



PERSPECTIVAS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA



ISSN: 2683-3107



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

VOLUMEN 6, NÚMERO 11

JULIO - DICIEMBRE 2023

DIRECTORIO

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca

RECTORA

Dr. Javier Ávila Morales

SECRETARIO ACADÉMICO

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO

Lic. Diana Rodríguez Sánchez

DIRECTORA DEL FONDO EDITORIAL UNIVERSITARIO

Dr. Manuel Toledano Ayala

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa

**JEFE DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

MDI. Jorge Javier Cruz Florín

**COORDINADOR DEL DESPACHO DE
PUBLICACIONES FACULTAD DE INGENIERÍA**

Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología, vol. 6, núm. 11, julio-diciembre 2023, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas, s/n, Col. Las Campanas, Querétaro, Qro., C. P. 76010, Tel. (442)1921200 ext. 6023, <http://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas>, perspectivasci@uaq.mx. Editor responsable: Juan Carlos Jáuregui Correa, Stephanie Virginia Camacho Gutiérrez, Christopher Alexis Cedillo Jiménez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2021-81011485000-102, ISSN: 2683-3107, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número: Christopher Alexis Cedillo Jiménez, Cerro de las Campanas s/n, Col. Las Campanas, Querétaro, Qro., C. P. 76010, fecha de última modificación: 31 de julio de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. QUEDA ESTRICTAMENTE PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DEL CONTENIDO E IMÁGENES DE LA PUBLICACIÓN SIN PLENA AUTORIZACIÓN DE LA UNIVERSIDAD.

latindex



PERSPECTIVAS DE LA
CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Manuel Toledano Ayala

Universidad Autónoma de Querétaro, México

DIRECTOR

Dr. Juan Carlos Jáuregui Correa

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Dr. Christopher Alexis Cedillo Jiménez

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Dra. Stephanie Virginia Camacho Gutiérrez

Investigadora independiente

M. en C. Marco Antonio Cabrera Rufino

Universidad Autónoma de Querétaro, México

EDITORES RESPONSABLES

COMITÉ ASESOR CIENTÍFICO

Dra. Marcela Vargas Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro,
Facultad de Ingeniería Campus Amealco

marcela.vargas@uaq.mx

ÁREA: BIOSISTEMAS Y BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Dra. Mónica Ledesma Motolinía

Instituto de Física "Ing. Luis Rivera Terrazas" de
la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
ledesma@ifuap.buap.mx

ÁREA: FÍSICA E INGENIERÍA DE MATERIALES

Dra. Angélica Godínez-Oviedo

Universidad Autónoma de Querétaro,
Facultad de Química

angelica.godinez@uaq.edu.mx

ÁREA: MICROBIOLOGÍA E INOCUIDAD ALIMENTARIA

Dr. Saúl Tovar Arriaga

Universidad Autónoma de Querétaro,
Facultad de Ingeniería

saul.tovar@uaq.mx

ÁREA: INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Dra. Stephanie Virginia Camacho Gutiérrez

Investigadora independiente

steph.vcg@gmail.com

ÁREA: MECATRÓNICA

EQUIPO EDITORIAL

Lic. Cristian Emanuel Tovar Navarro

Universidad Autónoma de Querétaro, México

DISEÑO EDITORIAL

Diana Carolina Cruz Becerril

Universidad Autónoma de Querétaro, México

DISEÑO DE PORTADA

Sarahí Velasco Hernández

Universidad Autónoma de Querétaro, México

DISEÑO GRÁFICO

Ing. Soid Ruiz Ramírez

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Andrea Cristina Garza Sandoval

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Ana Isabel García Cázares

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Martha Germana Gutiérrez Pacheco

Universidad Autónoma de Querétaro, México

Jimena Obregón Abarca

Universidad Autónoma de Querétaro, México

CORRECCIÓN DE ESTILO

FI

CONTENIDO

PÁG

01

Una aproximación a la integración de la visibilidad dentro del proceso editorial del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, UAQ, como rearticulación innovadora

Daniela Pérez López, Jorge Javier Cruz Florín

08

02

Requerimientos para vehículos de superficie no tripulados enfocados al monitoreo de la calidad del agua

Jovheiry Christopher García Guerrero

16

03

Análisis estadístico de casos positivos en niños y adolescentes en México: COVID-19

Citlali Lizeth Martínez López, Luisa Ramírez Granados

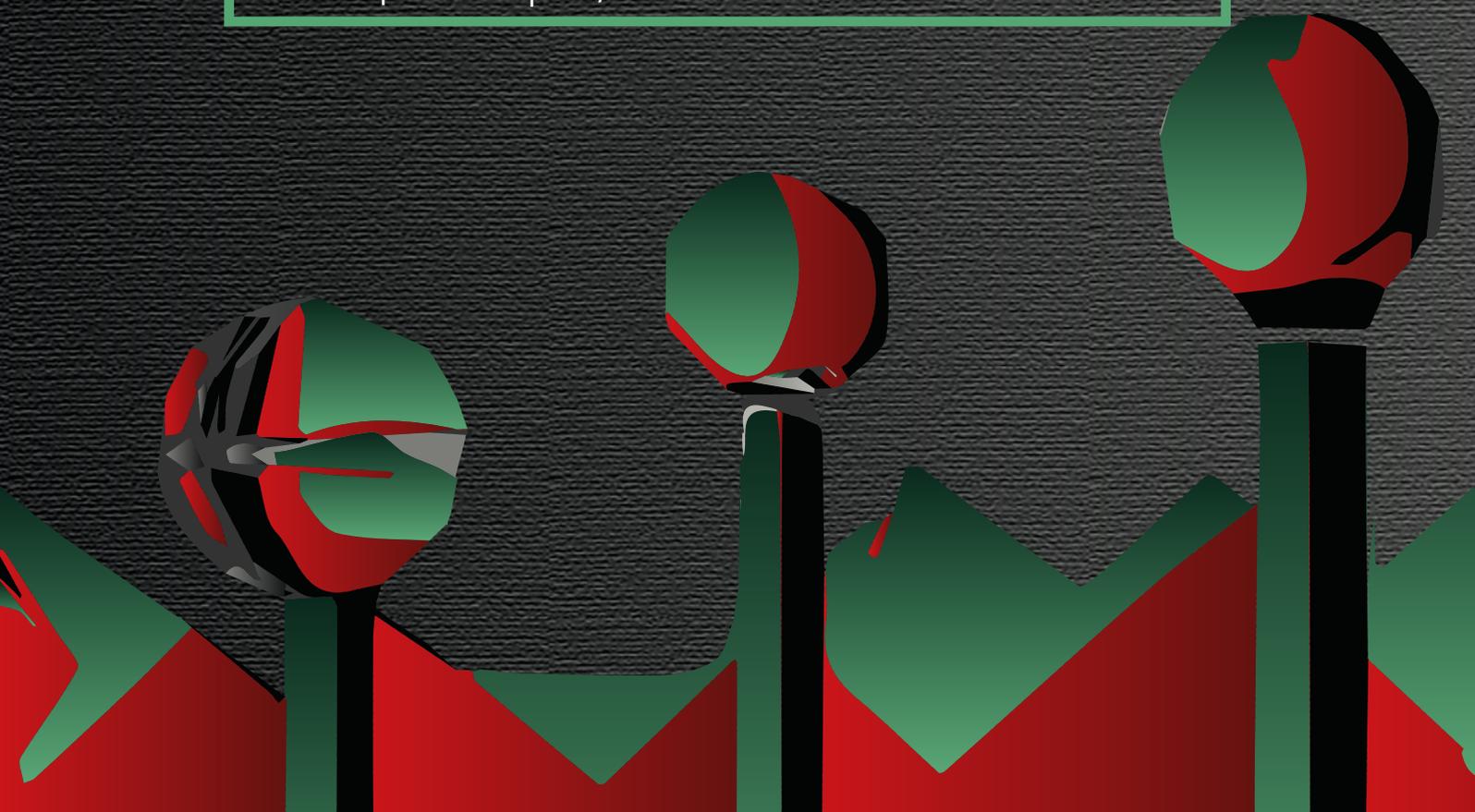
30

04

Diferencias en las representaciones sociales sobre el Cambio Climático en un grupo mixto de estudiantes

Luis Enrique Díaz Zepeda, María Pamela Bermúdez González

40



05

Diferencias de atenuación sísmica en un análisis por trayectorias: Zona de subducción hacia Querétaro

48

Paola Liliana Sánchez López, Alejandro Clemente Alvarado Chávez, Ángel Gregorio Figueroa Soto, Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández

06

Software de pruebas para detección de niveles de atención

58

María del Carmen Cabrera Hernández, Abel Santillán Rodríguez, Marco Antonio Aceves Fernández, Carlos Jesus Pedraza Ortega, Manuel Toledano Ayala

07

Efecto del solvente y el pH sobre la estabilidad y reactividad química de la molécula de delfinidina

70

Ana Paola Robles Sánchez, Oscar Eduardo Ortiz Contreras, Ángeles Cuan Hernández

08

Identificación de vehículos con sobrecarga en un puente atirantado instrumentado

80

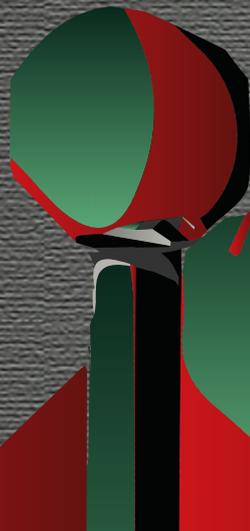
Violeta Rodríguez Millán, Luis Álvaro Martínez Trujano, Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández, Jaime Moisés Horta Rangel, Francisco Pérez Moreno, Francisco Javier Carrión Viramontes, Juan Antonio Quintana Rodríguez,

09

Modelo físico a escala de un pozo de filtración

90

Rubén Gasca Granados, Enrique González Sosa



UNA APROXIMACIÓN A LA INTEGRACIÓN DE LA VISIBILIDAD DENTRO DEL PROCESO EDITORIAL DEL DESPACHO DE PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UAQ, COMO REARTICULACIÓN INNOVADORA

AN APPROACH TO INTEGRATING VISIBILITY IN THE CURRENT EDITORIAL
PROCESSES OF THE PUBLICATIONS OFFICE OF THE FACULTY OF
ENGINEERING, UAQ, AS AN INNOVATIVE REARTICULATION

Daniela Pérez López^{1*}
Jorge Javier Cruz Florín²

*^{1,2}Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro*

**daniela.perez@uaq.mx*



RESUMEN

Este texto tiene como objetivo el estudio de procesos editoriales teóricos y prácticos. Al respecto, se analiza un corpus constituido por 3 materiales textuales: el capítulo titulado "Las actividades en los procesos editoriales de las revistas científicas", que aborda y examina diversos procesos editoriales expuestos teóricamente; el flujo de trabajo del *Open Journal System*, que es un software de acceso abierto y contribuye a la edición digital; y el del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), que se ha implementado para analizar los pasos y actividades que las componen, así como los fines comunicativos de cada uno de ellos. Con este trabajo se preten-

Este artículo propone integrar la visibilidad en los procesos editoriales para asegurar la comunicación efectiva de la información almacenada en revistas, repositorios y sitios web.

de construir una propuesta de la integración de la visibilidad en los procesos editoriales, cuyo fin sea asegurar la comunicación de la información almacenada en revistas, repositorios o sitios donde se resguardan, mediante los conceptos que actualmente se conocen sobre la visibilidad.

Palabras clave: fines comunicativos, procesos editoriales, revistas científicas, visibilidad.

ABSTRACT

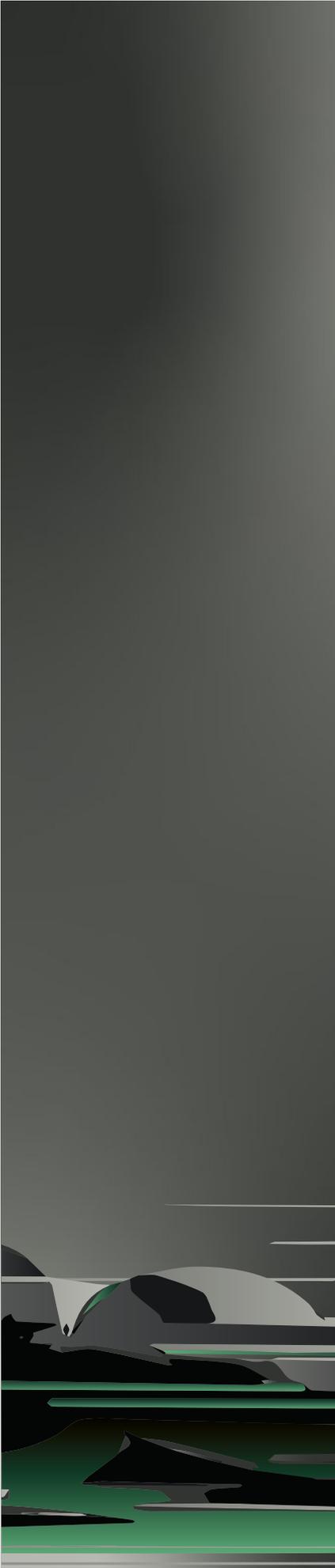
This text focuses on the study of editorial processes. Therefore, a corpus constituted by the chapter entitled "Las actividades en los procesos editoriales de las revistas científicas" that examines theoretically various editorial processes, the workflow of the *Open Journal System*, which is open access

software and contributes to the digital edition and the Publications Office of the Faculty of Engineering of the Autonomous University of Querétaro (UAQ) that has been implemented, to analyze the steps and activities that compose them, as well as the communicative purposes of each one from them. With this work, it is build a proposal for integration of visibility in the editorial processes, whose purpose is to ensure that the information that is stored in the journals, in the repositories or sites where they are protected, is communicated through the concepts that currently exist are known about visibility.

Keywords: communicative purposes, editorial processes, scientific journals, visibility.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de las últimas décadas, diversas investigaciones se han centrado en que las publicaciones periódicas de ciencia no sólo necesitan preservar la calidad respecto a los procesos de revisión por pares, corrección de estilo y diseño editorial, sino también el determinante rasgo comunicativo. Se denuncia que las editoriales se concentran en seguir métodos que aseguran la producción masiva de la ciencia y el aumento de ganancias económicas, pero descuidan las prácticas referentes a la comunicación del conocimiento. En cuanto a ello, [1] afirma que: "en la economía de la ciencia, la moneda de la atención comparte numerosas similitudes con el dinero, incluyendo la naturaleza autoreproductiva y la capacidad de generar intereses", de lo que se puede rescatar la existencia de agendas más allá de los fines de comunicar el contenido.



En los últimos años se ha configurado la noción de “revistas depredadoras”, las cuales se definen como aquellas que amenazan la integridad científica a través de los fines que persiguen en sus prácticas [2]. Ante esto, se advierte la posibilidad de clasificar algunas revistas bajo dicho concepto al seguir propósitos y procesos editoriales que atentan contra la integridad de la comunidad científica en pos de objetivos individualistas.

