencia a incrementar el consumo de agua y a disminuir el consumo de alimento en los grupos AOM, G+AOM y R+AOM; esto fue debido, muy probablemente, al estrés producido por la inyección de AOM y el consumo de la sal DSS al 2 % por siete días, lo cual se regularizó en las semanas posteriores. Todos estos datos sugieren que los tratamientos en general fueron bien tolerados por las ratas.

El incremento de peso a lo largo del experimento se muestra en la Figura 3. El aumento de peso fue conforme a lo esperado y reportado para roedores de la misma cepa y sexo (Cossio et al., 2013). Sin embargo, se puede observar que existe una tendencia a menor ganancia de peso en el grupo del residuo y residuo+AOM; esto sucedió, muy probablemente, por la menor ingesta de alimento propiciada por la ingesta de fibra a través de la galleta de residuo de garambullo. En las últimas dos semanas se puede apreciar una meseta en cuanto a la ganancia de peso. También se observó que, posterior a la primera y segunda dosis de AOM, en las semanas tres y cuatro las ratas disminuyeron su ingesta de alimento; lo cual se normalizó a la semana siguiente.

Las ratas mostraron un comportamiento esperado, pues tuvieron mayor interés por consumir la galleta de garambullo que su alimento de costumbre. No se han observado signos que sugieran necrosis, diarrea, vómito o pérdida significativa de peso.

Los resultados del análisis bioquímico en sangre se pueden observar en el Tabla 1. En la mayoría de los análisis de la química sanguínea no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. Sin embargo, sí se observó que el ácido úrico fue mayor en el grupo AOM+DSS en comparación con el grupo G+AOM+DSS y el R+AOM+DSS. Así mismo, las enzimas TGO y TGP

en el grupo G fueron menores al compararla con el grupo C-. La fosfatasa alcalina fue mayor en el grupo control al compararla con G y R. Lo anterior pudiera sugerir que el garambullo tiene efecto antiinflamatorio. En cuanto a los triglicéridos, los grupos G y R resultaron con mayor concentración de los mismos al compararlos con el grupo C- (diferencia estadísticamente significativa). El resto de parámetros no presentan diferencias. Estos resultados sugieren que no hay daño hepático, por lo cual se puede afirmar que el garambullo y su residuo no modifican la química sanguínea de manera negativa y, por lo tanto, fue inocua su ingesta por parte de las ratas.

En cuanto al análisis histológico, en la Figura 4 se pueden observar fotografías de cada grupo, en donde las FCA son evidentes en el grupo AOM+DSS. Estas FCA presentaron las características descritas en la literatura, como lo es el aumento del tamaño pericriptal, criptas ovaladas, epitelio engrosado y teñido más oscuro que las criptas normales; además, presentaron más de un foco por cripta y sobresalieron del plano focal (Wargovich et al., 2010; Almet et al., 2019).

Las FCA detectadas en los grupos con tratamiento de garambullo (G) y su residuo (R) no difirieron estadísticamente a las encontradas en el control negativo (C-). Estos resultados sugieren que el garambullo no propicia la formación de FCA ni aumento en la multiplicidad de las mismas (Tabla 2). Los grupos con tratamiento de G+AOM+DSS y R+AOM+DSS mostraron una diferencia estadísticamente significativa al grupo AOM+DSS, lo cual sugiere que el garambullo y su residuo son capaces de inhibir la formación de FCA (Cuadro 2). En cuanto a la multiplicidad, se sabe que es el número de criptas por foco y que entre mayor multiplicidad (\geq de 4 criptas por foco) hay mayor asociación a formación de adenomas y adenocarcinomas (Cardeni et al., 2003). Los tratamientos G+AOM+DSS y R+AOM+DSS disminuyeron la multiplicidad (\geq de 4 criptas por foco) en manera estadísticamente significativa. En cuanto a la multiplicidad de 3 focos por cripta, a pesar de que no hubo una diferencia significativa, se pudo observar una tendencia a la baja por parte de los grupos con tratamiento G+AOM+DSS y R+AOM+DSS (Cuadro 2).

Estos resultados son similares a los reportados por Boateng y coautores (2007), quienes evaluaron el efecto de jugo de *blueberry* y granada en la formación de FCA en ratas macho *Fisher* inducidas con AOM (con una duración de estudio de 16 semanas); ambos jugos disminuyeron las FCA en comparación con el control (11.33 ± 2.85 y 15.67 ± 1.86 vs 171.67 ± 5.6 , respectivamente) (total de FCA por colon). Así mismo, Klewicka y coautores (2010) reportaron una reducción significativa del número de FCA y la multiplicidad (≥ 4 criptas por foco) en ratas inducidas con N-Nitroso-N-metilurea (carcinógeno utilizado), esto al ser tratadas con jugo de betabel durante 8 semanas (FCA 55 ± 18 a 21 ± 6 y multiplicidad 45 ± 21 a 7 ± 4) (total de FCA por colon). También Banerjee y coautores (2016) probaron la eficacia de una bebida de ciruela en la formación de FCA en ratas *Sprague Dawley* tratadas con AOM, de lo cual reportaron una disminución de FCA en un 48 % vs el control (duración del experimento 9 semanas; el conteo de FCA fue por 1 cm^2). Por su parte, Fragoso y coautores (2018) reportaron una reducción de FCA totales en ratas *Wistar*, las cuales fueron inducidas con DMH al ser tratadas con Açaí liofilizado; en este estudio se observó una disminución en la multiplicidad en las fosas con ≥ 4 criptas, pero no así en las fosas con 1-3 criptas (similar a los resultados del presente estudio), en donde disminuyó 222.4 ± 48.5 (grupo control) a 138 ± 49.7 (la duración del estudio fue de 25 semanas; conteo total de FCA por colon). Finalmente, Arango y coautores (2022) reportaron la disminución de FCA en un 30 % en ratones inducidos con AOM vs el control, esto al ser tratados con *berry Andean*, fruto subutilizado endémico de Colombia, que contiene ácido dihidroxibenzóico y ácido gálico como compuestos mayoritarios, compuestos también identificados en el gámbullo (la duración del estudio fue de 8 semanas; conteo de FCA por 4 cm^2 de colon distal) (Montiel et al., 2020).

Por todo lo anterior, se puede concluir que el gámbullo y su residuo no promueven la formación de lesiones preneoplásicas como lo son las FCA en ratas. En una dosis de 5 g/kg, el gámbullo no provoca alteraciones bioquímicas en sangre que pudieran indicar daño. Además, el gámbullo y su

residuo disminuyen la formación de lesiones preneoplásicas como lo son las FCA de manera estadísticamente significativa, por lo cual pudiera utilizarse como un alimento nutracéutico capaz de causar un efecto quimiopreventivo en el desarrollo de cáncer de colon.

Referencias

- Almet, A., Maini, P., Moulton, D. & Byrne, H. (2019). Modelling perspectives on the intestinal crypt, a canonical system for growth, mechanics, and remodeling. *Current Opinion in Biomedical Engineering*. 15: 32-39.
- Arango, S., Luzardo, I. & Maldonado, M. (2022). Andean berry (*Vaccinium meridionale* Swartz) juice, in combination with Aspirin, displayed antiproliferative and pro-apoptotic mechanisms *in vitro* while exhibiting protective effects against AOM-induced colorectal cancer *in vivo*. *Food Research International*. 157: 111244.
- Banerjee, N., Kim, H., Talcott, S., Turner, N., Byrne, D. & Mertens, S. 2016. Plum polyphenols inhibit colorectal aberrant crypt foci formation in rats: Potential role of the miR-143/AKT/mTOR axis. *Nutrition Research*. 36(10):1105-1113.
- Boateng, J., Verghese, M., Shackelford, L., Walker, L., Khatiwada, J., Ogutu, S., Williams, D., Jones, J., Guyton, M., Asiamah, D., Henderson, F., Grant, L., DeBruce, M., Johnson, A., Washington, S. & Chawan, C. 2007. Selected fruits reduce azoxymethane (AOM) induced aberrant crypt foci (ACF) in Fisher 344 rats. *Food and Chemical Toxicology*. 45: 725-732.
- Cardeni, G., Pietro, A., Giannini, A., Favuzza, A., Luceri, C., Salvadori, G & Dolara, P. 2003. Identification of mucin-depleted foci in the unsectioned colon of azoxymethane-treated rats: correlation with carcinogenesis. *Cancer Research*. 63: 2388-2392.
- Chen Y., Wu Y., Du M., Chu H., Zhu L., Tong N., Zhang Z., Wang M., Gu D., Chen J. An inverse association between tea consumption and colorectal cancer risk. *Oncotarget*. 2017; 8: 37367-37376.
- Cossio, M., Gómez, R., Vargas, R., Tadeu, R. y Arruda, M. 2013. Curvas de referencia para valorar el crecimiento físico de ratas machos Wistar. *Nutrición hospitalaria* 28:6
- Día mundial contra el cáncer de colon. INSABI. 2022. <https://www.gob.mx/insabi/articulos/dia-mundial-contra-el-cancer-de-colon-31-de-marzo?idiom=es>
- Fragoso, M., Romualdo, G., Vanderveer, L., Barraza, J., Cukierman, E., Clapper, M., Carcalho, R. & Barbisan, L. 2018. Lyophilized

- açaí pulp (*Euterpe oleracea Mart*) attenuates colitis-associated colon carcinogenesis while its main anthocyanin has the potential to affect the motility of colon cancer cells. *Food and Chemical Toxicology*. 121: 237-245.
- Hernández, D., Vaillant, F., Reynoso, R., Horacio, S. 2008. *Myrtillocactus (cactaceae)*: botanical, agronomic, physicochemical and chemical characteristics of fruits. *Fruits*. 63:269-276.
- Gupta, A., Pretlow, P. & Schoen, E. 2007. Aberrant crypt foci: what we know and what we need to know. *Clinical gastroenterology and hepatology*. 5:526-533.
- Guzmán, H., Herrera, G., Hernández, D., Reynoso, R., Guzmán, A., Vaillant, F. & Brat, P. 2010. *Food Chemistry*. 121:381-386.
- Herrera, G., Guevara, L., Reynoso, R. & Guzmán, H. 2011. Effects of maturity stage and storage on cactus berry (*Myrtillocactus geometrizans*) phenolics vitamin C, betalains and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 129: 1744-1750.
- Klewicka, E., Nowak, A., Zduncyk, Z., Cukrowska, B. & Blasiak, J. 2012. Protective effect of lactofermented beetroot juice against aberrant crypt foci formation and genotoxicity of fecal water in rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*. 64:599-604.
- León, V. & Sáenz, R. 2007. Focos de criptas aberrantes el comienzo de la historia.
- Montiel, S. García, T., Gómez, M., García, H. & Cano, P. 2020. In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (*Myrtillocactus geometrizans*). *Food Chemistry*. 16 (342):128087
- Reynoso, R., Giner, T. & González, E. 1999. Safety of a filtrate of fermented garambullo fruit: biotransformation and toxicity studies. *Food and chemical toxicology*. 37: 825-830.
- Rezaul, I., Shopnil, A., Mominur, R., Feana, T., Tamanna, A., Sheikh, S., Abdur, R., Abdullah, S., & Simal, G. Colon cancer and colorectal cancer: Prevention and treatment by potential natural products.2022. *Chemico-Biological Interactions*. 368: 110170
- Saura, F. & Pérez, J. 2018. Non-extractable polyphenols and carotenoids: importance in human nutrition and health. *The royal society of Chemistry. Food chemistry, function and analysis*.
- Vieira, AR., Abar, L., Chan DSM., Vingeliene, S., Polemiti, E., Stevens, C., Greenwood, D., Norat, T. 2017. Foods and beverages and colorectal cancer risk: a systematic review and meta-analysis of cohort studies, an update of the evidence of the WCRF-AICR Continuous Update Project. *Annals of oncology*. 28: 1788-1802
- Wargovich, M., Vondina, R., & Morris, J. 2010. Aberrant crypt foci: the case for inclusion as a biomarker for colon cancer. *Cancers*. 2:1705-1716.

Peludos en aprietos: clima, genes y enfermedades

Verónica Torres-Solórzano¹; Karina Acevedo-Whitehouse¹

¹Laboratorio de Plasticidad Inmune y Fisiología de la Conservación, Unidad de Microbiología Básica y Aplicada, Universidad Autónoma de Querétaro, México. torressol.v@gmail.com

Resumen

La capacidad del sistema inmune para reconocer proteínas de agentes foráneos (conocidos como antígenos) e implementar respuestas de protección óptima contra ellos depende tanto de características del hospedero como de factores externos. Este trabajo exploró la relación entre la inmunidad, el clima y la susceptibilidad a patógenos. Se usó como modelo de estudio al lobo marino de California (LMC), una especie que habita la costa del Pacífico nororiental, en donde se han registrado anomalías climáticas que limitan la disponibilidad de alimentos y la supervivencia de las especies marinas. Partimos desde la hipótesis de que la diversidad de los genes MHC-DRB, claves para la presentación de antígenos, varía de acuerdo con la anomalía en la temperatura superficial del mar (ATSM); lo cual, a su vez, cambia la susceptibilidad a los patógenos. De esta manera, se cuantificó la diversidad del MHC-DRB en 165 cachorros de LMC nacidos en el archipiélago de San Benito (2014-2019). Se determinó la presencia de *Streptococcus* beta-hemolítico y de Herpesvirus Otarino 1. También se registró la ATSM anual. Finalmente, se construyeron modelos generalizados lineales para desafiar las hipótesis planteadas. La diversidad del MHC-DRB de las crías fue menor al incrementar la ATSM, lo cual sugiere que, en esas condiciones ambientales, los adultos con mayor variabilidad genética fueron desplazados por individuos con menor diversidad. La presencia de patógenos fue influenciada por la diversidad de los MHC-DRB y por la presencia de genes específicos, de forma diferente entre sexos, lo cual sugiere que el dimorfismo sexual inmune es evidente incluso en crías. Nuestro estudio muestra que la variabilidad climática impacta sobre la competencia inmune de los organismos de vida libre.

Palabras clave: Dimorfismo sexual inmune, anomalía climática, MHC-DRB, Lobo marino de California, patógenos

Abstract

The ability of the immune system to recognize foreign proteins, known as antigens, and implement optimal protective responses against them depends on traits of the host and external factors. This study explored the relationship between immunity, climate and susceptibility to pathogens. The model species was the California sea lion (LMC), which inhabits the northeastern Pacific coast, where climatic anomalies, that limit food availability and survival of marine species, have been reported. We hypothesized that the diversity of MHC-DRB genes, key for antigen presentation, varies according to sea surface temperature anomalies (ATSM), and this, in turn, influences susceptibility to pathogens. The diversity of the MHC-DRB was quantified in 165 CML pups born in Benito del Oeste (2014-2019). The presence of beta-hemolytic streptococci and Otarine Herpesvirus 1 was determined. The ATSM was recorded. Generalized linear models were built to challenge the hypotheses. The diversity of the MHC-DRB of the pups was lower with increasing ATSM, suggesting that in these environmental conditions adult males with greater genetic variability were displaced by individuals with lower diversity. The presence of pathogens was influenced by MHC-DRB diversity, and by the presence of specific genes, differently between sexes, suggesting that immune sexual dimorphism is evident even in pups. Our study shows that climatic variability can impact immune competence of natural populations.

Key words: Immune sexual dimorphism, climate anomaly, MHC-DRB, California sea lion, pathogens

Introducción

El lobo marino de California (LMC) (*Zalophus californianus*) es una especie pinnípeda sexualmente dimórfica; se trata de un depredador tope en el ecosistema marino costero, por lo cual es considerado un indicador de la salud ecosistémica (CONANP, 2013). También es considerada una especie centinela (Schwacke et al., 2013), pues, a través de varios parámetros fisiológicos, puede servir como indicador de riesgos ambientales al proporcionar alertas anticipadas de una posible amenaza ambiental, como anomalías en la ATSM. Las ATSM muestran la variación cálida o fría en la temperatura actual con respecto a la temperatura promedio a largo plazo (NOAA, 2010). Debido a que los valores altos de una ATSM impactan la productividad primaria de la columna de agua, como consecuencia afectan a todos los niveles tróficos, incluyendo la alimentación del lobo marino de California (Elorriaga-Verplancken et al., 2016). Esto último tiene impactos a nivel fisiológico de las crías que nacen durante temporadas de alta ATSM (Banuet-Martínez et al., 2017).

A nivel fisiológico, una ATSM alta impacta en la disponibilidad de recursos disponibles para la lactancia de las crías. A la fecha no se ha estudiado si puede, además, influir en la expresión de genes bajo selección, como el complejo mayor de histocompatibilidad (MHC). El MHC es una familia de genes estrechamente ligados y altamente polimórficos, los cuales presentan antígenos foráneos o endógenos alterados ante los linfocitos y, por eso, son esenciales en la activación de respuestas inmunes adaptativas (Janeway et al., 2001). Hay dos familias principales de genes del MHC: las de clase I, que son expresadas por todas las células nucleadas; y las de clase II, las cuales expresan las células inmunes presentadoras de antígenos extracelulares e intracelulares. Normalmente el polimorfismo del MHC se basa en alelos generados por variaciones nucleotídicas. En el LMC, el mecanismo de generación de polimorfismos del MHC es inusual, pues se basa en la poligenia y solamente son polimórficos en la región DRB de los genes del MHC clase II (Bowen et al., 2004).

Un análisis piloto no publicado, realizado en unos pocos animales nacidos durante un año de ATSM inusualmente alto, mostró que había diferencias en la diversidad del MHC respecto a crías nacidas en años cálidos (K. Acevedo-Whitehouse, comunicación personal). Con estos resultados se especuló que esta baja variabilidad podría aumentar la susceptibilidad a enfermedades y comprometer la salud, como se ha visto para la baja diversidad genética no codificante (Acevedo-Whitehouse et al., 2003). En el LMC se han detectado diversos patógenos con potencial de ocasionar enfermedad. Uno de ellos es de relevancia poblacional: el Herpesvirus Otarino 1 (OtHV-1), un virus con tropismo linfoepitelial, el cual tiene potencial oncogénico, pues se considera un factor de riesgo para el carcinoma urogenital que aqueja a esta especie (Gulland et al., 2020). Otros microorganismos con potencial patogénico son las bacterias *Streptococcus* beta-hemolítico; éstas, aunque son comensales oportunistas, se han asociado a septicemia y neumonía en diversas especies de mamíferos marinos. En el lobo marino estas bacterias también están asociadas al carcinoma urogenital (Gulland et al., 2020). En ese sentido, comprender la importancia de los factores genéticos y ambientales que influyen en la susceptibilidad a estos patógenos, es de alta relevancia.

A la fecha se desconoce si las anomalías climáticas pueden impactar en la diversidad genética constitutiva y expresada del MHC-DRB en el LMC; a su vez, tampoco se sabe si esto influye en la salud de crías hembras y machos. Es importante considerar la posibilidad de diferencias entre sexos, pues el LMC es una especie sexualmente dimórfica y se especula que sus respuestas inmunes podrían diferir debido a las presiones impuestas por su historia de vida diferencial. Es por eso que este trabajo tuvo como objetivo estudiar la relación entre la conformación constitutiva y la diversidad expresada del MHC-DRB en las crías de LMC nacidas entre 2014 y 2019, años caracterizados por diferentes valores de ATSM. También, se investigó si la relación entre la diversidad constitutiva y expresada del MHC-DRB y las ATSM difiere entre sexos y, de igual forma, si impacta la susceptibilidad a los dos patógenos de forma diferente.

Métodos

Se capturaron 165 cachorros nacidos durante el mes de julio entre los años 2014 y 2019, en la Isla San Benito del Oeste, archipiélago localizado en la costa del Pacífico nororiental de la península de California. Cada cachorro fue contenido de forma manual y se le colectaron muestras de piel y de sangre para realizar el análisis de la conformación y expresión del MHC-DRB. En campo, las muestras de piel se almacenaron en EtOH al 96 %; mientras que las muestras de sangre fueron centrifugadas, de las cuales se separó la capa flogística y se almacenó en RNAlater. También, se colectaron hisopados genitales de cada cachorro, de los que se extrajo el ADN total para investigar la presencia de *Streptococcus* beta hemolítico y OthV-1, esto mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés).

Análisis de la conformación y expresión del MHC-DRB

A partir de muestras de piel, se extrajo el ADN total mediante un protocolo estandarizado basado en proteinasa K, fenol-cloroformo y alcohol isoamílico. Con base en el ADN, se caracterizó la conformación del MHC-DRB genómico de cada cachorro. Se extrajo el ARN total a partir de las muestras de capa flogística, con Trizol (Invitrogen) y se realizó transcripción reversa con QuantiTect (Qiagen) para generar ADN complementario (ADNc) del ARNm. La amplificación de la región Zaca-DRB en ADN y ADNc se hizo por PCR; cada reacción de 12 μ l contenía <1 μ g de template, uno de diez cebadores específicos de Zaca-DRB a 10 μ M, Reverse Primer 10 μ M, Buffer 10x, MgCl₂ 25nM, dNTPs, Taq DNA polimerasa y ddH₂O. Las condiciones del programa fueron: 3 minutos a 95 °C, 35 ciclos de 45 segundos a 94 °C, 30 segundos a 58 °C, 60 segundos a 72 °C y, finalmente, un ciclo de extensión a 72 °C por 10 minutos. Las reacciones fueron corridas en un gel de agarosa al 1 % en TBE teñido con bromuro de etidio y se realizó una electroforesis a 100 V por 35 minutos. El gel se visualizó en un fotodocumentador para confirmar la presencia o ausencia de una banda de 250 pb para cada gen del MHC-DRB.

Registro de las anomalías climáticas

Se utilizó la información del Programa de Acceso a Datos de la División de Investigación Ambiental (ERDDAP, por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y se seleccionó el título del conjunto de datos: *SST, Daily Optimum Interpolation (OI), AVHRR Only, Version 2.1, Final, Global, 0.25°, 1981-present, Lon+/-180* para generar la base de datos para exportar. Dentro del conjunto de datos se definió un área de 100 km a la redonda del archipiélago San Benito, el cual corresponde a las latitudes de 27.875 ° y 28.875 ° y las longitudes de: -116.125 ° y -115.125 °. Las ATSM se registraron para los meses de junio a julio.

Análisis estadístico

Se construyó una base de datos binaria a partir de la presencia o ausencia de los diez genes (A-J) en la región DRB del MHC clase II y con los datos de la presencia o ausencia de los patógenos. La base se complementó con las ATSM durante junio y julio, así como del sexo de cada individuo.

Las hipótesis propuestas se analizaron mediante la construcción de modelos lineales generalizados (GLM, por sus siglas en inglés), definiendo la distribución de los residuales de acuerdo a la variable explicativa. La significancia de los modelos se determinó por un análisis de varianzas (ANOVA) para variables de respuestas continuas, o por una prueba de Chi-cuadrada (χ^2) para variables de respuestas binomiales o discretas. La significancia estadística se determinó en $P < 0.05$. Para el cálculo de la razón de momios (OR, por sus siglas en inglés) se empleó el programa SISA y la prevalencia se calculó con las frecuencias de la presencia de un gen particular en las crías.

Resultados

Se encontró que cuando la ATSM era mayor ($>1.20\text{ }^{\circ}\text{C}$) con respecto al promedio histórico, menor era la diversidad constitutiva del MHC-DRB de las crías (Figura 1).

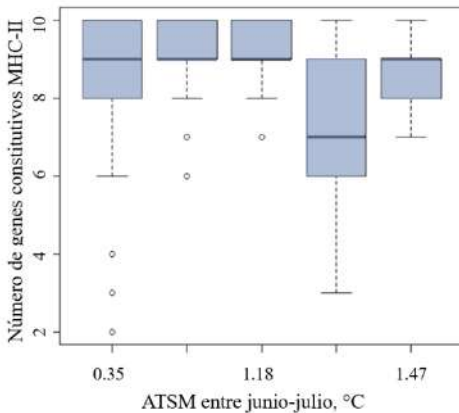


Figura 1. Número de genes constitutivos del MHC clase II en relación con las ATSM registradas durante junio-julio (Diversidad constitutiva: GLM; 361.56, Desv Res=, gl=159, $p=0.02781$). Fuente: Elaboración propia.