Actualmente, la discusión sobre la comunicación de la ciencia a través de las publicaciones periódicas se concibe “[...] como base de la innovación y [...] se hace necesario que las mismas instituciones evalúen periódicamente la rigurosidad y el beneficio social del conocimiento científico divulgado y difundido a través de dichas revistas” [3]. Es así que revisar los procesos editoriales de las instituciones se distingue como un aspecto innovador y social. En ese sentido, Mayre Barceló [4] lo aborda como una problemática: “Es notable que en las universidades gran parte de la información científica que estas producen no está accesible a la comunidad académica de la propia institución, ni tampoco a la comunidad científica internacional”. De allí surge la necesidad de revisar los procesos editoriales y los flujos de trabajo de las instituciones encargadas de editar el conocimiento científico para distinguir si es comunicado, divulgado o difundido en algún punto después de su publicación. Este trabajo tiene como objetivo revisar las prácticas editoriales y sus fines para proponer la integración del área de visibilidad en los procesos editoriales de las instituciones y así asegurar el elemento comunicativo dentro de este ámbito.

MÉTODOS

Para revisar las prácticas editoriales, sus integrantes y sus fines, se seleccionó y se analizó semánticamente el capítulo titulado “Las actividades en los procesos editoriales de las revistas científicas. Revistas científicas” de Cuauhtémoc Jiménez Pérez, que comprende un estudio cuantitativo sobre una variedad de materiales bibliográficos. Asimismo, se examinó el flujo de trabajo que ofrece la plataforma del *Open Journal System*, una de las herramientas más utilizadas para revistas digitales universitarias; y el del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Cabe mencionar que dicho organismo sostiene un creciente interés en la visibilidad y la innovación estratégica frente a las demás publicaciones periódicas de la misma universidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SOBRE MANUALES, TESIS, LIBROS, ARTÍCULOS DE PROCESOS EDITORIALES

Para adentrarnos a los procesos editoriales, se revisó el capítulo titulado “Las actividades en los procesos editoriales de las revistas científicas. Revistas científicas” de Cuauhtémoc Jiménez Pérez donde se llevó a cabo “la selección de textos que señalan una o más actividades del quehacer editorial en las revistas científicas y, en algunos casos, de la edición en general; así, se revisaron un total de 22 escritos: diez artículos, seis libros, dos capítulos de libro, dos tesis y dos páginas web, publicados entre 1998 y 2015” [5]. En esta revisión, el autor llegó a la conclusión de que 25 actividades conforman el quehacer editorial, y así, al establecimiento de 12 etiquetas

que, como menciona Cuauhtémoc Jiménez Pérez, son “verbos, en este caso, que señalaban tareas específicamente editoriales en revistas científicas” [5]: *coordinar, supervisar, analizar, gestionar, editar, programar, maquetar, revisar, corregir, promover, administrar y traducir*.

Los más cercanos a la comunicación dentro de ese análisis de procesos editoriales serían “promover” y “gestionar”, que hacen referencia, según el autor, a las actividades de “Participar en la gestión editorial por medio de alguna plataforma electrónica (principalmente *Open Journal System*)” y “Promover la revista en los ámbitos académicos pertinentes”, respectivamente [5].

Se habla de promover la revista; sin embargo, al retomar su raíz etimológica, que viene del latín *promovere* y significa: “iniciar algo procurando su logro”. Se puede corroborar que en ese sentido el interés yace más en el desarrollo o la realización de la publicación, que en la comunicación de su contenido. Cabe mencionar que esos manuales, libros, tesis y páginas web analizados usarán palabras como comunicar, difundir o divulgar la revista, si el interés va dirigido a la transmisión del conocimiento; no obstante, con los resultados estadísticos de dicho estudio, se termina hablando de promover pero se dirige la atención al “desarrollo” de la revista.

En referencia a la cuestión de gestión, el autor explica que se vincula con el establecimiento de alguna plataforma electrónica para la publicación de volúmenes, por lo que se menciona al Open Journal System (OJS) que, como su nombre lo indica, es un software de acceso abierto para la administración de

revistas. En el siguiente apartado se distinguirá su propósito.

Al revisar este capítulo, se podría asegurar que ninguna de las 12 etiquetas discute propiamente de comunicar, difundir o divulgar; así pues, se puede afirmar que los flujos editoriales revisados en esa examinación excluyen tales nociones.

EL OPEN JOURNAL SYSTEM (OJS) FRENTE A LA NECESIDAD DE COMUNICAR

Al examinar la página principal del OJS, se describe como “[...] es una aplicación de software de código abierto para la gestión y publicación de revistas académicas. Originalmente desarrollada y lanzada por PKP en 2001 para mejorar el acceso a la investigación, es la plataforma de publicación de revistas de código abierto más utilizada que existe, con más de 25 000 revistas que la utilizan en todo el mundo” [6]. De ello se puede rescatar que sirve para “administrar” y “publicar” revistas académicas; es decir, su funcionalidad se centra en esas dos actividades, lo que también se puede comprobar al utilizarla.

Al entrar en la plataforma del OJS en el rol de editores, destaca la posibilidad de gestionar el flujo de trabajo editorial, el cual está conformado por 4 etapas: envío, revisión, editorial y producción. En la primera se ejecuta el proceso de recepción de artículos; en la segunda, la asignación a dictaminadores o revisores; en la tercera, la recepción de correcciones; y en la cuarta, la corrección de estilo y maquetación de artículos. La plataforma brinda una comunicación más rápida y transparente del proceso editorial de los artículos al permitir el envío de correos o notificaciones a autores, dictami-

nadores, correctores, traductores y demás miembros responsables de la edición. No obstante, como se explica en la descripción de su sitio web y como se distingue de manera práctica, el OJS funge como un medio de almacenamiento; de hecho, se pondría en duda su efectividad comunicativa, ya que resulta indispensable conocer el nombre de la revista o del artículo para buscarlo a través de Google o algún otro buscador, y que éste redirija a la plataforma del OJS. Si el lector desconoce el nombre o la existencia de la revista, le resultará difícil, si no imposible, llegar a la pestaña dentro del OJS.

Hasta este punto, se puede precisar que ni los procesos editoriales de los artículos, libros, capítulos de libro, tesis y páginas web analizados estadísticamente por Cuauhtémoc Jiménez Pérez ni la plataforma del OJS garantizan la comunicación de las publicaciones periódicas, pues esta no supone un principio, objetivo o función principal.

EL DESPACHO DE PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, UAQ, Y LA VISIBILIDAD

Ahora bien, cabría detenerse en un flujo o proceso editorial basado en el OJS o en alguna de las referencias de Cuauhtémoc Jiménez Pérez para confirmar la aseveración anterior con una base práctica. Para ello, se seleccionó al Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (DPFI). A inicios de 2021, DPFI establece su proceso editorial mediante los fundamentos del OJS para publicar óptimamente tres revistas científicas por medio de la información recabada en reuniones semanales con el director de la Facultad de Ingeniería,



los editores de *PädiUAQ*, *SketchIn* y *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, el jefe de Investigación y Posgrado, el equipo editorial y la coordinación de publicaciones periódicas de la **UAQ**. A continuación, en la Figura 1 se muestra su flujo de trabajo de inicios del 2021.

En este flujo de trabajo se puede visualizar que las actividades del proceso editorial se dividen entre 5 responsables: dictaminadores, editores responsables, comité editorial, diseño editorial y coordinación de publicaciones periódicas de la **UAQ**;

las actividades de los primeros cuatro van secuenciadas, mientras las del último responsable se llevan a cabo de manera paralela. Debido a lo anterior, se puede hablar de una estructura interrelacionada paralelamente en la que se menciona la labor del comité

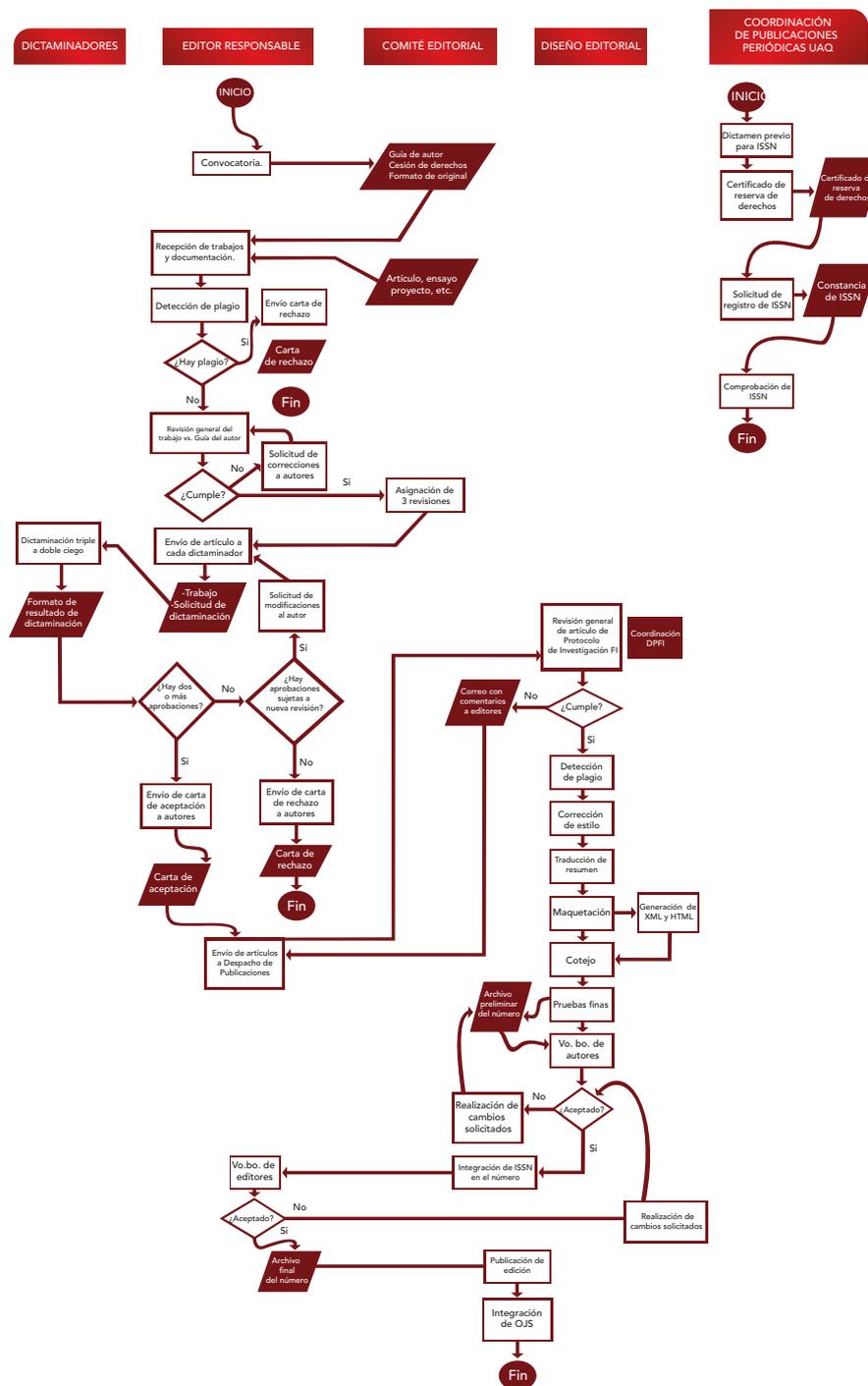


Figura 1. Flujo de trabajo editorial 2021 del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Fuente: Elaborado por equipo del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, **UAQ**.

editorial y de una entidad interna a la universidad, pero externa a la Facultad de Ingeniería.

De forma determinante, sobre las actividades del proceso editorial se encuentran:

1. Elaboración de convocatoria abierta y formatos
2. Recepción de trabajos y documentación
3. Detección de plagio
4. Revisión general del trabajo vs. Guía del autor
5. Solicitud de correcciones
6. Asignación de revisores
7. Envío de artículos a revisores
8. Dictamen
9. Emisión de carta de aceptación o rechazo de escritorio
10. Envío de artículos a diseño editorial
11. Revisión general de material a publicar con base en protocolo FI
12. Detección de plagio por Turnitin
13. Corrección de estilo
14. Traducción de resúmenes y palabras clave
15. Maquetación en InDesign
16. Cotejo de maqueta con archivo de Word
17. Pruebas finas
18. Vo.bo de autores
19. Integrar ISSN al número
20. Visto bueno de editores
21. Publicación de edición en OJS.

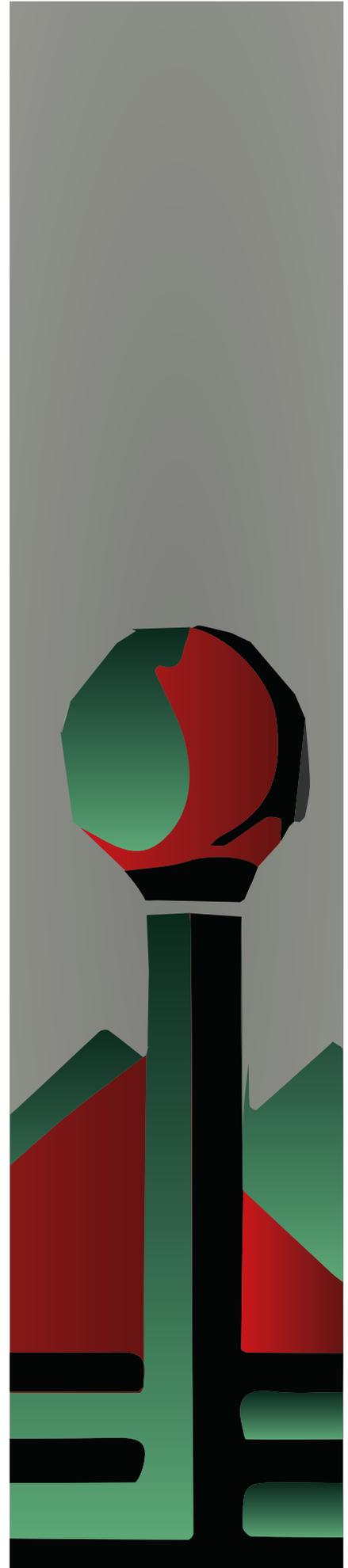
A la secuencia anterior se agregarían las actividades de la coordinación de las publicaciones periódicas que se realizan a la par:

1. Dictamen previo para ISSN
2. Certificado de reserva de derechos
3. Solicitar registro de ISSN
4. Comprobar ISSN

A partir de la lista de actividades se puede determinar que no se alude propiamente a comunicar, es decir, “[...] cuando en la participación del conocimiento científico se busca el diálogo, esto es el intercambio de saberes y experiencias” [7]. De la misma manera, tampoco se remite a lo vinculado con otros términos de la comunicación: divulgar o difundir. Por un lado, se puede entender como divulgación: “A la divulgación científica es posible atribuirle la tarea de presentación y distribución de la información a la sociedad en general, asegurando que la ciencia tenga una presencia en la cultura de las personas” [8]. A lo que Sánchez Mora (2010) agregaría: “Es una labor multidisciplinaria cuyo objetivo es comunicar, utilizando una diversidad de medios, el conocimiento científico a distintos públicos voluntarios, recreando ese conocimiento con fidelidad y contextualizándolo para hacerlo accesible” [9]. Por otro lado, la difusión se concibe de la siguiente manera:

La difusión científica, por su parte, permite que los resultados de investigaciones logren ser conocidos, discutidos y eventualmente aceptados como hechos científicos, y sean integrados en trabajos de otros investigadores que se apropian parcial o totalmente de estos, ejerciendo una crítica razonada y fundamentada [9].

Con estas dos definiciones, se puede aseverar que el proceso editorial del DPFI no concuerda con ninguna de ellas. Lo anterior se puede confirmar al ubicar gráficamente a los actores involucrados, debido a que no se vinculan en ningún momento con los lectores; no se distribuye a los usuarios





potenciales la información que se escribe, edita y publica, por lo que no se asegura la discusión del conocimiento ni su aceptación o refutación. A continuación, en la Figura 2 se muestra el mapa de los stakeholders del Despacho de Publicaciones.

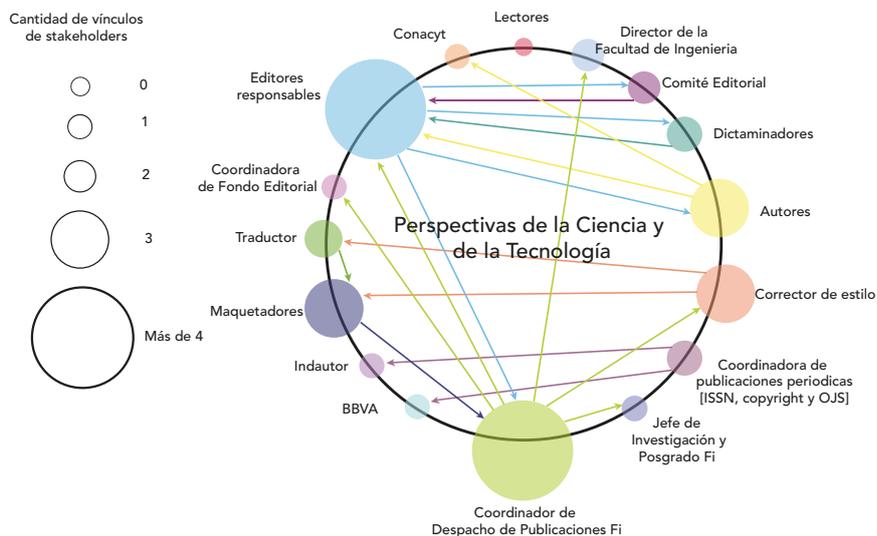


Figura 2. Mapa de stakeholders a partir del flujo editorial del DPFI, con la cantidad de vínculos entre los actores.

Este esquema permite distinguir que tampoco se cumple con la concepción de visibilidad, con base en lo que define [10]: "hacer visible el trabajo editorial, significa ponerlo a la vista del usuario potencial a fin de facilitar su consulta" (p. 163), ya que no se enlazan los artículos con los lectores po-

tenciales. Lo anterior nos remitiría a cuestionar si se cumple entonces con el propósito comunicativo de las revistas y del mismo proceso editorial.

Sobre este caso específico del Despacho de Publicaciones, los actores reflexionaron sobre tal

cuestión, por lo que actualmente se ha implementado, después de la publicación en OJS, una nueva actividad: 22. Creación de estrategias de visibilidad para las publicaciones periódicas, la cual pretende procurar el aspecto comunicador fundamental (véase Figura 3).



Figura 3. Implementación de actividad 22. Creación de estrategias de visibilidad para las publicaciones periódicas en el Flujo editorial del Despacho de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería de la UAQ.

CONCLUSIONES

En este trabajo se detecta que los procesos editoriales son una de las razones de inefectiva comunicación, divulgación, difusión o visibilidad de los artículos publicados; en otras palabras, de que el conocimiento se aísla de los lectores o usuarios potenciales, según la noción de Ochoa antes mencionada.

Ante ello y bajo una sociedad cambiante, los investigadores/lectores y los investigadores/autores se enfrentan a la necesidad de leer y ser leídos, respectivamente. Es así que las editoriales y sus procedimientos no sólo deben asegurar la publicación de calidad de sus artículos, sino también la comunicación del contenido, ya sea desde un enfoque de difusión, divulgación o visibilidad, tomando en cuenta sus recursos económicos.

Finalmente, con este análisis se propone la rearticulación innovadora de los procesos editoriales actuales por medio de la integración de un área de visibilidad que constantemente genere estrategias basadas en metodologías enfocadas en los lectores potenciales. Como diría [10]: "Sin visibilidad no hay uso del conocimiento, que es en definitiva la razón de ser de su producción" (p. 163). Si las revistas científicas carecen de visibilidad, transgredirían el propósito para el que fueron creadas. De la misma manera, [11] confirma que: "Trasladando esta cualidad [la visibilidad] a la edición universitaria, que durante mucho tiempo atiborró depósitos públicos de ediciones sin lectores, o de ediciones con lectores que desconocían su existencia, de lo que se trata es de hacer visible, es decir develar, hacer pública, la producción editorial: mostrarla, ponerla a

disposición de un lector existente o, si no existe, trabajar para construirlo". De la cita anterior se hace hincapié en que "si no existe, [hay que] trabajar para construirlo", ya que se puede seguir innovando en los procesos editoriales. Es importante reflexionar sobre esta integración a modo de construcción que se propone con el fin de hacer visible a la mayor cantidad de revistas científicas posibles.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo con recursos tecnológicos durante toda esta investigación.

REFERENCIAS

[1] Madsen, R., "Scientific impact and the quest for visibility". *The Febs Journal*, 286(20), 2019.

[2] Abad-García, M. F., "Plagism and predatory journals: A threat to scientific integrity". *Anales de Pediatría*, 90(1), 2019.

[3] Sanz, J. J., "La difusión del conocimiento como un elemento clave de la innovación y la competitividad en el entorno universitario bajo el sistema Open Journal System (OJS)". *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies (JISEBC)*, 4(1), 63-71, 2014.

[4] Barceló Hidalgo, M., & Acosta Núñez, N. M, La visibilidad de la ciencia, un reto necesario para la Universidad de Cienfuegos. *Universidad y Sociedad*, 11(3), 166-171, 2019.

[5] Jiménez, C., "Las actividades en los procesos editoriales de las revistas científicas". *Revistas*

científicas mexicanas. Retos de calidad y visibilidad en acceso abierto. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Universidad Autónoma de Chiapas y Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, 2018.

[6] OJS, *Publish Knowledge proyect*. Recuperado de: <https://pkp.sfu.ca/ojs/>

[7] Estrada, L. "La divulgación de la Ciencia". *Ciencias*, UNAM, p. 86, 1992.

[8] Ramírez, D. C, Martínez, L.C y Castellanos, Ó. F, *Divulgación y difusión del conocimiento: las revistas científicas*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2012.

[9] Sánchez Mora, A.M. "La Divulgación Científica". *Dirección General de Divulgación de la Ciencia*, no. 21. UNAM, 2003.

[10] Ochoa, H., "Visibilidad: El reto de las Revistas Científicas Latinoamericanas". *Revista de Ciencias Humanas y Sociales*, 20(43), 2004.

[11] Aguilar, A. M, "Visibilidad en las editoriales universitarias: el encuentro con el lector". *Memoria Académica*, La Plata, Argentina: BIBHUMA, 2012.

REQUERIMIENTOS PARA VEHÍCULOS DE SUPERFICIE NO TRIPULADOS ENFOCADOS AL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

REQUIREMENTS FOR UNMANNED SURFACE VEHICLES
FOCUSED ON WATER QUALITY MONITORING

Jovheiry Christopher García Guerrero^{1*}

*¹Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Querétaro, México*

**jgarcia95@alumnos.uaq.mx*



RESUMEN

Los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Agua (WQMS, por sus siglas en inglés Water Quality Monitoring System) son sistemas enfocados al monitoreo de múltiples parámetros del agua con el fin de verificar su calidad y validar si su uso es apto para un fin determinado. Puesto que en México se han presentado situaciones relacionadas con la muerte masiva de peces, la cual pudo haberse prevenido si se hubiera implementado un monitoreo constante del agua, en este trabajo se presentan las principales características, tipos, ventajas y desventajas de los WQMS. El objetivo de esta investigación es definir los principales requerimientos para la implementación de un WQMS basado en un Vehículo de Superficie no Tripulado (USV, por sus siglas en inglés Unmanned Surface Vehicle) mediante una revisión de la literatura. Estos representan una solución adecuada a la problemática actual en México debido a su bajo costo en comparación con sistemas basados en una red de sensores y su gran área de censado en comparación con los sistemas

El control de calidad del agua es una preocupación actual, misma que a generado el afán de monitorear los mantos acuíferos para la protección del medio ambiente. Se busca implementar un sistema de monitoreo y menor costo, basado en el uso de USV.

tradicionales. También se presentan los problemas y otros aspectos importantes encontrados en los documentos consultados. Al final se presenta una propuesta de un USV para el monitoreo de la calidad del agua.

Palabras clave: IoT; sistema de monitoreo de la calidad del agua; sistemas embebidos; vehículo de superficie no tripulado.

ABSTRACT

Water Quality Monitoring Systems (WQMS) are systems focused on monitoring multiple water parameters in order to verify its quality and validate if its use is suitable for a specific purpose. Due to the fact that in Mexico there have been situations related to the massive death of fish, which could have been prevented if a constant water monitoring had been implemented, this work presents the main characteristics, types, advantages and disadvantages of the WQMS. The objective of this work is to define the main requirements for implementing a WQMS based on Unmanned Surface Vehicle (USV), through a review of the literature. These represent an adequate solution to the current problem in Mexico, due to its low cost (compared to systems based on a network of sensors) and large census area (compared to traditional systems). Also, the document introduces some problems and other important aspects encountered in the documents from literature review. At the end, a proposal for a USV for water quality monitoring is presented.

Keywords: IoT; water quality monitoring system; embedded systems; unmanned surface vehicle.





INTRODUCCIÓN

La idea de implementar un Sistema de Monitoreo de la Calidad del Agua (**WQMS**, por sus siglas en inglés Water Quality Monitoring System) nace como una solución a la problemática que implicaba medir la calidad del agua: trasladarse al lugar, obtener muestras de agua, transportarlas y realizar pruebas de laboratorio. Debido a diversos factores, existía la posibilidad de que las muestras fueran alteradas, ocasionando un error en la medición de los parámetros. Parte del problema se resolvió cuando se fabricaron dispositivos para medir los parámetros en el lugar de interés, tal como los sistemas en [1]-[3].

METODOLOGÍA

Para la revisión del estado del arte se utilizaron las siguientes cadenas de búsqueda avanzada en la base de datos Scopus:

1. **TITLE-ABS-KEY** (water **AND** quality). Resultados: **143 264** documentos.
2. **TITLE-ABS-KEY** (water **AND** quality) **AND** (**LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "Water Quality Monitoring System") **OR** **LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "WQMS") **OR** **LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "Monitoring System")). Resultados: **1046** documentos.
3. **TITLE-ABS-KEY** (water **AND** quality) **AND** (**LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "Water Quality Monitoring System") **OR** **LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "WQMS") **OR** **LIMIT-TO** (**EXACTKEYWORD**, "Monitoring System")). Resultados: **39** documentos (**19** fueron aceptados para su análisis; referencias [13]-[34]).

Dado el reducido número de resultados, el único criterio para la aceptación de los artículos fue la presentación o utilización de un **USV** para el monitoreo de la calidad del agua. En el caso de la revisión en *ResearchGate*, debido a las limitaciones en la herramienta de búsqueda, se utilizaron los términos **WQMS** y **USV**; se obtuvieron **3460** recursos hasta el **2022**. Posteriormente, sólo se consideraron aquellos cuyo documento era accesible y visible (cumplía con la característica de "Full-text Available") y el número se redujo a **1163**. De estos últimos, sólo se aceptaron los relacionados con los temas de interés: **7** artículos (más **4** repetidos, encontrados en Scopus); referencias [35]-[41].

A partir de los artículos aceptados, se realizaron los siguientes pasos:

1. Para cada uno de los documentos se identificaron los componentes electrónicos (microcontroladores, dispositivos de comunicación, dispositivos para navegación, sensores), funciones, tipo de vehículo del **USV** y uso de dispositivos o medios de control remoto.
2. A partir de la lectura de los documentos, se detectaron los principales problemas.
3. Además, a partir del análisis de la información, se establecieron los requerimientos para el desarrollo adecuado de un **WQMS** basado en **USV**.
4. Con base en la información recolectada en las tablas, los problemas y otros aspectos encontrados, se llevó a cabo una interpretación con el fin de elaborar la propuesta de un **USV** para el monitoreo de la calidad del agua.

En la siguiente sección se presenta una pequeña discusión sobre los sistemas consultados y se introduce la propuesta de un **USV**.

PRINCIPALES TIPOS DE SISTEMAS DE MONITOREO Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los **WQMS** se encargan de medir distintos parámetros del agua relacionados con cierta actividad o uso. En el caso de la calidad del agua para la vida acuática, ésta se compone de los parámetros que influyen en la supervivencia y el desarrollo de las especies, y aquellos enfocados en la detección de contaminantes. Un caso práctico y frecuente se observa en [4].

A continuación, se describen brevemente tres tipos de **WQMS**:

SISTEMAS TRADICIONALES:

En un principio, los **WQMS** monitoreaban únicamente el lugar de instalación y consistían en una sola unidad. A partir de estas características, a lo largo del documento se referirá a este tipo de sistemas como tradicionales. Su uso resulta oportuno cuando la aplicación es sencilla; un ejemplo se presenta en [5].

SISTEMAS BASADOS EN REDES DE NODOS:

Ante la necesidad de abarcar áreas más grandes, se crearon los **WQMS** basados en redes conformadas por **2** o más nodos (grupos de sensores). Los que más destacan por sus características son las redes de sensores inalámbricas (**WSN**, por sus siglas en inglés Wireless Sensor Networks). Un ejemplo de monitoreo de un río se observa en [6]. Los **WSN** pueden ser utilizados para monitorear lagos y presas

al instalar los nodos alrededor. Sistemas similares se encuentran desarrollados en [7]–[10]. De acuerdo con [11], estos mecanismos tienen un grado de complejidad y su implementación requiere la consideración de ciertos aspectos para la obtención correcta de los datos. Tal es la importancia que se han desarrollado estudios enfocados en el análisis de estos problemas y la mejora de los sistemas de medición, así como se muestra en [12]. Estos sistemas también se relacionan con temas de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés Internet of Things).

SISTEMAS BASADOS EN USV:

Un **WQMS** basado en **USV** se puede entender como un solo nodo de sensores incorporado en una pequeña embarcación controlada remotamente. Y resulta conveniente cuando se busca monitorear sin altos costos un área grande.