También se encontró evidencia de que aquellas crías con menor diversidad en la expresión del MHC-DRB tenían mayor probabilidad de una infección por OtHV-1 y *Streptococcus beta-hemolítico* (Figura 2).

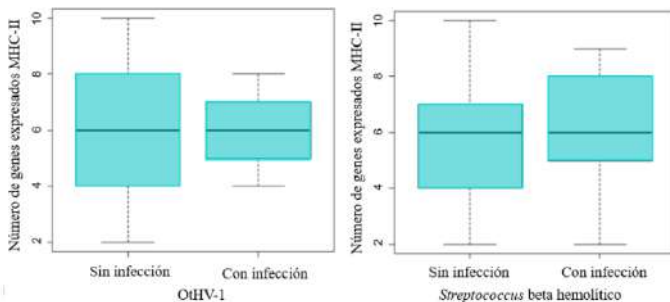


Figura 2. Número de genes expresados del MHC clase II en relación a la infección por OtHV-1 (izquierda) y *Streptococcus beta-hemolítico* (derecha) (OtHV-1: GLM; Desv Res=119.22, gl=39, $p=0.06621$; *Streptococcus beta-hemolítico*: GLM; Desv Res=131.28, gl=41, $p=0.04067$). Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la diversidad constitutiva y expresada de cada gen MHC-DRB de acuerdo a la presencia de los patógenos, se encontraron asociaciones significativas (Tabla 1).

Cuadro 1. Resultados de los GLM que investigaron la asociación entre la presencia genómica y la expresión de genes del MHC-DRB y la presencia de patógenos específicos. Se muestra el número de crías (N) macho y hembra que tienen y expresan el gen o que no lo tienen o expresan. Solo se presentan los resultados que fueron significativos en los modelos.

	Hembras	Machos
OtHV-1		
Gen	G (expresado)	B (genómico)
N presente	4	5
N ausente	0	0
OR	1.85	1.59
IC 95%	1.28<1.85>2.67	1.27<1.59>1.98
p	0.032	0.035
<i>Streptococcus beta-hemolítico</i>		
Gen	G (genómico)	
N presente	25	
N ausente	10	
OR	11.11	
IC 95%	1.09<11.11>113.06	
p	0.017	

Al graficar las prevalencias de infección con respecto a la presencia o ausencia de los genes detectados en el modelo, se puede observar su importancia hacia la susceptibilidad de infección por cada patógeno (Figura 3).

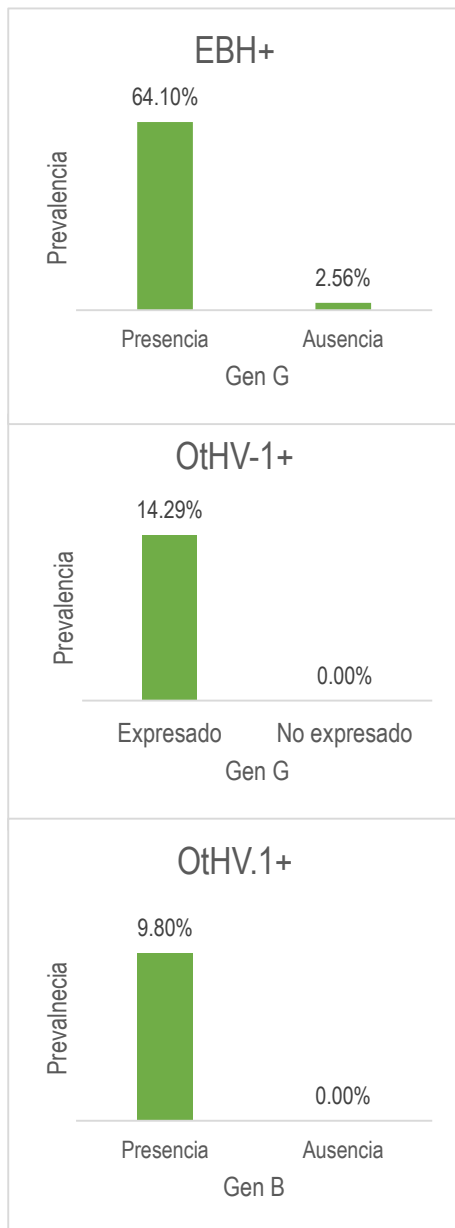


Figura 3. Prevalencia de genes específicos en relación a la ocurrencia de la infección. Panel superior: Prevalencia del gen G constitutivo en crías hembras de acuerdo al estado de infección con *Streptococcus* beta-hemolítico (EBH). Panel medio: Prevalencia de la expresión del gen G en crías hembras de acuerdo al estado de infección con gammaherpesvirus otárico (OtHV-1). Panel inferior: Prevalencia del gen B constitutivo en crías machos del acuerdo al estado de infección con OtHV-1. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El sistema inmune es indispensable para la supervivencia de un individuo y, por ende, para asegurar la viabilidad de las poblaciones. Para activar las respuestas inmunes adaptativas luego de la infección por un parásito (Janeway et al., 2001), la presentación de antígenos por parte de las moléculas del MHC es clave para montar dicha respuesta adaptativa, la cual llevará a la expansión clonal de linfocitos B y T específicos contra los patógenos que tengan ese antígeno (Janeway et al., 2001). Sin embargo, la efectividad de ésta y otras respuestas inmunes puede ser impactada por fenómenos ambientales, tales como la variación climática irregular o atípica (Altizer et al., 2013; Banuet-Martínez et al., 2017; Scharsack & Franke, 2022).

Nosotras investigamos si un fenómeno atípico, como lo es el calentamiento de la temperatura superficial del agua, compromete la diversidad constitutiva y expresada del MHC en crías de una especie centinela del ambiente marino costero; y, además, exploramos si esto puede impactar en la susceptibilidad a patógenos. Encontramos evidencia de que la ATSM es inversamente proporcional a la diversidad constitutiva del MHC-DRB de las crías. Esto podría deberse a que las condiciones climáticas atípicas impactan la migración estacional de los adultos, los cuales viajan desde Columbia Británica y el norte de los Estados Unidos hacia las colonias reproductivas, las cuales se encuentran en latitudes más bajas (Gearin et al., 2017). En este escenario propuesto, la supervivencia de los machos adultos más exitosos podría ser impactada, pues éstos son quienes cada año regresan a las colonias reproductivas a aparearse con las hembras, mismas que permanecen en las colonias reproductivas todo el año (Melin et al., 2000). Si por las condiciones climáticas anormales estos machos no pueden completar su migración, entonces los machos adultos de menor calidad genética, quienes incluso pueden permanecer más cerca de las colonias reproductivas durante el año, y que normalmente no podrían competir con los machos de mejor calidad para reproducirse, ahora podrían hacerlo. Bajo la hipótesis de los buenos genes

propuesta por Hamilton y Zuk (Hamilton & Zuk, 1982), se esperaría que los machos exitosos tuvieran mayor diversidad de MHC para heredar a sus crías. A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, proponemos que las ATSM afectan el establecimiento de los machos con mayor variabilidad genética, lo cual reduce la diversidad constitutiva de estos genes esenciales para el sistema inmune en las crías nacidas esos años. Esto es alarmante, ya que la baja diversidad del MHC puede impactar negativamente en la viabilidad de las poblaciones (Kohn et al., 2006).

No todos los genes que tiene un individuo son expresados. Por eso, investigamos si la expresión del MHC-DRB en células sanguíneas de las crías de LMC impactaba en la susceptibilidad de infección por cada uno de los patógenos estudiados. Se observó que cuando hay infección con *Streptococcus* beta-hemolítico (EBH), se reduce la expresión de los genes del MHC; pero esto, por otra parte, no se observó para OtHV-1. Esto sugiere dos escenarios posibles que no son mutuamente excluyentes: 1) los animales infectados tienen menos recursos bioenergéticos para destinar a la expresión, costosa, del MHC (Lochmiller & Deerenberg, 2003); y 2) el EBH cuenta con mecanismos para reducir la expresión del MHC como estrategia de evasión inmune. Esto no se ha reportado para las infecciones de EBH en otras especies, aunque sí se han reportado mecanismos de evasión de otros componentes del sistema inmune (Syed et al., 2020). También se encontró evidencia de asociaciones significativas entre la presencia constitutiva de genes del MHC y la susceptibilidad a patógenos, lo cual concuerda con McClelland y sus colaboradores (2003). Proponemos que se está dando una combinación de eventos, evolutivos y fisiológicos, donde ciertos genes están siendo seleccionados en la población por la presión ejercida por los patógenos (Borghans et al., 2004), mientras que la expresión de genes particulares está siendo afectada por OtHV-1 y EBH para asegurar su establecimiento.

Las especies sexualmente dimórficas, como el LMC, pueden presentar, debido a sus historias de vida diferentes, variaciones en sus respuestas inmunes (Klein & Flanagan, 2016). Por esta razón se investigó si los genes expresados del MHC-DRB en crías de LMC se asocian con la presencia de patógenos

específicos en forma diferente entre sexos. Encontramos evidencia de genes constitutivos y expresados asociados a patógenos. Esto se relaciona con el trabajo previo de Matzaraki y sus coautores (2017), en donde se reportó que la diversidad del MHC es un factor de riesgo para infecciones que pueden estar involucradas en enfermedades autoinmunes en hembras. En este trabajo, la prevalencia constitutiva y expresada de genes se asoció con la ocurrencia de OtHV-1 y EBH en hembras, no así en machos, donde la presencia de genes en particular confería un riesgo hasta 111 veces mayor de infección que el carecer del gen. Esto es relevante, ya que los dos patógenos han sido asociados estadísticamente con un mayor riesgo de cáncer urogenital en animales adultos (Gulland et al., 2020).

Conclusión

En el contexto actual de un clima cambiante, con ambientes naturales que están siendo afectados por calentamientos inusuales, la respuesta inmune de organismos sensibles a estos cambios puede ser subóptima. Hemos demostrado que la ATSM impacta en la constitución del MHC-DRB de las crías de LMC, posiblemente reflejando cambios en la dinámica reproductiva de la población. Si los machos de buena calidad genética son menos capaces de completar su migración reproductiva al haber temperaturas del mar anómalas y, en consecuencia, los machos de menor calidad son los que se reproducen, heredarán a las crías su limitado repertorio. La constitución limitada del MHC-DRB cambia el patrón de expresión y puede aumentar la susceptibilidad de ser infectado por patógenos potenciales. Esto lo pudimos constatar para dos patógenos: OtHV-1 y EBH. Nuestros resultados constituyen evidencia de que la constitución y expresión de genes claves para las respuestas inmunes innatas de las crías de LMC, son impactadas por los cambios ambientales atípicos que experimenta la zona marina costera desde hace unos años. La especie de estudio, el lobo marino de California, puede ser considerado un monitor de alerta anticipada de los desafíos que enfrenta fisiológicamente y los posibles

fenómenos que puede haber en especies silvestres con una potencial relevancia para la conservación y manejo de sus poblaciones.

Referencias bibliográficas

- Acevedo-Whitehouse, Gulland, Greig, et al. (2003). Disease susceptibility in California sea lions. *Nature* 422, 35. Doi:10.1038/422035a
- Altizer, Ostfeld, Johnson, Kutz y Harvell. (2013). Climate Change and Infectious Diseases: From Evidence to a Predictive Framework. *Science Special Section*. Doi: 10.1126/science.1239401
- Banuet-Martínez, Espinosa-de Aquino, Elorriaga-Verplancken, Flores-Morán, García, Camacho, Acevedo-Whitehouse. (2017). Climatic anomaly affects the immune competence of California sea lions. *PLoS ONE* 12(6): e0179359. Doi: 10.1371/journal.pone.0179359
- Borghans, Beltman y De Boer, R.J. (2004). MHC polymorphism under host-pathogen coevolution. *Immunogenetics* 55, 732–739 Doi: 10.1007/s00251-003-0630-5
- Bowen, Aldridge, Gulland, et al. (2004). Class II multiformity generated by variable MHC-DRB region configurations in the California sea lion (*Zalophus californianus*). *Immunogenetics* 56, 12–27. Doi:10.1007/s00251-004-0655-4
- CONANP. (2013). Monitoreo del Lobo Marino de California (*Zalophus californianus californianus*) en la Reserva de la Biosfera Isla San Pedro Mártir y Área de Protección de Flora y Fauna Islas del Golfo de California. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: https://simec.conanp.gob.mx/pdf_monitoreo/25-martin_lobo_marino.pdf
- Elorriaga-Verplancken, Sierra-Rodríguez, Rosales-Nanduca, Acevedo-Whitehouse y Sandoval-Sierra. (2016). Impact of the 2015 El Niño-Southern Oscillation on the Abundance and Foraging Habits of Guadalupe Fur Seals and California Sea Lions from the San Benito Archipelago, Mexico. *PLoS ONE*. 11(5). DOI: 10.1371/journal.pone.0155034
- Gearin, Melin, DeLong, Goshó y Jeffries. (2017). Migration Patterns of Adult Male California Sea Lions (*Zalophus californianus*). *National Oceanic and Atmospheric Administration* DOI:10.7289/V5/TM-AFSC-346
- Gulland, Hall, Ylitalo, Colegrove, Norris, Duignan, Halaska, Acevedo Whitehouse, Lowenstine, Deming y Rowles. (2020). Persistent Contaminants and Herpesvirus OthV1 Are Positively Associated with Cancer in Wild California Sea Lions (*Zalophus californianus*). *Front. Mar. Sci.* 7:602565. DOI: 10.3389/fmars.2020.602565
- Hamilton y Zuk. (1982). Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites? *Science*, 218, pp. 384–387
- Janeway, Travers, Walport M, et al. (2001). Immunobiology: The Immune System in Health and Disease. 5th edition. New York: Garland Science; The major histocompatibility complex and its functions. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK27156/>
- Klein y Flanagan. (2016). Sex differences in immune responses. *Nat Rev Immunol* 16, pp. 626–638. DOI: 10.1038/nri.2016.90
- Kohn, Murphy, Ostrander y Wayne. (2006). Genomics and conservation genetics. *Trends Ecol. Evol.* 21, pp. 629–637 DOI: 10.1016/j.tree.2006.08.001
- Lochmiller y Deerenberg. (2003). Trade-offs in evolutionary immunology: just what is the cost of immunity? *OIKOS* 88, 87–98. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2000.880110.x
- Matzaraki, Kumar, Wijmenga y Zhernakova. (2017). The MHC locus and genetic susceptibility to autoimmune and infectious diseases. *Genome Biol.* 27;18(1): 76 p. DOI: 10.1186/s13059-017-1207-1.
- McClelland, Penn y Potts. (2003). Major histocompatibility complex heterozygote superiority during coinfection. *Infect. Immun.* 71:2079:2086
- Melin, DeLong, Thomason y Van Blaricom. (2000). Attendance patterns of California sea lion (*Zalophus californianus*) females and pups during the non-breeding season at San Miguel Island. *Mar. Mammal Sci.* 16(1): pp. 169–185. Doi:10.1111/j.1748-7692.2000.tb00911.x
- NOAA. (2010). Sea Surface Temperature Anomaly - Real-time. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponible en: <https://sos.noaa.gov/catalog/datasets/sea-surface-temperature-anomaly-realtime>.
- Scharsack y Franke. (2022). Temperature effects on teleost immunity in the light of climate change. *J Fish Biol.* 101:780–796. Doi: 10.1111/jfb.15163
- Schwack, Gulland y White. (2013). Sentinel Species in Oceans and Human Health. In: Laws, E. (eds) Environmental Toxicology. Springer, New York, NY. Doi:10.1007/978-1-4614-5764-0_18
- Syed, Viazmina, Mager, Meri1 y Haapasalo. (2020). Streptococci and the complement system: interplay during infection, inflammation and autoimmunity. *FEBS Letters* 594, pp.2570–2585. DOI: 10.1002/1873-3468.13872

Características clínicas de Mexicanas con Lupus: datos del LUPUS RGMX.

Villegas-Bolaños Mariana Guadalupe^{1*}, Hernández-Ledesma Ana Laura², Torres-Valdez Estefania³, Peña-Ayala Angélica Hayleen⁴, Tinajero-Nieto Lizbet⁴, Félix-Rodríguez Guillermo⁵, Frontana-Vázquez Gabriel³, Alpízar-Rodríguez Deshiré⁶, Medina-Rivera Alejandra².

¹ Licenciatura en Medicina, Universidad del Valle de México.

² Laboratorio Internacional de Investigación sobre el Genoma Humano, Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Querétaro, México.

³ Hospital General Regional 2, IMSS, El Marqués, Querétaro.

⁴ Hospital General Regional 1 IMSS, Querétaro, Querétaro.

⁵ Práctica privada Star Médica. Presidente Capítulo de Reumatología Querétaro.

⁶ Colegio Mexicano de Reumatología.

* viperqromarianaguadalupe@hotmail.com, amedina@liigh.unam.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue identificar las características clínicas de mujeres mexicanas con lupus eritematoso sistémico (LES). Para esto se evaluaron los datos clínicos de 116 mujeres mexicanas con diagnóstico de LES (y que fueron canalizadas a través del Registro Mexicano de Lupus) entre mayo de 2021 y noviembre de 2022. Las participantes fueron evaluadas por el médico reumatólogo, para lo cual se utilizó una entrevista directa y un cuestionario estructurado. Se evaluaron variables clínicas y el Índice de la Actividad de la Enfermedad de Lupus Eritematoso Sistémico (SLEDAI). Tras el proceso de evaluación, se obtuvo una media desde el diagnóstico de 40.7(±13) años y una media de 8.5(±8) años. La mayoría (44 %) reportó que pasaron menos de 6 meses entre las primeras manifestaciones del LES y su diagnóstico. La evaluación también mostró a los antimaláricos (72.4 %) y los glucocorticoides (71.2 %) como los medicamentos más utilizados. La mayoría (54.3 %) reportó no presentar comorbidades. Con respecto a la actividad del lupus, se observó una media de 5 puntos, en un intervalo de 0 a 48; no se observaron asociaciones significativas entre el índice de la actividad, el tiempo de diagnóstico y el tipo de tratamiento.

A partir de datos recabados por reumatólogos a través del Registro Mexicano de Lupus, se evaluaron características clínicas de mujeres mexicanas con LES. Futuros estudios permitirán ahondar en factores que pueden contribuir a la variabilidad observada con respecto al uso de medicamentos y la actividad de la enfermedad en nuestra cohorte. El Registro Mexicano de Lupus representa una potencial fuente de información confiable que permitirá mejorar la investigación clínica multicéntrica a nivel nacional.

Palabras clave: Lupus eritematoso sistémico, México, actividad de la enfermedad, SLEDAI.

ABSTRACT

Objective: To identify clinical characteristics of Mexican women with Systemic Lupus Erythematosus Erythematosus.

Methodology: Clinical data from 116 Mexican women with a diagnosis of Systemic Lupus Erythematosus Erythematosus referred through the Mexican Lupus Registry, were evaluated between May 2021 and November 2022. Participants were assessed through a direct interview by the rheumatologist and the application of a structured questionnaire. Clinical variables were assessed and the Systemic Lupus Erythematosus Erythematosus Disease Activity Index was determined. The analysis was descriptive and retrospective.

Results: Mean age was 40.7 (±13) years and mean age at diagnosis was 8.5 (±8) years. The majority (44%) reported that less than 6 months elapsed between first manifestations and diagnosis. Antimalarials (72.4%) and glucocorticoids (71.2%) are the most commonly used drugs in our cohort. The majority (54.3%) report no comorbidities. With respect to lupus activity, a mean of 5 points was observed, ranging from 0 to 48; no significant associations were observed between the activity index, time of diagnosis and type of treatment.

Conclusion: Based on data collected by rheumatologists in the Mexican Lupus Registry, clinical characteristics of Mexican women with lupus were evaluated. Further studies are needed to investigate factors that may be contributing to the observed variability in medication use and disease activity in our cohort. The Mexican Lupus Registry represents a potential source of reliable information that will improve multicentre clinical research at the national level.

Key words: Systemic lupus erythematosus, Mexico, disease activity, SLEDAI.

Introducción

El lupus eritematoso sistémico (LES) es una enfermedad autoinmune, inflamatoria, crónica y multisistémica de etiología desconocida, definida por sus características clínicas y por la presencia de autoanticuerpos dirigidos contra uno o más componentes del núcleo celular. En México, se estima que, por cada 100 mil habitantes, 20 personas sufren de esta enfermedad; el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) señala que de cada diez personas que padecen la enfermedad, nueve son mujeres y, además, la mayoría de los pacientes debuta entre los 20 y 40 años de edad.

Aun cuando existen pocos estudios con diseño epidemiológico que determinen la fuerza de asociación de algunos factores de riesgo y la presencia de LES en diferentes poblaciones, se han recopilado datos que han permitido observar una mayor incidencia en personas de ancestría latina y africana. En México, un estudio previo del Departamento de Reumatología del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional (HE CMN) Siglo XXI sugiere que, aun cuando los factores genéticos parecen desempeñar un papel importante en el desarrollo de LES, por sí solos no pueden explicar su etiología. Se postula que el desarrollo de esta patología es resultado de la suma de interacciones entre factores de riesgo genéticos, endocrinos, ambientales, infecciosos y farmacológicos.

Actualmente, el diagnóstico de LES se basa en la determinación, por parte del médico especialista, de criterios definidos por el *Systemic Lupus International Collaborating Clinics Group* (SLICC, por sus siglas en inglés) publicados en 2012. Estos criterios sustituyeron a los del *American College of Rheumatology* (ACR, por sus siglas en inglés) de 1997 y están diseñados para evaluar aspectos clínicos e inmunológicos de la enfermedad. Con respecto a su seguimiento, al ser una patología multisistémica y altamente heterogénea, ha surgido la necesidad de establecer herramientas que faciliten la evaluación del estado de la persona con LES. El Índice de Actividad de la Enfermedad del Lupus Eritematoso Sistémico

(SLEDAI, por sus siglas en inglés) es un instrumento utilizado en la clínica para determinar la actividad que ha tenido la patología durante los últimos diez días, esto a través de la determinación de variables clínicas y de laboratorio que permiten evaluar las manifestaciones y daños más frecuentemente observados en personas con LES. Si bien el SLEDAI es ampliamente utilizado a nivel clínico para el seguimiento de las personas con LES, con el tiempo han surgido adaptaciones de este instrumento que buscan cubrir necesidades específicas de diferentes poblaciones. En México, en 1992, un grupo de investigadores mexicanos desarrolló la escala MEX-SLEDAI, la cual es una modificación del SLEDAI que no incluye algunas de las determinaciones de laboratorio, lo cual disminuye los gastos económicos que estas conllevan y facilitan el uso de un instrumento de menor costo.

En referencia a los medicamentos más utilizados para el tratamiento de LES, destacan el uso de fármacos antimaláricos, inmunosupresores, glucocorticoides y agentes biológicos. De manera frecuente, el primer escalón del tratamiento es la administración de fármacos antimaláricos y medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (AINE). Dentro de los medicamentos antimaláricos destaca el uso de la hidroxiclороquina, la cual está asociada con una disminución en la frecuencia y severidad de los brotes, además de una disminución en la mortalidad. Con respecto al uso de inmunosupresores, el metotrexato, la azatioprina y el micofenolato de mofetilo son frecuentemente utilizados. Por otra parte, los glucocorticoides (GCC) han sido ampliamente usados para el tratamiento del LES, tanto durante brotes como en el proceso de remisión. Es importante considerar que la elección del tratamiento se basa en la severidad y localización de las manifestaciones que presenta la persona con LES al momento de la evaluación clínica.

El objetivo de este trabajo fue determinar las características clínicas y el SLEDAI en una cohorte de mujeres mexicanas con LES residentes del estado de Querétaro.

Metodología

El presente estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética en la Investigación del Instituto de Neurobiología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Toda la información recabada ha sido anonimizada y protegida con base en los lineamientos establecidos por las clínicas participantes y la UNAM. Todas las mujeres participantes incluidas en el estudio recibieron información sobre la naturaleza del proyecto y han dado su consentimiento informado por escrito para participar en esta investigación.

Para el presente estudio se consideraron a todas aquellas mujeres mexicanas, mayores de 18 años, con diagnóstico previo de LES que llegan a consulta de valoración o seguimiento. Las voluntarias fueron identificadas a través de médicos reumatólogos pertenecientes al Colegio Mexicano de Reumatología, mismos que brindan consulta en las principales clínicas del IMSS y algunas instituciones privadas establecidas en la ciudad de Querétaro. Los datos clínicos y demográficos de las participantes fueron recuperados a través del Registro Mexicano de Lupus (Lupus RGMX).