COMPARACIÓN: PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Para comprender las principales ventajas y desventajas, se enfocará la comparación en la capacidad de monitorear un área determinada. Debido a esto, se considerará una actividad específica que requiere analizar 3 parámetros distintos, cada uno de los cuales necesita un instrumento. Consideremos como primer caso un pequeño cuerpo de agua o estanque. Debido a su área reducida, un sistema tradicional resulta lo más adecuado. Implementar cualquiera de los otros dos requeriría mayores costos.

Como segundo caso, se considera un río que abarca varios kilómetros de largo. Emplear un sistema tradicional sería inadecuado debido a que se estaría monitoreando un solo punto. Lo ideal sería un **WQMS** basado en **WSN** con varios nodos a lo largo del río. Esto permitiría detectar alguna situación anormal y ubicar el tramo donde se encuentra la fuente del problema. Sin embargo, hay que tener en cuenta que entre más nodos se requieran, mayor será el costo. Un sistema basado en **USV** también sería factible, pero habría que considerar la velocidad del agua como un posible problema.

Supóngase un tercer escenario, donde el cuerpo a monitorear es un lago o presa. Utilizar un sistema tradicional es posible, pero no viable; lo adecuado sería utilizar un sistema basado en **WSN**. Los nodos se instalarían alrededor del cuerpo, pero se tendría el mismo problema que en el segundo caso: el costo es mayor. Para esta instancia se destaca un sistema basado en **USV**. Tener un solo nodo con la capacidad de desplazarse sobre el agua reduciría considerablemente el

costo, pero se requiere un mayor tiempo para realizar el monitoreo.

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

De acuerdo con Scopus, existen 143 264 artículos relacionados con el tema de “*Water Quality*”, publicados desde 1954. De 1991 a 2021 se observa una tendencia al aumento de publicaciones por año con un máximo de 9675 en 2021. Al momento de la consulta, en lo que va del 2022 se han publicado 5939. Al delimitar la búsqueda en los **WQMS**, se observa que, desde 1979 hasta la fecha, se han realizado 1046 publicaciones (en 2021 se alcanzó un pico máximo de 96). A la fecha de la revisión, en lo que va del 2022 se han realizado 74 publicaciones.

Para garantizar una revisión adecuada al tema de interés en Scopus, a partir de la primera revisión la búsqueda se limitó a los **USV**. En esta tercera iteración se observa un total de 39 publicaciones después del 2009 a la fecha (con un pico máximo de 11 en 2020), de las cuales se aceptaron 22 para su análisis. Además, se realizó una revisión complementaria en *ResearchGate*, con los términos **USV** y **WQM**; en este caso, se aceptaron 7 documentos (más 4 que se encontraban también con la revisión en Scopus) que presentaban un sistema para el monitoreo del agua implementado en **USV**.

A partir de estas revisiones, se realizó un análisis para la obtención de los requerimientos y los principales problemas detectados para los **WQMS** basados en **USV**. A continuación, en las Tablas 1, 2 y 3, se puede encontrar información acerca de los distintos **USV** presentes en los documentos aceptados.



Tabla 1. Características de los sistemas encontrados.

REF.	DISPOSITIVO PARA EL CONTROL DE PROCESOS	COMUNICACIÓN DE DATOS	SENSORES CALIDAD AGUA	OTROS SENSORES	NAVEGACIÓN
[13]	2 x Arduino Mega 2560	Bluetooth HC-08	pH sensor SEN0161	Vision sensor Pixy CMUCam5	GPS (GY-GPS6MV2)
[14]	-	RF Modem, < 3 KM, 2.4-2.483 GHZ	AlgaeChek ultra (Clorofila-a), sonda de profundidad	Cámara, LiDar	GPS/IMU, Compass
[15]	Raspberry PI 3.0 model B SBC, Huzzah ESP8266 board	2.4 GHZ Wifi	-	NGC Sensors	GNSS DP0106, IMU Adafruit BNO055
[16]	-	RF modem	Chl-a, turbidez, DO (por sus siglas en inglés, Dissolved Oxygen), conductividad, ORP, Temperatura, salinidad, pH	Velocímetro, sistema de adquisición espectral, presión, humedad atmosférica, velocidad y dirección del viento	GPS, 3 compass, Gyro
[17]	STM32F103ZET6 y STM32C8t6	Wifi, GPRS	TDS, pH, turbidez	-	GPS, MPU9250
[18]	Raspberry PI	4G-based DTU	-	Doppler, LiDar	GPS, IMU
[19]	Raspberry PI, MCU STM32, Arduino	Wifi	pH, temperatura, turbidez	-	GPS
[20]	Odroid XU4, 2 x Arduino	Wifi	Temperatura, presión, humedad	-	Razor 9 DOF IMU, Adafruit GPS
[21]	Beaglebone Blue, Jetson nano	Wifi, 900 MHZ RF modem	Adafruit V1 Sensor	-	GPS, 9 DOF IMU
[22]	-	-	Hydrolab MS5 (pH, DO, conductividad, temperatura, turbidez)	2 x Ecosondas	-
[23]	2 x Arduino UNO	Módulo de Radio XBee Series 1, Liberlium SX1272 LoRa	pH, ORP, salinidad, DO,	Ecosonda y sensor de flujo	2x GPS
[24]	AtMega32U4	RN2903 LoRa 915 MHZ	pH, turbidez, DO, temperatura	-	-
[25]	STM32F103ZE	Wifi, Bluetooth, Modulo 4G	pH, TDS, turbidez	Modulo ultrasónico	WF-NEO-6M GPS, 9 axis sensor
[26]	-	Red 4G	Chl-a, DO, conductividad, Ion de potasio, pH, temperatura, turbidez	-	-
[27]	Raspberry PI 3	3G/4G	Temperatura, conductividad, humedad relativa	Sensor de gas TGS800, Hidrófono	-
[28]	-	2.4 MHZ RF	-	Sonares batimétricos y ecosonda	GPS
[29]	PCM 3353	-	-	-	-
[30]	-	Wifi	-	-	GPS, compass
[31]	-	-	Temperatura	Profundidad	GPS

REF.	DISPOSITIVO PARA EL CONTROL DE PROCESOS	COMUNICACIÓN DE DATOS	SENSORES CALIDAD AGUA	OTROS SENSORES	NAVEGACIÓN
[32]	Arduino	Modulo 5G MH5000-31	Temperatura	Humedad, lluvia, presión, altitud y velocidad del viento	
[33]	Raspberry PI 3 y Arduino Mega 2560	Transmisor WLAN	Sonda multiparámetros (temperatura, pH, DO, turbidez, conductividad y materia orgánica disuelta coloreada (CDOM))	Batómetro	GPS, IMU
[34]	-	Celular uplink	Salinidad, AML Oceanographic multisensor (temperatura, DO y pH), SeaBird Scientific multisensor (Clorofila a, Ficocianina, ficoeritrina, CDOM, turbidez, retrodispersión y OD)	-	-
[35]	Raspberry PI	Modulo LoRa SX12772 y modulo multiprotocolo Radio Shield Libelium	Temperatura, pH, salinidad, turbidez y conductividad eléctrica	Profundidad	GPS, IMU
[36]	STM32F103ZET6	LoRa	Temperatura, pH, turbidez y conductividad	-	GPS, IMU MPU 9250
[37]	Arduino Mega 2560	Módulo de telemetría	-	Sonar Garmin Echomap 42	GPS U-Blox, magnetómetro de 3 ejes MEMS
[38]	ATMEGA2560-16U	Comunicación satelital con modulo RockBLOCK y modulo RFM95 breakout	Temperatura, pH, conductividad y DO	-	IMU ICM-20948, GPS
[39]	-	Enrutador WiFi 4G	Sensores de agua (no especificados)	LiDar, Radar	GNSS, IMU
[40]	-	Transceptor AIS, TIGHTVNC version 4.8.8	-	Sonar SIMRAD EK80	GPS
[41]	2 x Adafruit Pro Trinket	2 x Bluetooth	Temperatura, pH, turbidez	Sensor de corriente y voltaje	GPS

Tabla 2. Otras funciones, lugares de monitoreo y tipo de vehículo del USV.

REF.	OTRAS FUNCIONES	LUGAR DE MONITOREO	TIPO DE VEHÍCULO
[13]	Toma de muestras de agua, recolección de objetos y evasión de obstáculos	-	Similar a catamarán
[14]	-	Río	-
[15]	-	Aguas pocas profundas y humedales	Tipo Catamarán



REF.	OTRAS FUNCIONES	LUGAR DE MONITOREO	TIPO DE VEHÍCULO
[16]	Evasión de obstáculos y transmisión de video	Lago Honghu	Waterplane single-hull
[17]	Monitoreo a diferentes profundidades	Lago (zona de acuicultura)	Tipo Catamarán
[18]	Transmisión de video en vivo	Río	-
[19]	-	-	Tipo Catamarán
[20]	-	-	Bote Pioner
[21]	-	Estanque	Tipo Catamarán
[22]	Grabación del recorrido con cámara apuntando al fondo	Lago Constance	Estructura similar a un quadropodo
[23]	-	Lagos, lagunas, ríos y aguas costeras	Tipo Catamarán
[24]	-	Lago Dardanelle	Tipo Catamarán
[25]	Transmisión de video en vivo	-	Tipo Catamarán
[26]	-	Reserva de agua fresca	Doble casco (similar a catamarán)
[27]	-	-	-
[28]	-	-	Tipo Catamarán
[29]	-	-	Tipo jeat
[30]		Río TamSui	-
[31]	Obtención de muestras y transmisión de video en vivo	Bahía Fengxian	Tipo Catamarán
[32]	-	-	Tipo Catamarán
[33]	Transmisión de video para maniobrar el USV (con 2 cámaras conectadas al Raspberry PI 3)	Lago en la sierra de Perú (a 4000 metros sobre el nivel del mar)	Tipo Catamarán
[34]	-	3 lagos (Desoto lake, White's Creek lake y Columbus lake) y aguas costeras en Mississippi, Estados Unidos	Tipo lancha
[35]	-	Cabo Tiñoso y el Mar Menor en Cartagena, España	Tipo single-hull
[36]	-	Lago Tianyin del Instituto de Tecnología de Nanjing	Tipo Catamarán
[37]	Medición de la profundidad	Reserva de agua Inkerman y aguas costeras en la bahía de Holland en Sevastopol	Tipo single-hull
[38]	Cuenta con alimentación con panel solar y por onda/olas con una segunda unidad sumergida. Almacenamiento de datos en tarjeta SD	-	Tipo Catamarán
[39]	Evasión de obstáculos. Cuenta con arreglo de cámaras en anillo de 360° y cámara térmica	Arroyo de Al Bateen en Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos	Tipo Catamarán
[40]	Incorporación de cámara para observar las aves nadando cercanas	Cerca del acantilado de aves en la isla de Runde, Noruega,	Tipo kayak

REF.	OTRAS FUNCIONES	LUGAR DE MONITOREO	TIPO DE VEHÍCULO
[41]	-	Cuerpos de agua en West Lafayette (EE. UU.), Tuti (Perú), y Majes (Arequipa, Perú)	Estructura basada en un repuesto de neumático con el hardware en el centro de la rueda

Tabla 3. Dispositivo de control remoto / obtención de datos.

REF.	DISPOSITIVO DE CONTROL REMOTO / OBTENCIÓN DE DATOS	FUNCIONES
[13]	Aplicación basada en LabVIEW	Visualización de los datos y control remoto
[14]	Estación de control	Establecimiento de la ruta, visualización de datos y almacenamiento
[15]	Estación de control	Control remoto
[16]	Estación de control	Control remoto, establecimiento de la ruta, visualización de datos y estado del USV
[17]	Servicio en la nube	
[18]	Aplicación basada en Android	Control de la unidad en caso requerido
[19]	Aplicación Android; servicio en la nube Octopus	Comunicación con la plataforma y el USV
[20]	GUI de Java en Laptop	recepción de datos y ajuste de parámetros del USV
[21]	-	-
[22]	Sistema de control de misión y software de control	Control del USV, modificación de parámetros; Control sobre los sensores
[23]	Plataforma en la nube	Control remoto, almacenamiento y análisis de datos
[24]	Página web	Visualización de los datos. Estos se actualizan cada 2 minutos
[25]	Aplicación móvil	Adquisición de datos, mapa de orientación y control remoto
[26]	Estación de control	Creación de rutas de monitoreo
[27]	Aplicación móvil	Visualización y análisis de datos
[28]	-	-
[29]	PCM 9588	Monitoreo del estado del USV, visualización de video en vivo, regulación de los parámetros de los controladores, modificación del algoritmo de navegación
[30]	Estación de control	Visualización de datos del USV
[31]	Estación de control	Control del USV
[32]	Plataforma de servicio back-end	Visualización de datos y respaldo en base de datos MySQL
[33]	Estación base	Visualización de los datos mediante una PC conectada a la misma red que el Raspberry PI 3
[34]	Servidor y pagina web	Visualización de datos, generación de gráficas y mapas, y descarga de datos
[35]	Plataforma/aplicación en Laptop	Obtención, almacenamiento y visualización de datos.
[36]	Plataforma/aplicación en Laptop	Obtención y almacenamiento de datos.
[37]	Estación de control	Obtención de datos
[38]	Servidor local en Raspberry PI 3 y aplicación web en línea	Obtención de datos vía correo, almacenamiento de datos en base de datos JSON y envío de datos a página web. Modificación de la posición del USV
[39]	-	-
[40]	Programa open-source Open-CPN y programa desarrollado en LabView 2013	Navegación, obtención y almacenamiento de datos, manejo de mensajes de error y advertencias de navegación, y control de la propulsión y timón
[41]	Aplicación Android SMARTBoat 3	Control del USV, obtención y visualización de datos



REQUERIMIENTOS, PROBLEMAS Y OTROS ASPECTOS

Al analizar la Tabla 1, se puede observar una amplia variedad de microcontroladores de los **USV**. Esto se debe a las distintas actividades que cada uno requiere ejecutar, el número de sensores, el tipo de comunicación, etc. En resumen, cada enfoque para el monitoreo es distinto, ya sea por los parámetros a medir o por el desarrollo de sistemas de bajo coste. Entre los dispositivos que más se utilizan para navegación están los **GPS** y los **IMU**, los cuales se usan principalmente para tareas de navegación automática. En el caso de los medios de comunicación, los dos que más destacan son los basados en **Wifi** y en **RF** (esto se debe a la distancia de transmisión a la cual pueden comunicarse). Resaltan en el apartado de la comunicación aquellas tecnologías que emplean **LoRa** debido a su gran alcance (en este estudio se destaca y comprueba el envío de datos de manera exitosa a una distancia de hasta 6 km); sin embargo, de acuerdo con [24], debido a que es una tecnología relativamente nueva, existe más compatibilidad con los otros medios de comunicación en aplicaciones de **IoT**.