Lupus RGMX es una plataforma digital enfocada a la recolección de datos clínicos, sociodemográficos y psicosociales de personas con LES en México. El registro está implementado utilizando la aplicación *Research Electronic Data Capture* (REDCap) y se encuentra resguardado en el Laboratorio Nacional de Visualización Científica Avanzada (LAVIS) de la UNAM. El registro de participantes se realiza cuando las voluntarias acuden a la clínica a control o, si es primera vez, con el reumatólogo quien les informa sobre el registro, les invita a participar y les facilita el aviso de privacidad y el consentimiento informado en caso de aceptar participar. Posteriormente, se inscribe a la participante en el Lupus RGMX, para lo cual el reumatólogo realiza una evaluación general de la paciente y determina

el índice de actividad del lupus con base en la escala SLEDAI; asimismo, el reumatólogo ayuda a la participante a contestar los cuestionarios del registro que abarcan aspectos sociodemográficos y clínicos como edad, antecedentes de familiares, anomalías inmunológicas, nefritis lúpica, uso de medicamentos o terapia de inmunosupresión, entre otros aspectos.

Finalmente, para los objetivos de este estudio, se realizaron análisis descriptivos y exploratorios de las variables clínicas de las participantes utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Rstudio (v. 4.0.1).

Resultados

En el presente estudio se integró la información clínica de 116 voluntarias con diagnóstico previo de LES. La mayoría de nuestras voluntarias son originarias del estado de Querétaro ($n= 52$, 44.8 %), mientras que el resto provino de otros 15 estados de la república, principalmente de la zona centro y sur del país (Figura 1).



Figura 1. Distribución geográfica de las mujeres con lupus registradas, de acuerdo a su entidad de nacimiento ($n=116$). **Fuente:** Elaboración propia.

Nuestra cohorte presentó una media de edad (\pm DE) de 40.7 (\pm 13) años y abarcó un intervalo de 18 hasta 75 años (Tabla 1). Con respecto al tiempo de diagnóstico, pudimos observar una media (\pm DE) de 8.5 (\pm 8) años, con un intervalo desde 5 meses hasta 40 años. Al cuestionar a las participantes sobre cuánto tiempo pasó entre el primer síntoma que ellas asocian con LES y su diagnóstico, la

mayoría reportó haber esperado menos de 6 meses (n=51, 44 %). Solo una de las mujeres (0.9 %) se encontraba embarazada al momento de realizar el registro. 16 (13.4 %) de las voluntarias reportó haber sido diagnosticada con nefritis lúpica, una de las manifestaciones clínicas más frecuente y agresivas de la enfermedad.

Tabla 1. Principales características demográficas y clínicas de las mujeres con lupus registradas (n=116).

Variable	
Edad (media ± DE)	40.7 ± 13
Tiempo con el diagnóstico (media ± DE)	8.5 ± 8
Tiempo desde el primer síntoma hasta el diagnóstico (n, %)	
menos de 6 meses	51, 44.0 %
entre 6 meses y 1 año	22, 19.0 %
1 año	19, 16.4 %
2 años,	11, 9.5 %
3 años	1, 0.9 %
4 años	3, 2.6 %
más de 5 años	4, 3.4 %
más de 10 años	5, 4.3 %
Embarazadas (n,%)	1, 0.9 %
Nefritis lúpica (n,%)	16, 13.4 %
Familiar(es) con LES (n,%)	22, 19 %

Con respecto a antecedentes familiares de LES, 22 (19 %) participantes refirieron contar con algún familiar con LES diagnosticado, de las cuales la mayoría de los casos son hermanos (45.5 %), seguidos de primos (27.3 %), tíos (22.7 %) y en menor cantidad, abuelos, sobrinos e hijos (Figura 2).

Antecedente familiar con Lupus

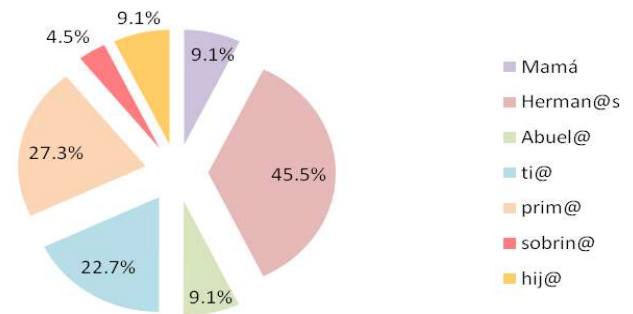


Figura 2. Proporción de familiares de las participantes que cuentan con diagnóstico de lupus (n=22). **Fuente:** Elaboración propia

Al cuestionar sobre las comorbilidades, la mayoría de las participantes manifestó no presentarlas (n=63, 54.3 %); mientras que la más frecuentemente reportada fue la hipertensión (n=16, 13.8 %), seguida de problemas de tiroides (n=10, 8.6 %), diabetes mellitus (n=3, 2.6 %) y artritis reumatoide (n=2, 1.7 %). Por otro lado, el 19 % (n=22, 19%) reportó presentar otras comorbilidades (Figura 3).

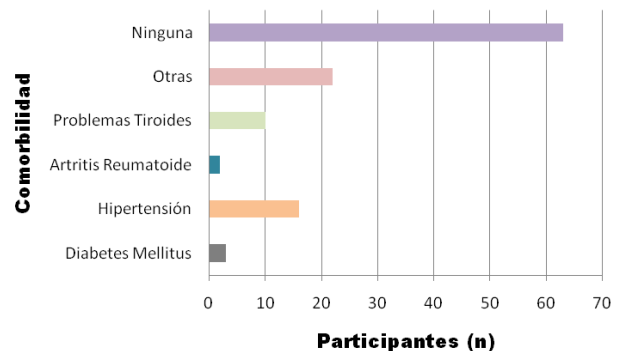


Figura 3. Frecuencia de comorbilidades que presentan las participantes (n=116). **Fuente:** Elaboración propia

Con respecto al uso de medicamentos, los de mayor uso fueron los antimaláricos (n=84, 72.4 %), seguido de glucocorticoides (n=83, 71.5 %), ácido micofenólico (n=63, 54.3 %), azatioprina (n=21, 18.1 %), metotrexato (n=15, 12.9 %) y rituximab (n=7, 6 %). Es importante considerar

que en la mayoría de los casos el tratamiento no se limita al uso de un solo medicamento, por lo cual analizamos las combinaciones de medicamentos utilizados por nuestras voluntarias (Figura 4). De esta manera, la combinación más frecuente fue el uso de micofenolato-glucocorticoides-antimaláricos (n=19, 16.4 %), seguida de la combinación micofenolato-antimaláricos (n=18, 15.5 %).

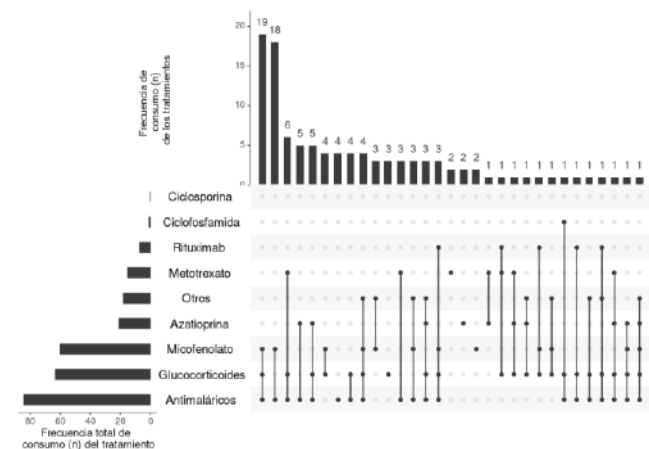


Figura 4. Frecuencia de medicamentos, y sus combinaciones, utilizados por las participantes. **Fuente:** Elaboración propia

Por otra parte, se determinó el SLEDAI que presentaron las participantes al momento de la evaluación, así como la intensidad de la actividad con respecto a este índice. Pudimos observar una media de 5 puntos del índice, en un intervalo de 0 hasta 48 puntos; la manifestación más frecuente fue la hipocomplementemia (n=30, 26 %), seguida por la artritis (n=29, 25 %) y la alopecia (n=21, 28 %). La psicosis y el síndrome orgánico cerebral no se presentaron en nuestra cohorte (Figura 5a). Posteriormente, se asignaron puntajes de acuerdo a lo establecido por el SLEDAI y se agrupó a los participantes con base en su nivel de actividad (Figura 5b), lo cual quedó de la siguiente manera: sin actividad (n=30, 26 %), actividad leve (n=31, 27 %), actividad moderada (n=34, 29 %), actividad alta (n=16, 14 %) y actividad muy alta (n=5, 4 %).

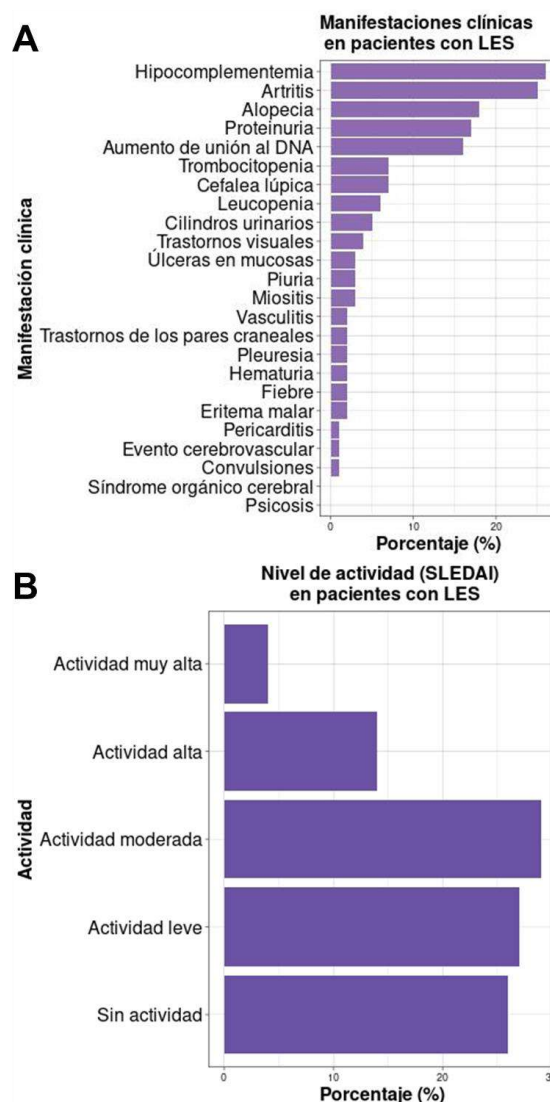


Figura 5. Evaluación de la actividad del lupus (SLEDAI) de las participantes. A) Frecuencia de los criterios SLEDAI, B) Nivel de actividad de las participantes. **Fuente:** Elaboración propia

De igual forma y con la finalidad de analizar algunos de los factores que podrían estar contribuyendo con el aumento o disminución de la actividad del LES, se evaluó la intensidad de la actividad con relación a algunas de las características evaluadas. Debido al amplio uso de los glucocorticoides y a los riesgos de daños asociados con su uso, se evaluó la intensidad de la actividad del LES con relación al tipo de glucocorticoide que las participantes consumen, al tiempo de diagnóstico y al tiempo que pasó entre

los primeros síntomas y su diagnóstico clínico. Con relación al consumo de diferentes glucocorticoides, observamos que las pacientes con menor actividad o sin actividad se encuentran en los grupos que consumen deflazacort y prednisolona; mientras que las pacientes con actividad muy alta se encuentran en los grupos que consumen prednisona y otros glucocorticoides (Figura 6).

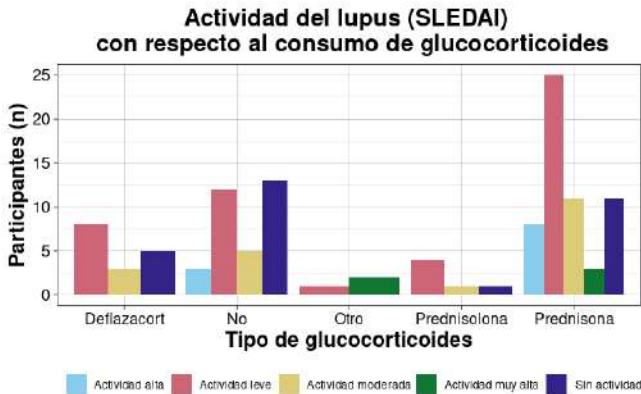


Figura 6. Actividad del lupus (SLEDAI) con respecto al consumo de diferentes glucocorticoides. **Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente, se evaluó la relación entre el valor del índice SLEDAI y el tiempo de diagnóstico, en donde no se pudo observar una asociación significativa (Figura 7). Adicionalmente, se evaluó si el tipo de glucocorticoide que consume la participante podría estar desempeñando algún papel en esta relación; sobre esto observamos que las participantes que consumen deflazacort (puntos rosas) se concentran por debajo de los 10 puntos en el índice SLEDAI, sin importar el tiempo de diagnóstico; mientras que aquellas que consumen prednisona (puntos morados) se encuentran más dispersas con respecto a los valores del índice SLEDAI.

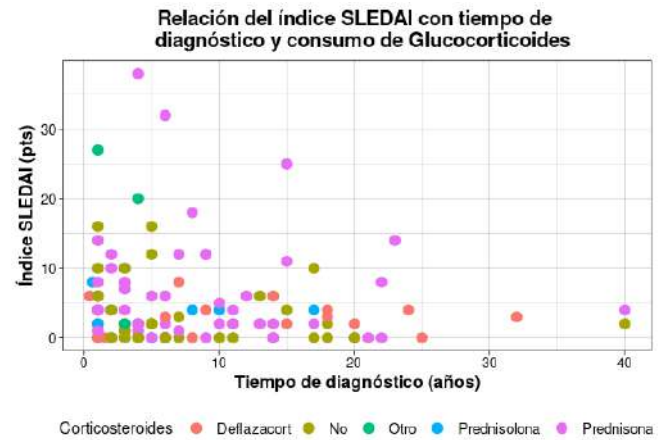


Figura 7. Relación del índice SLEDAI con tiempo de diagnóstico. **Fuente:** Elaboración propia

Discusión y Conclusión

En el presente estudio se mostró que la cohorte evaluada presentó una media de edad (\pm DE) de 40.7 (\pm 13) años, lo cual concuerda con datos previos del IMSS (IMSS, 2015).

Con respecto al tiempo de diagnóstico, pudimos observar una media (\pm DE) de 8.5 (\pm 8) años. Al cuestionar a las pacientes sobre cuánto tiempo pasó entre el primer síntoma que ellas asocian con LES y su diagnóstico, la mayoría reportó haber esperado menos de 6 meses (44 %). En general, el diagnóstico temprano, en conjunto con el uso de tratamientos efectivos, se ha asociado con un mejor pronóstico de la persona con LES. Por el contrario, la falta de un diagnóstico oportuno, y la consecuente falta de tratamiento temprano y adecuado, se ha asociado con un avance más rápido e intenso de las manifestaciones de la enfermedad.

El diagnóstico temprano en nuestra cohorte podría favorecer un mejor pronóstico para ellas. En los últimos años se ha observado un aumento significativo en la tasa de supervivencia, estimada en 85 % para 10-15 años y 65 % a los 20 años (Coronado, 2019; Jimenez, 2021).

Por otro lado, únicamente el 13.4 % de las voluntarias reportó haber sido diagnosticada con nefritis lúpica, una de las manifestaciones clínicas más frecuente y agresivas de la enfermedad. La prevalencia de la nefritis lúpica se estima alrededor del 16 % al momento del diagnóstico y aumenta al 60 % durante los primeros 5 años desde el diagnóstico (IMSS, 2010); además, cuenta con una incidencia de entre 1.8 y 7.6 casos por cada 100 000 habitantes (*The Journal of Rheumatology Supplement*, 2011).

En relación a antecedentes de familiares con LES, el 19 % de las participantes refirieron contar con algún familiar diagnosticado con esta enfermedad, de lo cual resultaron ser los hermanos (45.5 %) la relación de mayor frecuencia. Esto coincide con trabajos previos que consideran los antecedentes heredofamiliares como un factor de riesgo importante para el desarrollo de LES, especialmente en familiares de primer grado. La asociación del riesgo de lupus en familias es de media 5.0 (IC 95 % 1.67-21.6) (Abraham Zonana-Nacach, 2010).

Con respecto al uso de medicamentos, los más administrados fueron los antimaláricos (72.4 %) y los glucocorticoides (71.5 %). Es importante considerar que son pocas las participantes que limitan su consumo a un sólo fármaco, pues es más frecuente que sus tratamientos incluyan 2 o más medicamentos. La combinación más frecuente fue el uso de micofenolato-glucocorticoides-antimaláricos (16.4 %). Estos datos nos permiten identificar la combinación de medicamentos mayormente recetadas en nuestra cohorte. Futuros estudios son necesarios para determinar el efecto que estas combinaciones, además de las concentraciones de los medicamentos, pueden tener sobre las manifestaciones clínicas, su intensidad, brotes y la mortalidad. Esta información ayudará a los especialistas a diseñar y

ajustar esquemas terapéuticos que impacten favorablemente la calidad de vida de las personas con LES.

Con relación a la actividad de la enfermedad, se obtuvo una media de 5 puntos de acuerdo al SLEDAI, con un intervalo de 0 hasta 48 puntos (de máximo 105 puntos); para la mayoría de nuestra cohorte presentaron actividad moderada (29 %). Trabajos previos en población mexicana han reportado una media de 5.8 ± 3.7 puntos, en un intervalo de 1 a 17 puntos al ser evaluados con el MEX-SLEDAI; en esta misma cohorte se reportó que el 37.7 % de los participantes presentó actividad leve, el 1.9 % actividad muy severa y el 17 % se encontraba en remisión o sin actividad (Daniel Alejandro Vera-Rivero, 2019). Es importante considerar que el MEX-SLEDAI es una adaptación del SLEDAI, el cual abarca de 0 a 32 puntos, por lo que sólo nos puede dar una idea de cómo está la actividad en estas poblaciones, sin ser completamente equiparables.

Finalmente, al evaluar si factores como el tratamiento y el tiempo de diagnóstico pueden estar contribuyendo a la actividad de la enfermedad, observamos que las pacientes con menor actividad o sin actividad se encuentran en los grupos que consumen deflazacort y prednisolona; mientras que las pacientes con actividad muy alta se encuentran en los grupos que consumen prednisona y otros glucocorticoides.

Futuros estudios podrían ahondar en los factores que contribuyen en esta tendencia, tales como el apego al tratamiento, la dosis y el tiempo que se lleva con ese medicamento, además del efecto que puede tener sobre el pronóstico de las participantes.

En cuanto al tiempo de diagnóstico, no observamos una asociación significativa; sin embargo, se pudo observar que las participantes

que consumen deflazacort se concentran por debajo de los 10 puntos en el índice SLEDAI, esto sin importar el tiempo de diagnóstico.

Estos resultados nos permiten observar como con el paso de los años, desde el diagnóstico inicial hasta el momento de su registro, se modifica el curso de la enfermedad, lo cual se refleja en sus complicaciones y manifestaciones clínicas, así como en la alta heterogeneidad entre las personas con LES.

Además, se examinó la frecuencia en el consumo de diferentes fármacos utilizados en el tratamiento del LES; en este sentido es importante considerar para futuros estudios que puede existir una acumulación de daño que dependa de la dosis y el tiempo de consumo de ciertos medicamentos, tales como los glucocorticoides. Adicionalmente, consideramos importante el análisis del apego al tratamiento que tienen las personas con LES, pues estudios previos han reportado una falta de adherencia al tratamiento en más del 60 % de las cohortes de personas con LES, lo cual puede contribuir en un aumento de la actividad de la enfermedad y en la frecuencia de brotes (Sebastián Prados-Moreno, 2018).

El Lupus RGMX representa la mayor base de datos de personas con lupus construido hasta la fecha en México. A un año y medio de su implementación, nos brinda abundante información actualizada y fiable sobre los factores y manifestaciones de LES. Para el caso particular de este estudio, gracias al Lupus RGMX se pudo observar la situación clínica de mujeres residentes del estado de Querétaro con LES, así como sus comorbilidades, los tratamientos que llevan y sus combinaciones. De esta manera, el Lupus RGMX demuestra su uso como una herramienta de gran potencial para la investigación clínica multicéntrica, no sólo en la población queretana, sino también a nivel nacional.

La implementación del registro podrá facilitar el entendimiento de cómo se comporta el LES en la población mexicana, pues posibilita el diseño e implementación de estrategias que mejoren la vida de nuestras pacientes que acuden día con día a las clínicas. La investigación nos ayuda a comprender factores de salud que contribuyan a un mejor desarrollo y que exista relación con el entorno de las pacientes que se nos presentan.

Referencias

- Alvarado, C. D. C. (2018, 18 enero). *Características clínicas y comorbilidades de pacientes con lupus eritematoso sistémico en niños y adultos* | Coronado Alvarado | *Acta Pediátrica de México*. <https://ojs.actapediatrica.org.mx/index.php/APM/article/view/1535>
- Barba PJ, Morgado-Carrasco D, Bois M, Feola H. Nuevos criterios de clasificación del lupus eritematoso sistémico (2019). *Piel* ;36(2):126-128.
- Castrejón, I. (2014, 1 septiembre). *Índices compuestos para evaluar la actividad de la enfermedad y el daño estructural en pacientes con lupus eritematoso: revisión sistemática de la literatura* | *Reumatología Clínica*. <https://www.reumatologiaclinica.org/es-indices-compuestos-evaluar-actividad-enfermedad-articulo-S1699258X14000539>
- Clínica Médica. Hospital Pasteur (2019). Relación entre el uso de glucocorticoides y el daño crónico en Lupus Eritematoso Sistémico. Facultad de Medicina. Universidad de la República. Administración Servicios de Salud del Estado (ASSE). http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2393-67972021000100014
- Enríquez-Mejía, M. G. (2013, 1 enero). *Fisiopatología del lupus eritematoso sistémico* | *Revista de Medicina e Investigación*. <https://www.elsevier.es/en-revista-revista-medicina-e-investigacion-353-articulo-fisiopatologia-del-lupus-eritematoso-sistemico-X2214310613653982>
- Firman, G. (s. f.). *Índice de Actividad de la Enfermedad del Lupus Eritematoso Sistémico (SLEDAI)* – *MedicalCRITERIA.com*. <https://medicalcriteria.com/web/es/reusledai/>
- Grupo de Estudio de Enfermedades Autoinmunes Sistémicas (GEAS). Sociedad Española de Medicina Interna (SEMI). Línea de trabajo en Lupus Eritematoso Sistémico.