A partir de la Tabla 2, se advierte que un número considerable de los **USV** comparte características similares. Para el tipo de vehículo, casi todos utilizan el catamarán (el casco doble también podría considerarse como tal). De acuerdo con [15] y [26], este diseño cuenta con una gran estabilidad y soporta grandes cargas. Cabe destacar que gran parte presenta el uso de un medio de control remoto, ya sea como una estación física en tierra o una aplicación móvil o web. En el caso de la Tabla 3, se observa que la mayoría posee un

dispositivo o aplicación externa al **USV** para realizar la obtención de datos y/o el control del sistema.

Con base en la lectura de cada uno de los artículos, a continuación se presentan los aspectos que se pueden considerar como requerimientos y varios de los problemas encontrados en el desarrollo o la implementación del sistema.

REQUERIMIENTOS:

Es imprescindible contar con una transmisión de datos inalámbrica para comunicarse con el **USV**, recibir datos y realizar control remoto en caso necesario. El medio o tipo de transmisión (**LoRa**, **Wifi**, **Bluetooth**, **RF**, **4G**, etc.) dependerá principalmente de la distancia. La conexión deberá ser segura y la transmisión de datos confiable. Junto con esta última, algo que se podría considerar como un requerimiento es el empleo de un módulo **GPS**. Éste se utiliza para conocer la ubicación del sistema, además de relacionar las coordenadas del monitoreo con las variables de estudio; tal es el caso en [14], [17], [22] y [37].

El **USV** necesita una batería que permita una extensa autonomía, suficiente para realizar al menos un recorrido de monitoreo completo. Una solución alterna es la incorporación de fuentes de energía que permitan recargar el **USV** durante el proceso de monitoreo, tal como en [38], donde utilizan paneles solares e incorporan un sistema de propulsión que aprovecha las olas.

Lo siguiente se trata no de un requerimiento sino de una recomendación: un diseño tipo catamarán. Éste tiene una mayor estabilidad y soporta una gran carga, por lo que se podría considerar como una de las mejores opciones. De acuerdo con [26], un bote con diseño de

casco doble (*double hull*) es más seguro que uno de casco único (*single hull*), lo que le permite operar en un clima desfavorable.

El sistema deberá contar con un control de velocidad adecuado al medio donde se realiza el monitoreo y la capacidad para responder a distintos eventos. Algunos de los problemas que se deben considerar son: las velocidades del agua y el viento; en casos similares a los ríos, las distintas alteraciones del medio ocasionadas por animales u otros vehículos. De acuerdo con [22], esto permite mediciones de alta resolución.

En caso de que el sistema no cuente con un algoritmo de navegación automática, la transmisión de datos entre el *usv* y la estación de control tendrá un pequeño retraso o *delay*. En caso contrario, el *usv* requerirá un módulo *GPS* incorporado, un *IMU* y un sensor para detectar y evitar obstáculos, tal como en [13], [16] y [39] (esto último, además, resulta de vital importancia cuando se encuentran animales, personas, botes, etc., en el área de análisis como en [40], donde se utiliza una cámara para observar las aves que nadan cerca del *usv*); en su defecto, un medio de control y visualización de datos del *usv*, ya sea físico, una aplicación móvil o web, o una estación de control.

Algo de vital importancia y que se menciona en [15] es el uso de materiales inertes e impermeables con el fin de reducir la emisión de agentes químicos al medio acuático y proteger la electrónica.

PROBLEMAS:

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los problemas a los cuales se puede enfrentar un *usv* es la alteración del medio donde

se encuentra. De acuerdo con [26], debido a que el sistema se puede ver afectado por la velocidad del viento o el oleaje, éste consume más potencia para proporcionar el desplazamiento requerido. Lo mismo sucede cuando el *usv* se ve afectado en su posición, ubicación o trayectoria por perturbaciones en el agua. Tales casos aumentarían el consumo energético del sistema para compensar las perturbaciones.

Otro problema es el corte de la comunicación con el medio de control remoto, lo que ocasionaría la pérdida de datos en caso de no tener un almacenamiento de respaldo incorporado en el *usv* (el sistema en [16] sí considera este problema, aunque conserva el respaldo en la estación de control externa, y el [17] en el *usv*) o del control de la unidad, que en ciertas circunstancias podría tener como consecuencia la baja total del *usv* (como referencia, el sistema desarrollado en [20] tuvo un costo menor a los 2000 euros y el sistema en [21] de 3000 dólares).

Asimismo, otro inconveniente que puede presentarse es la obtención de datos inválidos. Ya sea por un error en la comunicación, en los sensores o algún otro aspecto, este problema puede afectar en cierta medida el análisis de los datos. Algunos casos a destacar se pueden consultar en [14], donde pusieron en práctica diversos métodos para el tratamiento de datos con el fin de eliminar la información inválida; y [23], donde implementaron un filtro *EKS* para reducir mediciones inciertas y reconstruir variables de estado no observadas.

OTROS ASPECTOS:

Una cuestión que se debe tomar en consideración es el uso de dispositivos que permitan mejorar



el control sobre el **usv** y prevenir algunos de los problemas presentados anteriormente. Otro aspecto sería la implementación de dispositivos de visualización que mejoren el control remoto del sistema al permitir que el usuario tenga conocimiento del medio o la situación del **usv** y actúe de manera adecuada.

Distintos artículos destacaban la importancia de establecer la cantidad de puntos para el muestreo, la distancia entre estos, el tiempo de muestreo por punto y la ruta de monitoreo para determinar y predecir el consumo energético del **usv**. Otra característica de igual relevancia para el consumo energético es la frecuencia con la que se debe realizar el monitoreo del área. Éste lleva un tiempo determinado, por lo que es importante considerar el número de rutinas y verificar si el **usv** cuenta con la capacidad para cumplir correctamente con el trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la lectura y el análisis de la documentación consultada durante la revisión y a manera de discusión, se presenta la siguiente propuesta para un **WQMS** basado en un **usv**:

1. Utilización de un vehículo tipo catamarán. Éste se puede considerar como una de las mejores opciones (si no la mejor), debido a que ofrece gran estabilidad y capacidad para soportar carga.
2. Uso de un módulo de comunicación LoRa, ya que permite la transmisión de datos a largas distancias (otras opciones viables son **RF** y **4G**).
3. Implementación de un módulo **GPS** y un **IMU** para el control

y desplazamiento automático del **usv**.

4. Uso de sensores para la identificación y evasión de obstáculos. Esto resulta indispensable para evitar situaciones que pongan en peligro la integridad del sistema o de algún ser vivo.
5. Aunque no se puede designar un microcontrolador o dispositivo similar como la mejor opción, el controlador a escoger deberá disponer del poder de cómputo suficiente para gestionar todos los procesos y algoritmos que se deban implementar en el **usv**. Algunas de las opciones a destacar, presentadas en la Tabla 1, son la Raspberry **PI** y los microcontroladores **STM32**.
6. Algo que no se mencionó en la documentación fue algún modo de evitar el hundimiento del **usv**. En el supuesto de que ocurra tal contingencia, no solo se perdería el total de la unidad, también supondría un riesgo de contaminación (principalmente por la fuente de alimentación). Debido a esto, se propone implementar un mecanismo que mantenga a flote el vehículo para su rápida recuperación.
7. Otro aspecto sin mencionar en los sistemas introducidos en la revisión es la limpieza de los sensores. Dado que estos están en constante contacto con el agua, son vulnerables a diversas sustancias contaminantes y partículas que pueden quedar adheridas a ellos. El aseo de los sensores resulta aún más indispensable si el lugar a monitorear se considera altamente contaminado o el **usv** permanece un largo periodo en el agua.
8. La visualización de los parámetros relacionados con la

calidad del agua y el rendimiento del **usv**, además del control remoto de la unidad de monitoreo, son características imprescindibles. Como opción más avanzada, también se podrán modificar los parámetros de algunos algoritmos de control automáticos. Una de las opciones que se pueden utilizar para tal fin es una aplicación móvil o de computadora. Para su desarrollo, se debe contemplar una amplia variedad de plataformas; de esta manera, ninguna inversión adicional será necesaria por parte del usuario.

Esta propuesta consolida una base para la elaboración de un **usv** que permita realizar el monitoreo de la calidad del agua. Por último, cabe destacar que, dadas las características de los ríos y de acuerdo con lo presentado, un **usv** no sería completamente recomendable. La causa principal es el consumo energético que éste debería generar para compensar la constante interferencia de la corriente del agua, por lo que el sistema desarrollado deberá enfocarse en cuerpos o reservas de agua quietas como lagos, presas, lagunas, estanques, etc.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un análisis del estado del arte de los **usv** enfocados al monitoreo de la calidad del agua con el fin de establecer los requerimientos en el desarrollo de **WQMS** basados en **usv** y algunos de los problemas que se pueden presentar durante el desarrollo o la implementación del sistema y otros aspectos para su consideración. El principal aspecto a destacar es que la mayoría de sistemas utilizan **usv** basados en

vehículos tipo catamarán, pues estos ofrecen una gran estabilidad y soportan grandes cargas.

Cabe resaltar que los *usv* son sistemas que presentan cierta complejidad, ya que se debe asegurar un control adecuado de la unidad, la obtención y la transmisión de datos y el funcionamiento apropiado de los algoritmos de control implementados en el sistema. A partir de esta información, se elabora una propuesta de un *wqms* basado en un *usv* que se planea utilizar como base para la futura elaboración de un sistema que permita realizar el monitoreo en lagos y presas.

REFERENCIAS

- [1] A. Hilary Kelechi et al., "Design and Implementation of a Low-Cost Portable Water Quality Monitoring System," *Computers, Materials & Continua*, vol. 69, no. 2, pp. 2405–2424, 2021.
- [2] D. Mendez, M. Pérez, A. Farfan, and E. Gerlein, "Idc sensor for low-cost water quality monitoring applications*; [Sensor idc para aplicaciones de bajo costo para el monitoreo de la calidad del agua]," *Ingeniería y Universidad*, vol. 26, 2022.
- [3] M. R. D. Molato, "AquaStat: An Arduino-based Water Quality Monitoring Device for Fish Kill Prevention in Tilapia Aquaculture using Fuzzy Logic," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 2, pp. 557 – 562, 2022.
- [4] L. Parra, G. Lloret, J. Lloret, and M. Rodilla, "Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review," *IEEE Sens J*, vol. 18, no. 10, pp. 3915–3923, 2018.
- [5] F. A. Sapparudin et al., "Wireless water quality monitoring system for high density aquaculture application," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 13, no. 2, pp. 507 – 513, 2019.
- [6] K. S. Adu-Manu, F. A. Katsriku, J.-D. Abdulai, and F. Engmann, "Smart River Monitoring Using Wireless Sensor Networks," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2020, 2020.
- [7] H.-C. Yu et al., "Development of miniaturized water quality monitoring system using wireless communication," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 17, 2019.
- [8] F. Lezzar, D. Benmerzoug, and I. Kitouni, "IoT for monitoring and control of water quality parameters," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 14, no. 16, pp. 4 – 19, 2020.
- [9] A. C. D. S. Junior et al., "Internet of water things: A remote raw water monitoring and control system," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 35790 – 35800, 2021.
- [10] L. V. Q. Danh, D. V. M. Dung, T. H. Danh, and N. C. Ngon, "Design and Deployment of an IoT-Based Water Quality Monitoring System for Aquaculture in Mekong Delta," *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 9, no. 8, pp. 1170–1175, 2020.
- [11] J. Zhang et al., "Design and Analysis of a Water Quality Monitoring Data Service Platform," *Computers, Materials & Continua*, vol. 66, no. 1, pp. 389–405, 2020.
- [12] N. Thai-Nghe, N. Thanh-Hai, and N. C. Ngon, "Deep learning approach for forecasting water quality in IoT systems," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 8, pp. 686 – 693, 2020.
- [13] H.-C. Chang et al., "Autonomous water quality monitoring and water surface cleaning for unmanned surface vehicle," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1 – 21, 2021.
- [14] E. Kim et al., "Comparison of spatial interpolation methods for distribution of unmanned surface vehicle data for chlorophyll-a monitoring in the stream," *Environ Technol Innov*, vol. 28, 2022.
- [15] A. Odetti et al., "SWAMP, an Autonomous Surface Vehicle expressly designed for extremely shallow water," *Ocean Engineering*, vol. 216, 2020.
- [16] Y. Li et al., "Design and experiments of a water color remote sensing-oriented unmanned surface vehicle," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 8, 2020.
- [17] H. Cao et al., "Intelligentwide-area water quality monitoring and analysis system exploiting unmanned surface vehicles and ensemble learning," *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 3, 2020.
- [18] X. Zhu, K. Yan, S. Kong, and Y. Yue, "4G-based remote manual control for unmanned surface vehicles," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019.
- [19] M. D. Asif Hasan, H. Chen, Y. Lin, and X. Liu, "WIPI: An Extendable Edge Platform for Building Time-critical Cyber-Physical-Human Systems," in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019.
- [20] O. L. Osen et al., "A low cost *usv* for aqua farm inspection," in *Techno-Ocean 2016: Return to the Oceans*, 2016.
- [21] M. Zhou and J. Shi, "The De-



- sign and Development of an Affordable Unmanned Surface Vehicle for Estuary Research and STEM Education," in *2020 Global Oceans 2020: Singapore - U.S. Gulf Coast*, 2020.
- [22] C. Degel et al., "HydroCrawler - An innovative autonomous surface vehicle for high precision underwater measurements," in *OCEANS 2019 - Marseille, OCEANS Marseille 2019*, vol. 2019-June, 2019.
- [23] S. Garuglieri et al., "An Integrated System for Real-Time Water Monitoring Based on Low Cost Unmanned Surface Vehicles," in *SAS 2019 - 2019 IEEE Sensors Applications Symposium, Conference Proceedings*, 2019.
- [24] N. Wu and M. Khan, "LoRa-based Internet-of-Things: A Water Quality Monitoring System," in *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, vol. 2019-April, 2019.
- [25] J. Balbuena et al., "Design and Implementation of Unmanned Surface Vehicle for Water Quality Monitoring," in *OCEANS 2017 - Anchorage*, vol. 2017-January, 2017.
- [26] S. Siyang and T. Kerdcharoen, "Development of unmanned surface vehicle for smart water quality inspector," in *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2016*, 2016.
- [27] J. Matos and O. Postolache, "IoT enabled aquatic drone for environmental monitoring," in *Proceedings of the 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, EPE 2016*, 2016.
- [28] M. L. Seto and A. Crawford, "Autonomous shallow water bathymetric measurements for environmental assessment and safe navigation using USVs," in *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington, 2015*.
- [29] M. Li, Y. He, Y. Ma, and J. Yao, "Design and implementation of a new jet-boat based unmanned surface vehicle," in *IET Conference Publications*, vol. 2012, no. 598 CP, pp. 768 – 771, 2012.
- [30] W.-R. Yang et al., "Multifunctional inshore survey platform with unmanned surface vehicles," *International Journal of Automation and Smart Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 19 – 25, 2011.
- [31] J. Wang, W. Gu, J. Zhu, and J. Zhang, "An Unmanned Surface Vehicle for multi-mission applications," in *Proceedings - 2009 International Conference on Electronic Computer Technology, ICECT 2009*, 2009.
- [32] Z. Gao, "Research on Information Sensing and Transmitting Technology for Island Using 5G System," in *2022 IEEE 2nd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information, ICETCI 2022*, 2022.
- [33] J. Balbuena et al., "Design and implementation of an USV for large bodies of fresh waters at the highlands of Peru," in *OCEANS 2017 - Anchorage*, 2017.
- [34] P. Dash et al., "Evaluation of Water Quality Data Collected using a Novel Autonomous Surface Vessel," in *Oceans Conference Record (IEEE)*, vol. 2021-September, 2021.
- [35] D. Sousa, M. Luís, S. Sargento, and A. Pereira, "An aquatic mobile sensing usv swarm with a link quality-based delay tolerant network," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, 2018.
- [36] W. Chen et al., "The Mobile Water Quality Monitoring System Based on Low-Power Wide Area Network and Unmanned Surface Vehicle," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2021, 2021.
- [37] V. Nikishin, M. Durmanov, and I. Skorik, "Autonomous Unmanned Surface Vehicle for Water Surface Monitoring," *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 14, pp. 853–858, 2020.
- [38] M. Elkolali et al., "A low-cost wave-solar powered Unmanned Surface Vehicle." Oct. 2021.
- [39] È. Pairet et al., "Nukhada USV: a Robot for Autonomous Surveying and Support to Underwater Operations." Oct. 2022.
- [40] A. Totland and E. Johnsen, "Kayak Drone – a silent acoustic unmanned surface vehicle for marine research," *Front Mar Sci*, vol. 9, p. 986752, oct. 2022.
- [41] W. Jo et al., "A low-cost and small USV platform for water quality monitoring," *HardwareX*, vol. 6, oct. 2019.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CASOS POSITIVOS EN NIÑOS Y ADOLESCENTES EN MÉXICO: COVID-19

STATISTICAL ANALYSIS OF POSITIVE CASES AMONG
CHILDREN AND ADOLESCENTS IN MEXICO: COVID-19

Citlali Lizeth Martínez López¹
Luisa Ramírez Granados^{1*}

¹Universidad Autónoma de Querétaro
Santiago de Querétaro, México

^{1*}luisa.ramirez@uaq.mx
cmartinez158@alumnos.uaq.mx



RESUMEN

Los estudios de Covid-19 enfocados en niños y adolescentes son escasos en comparación a aquellos que estudian a la población general, debido a la exingue de datos y a la complejidad para detectar la enfermedad. El objetivo de este trabajo es brindar una descripción que muestre cómo ha sido el impacto de esta enfermedad en los mexicanos menores de edad. Se realizó un análisis estadístico de los casos Covid-19 en menores de 18 años, se utilizó información oficial de la Secretaría de Salud de México actualizada al 31 de julio de 2022. Se analizaron factores de riesgo asociados a la mortalidad infantil mediante un modelo lineal. El 6.52 % de los casos de Covid-19 en México corresponden a menores de 18 años; es decir, 441 027 de los cuales 1335 han resultado oficialmente en defunciones. La mayor incidencia de contagios y fallecimientos ocurrieron en infantes de un año y en adolescentes de 17 años respectivamente, sobre todo masculinos. El estudio ratifica que las comorbilidades aumentan las posibilidades de muerte. Se

El impacto del COVID-19 dejó un cierto rezago de caos en la población y con ello escasez de datos y la dificultad para detectar dicha enfermedad. El presente trabajo mostrará el impacto de esta enfermedad, sobre todo en la población infantil, asimismo se expondrán análisis estadísticos y los factores de riesgo asociados a la mortalidad infantil.

concluye que las niñas y niños presentan menor riesgo ante el Covid-19, sin embargo, aún pueden verse gravemente afectados si contraen esta enfermedad, por lo que se debe examinar a los infantes y jóvenes.

Palabras Clave: Covid-19, factores de riesgo, México, mortalidad, niños.

ABSTRACT

The research done on Covid-19 targeted at children and adolescents is less abundant than those that study the entire general population due to the lack of data availability and the difficulty of detecting this disease. The aim of this paper is to provide a descriptive analysis of the impact of this disease on under-aged Mexicans. A statistical analysis of COVID-19 cases in children under 18 years old was performed using official data from Mexico's Ministry of Health updated to July 31, 2022. Risk factors associated with child mortality were analyzed using a linear model. The results show that 6.52 % of COVID-19 cases in Mexico correspond to children under 18 years of age; that is, 441 027 -1,335 which have resulted in death. The highest rate of infection and deaths occurred in infants and in 17-year-olds respectively, with males being affected the most. This study confirms that comorbidity increases the chances of death. *Conclusions:* Children are the least at risk for COVID-19, however, they are not free of serious risks due to this disease, therefore, this population should be further studied.

Keywords: Covid-19, risk factors, mexico, mortality, children.





INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) registró en el mes de agosto de 2022 más de 590 millones de casos confirmados y aproximadamente 6.4 millones de muertes en el mundo a causa del Covid-19 [1]. Si bien estos datos representan en conjunto a los sectores de la población, el rol que juegan los niños y adolescentes en la pandemia causada por el SARS-CoV-2 del 2020 al 2023 aún es incierto, pues al no ser los principales afectados, están en constante riesgo de ser víctimas de esta enfermedad infecciosa [2].

Se han realizado estudios en torno a la infección de Covid-19 en la población adulta, sin embargo los enfocados al sector infantil son relativamente limitados debido a la escasa cantidad de casos reportados y a la dificultad de su detección, de modo que se ha vuelto un reto entender cómo este sector de la población ha sido afectado [3]. Las cifras globales de los casos confirmados y muertes por Covid-19 en menores de edad son limitadas; según la base de datos COVERAGE del MPIDR (Max Planck Ins-

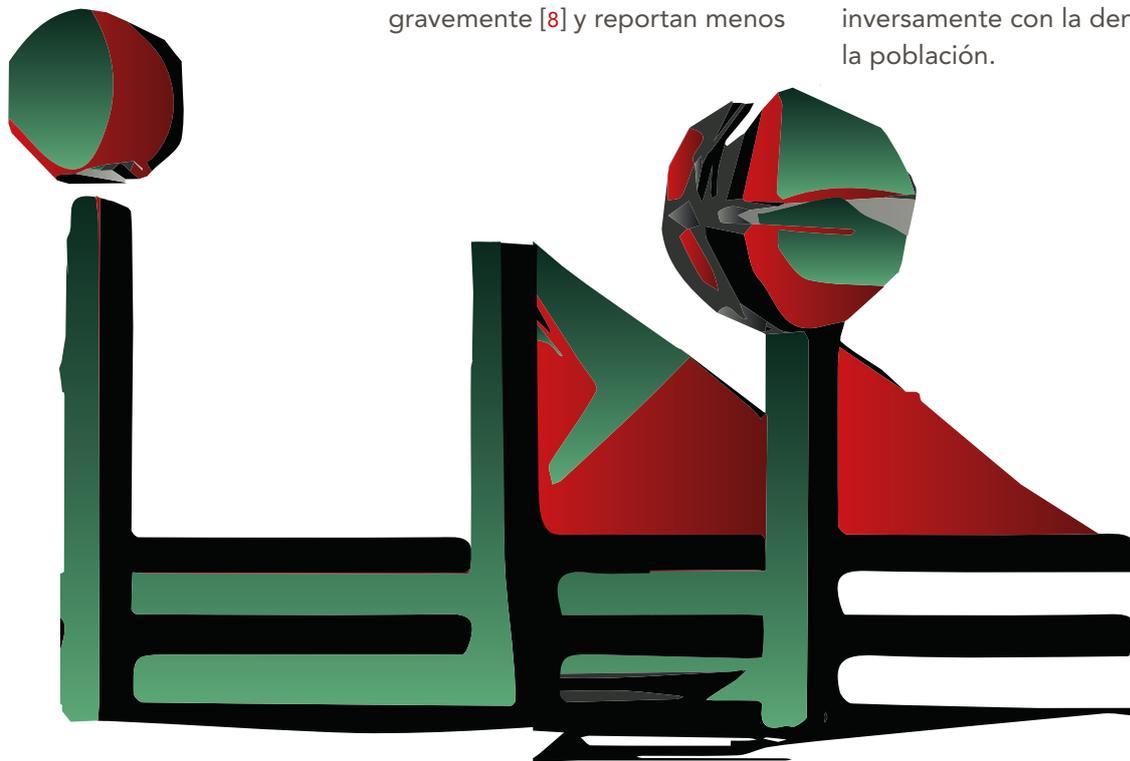
titute for Demographic Research), que corresponde al 48 % de los casos confirmados de Covid-19 en el mundo, los niños y adolescentes menores de 20 años representan el 21 % de los casos notificados de coronavirus [4].

El 13 de septiembre del 2020, se registró en México un total de 658 299 casos positivos, de los cuales 18 465 (2.8 %) correspondían a menores de edad. La mortalidad infantil fue del 1.3 %; casi la mitad, menores de 2 años [5]. A finales de enero de 2022, la Secretaría de Salud reportó 295 233 contagios en el rango de edad de 0 a 17 años, con 12 977 hospitalizaciones y 1088 defunciones [6]. A inicios de julio del mismo año, la cifra acumulada aumentó a 389 508 contagios y 1281 defunciones en menores de edad. La población adolescente presentó mayor incidencia de contagios, pero los menores de entre 0 y 5 años fueron quienes representaron el 51.5 % de las muertes [7].

Los estudios sugieren que la probabilidad de contraer coronavirus es la misma tanto para adultos como para menores de edad; no obstante, estos últimos son menos susceptibles de enfermarse gravemente [8] y reportan menos

contagios. Muchos de los niños y adolescentes infectados por el virus experimentan un cuadro clínico leve o permanecen infectados de forma asintomática; aun así, existen casos en que la enfermedad alcanza un estado grave que requiere hospitalización. Esos estados críticos ameritan la intubación y tratamiento en cuidados intensivos, y en menor medida concluyen en decesos [2], [9], [10].

El estudio en [11] indica los principales factores de riesgo en la mortalidad de pacientes en este sector: neumonía, inmunosupresión, deficiencia cardiovascular y una edad menor a 4 años. Cabe mencionar que el modelo ajustado no presentó a la obesidad como variable significativa en los factores de riesgo estudiados. Por otro lado, [12] menciona que los factores de riesgo resultantes asociados a la mortalidad en individuos de 0 a 19 años son diabetes, inmunosupresión, obesidad, hipertensión, padecimientos cardiovasculares, enfermedades renales crónicas y una edad corta. Aunado a ello, indica que la mortalidad está directamente relacionada con factores ambientales, como el índice de rezago social y desnutrición, pero inversamente con la densidad de la población.



Anteriormente en México, en lo que concierne a la población menor de edad, la vacuna solo estaba disponible para niños a partir de 12 años con comorbilidades de riesgo, para personas mayores de 14 años, y para adolescentes embarazadas [13]; actualmente la campaña de vacunación se extiende a niños desde los 5 años en adelante [14]. Esta medida de acción contra el Covid-19, el inicio presencial del ciclo escolar 2022-2023 y el levantamiento de restricciones permitirán generar información nueva que complementa los estudios anteriores sobre el papel de los niños en la pandemia para establecer protocolos de control del Covid-19 en este sector de la población [9].

Dado este contexto, el presente artículo muestra un análisis estadístico de los casos positivos y las defunciones de menores de 17 años; además identifica los factores de riesgo de mortalidad en esta población. El objetivo del artículo es amplificar la atención hacia dicha enfermedad en este sector para tomar las medidas correspondientes. A continuación, se describe la metodología llevada a cabo para el análisis.

METODOLOGÍA

El presente análisis estadístico utilizó como fuente de información la base de datos Covid-19 del gobierno mexicano, que además de actualizarse diariamente, está a disposición de la población en general. Se puede acceder a ella de manera gratuita ingresando a la Dirección General de Epidemiología [15] a través de la página web de la Secretaría de Salud. La muestra de estudio incluye la información de los casos sospechosos y confirmados que se reportaron desde el 1 de enero del 2020 hasta

el 31 de julio del 2022 en la población. Para fines del estudio, se consideraron únicamente los datos correspondientes a individuos entre 0 y 17 años.

Es necesario mencionar que dicho compendio ha sido cuestionado por diferentes analistas puesto que no incluye todos los casos de Covid-19 presentados; no obstante, es una de las fuentes disponibles más completas, debido a que incluye la información de pacientes atendidos en unidades médicas tanto públicas como privadas del país. Por tanto, se considera aceptable para el análisis abordado en este trabajo.

El registro de cada paciente consta de 40 variables, pero para este cotejo se tomaron en cuenta las siguientes 19 valoradas de riesgo clínico: sexo, entidad de residencia, tipo de paciente (ambulatorio u hospitalizado), fecha de inicio de la sintomatología, fecha de defunción, intubación (si el paciente requirió de ventilación mecánica), edad (de 0 a 17 años para criterios de inclusión en este estudio), embarazo, diabetes, EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica), asma, hipertensión, inmunosupresión, enfermedades cardiovasculares, obesidad, insuficiencia renal crónica, neumonía, ingreso a una unidad de cuidados intensivos (UCI) y, por último, el resultado de la prueba de Covid-19. Por otro lado, se omitieron las variables relacionadas con el registro y carácter social del paciente tales como etnia, lengua originaria, condición migratoria entre otras.

Los análisis estadísticos se efectuaron mediante el software gratuito R. se comenzó con el filtrado de la información conforme a las variables mencionadas anteriormente, después se cifró cada constante

de acuerdo con los criterios de interés, y por último se extrajeron las estadísticas y los gráficos pertinentes para este análisis. Las principales paqueterías utilizadas fueron *lubridate* para trabajar con variables del tipo *fecha*; *dplyr* para la manipulación de marcos de datos y *ggplot2* para la visualización gráfica de los datos. Para estudiar los factores de riesgo se analizaron los p-valores de las características individuales en el modelo lineal empleado en pos de investigar las muertes como variable de respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de casos confirmados de Covid-19 en México el 31 de julio de 2022 era de 6 761 617, con 327 750 defunciones según los registros de la base de datos nacional. De los positivos, 441 027 (6.52 %) corresponden a menores de edad; 1335 perdieron la vida, lo que representa el 0.41 % de defunciones en la población infantil y el 0.30 % de infantes infectados. En otras palabras, de cada 330 niños contagiados, aproximadamente uno falleció. Los registros del primer caso infectado y la primera muerte en menores de edad datan del 1 de marzo de 2020 y el 13 de abril de 2020 respectivamente.