- www.chospab.es/biblioteca/libros/GUIA_LUPUS_ERITOMASO.pdf
- Guía de Práctica Clínica sobre el Lupus Eritematoso Sistémico. Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. Servicio de Evaluación del Servicio Canario de la Salud; 2013. Guías de Práctica Clínica en el SNS: SESCO
- Guías de Diagnóstico y Tratamiento Servicio de Reumatología. Lupus Eritematoso y Sistémico (LES). www.hgm.salud.gom.mx/.../area_medica/reuma/guias/7lupus.pdf C
- http://www.quimica.es/enciclopedia/Lupus_eritematoso_sis%C3%A9mico.html
- <https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/752GRR.pdf>
- IMSS. (2015). *Guía de práctica clínica lupus eritematoso sistémico*. Instituto mexicano del seguro social.
- Jiménez, D. G. (2021, 1 enero). *Lupus eritematoso sistémico* | *Revista Médica Sinergia*. <https://revistamedicasinergia.com/index.php/rms/article/view/630>
- Jiménez-Uscanga RD, Carsolio-Trujano M, Herrera-Sánchez DA, Castrejón-Vázquez MI (2015) col. Lupus eritematoso sistémico. CD24V. *Revista Alergia México* <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/76/252>
- lupus eritematoso sistémico – Medicina Interna de México*. (s. f.). <https://medicinainterna.org.mx/tag/lupus-eritematoso-sistemicol>
- Manejo general del lupus eritematoso sistémico*. (2020, 15 enero). *GuíaSalud*. <https://portal.guiasalud.es/egpc/lupus-manejo/>
- Narváez, J. (2020, 11 diciembre). *Lupus eritematoso sistémico 2020 | Medicina Clínica*. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-lupus-eritematoso-sistemico-2020-S0025775320303250>
- Química. ES. (2013) *Lupus Eritematoso Sistémico*. Enciclopedia
- Sebastián Prados-Moreno, José Mario Sabio, José Manuel Pérez-Mármol, Nuria Navarrete-Navarrete, María Isabel Peralta-Ramírez, *Adherence to treatment in patients with systemic lupus erythematosus*, *Medicina Clínica* (English Edition), Volume 150, Issue 1, 12 January 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025775317304402#:~:text=Los%20factores%20predictores%20de%20la,severity%20general%20y%20s%C3%ADntomas%20positivos>.
- Vargas Méndez Kendry(2010). *Lupus eritematoso*. Universidad Internacional de las Américas. lupuseritemasososistematico.blogspot.com/2010/12/
- Vera-Rivero, D. A. (2019). *Medición de la actividad lúpica y daño acumulado en pacientes con lupus eritematoso sistémico*. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=91514>
- Xibillé-Friedmann, D. (2019, 1 enero). *Guía de práctica clínica para el manejo del lupus eritematoso sistémico propuesta por el Colegio Mexicano de Reumatología | Reumatología Clínica*. <https://www.reumatologiaclinica.org/es-guia-practica-clinica-el-manejo-articulo-S1699258X18300901>

La experiencia inflacionaria en hogares de ingresos altos y bajos

Paula Mariana Padilla Sanchez
ppadilla06@alumnos.uaq.mx
Enrique Leonardo Kato Vidal
enriquekato@uaq.mx

Resumen

La inflación reportada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) refleja un promedio de la realidad de la población, lo cual nos deja con una pregunta: ¿qué sucede con grupos particulares de la población? La presente investigación pretendió medir la inflación en hogares de ingresos alto, medio y bajo durante dos episodios de alta inflación (2017 y 2021); esto para lograr evaluar cuáles hogares presentaron una mayor pérdida en su poder adquisitivo. Este objetivo se logró a través de la recolección de datos, como lo son el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) y el gasto corriente por parte de los hogares. Estos datos fueron procesados con el fin de obtener la inflación para grupos de hogares en cada nivel de ingreso (bajo, medio y alto). Gracias a lo anterior, se pudo observar que las tres clases de hogar presentaron valores diferentes, de lo cual resultó que la inflación más alta fue para el nivel de ingreso bajo. Por su parte también se analizaron los periodos de 2017 y 2021, en los cuales la inflación presentó un aumento considerable, lo cual demuestra que es más notorio en esos periodos la diferencia de inflación entre niveles de ingreso. De esta manera, se concluye que la inflación para el nivel ingreso bajo fue mayor que las para los demás grupos de ingresos, esto debido a los patrones de consumo que presentó.

Abstract

The inflation presented year after year by the authorities only reflects the reality of a sector of the population, leaving us with a question: what happens to the rest of the population?

This research aims to measure inflation in high, medium and low, income households during two periods of time, in which prices presented considerable increases (2017 and 2022). In order to evaluate which households, present a greater decrease in their purchasing power. This is achieved through gathering data, such as the National Consumer Price Index and current spending by households. This data is processed and applied in 3 formulas, in order to obtain the inflation of each income level (low, medium and high). Thanks to the above, it was possible to observe that each income level presents different values, with the highest inflation rate for the low income level. As part of the investigation, the periods 2017 and 2022 are also analyzed, due to a considerable increase in the inflation, demonstrating that the difference in the inflation rate between income levels is more noticeable in those periods. Thus, it is concluded that inflation rate for the low income level is higher than the others in most cases, due to the consumption patterns they presents.

Introducción

La inflación, como indicador económico, enseña el aumento generalizado y continuo que presentan los precios de bienes y servicios de una economía durante un periodo de tiempo. La inflación se calcula “dividiendo el precio de la cesta de bienes y servicios (representativa del lugar) en un determinado año entre el precio de la misma cesta en el año base”. Dicha cesta se utiliza para obtener el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC); con esto en mente podemos decir que la inflación es la variación porcentual del INPC.

La importancia del cambio de precios de bienes y servicios radica en el gasto del ingreso que hacen las familias. Pese a que se usa una canasta general para medir esta variación en todo el país, en la realidad los hogares mexicanos cuentan con diferentes tasas de inflación, esto debido a las diferencias en sus costos de vida. Es así que la inflación que se reporta año con año sobrestima o subestima la inflación que viven los hogares. Como varios autores lo mencionan, estas diferencias de inflación sólo agravan aún más la desigualdad entre niveles de ingreso, pues agrandan la brecha entre las personas con bajos ingresos y personas con altos ingresos.

La inflación busca reflejar la realidad de la economía. En diversos documentos y estudios, se ha buscado mostrar las diferencias inflacionarias en la población, según la clase social. Por ejemplo, el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) (2022) realizó un estudio sobre las presiones inflacionarias en los diferentes hogares mexicanos, demostrando que los hogares de más bajos ingresos destinan la mayoría de sus ingresos a la compra de productos cuyos precios han aumentado más durante el año. Bonilla (1975) en su artículo *Inflación y Clase Sociales*, nos ejemplifica en situaciones hipotéticas, cómo es que los salarios y los precios cambian en diferente medida, de lo cual resulta que la mayoría de los casos, los salarios de los trabajadores no cubren por completo el cambio inflacionario de los productos; mientras, por el

contrario, las ganancias de los empresarios no se ven afectadas de igual manera por estos cambios.

Por su parte, Noyola (2009) nos presenta el caso mexicano para ilustrar cómo la inflación expresa la lucha de clases, además de ilustrar cómo actúa la política para contrarrestar las presiones inflacionarias; “lo grave de la inflación no es el aumento de precios en sí mismo, sino sus consecuencias en la distribución del ingreso y las distorsiones que trae aparejada entre la estructura productiva y la estructura de la demanda” (Noyola, 2009).

Pang-Tien, Chinkun y Jry-rong (2004), al igual que IMCO, en su documento; abordan empíricamente si es conveniente usar el índice nacional de precios al consumidor de Taiwán para mostrar los ajustes de la inflación en los diferentes hogares. Es así que logran llegar a la misma conclusión, que en los hogares con menores recursos, presentan mayores variaciones en la inflación.

El objetivo de este reporte fue demostrar cómo se comporta la inflación en México para tres clases sociales (-alta, media y baja-), durante dos episodios con precios crecientes (2017 y 2021), esto con el fin de ilustrar cuáles hogares tuvieron una mayor pérdida de poder adquisitivo.

El análisis de la inflación ayuda a comprender y formular las políticas necesarias a aplicar para contrarrestar las alzas imprevistas de precios. El estudio que se llevó a cabo no sólo expuso la realidad de las familias mexicanas, sino que brindó una visión amplia de cómo se comporta la inflación en el país, lo cual permite educar a más personas sobre este fenómeno.

Metodología

La presente investigación pretendió ser de carácter cuantitativo y descriptivo. En particular se midieron las tasas de inflación no disponibles en fuentes oficiales y se mostrará su evolución en el tiempo. Los datos provienen de INEGI.

Obtención de la inflación para las 3 clases socioeconómicas

a División de clases socioeconómicas

Para efectos de esta investigación, el nivel de ingreso de las familias fue dividido en 3, según lo plantea [Bajard, Chancel y Moshrif, 2021], nivel bajo, medio y alto. En su documento *World Inequality Report 2022*, se plantea que el 50% de las personas reciben los ingresos más bajos, 40% los ingresos medios y solo el 10% los ingresos más altos. Con esta información se tomaron esas medidas de referencia para clasificar a los hogares. Por otro lado, el INEGI, plantea 10 deciles de hogares (sectores socioeconómicos según ingreso per cápita familiar). Con el fin de realizar esta investigación la división fue: deciles I a V (ingreso bajo), deciles VI a IX (ingreso medio) y decil X (ingreso alto).

b Alfa como ponderador

De primera instancia, se recurrió a la Encuesta Nacional de Ingreso y Gasto de los Hogares (ENIGH) de dos periodos 2016 y 2020, para lograr analizar los dos procesos de alta inflación que se han vivido en el país (2017 y 2021), donde se tabula el gasto total y gasto corriente por ponderadores (8), de los deciles de hogares. α

Con esta información obtuvimos *alpha* (α), es decir, la participación del ponderador en el gasto del hogar.

$$\alpha_{i,k} = \frac{\sum \text{gastocorrientedelponderador}}{\sum \text{gastototalde laclasesocioeconómica}} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Esta operación se realizó tres veces, para cada nivel de ingreso k , en cada uno de los ocho ponderadores i (ver anexo).

c Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)

Posteriormente utilizamos el INPC de 2015 a 2022, en donde se mide la variación porcentual mensual de los bienes y servicios de la canasta representativa a nivel nacional. Con los datos proporcionados y las dos tablas (2016 y 2020) del indicador α para cada

ponderador, se multiplicó la variación porcentual mensual de cada ponderador por los valores de α para los tres niveles de ingreso de cada año. Así obtuvimos P

$$\text{Variación } P = \sum \alpha_{i,k} * \text{VARIACIÓN DE LOS PRECIOS} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Una vez obtenido el producto de la multiplicación, se suman los productos de los ocho ponderadores, según su nivel de ingreso y el año de α . En este caso de enero 2015 a diciembre 2018 se usó $\alpha 2016$ para el caso de enero 2019 a marzo 2022, se usó $\alpha 2020$. Es decir, para agosto 2017 en el nivel de ingreso bajo, sumaremos el producto (P de $\alpha 2016$ del nivel de ingreso bajo, deciles I-V) de alimentos bebidas y tabaco; prendas de vestir y calzado; vivienda, agua, electricidad, gas y otros combustibles; entre otros... Es así que se obtuvo una tabla con valores para cada mes, esto desde enero de 2015 a marzo de 2022, con cada nivel de ingreso.

d Tasa de inflación

Una vez obtenidos los datos, los usaremos para obtener la inflación π

$$\pi_t = \left(\frac{IPC_t}{IPC_{t-1}} \right) - 1 \quad [\text{Ec. 3}]$$

La operación se realizó para cada clase socioeconómica en el periodo determinado. Así tuvimos como resultado tres valores de inflación, uno por cada clase.

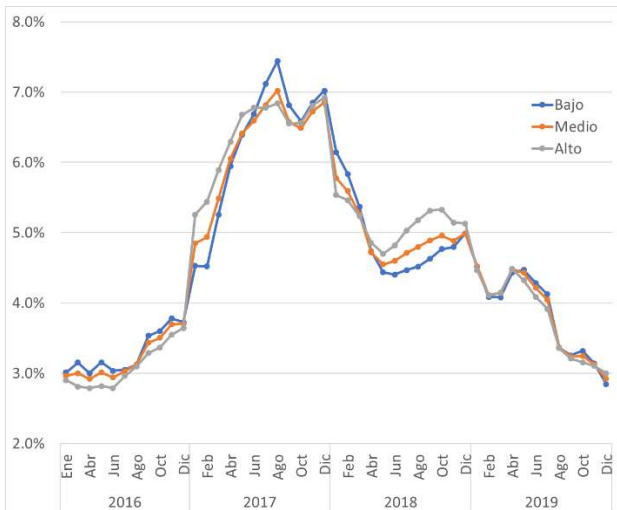
Resultados

Como bien se mencionó, la inflación es el aumento general del nivel de los precios, la cual responde a los desequilibrios en el sistema económico. No basta con saber cuánto aumenta, también debe conocerse cuál es el impacto que tiene en la población. Debido a que la inflación es un fenómeno que afecta a la población en general, diversos estudios se han realizado para observar de qué manera afecta a todas las partes de la población, esto debido al desajuste en el aumento de precios comparado con los salarios.

“Al ordenar a los hogares de México por decil de ingreso y analizar las diferentes proporciones de gasto que destinan a los diferentes rubros de consumo, es posible construir un índice de precios para la canasta representativa de cada decil, y por ende, distinguir el cambio en el costo de la canasta de consumo que cada familia enfrenta.” (IMCO, 2022). A continuación, se presentarán los Gráfico 1 y 2, donde se muestran las diferencias en la inflación de cada nivel desde enero de 2016 hasta la primera quincena de 2022.