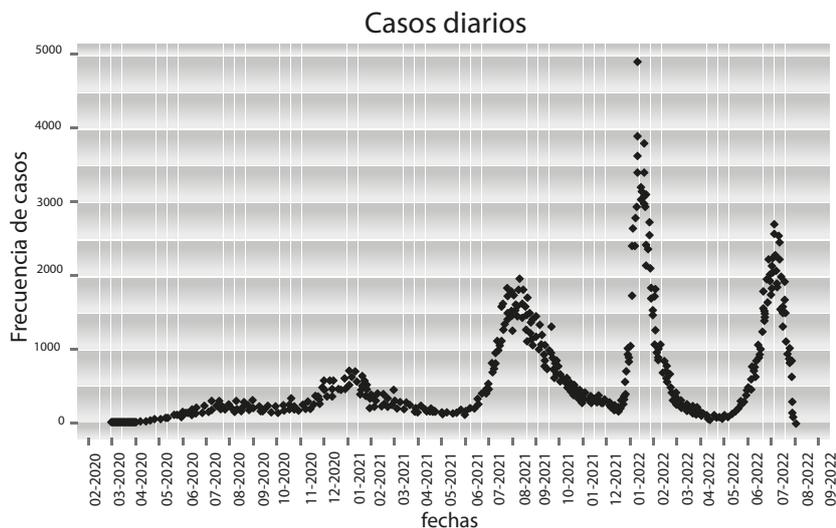


Figura 1. Casos positivos diarios registrados.
Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

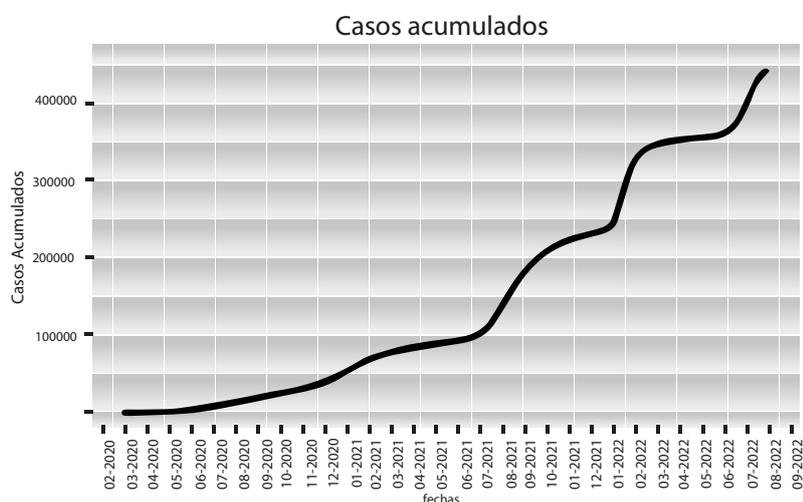


Figura 2. Datos acumulados de casos positivos reportados.
Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

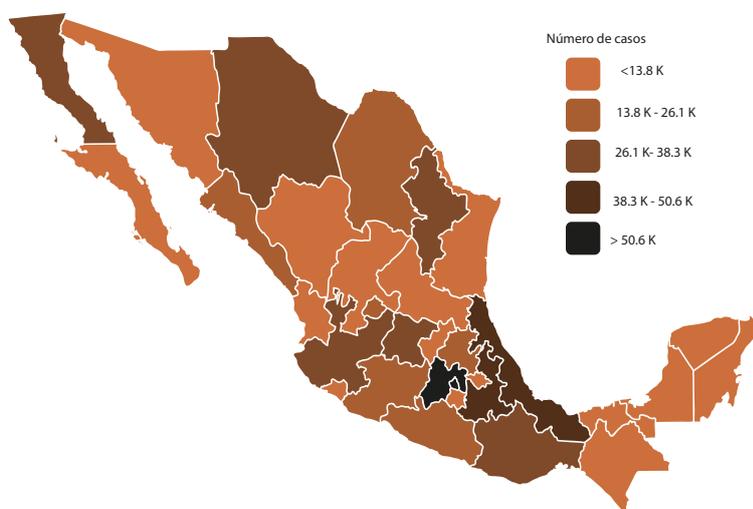


Figura 3. Distribución geográfica de casos confirmados en menores entre 0 y 17 años. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

Desde el comienzo de la pandemia, la tendencia del número de casos positivos en menores de edad ha sido variada pero similar al comportamiento de los casos positivos totales. En la Figura 1 se aprecian cinco olas a lo largo del periodo estudiado; los picos corresponden a las fechas de repuntes de casos diarios y reflejan el comportamiento general de propagación del virus. Las dos primeras olas se mantuvieron por debajo de los 690 casos confirmados, mientras que en el resto los picos máximos registraron 1955, 4918 y 2545 casos confirmados respectivamente, aunque con una temporalidad menor en comparación con las primeras. La Figura 2 muestra la curva de casos acumulados; se puede apreciar el cambio de pendiente entre el inicio de la pandemia y mediados del año 2021 respecto al periodo comprendido entre julio de 2021 y julio de 2022.

En cuanto a la distribución geográfica de los casos Covid-19, la Ciudad de México fue la entidad que más contagios registró, acumulando el 35.08 %; en segundo lugar se ubica el Estado de México con 9.30 %, y en tercer lugar Guanajuato con 5.51 %. Por el contrario, la entidad con menor cantidad de reportes fue Chiapas con 0.36 % (Figura 3).

La distribución de los casos positivos por edades reveló que la mayor incidencia se dio en los individuos de 17 años, con aproximadamente 45 300 casos, que representan el 10.29 % de informes del rango estudiado (0 a 17 años). La edad promedio de contagios es de 11 años, pero el 50 % se concentra en adolescentes entre 12 y 17 años. La Figura 4 grafica la distribución de los casos por edades; las medidas de tendencia central permiten apreciar una asimetría

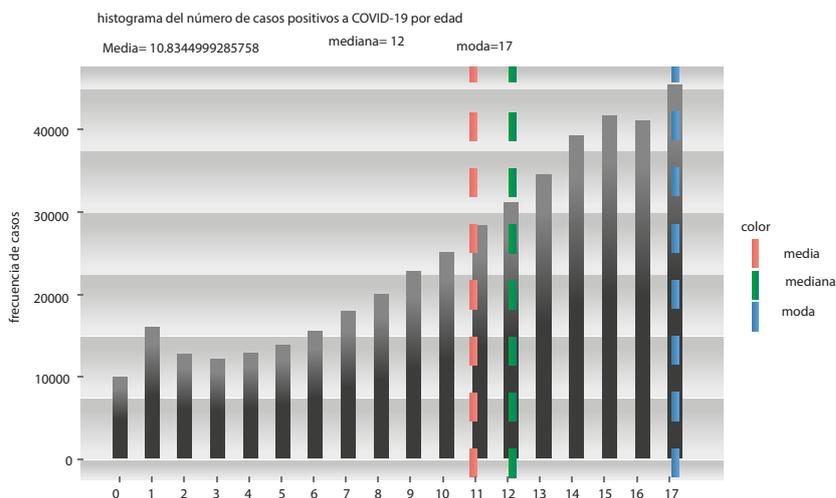


Figura 4. Medidas de tendencia central en la distribución de casos positivos por edades. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

negativa en la distribución de los datos con respecto a la media; la otra mitad de las observaciones está distribuida en un rango más amplio de edades.

En la Figura 5 se observa que la cantidad de defunciones reportadas era baja en comparación con los diarios casos positivos de Covid-19: la cantidad máxima de muertes registradas en un día fue de 14, ocurridas el 23 de agosto del 2021; la mínima, cero.

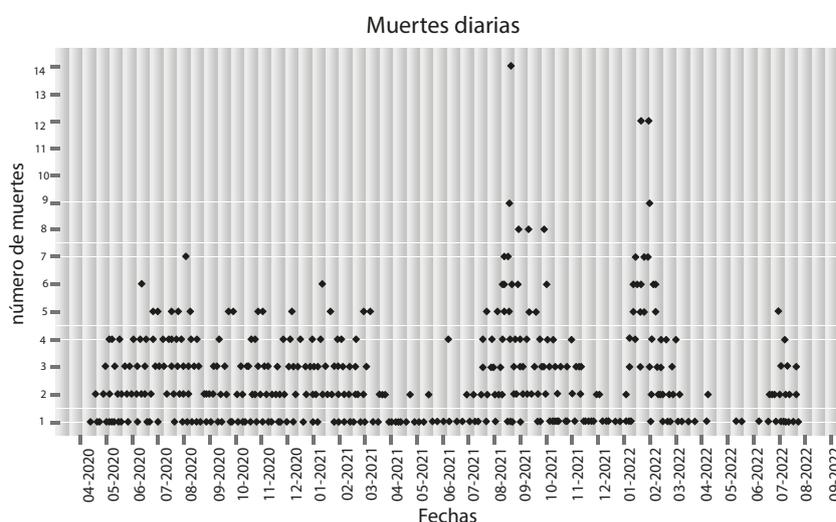


Figura 5. Medidas de tendencia central en la distribución de casos positivos por edades. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

El reparto espacial de las defunciones infantiles en el país fue más inconsistente respecto a la propagación unimodal; en este caso, se presentó una distribución multimodal en la que cinco estados sobresalieron del resto: el Estado de México con 189 defunciones (14.16 %), la Ciudad de México con 100 (7.49 %), Puebla con 93 (6.97 %), Veracruz con 77 (5.77 %) y Baja California con 70 decesos (5.24 %). Por otro lado, las entidades que menos muertes reportaron fueron Campeche, Durango y Colima, que registraron 5 (0.37%), 6 (0.45%) y 7 (0.52%) respectivamente desde el inicio de la pandemia, es decir, menos de una veintena de muertes en más de 126 semanas desde la llegada del virus al país (Figura 6).

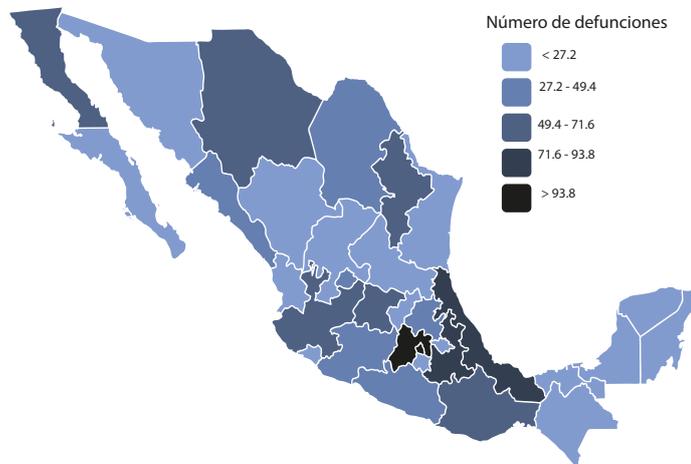


Figura 6. Distribución geográfica de muertes en menores entre 0 y 17 años. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.



Al contrario de la incidencia de contagios, el grupo de individuos de entre 0 y 4 años fue el que presentó mayor mortalidad, especialmente bebés menores a un año, quienes constituyeron la mayor cantidad de muertes con un 22.62 % de los casos, seguidos por niños de 1 año con 16.03 %. Por otra parte, el reporte de muertes en individuos de 5 años fue de 1.65 %. En la Figura 7 se puede apreciar por la línea verde correspondiente a la mediana, que la mitad de las defunciones se concentran en menores de entre 0 y 4 años de edad, mientras que la línea roja indica un promedio de 7 años.

A nivel nacional, los varones presentaron más infecciones de Covid-19 (50.57 %) con una ligera diferencia sobre las mujeres (49.43 %); asimismo, exhibieron el mayor número de muertes (53.41 %, Figura 8). Del total de mujeres contagiadas, se encontró que 1861 (0.85 %) contrajeron el virus durante el embarazo, de estas, 8 perecieron. Al mismo tiempo, se observó que 61 de estos embarazos correspondían a menores de 12 años.

De los 441 027 menores de edad reportados como infectados, el 4.15 % (18 319) requirió de hospitalización; el resto se consideró ambulatorio. El 7.10 % de los casos hospitalizados, terminaron en muerte. Entre tanto, el 0.01 % de los pacientes ambulatorios fallecieron antes de internarse en un hospital. Con respecto a otras características, el 2.38 % de los casos presentaba asma; el 2.27 %, obesidad; el 2.00 %, neumonía; el 0.46 %, inmunosupresión; el 0.37 %, diabetes; el 0.35 %, enfermedades cardiovasculares; el 0.34 % requirió entrar a la unidad de cuidados intensivos; 0.29 % sufrían de hipertensión; el 0.26 % necesitaron intubación; el 0.17 % sufría insuficiencia

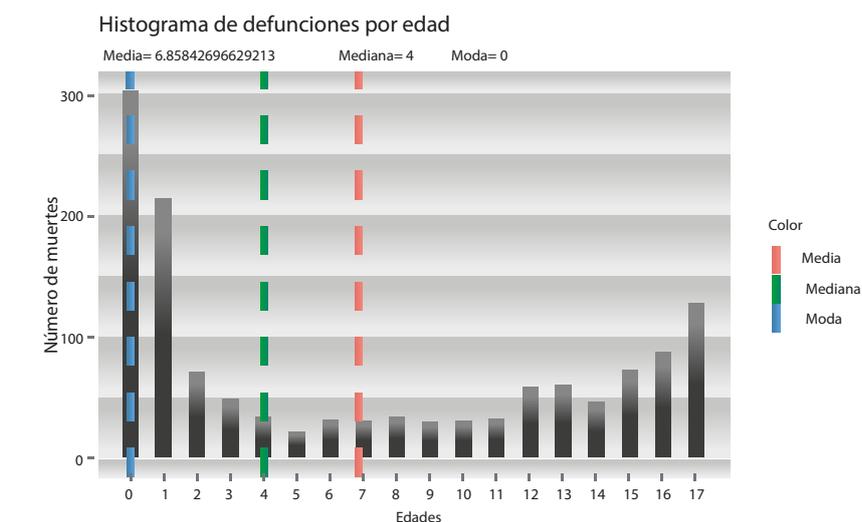


Figura 7. Medidas de tendencia central en la distribución de muertes por edades. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

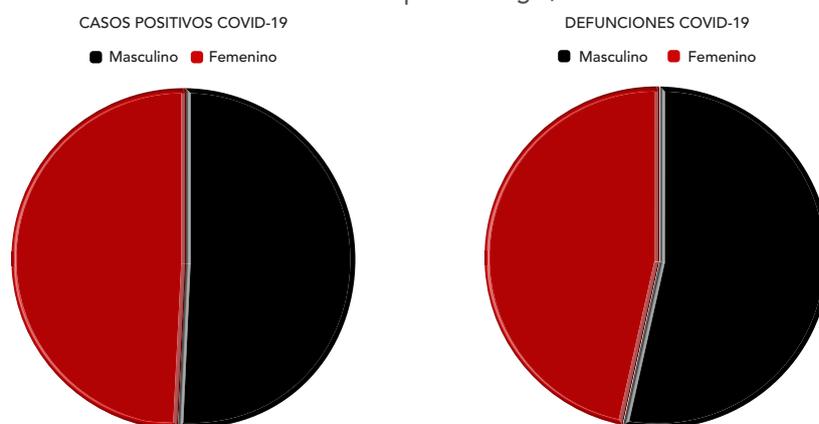


Figura 8. Distribución de casos confirmados y muertes por género. Fuente: Dirección General de Epidemiología, Secretaría de Salud.

renal crónica y finalmente el 0.07 % presentaba EPOC.