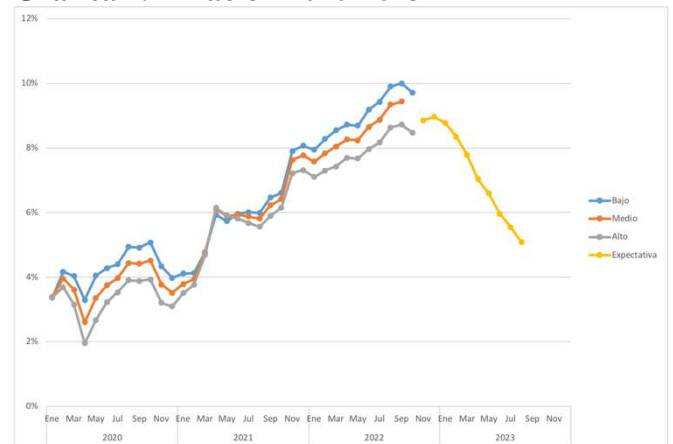
En los dos periodos relevantes de estudio (2017 y 2022), se presentó una fuerte subida de precios, donde se observa que la línea de color azul (nivel bajo, deciles I-IV), son quienes mayormente se ven afectados debido a que presentan una inflación mayor que los demás. De igual forma, se pudo observar que, en febrero 2022, la diferencia entre el nivel alto y bajo es de un punto porcentual.

Gráfico 1. Inflación 2016-2019



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Gráfico 2. Inflación 2020-2023



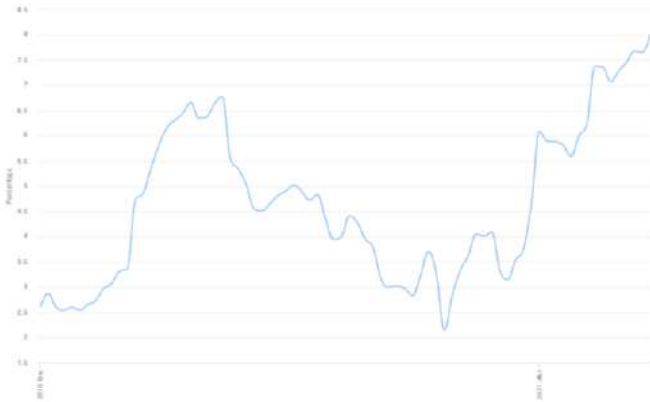
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI.

Para el año 2017, la economía mexicana vio reflejado un creciente aumento de los precios. (Gráfico 1) La inflación se ubicó alrededor de 6.5% a 7.5%, de lo cual el nivel de ingreso bajo resultó con la inflación más alta en agosto (7.5%) ubicándose por arriba de los demás niveles de ingreso. Para el año 2018, la tasa de inflación se desaceleró, y se logra ver que, a finales de ese año, el nivel de ingreso alto logra tener una inflación mayor que el ingreso medio y bajo.

Al igual que el año 2017, la inflación a partir de octubre 2021 hasta la mitad de 2022 ha presentado una subida abrupta y continua de los precios, los cuáles pasaron de 6% a arriba del 8%. Con estos datos, es necesario plantear y preguntar, si para la segunda mitad del 2022 y 2023 la tasa de inflación disminuirá al igual que lo hizo en 2018.

A continuación, se presenta la Gráfica tres con la inflación en México del periodo 2016 a 2022

Gráfica 3. Inflación General 2016-2022



Fuente: Tomado de Banco de México.

Para enero de 2022 la inflación se reportó en 7.070%. Para el nivel de ingreso bajo la inflación fue de 7.9%, mientras que para el nivel alto se reportó en 7.1%. El mismo caso ocurrió en agosto de 2017, con una inflación reportada de 6.6%. En el nivel bajo la inflación alcanzó 7.4% y en el alto 6.8%. La Gráfica 2 nos muestra que para el año 2023 la tasa de inflación tendrá un descenso.

Por su parte, el Banco de México en su reporte *Encuesta sobre las Expectativas de los Especialistas en Economía del Sector Privado: Octubre de 2022*, (Gráfico 3) [8], muestra este descenso en la tasa de inflación. Esto nos muestra que según los cálculos y las expectativas, la tasa de inflación mexicana se reducirá a lo largo del año 2023. Podemos observar como la expectativa de inflación sigue la línea de tendencia de la inflación para la clase media, lo cual parte el pronóstico con una inflación del 9% en noviembre del 2022.

Tabla 1. Expectativas de inflación BM.

	Por ciento							
	Inflación General				Inflación Subyacente			
	Media		Mediana		Media		Mediana	
	Encuesta		Encuesta		Encuesta		Encuesta	
	septiembre	octubre	septiembre	octubre	septiembre	octubre	septiembre	octubre
2022								
sep	0.65		0.65		0.69		0.70	
oct	0.70	0.65	0.71	0.64	0.51	0.59	0.51	0.62
nov	0.82	0.91	0.80	0.91	0.40	0.45	0.39	0.46
dic	0.60	0.63	0.55	0.62	0.59	0.62	0.57	0.60
2023								
ene	0.55	0.57	0.54	0.56	0.47	0.49	0.46	0.50
feb	0.45	0.46	0.45	0.46	0.52	0.54	0.52	0.53
mar	0.49	0.51	0.46	0.49	0.45	0.47	0.45	0.47
abr	0.01	0.02	-0.02	-0.02	0.40	0.42	0.40	0.42
may	-0.08	-0.05	-0.11	-0.05	0.35	0.36	0.34	0.35
jun	0.35	0.38	0.33	0.36	0.38	0.39	0.38	0.40
jul	0.43	0.45	0.41	0.45	0.36	0.37	0.35	0.36
ago	0.36	0.37	0.35	0.36	0.34	0.35	0.33	0.34
sep	0.44	0.45	0.44	0.43	0.39	0.40	0.39	0.40
oct		0.56		0.59		0.33		0.32

Fuente: Tomado de Banco de México (2022), p. 2.

Aunque se sabe que la inflación reportada es un promedio, éste refleja más la situación del nivel medio y alto. Una vez mostrado que la inflación es distinta para los hogares, surge una duda ¿qué genera esta diferencia?

Diversos estudios han comprobado que esta diferencia se debe a la proporción del gasto que hace cada hogar en diversos rubros. El nivel bajo destina mayor gasto de sus ingresos a alimentos y bebidas, productos que tienden a reflejar un mayor aumento en sus precios. Mientras que, por otro lado, el nivel alto destina mayor parte de sus ingresos a bienes y servicios de esparcimiento, educación, comunicación, entre otros..., los cuales no tienden a aumentar en precio en la misma proporción que los alimentos y bebidas.

“La canasta de consumo de hogares con bajo nivel de ingresos (decil 1) se concentra más en bienes de consumo básico como alimentos y bebidas, que enfrentan incrementos pronunciados en precios. Los hogares con mayores ingresos (decil 10) dedican más recursos al pago de servicios de educación, cuidado de vehículos y comunicaciones, donde los precios han aumentado en menor medida (o incluso caído), por lo que el impacto de la inflación

sobre su gasto ha sido menor” (IMCO, 2022).

De igual manera, Pang-Tien, Chinkun y Jry-rong (2004) dicen “Specifically, the poorest household group spent relatively more on Food and Beverages than other household groups over the period 1991-1996, and the prices of the commodities in this category happened to experience relatively faster than average price increases in the same period.” Como se mencionó, el ponderador de alimentos y bebidas, es uno de los que presenta mayor subida de precios y que tiene gran impacto a la población de bajo ingreso. Para el año 2022 el gobierno mexicano [2] en su Paquete Contra la Inflación y la Carestía (PACIC), presentó su respuesta a la creciente inflación en dicho año, con estrategias para contrarrestar sus efectos; entre las más importantes se encontraron apoyo para el sector alimentario y el subsidio a la gasolina, que como ya se dijo son rubros que tienen un peso importante en la economía de las familias mexicanas.

Discusión y conclusiones

Con todo lo planteado se evidencia que el dicho “en tiempos de crisis, los pobres se vuelven más pobres” es una realidad. Los hogares de más bajos recursos son los que se ven más afectados por las presiones inflacionarias, lo cual se traslada a una disminución de su economía, lo cual agrava más la brecha de desigualdad entre clases. Y pese a que este documento sólo se enfoca en temas de inflación, es importante tener en mente que esta diferencia entre clases, no sólo evidencia el problema en los ingresos y precios, sino que también demuestra la realidad que viven día a día las familias mexicanas. Finalmente, el estudio nos dejó con más preguntas como: ¿de qué manera se ven afectados otros sectores dentro de la familia, como lo es la educación? ¿Cómo se logra disminuir esta desigualdad?

Aquí las políticas públicas juegan un peso importante, para esto, IMCO propone tres acciones a tomar para disminuir la desigualdad y salvaguardar el poder adquisitivo de la población:

a) fortalecer la competencia económica, b) aprovechar los beneficios del comercio exterior, c) facilitar la producción nacional de bienes con alta inflación. Aunque se proponen acciones claras que tienen más peso político, es importante reflexionar que cada uno individualmente puede aportar, solo es necesario preguntarse ¿cómo se puede contrarrestar esto de manera individual o familiar? ¿Qué acciones se pueden tomar como individuos?

Agradecimientos

A mi tutor el Dr. Enrique Leonardo Kato Vidal, por la oportunidad de formar parte de esta investigación que me abrió los ojos a la realidad económica que se vive en el país. Gracias por compartir el conocimiento, los consejos y las técnicas para lograr realizar un trabajo de esta talla. Muchas gracias por formar parte de mi educación y lo que fue una experiencia que sin duda será de valor en mi carrera profesional; gracias por plantar la semilla de la investigación en mí.

Referencias

- 1 F. Bajard, L. Chancel y R. Moshrif, 2021. World Inequality Report 2022 Technical Notes for Figures and Tables. Recuperado de: <https://wir2022.wid.world/www-site/uploads/2021/12/WIR2022-Technical-Note-Figures-Tables-1.pdf>. [Último acceso: 2022].
 - 2 SHCP, 2023. PAQUETE CONTRA LA INFLACIÓN Y LA CARESTÍA (PACIC). Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723331/PM_SHCP_Pacic__04may22.pdf.
 - 3 IMCO, 2022. LA INFLACIÓN AFECTA MÁS A LAS FAMILIAS QUE MENOS TIENEN. Recuperado de: <https://imco.org.mx/la-inflacion-afecta-mas-a-las-familias-que-menos-tienen/>. [Último acceso: 2022].
 - 4 A. Bonilla, 1975. INFLACION Y CLASES SOCIALES. Recuperado de: <file:///Users/apple/mac/Downloads/41727-Texto%20del%20art%C3%ADculo-106229-1-10-20130906.pdf>. [Último acceso: 2022].
 - 5 J. Noyola Vázquez, S.f. El desarrollo económico y la inflación en México y otros países latinoamericanos. Recuperado de: http://olafinanciera.unam.mx/new_web/03/pdfs/Clasicos-Noyola-Ola-3.pdf. [Último acceso: 2022].
 - 6 L. Pang-Tien, C. Chinkun y C. Jry-rong, 2004. Inflation Rate Variations across Household: Empirical Evidence from Taiwan. Recuperado de: <https://ijb.cyut.edu.tw/var/file/10/1010/img/850/V91-6.pdf>. [Último acceso: 2022].
 - 7 INEGI, 2022. Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/>. [Último acceso: 2022].
- Banco de México, 2022. Encuesta sobre las Expectativas de los Especialistas en Economía del Sector Privado. Recuperado de: <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/encuestas-sobre-las-expectativas-de-los-especialis/{9374FC59-049E-56C5-A619-BBF0A627677F}.pdf>

Anexo. Rubros de gasto

- 1 Alimentos, bebidas y tabaco
- 2 Prendas de vestir y calzados
- 3 Vivienda, agua, electricidad, gas y otros combustibles
- 4 Muebles, artículos para el hogar y para su conservación
- 5 Salud y cuidado personal
- 6 Transporte
- 7 Educación y esparcimiento
- 8 Bienes y servicios diversos