Si se observa la distribución de los casos fatales, se describe de la siguiente manera: el 64.72 % tenía diagnóstico de neumonía; el 38.13 % necesitó apoyo respiratorio a través de la intubación; el 25.62 % ingresó a UCI; el 9.36 % presentó inmunosupresión; el 7.12 %, obesidad; el 6.97 % padecía alguna enfermedad cardiovascular; el 4.49 % tenía diabetes; el 4.27 %, hipertensión; el 4.19 %, insuficiencia renal crónica; el 1.42 %, asma, y el 0.30 % EPOC.

Se obtuvieron resultados significativos en todas las variables al ejecutar el modelo lineal ajustado

a la respuesta de mortalidad de la población estudiada; las más influyentes, intubación, neumonía, ingreso a UCI, diabetes, hipertensión, inmunosupresión, enfermedades cardiovasculares, insuficiencia renal crónica y tener entre 0 y 5 años de edad. En cambio, el asma, el EPOC, la obesidad y tener 6 años o más son características con menor influencia para que un caso Covid-19 alcance un grado crítico.

CONCLUSIONES

Los niños y adolescentes de México son la población menos propensa a contraer Covid-19, sin embargo, tienen la posibilidad de

correr riesgos graves en caso de una infección. En este estudio se determinó que aproximadamente **6.52 %** de los casos de coronavirus corresponden a menores de edad de entre **0 y 17 años** con una tasa de mortalidad del **0.30 %**. En [5] los autores reportaban para septiembre de **2020** que el **2.8 %** de los casos y el **1.3 %** de la tasa de mortalidad correspondían a este mismo grupo de estudio; para mediados de junio, en el trabajo realizado por [12], las estadísticas eran del **5.34 %** y **0.60 %** respectivamente, en individuos de **0 a 19 años**. Lo anterior muestra que al inicio de la pandemia, los menores representaron el porcentaje más bajo en el contagio de Covid-19. Y aunque la cifra ha aumentado conforme transcurre el tiempo, a su vez, ha ido disminuyendo la tasa de defunción.

En cuanto a la distribución geográfica, la Ciudad de México y el Estado de México ocupan los primeros dos lugares en contagios y muertes de menores de **18 años**. Según el censo de Población y Vivienda **2020** [16], estos mismos estados albergan el mayor número de habitantes. Simultáneamente, se encuentran Veracruz, Puebla y Guanajuato entre los más poblados del país, los cuales también sobresalieron en este estudio; los dos primeros en defunciones y el último en contagios. De lo anterior, se infiere que hay una relación directa entre el número de casos y defunciones con la población total de las entidades federativas.

El mayor número de contagios dentro de esta población de estudio se reportó en adolescentes de **17 años**, mientras que la mayoría de las defunciones ocurrió en niños pequeños y en niños con comorbilidades, sobre todo en bebés menores a un año.

Los resultados de este estudio sugieren que los menores con una o más comorbilidades son quienes corren mayor riesgo de sufrir una complicación crítica ante el contagio del virus **SARS-CoV-2**. Se encontró que, si bien todas las variables clínicas son significativas en el aumento de la mortalidad, destacan la intubación, el ingreso a cuidados intensivos, inmunosupresión, una edad menor a cinco años, enfermedades cardiovasculares, insuficiencia renal crónica, asma, diabetes y neumonía.

Cabe señalar que la calidad de la información de este trabajo tiene algunas limitaciones; si bien los datos son oficiales, la realidad es que los reportes no son una representación exacta de los casos que surgen en el país, puesto que llegan a existir casos asintomáticos, así como errores en la captura de la información de cada paciente, por mencionar algunos factores. Otra limitante es que este estudio no toma en cuenta la vacunación, debido a que la fuente de información no incorpora esta variable en los registros del enfermo. Como trabajo futuro se puede extender este análisis a los datos actualizados de los próximos meses para evaluar cómo ha sido la dinámica de propagación y las defunciones en este sector ante el regreso a clases presenciales para niños y adolescentes, así como evaluar un método más preciso que determine las características que aumentan la mortalidad infantil.

Es importante continuar estudiando a los menores de edad para entender las necesidades que tienen ante el Covid-19 con la finalidad de que los gobiernos y encargados de la salud puedan proponer medidas de prevención que tomen en cuenta a este sector.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo económico brindado por Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), del Gobierno de México, durante la realización de este trabajo, y al Departamento de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro por su constante apoyo y aliento.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud. "WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard". [en línea] <https://Covid19.who.int/> (consultado el 17 de agosto de 2022).
- [2] Organización Mundial de la Salud. "Considering the impact of COVID-19 on children". [en línea] <https://www.who.int/europe/activities/considering-the-impact-of-Covid-19-on-children> (consultado el 20 de agosto de 2022).
- [3] B. Zheng, H. Wang y C. Yu, "An increasing public health burden arising from children infected with SARS-CoV2: A systematic review and meta-analysis", *Pediatr Pulmonol*, vol. 55, no. 12, pp. 3487-3496, Dec. 2020, DOI: 10.1002/ppul.25008.
- [4] UNICEF. "Covid-19 confirmed cases and deaths." [en línea] <https://data.unicef.org/resources/Covid-19-confirmed-cases-and-deaths-dashboard/> (consultado el 17 de agosto de 2022).
- [5] R. M. Wong-Chew, D. E. Noyola, y A. R. Villa, "Clinical characteristics and mortality risk factors in patients aged less than 18 years with COVID-19 in Mexico and Mexico City", *An Pediatr (Engl Ed)*, 2021, DOI: 10.1016/j.anpedi.2021.07.014.
- [6] "Más de mil menores han muerto por Covid en México." El Sol de México. [en línea] <https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/cuantos-ninos-han-muerto-por-Covid-en-mexico-7881235.html> (consultado el 18 de agosto de 2022).
- [7] "¿Cómo ha afectado la Covid-19 a menores de edad en México?", Redacción El Economista, 13 de julio de 2022. Consultado el 18 de agosto de 2022. [en línea] <https://www.economista.com.mx/politica/Como-ha-afectado-la-Covid-19-a-menores-de-edad-en-Mexico-20220713-0029.html>
- [8] P. Zimmermann y N. Curtis, "COVID-19 in Children, Pregnancy and Neonates: A Review of Epidemiologic and Clinical Features", *Pediatric Infectious Disease Journal*, pp. 469-477, 2020, DOI: 10.1097/INF.0000000000002700.
- [9] K. A. M. Gaythorpe et al., "Children's role in the COVID-19 pandemic: a systematic review of early surveillance data on susceptibility, severity, and transmissibility", *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, 2021, DOI: 10.1038/s41598-021-92500-9.
- [10] I. Dattner et al., "The role of children in the spread of COVID-19: Using household data from Bnei Brak, Israel, to estimate the relative susceptibility and infectivity of children", *PLoS Comput Biol*, vol. 17, no. 2, 2021, DOI: 10.1371/JOURNAL.PCBI.1008559.
- [11] R. Rivas Ruiz et al., "Mortality risk factors in Mexican children with Covid-19", *Gac Med Mex*, vol. 156, no. 6, pp. 526-532, 2020, DOI: 10.24875/GMM.20000478.
- [12] C. Sanchez Piedra, A. E. Gamiño Arroyo, C. Cruz Cruz, y F. J. Prado Galbarro, "Impact of environmental and individual factors on COVID-19 mortality in children and adolescents in Mexico: An observational study", *The Lancet Regional Health - Americas*, vol. 8, p. 100184, 2022, DOI: 10.1016/j.100184, 2022, DOI: 10.1016/j.
- [13] "Vacunación contra COVID-19 para adolescentes de 12-17 años". Secretaría de Salud. <http://vacunaCovid.gob.mx/wordpress/vacuna-Covid19-adolescentes/> (consultado el 9 de marzo de 2022).
- [14] "Vacunación contra COVID-19 para niñas y niños de 5 a 11 años", Secretaría de Salud. Junio de 2022. [en línea] <https://vacunaCovid.gob.mx/vacunacion-contr-Covid-19-para-ninas-y-ninos-de-5-a-11-anos/> (consultado el 20 de agosto de 2022).
- [15] "Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología". Datos Abiertos Dirección General de Epidemiología (consultado el 31 de julio de 2022).
- [16] "Censo de población y vivienda 2020 comunicado de prensa". INEGI [en línea] <http://censo2020.mx/>

DIFERENCIAS EN LAS REPRESENTACIONES SOCIALES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN UN GRUPO MIXTO DE ESTUDIANTES

DIFFERENCES IN THE SOCIAL REPRESENTATIONS OF CLIMATE CHANGE AMONG A MIXED GROUP OF STUDENTS

Luis Enrique Díaz Zepeda^{1*}
María Pamela Bermúdez González²

¹Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro

²Museo de Ciencias XIMHAI,
Universidad Autónoma de Querétaro

*mvz.ezepeda@gmail.com



RESUMEN

La teoría sociopsicológica de las representaciones sociales identifica los saberes previos de una población respecto a una temática de interés particular. Gracias a su flexibilidad, es aplicable en contextos de investigación educativa. En este artículo seguimos una metodología de tipo cualitativo para identificar las diferencias en las representaciones sociales dentro de 2 grupos estudiantiles de diferentes niveles educativos respecto al fenómeno del cambio climático. El objetivo es evaluar la eficacia del cuestionario como instrumento de recolección de datos para un trabajo a futuro con poblaciones de mayor tamaño. Trabajamos con estudiantes de nivel secundaria y preparatoria, habitantes de comunidades rurales del municipio de El Marqués y alumnos de licenciatura de la ciudad de Querétaro. En los resultados encontramos que las principales diferencias aparecen en las fuentes primarias de conocimientos previos entre ambos grupos; de igual modo, se observaron discrepancias en las percepciones de proximidad por las

afectaciones del cambio climático, principalmente a nivel de comunidad y a nivel personal en ambos grupos. En conclusión, las discrepancias son en consecuencia al contexto social y la edad.

Palabras clave: cambio climático, educación, representaciones sociales, saberes previos.

En el siguiente artículo se identifican las diferencias en las representaciones sociales respecto a los fenómenos del cambio climático, a través de cuestionarios aplicados a estudiantes de secundaria y preparatoria, en pos de reconocer las percepciones de proximidad causadas por las afectaciones climáticas.

ABSTRACT

The socio-psychological theory of social representations identifies the prior knowledge of a popu-

lation with respect to a particular topic of interest. Thanks to its flexibility, it is applicable in educational research contexts. In this case study, we followed a qualitative methodology to identify the differences in social representations within two groups of students from different educational levels regarding the phenomenon of climate change. The objective is to evaluate the effectiveness of a questionnaire as a data collection instrument for future work with larger populations. We worked with middle and high school students, inhabitants of rural communities in the municipality of El Marqués and undergraduate students in the city of Querétaro. In the results we found that the main differences appear in the primary sources of prior knowledge between both groups; similarly, discrepancies were observed in the perceptions of proximity to climate change impacts, mainly at the community and personal levels in both groups. We conclude that these differences are due to age as well as social context.

Keywords: climate change, education, social representations, prior knowledge.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra, a través de la teoría de las representaciones sociales de Serge Moscovici [1], en la búsqueda de los saberes previos sobre el cambio climático que sostiene un grupo de estudiantes voluntarios de diferentes niveles educativos, así como la proximidad con la que se sienten relacionados a este fenómeno.

Las representaciones sociales constituyen el conocimiento ordinario y cotidiano que la sociedad



construye paulatinamente; estas nociones se comparten entre grupos sociales y se apoyan de la experiencia para dar una visión de la realidad y encaminar al cotidiano [2]. Además, ofrecen herramientas y metodologías para el estudio de problemas sociales específicos, como el estudio de caso del presente trabajo.

Para discutir el cambio climático, fue pertinente partir de la definición que inició con el estudio del fenómeno de manera formal; de acuerdo con la ONU durante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992, el cambio climático es "atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial, y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comprobables" [3].

Este trabajo es el resultado de una prueba piloto para la aplicación de un cuestionario como instrumento de recolección de datos. El objetivo es evaluar dicho instrumento y realizar los ajustes necesarios para su posterior uso en el desarrollo de un trabajo de tesis, en relación con representaciones sociales sobre cambio climático en alumnos de escuelas públicas de Querétaro.

METODOLOGÍA

El enfoque cualitativo resulta idóneo para estudiar el contexto social educativo, puesto que el investigador escoge los instrumentos y métodos de recolección de datos más idóneos, y a menudo lleva a cabo la recolección *in situ*. De los métodos disponibles para la extracción de datos, los más

empleados son la observación, entrevistas, cuestionarios, revisión de bibliografía, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida e interacción con grupos [4, 5].

En lo que respecta a la muestra, esta se conformó a conveniencia dadas las circunstancias: 9 estudiantes voluntarios clasificados de la siguiente manera: 3 estudiantes de tercero de secundaria, 1 estudiante de quinto semestre de preparatoria, 1 estudiante de finanzas, 2 estudiantes de matemáticas aplicadas y 2 estudiantes de químico farmacobiólogo.

Una parte de la muestra constaba de alumnos de secundaria y

preparatoria que asistían a clases sabatinas de regularización; la otra parte del grupo, estudiantes de diferentes licenciaturas, quienes se encontraban prestando su servicio social como apoyo en las clases de regularización. Cabe aclarar que los de secundaria y preparatoria asisten a escuelas de zonas rurales en la comunidad de Amazcala en el Municipio de El Marqués en Querétaro y comunidades aledañas, mientras que los estudiantes de licenciatura asisten a la universidad en la capital del estado de Querétaro.

Para la obtención de las representaciones sociales se realizó la aplicación de un cuestionario con preguntas abiertas (Figura 1).

Sexo: _____ Edad: _____ Grado escolar: _____

Lee con atención y responde brevemente

1. ¿Qué es y qué significa el Cambio Climático?
2. ¿Dónde has escuchado acerca del Cambio Climático?
3. ¿Qué es lo que has escuchado sobre el Cambio Climático?
4. Cuando escuchas Cambio Climático ¿Qué piensas, qué palabras o frases vienen a tu mente?
5. ¿En tus materias escolares te hablaron sobre el Cambio Climático? Si sí te hablaron ¿Qué materias fueron y qué fue lo que te dijeron?
6. Describe el Cambio Climático con tus propias palabras.
7. Menciona problemas ambientales que consideres estén relacionados al Cambio Climático.
8. ¿Qué factores consideras que contribuyen al Cambio Climático?
9. ¿Has escuchado sobre la globalización? ¿Qué has escuchado?
10. ¿Crees que la globalización tenga algún impacto en el Cambio Climático?
11. ¿Cómo afecta el cambio climático?
Al planeta: Al país: A tu comunidad: A tu familia y a ti:
12. ¿Qué consideras como principal(es) causa(s) del Cambio Climático?
13. ¿Consideras que es más necesario actuar para reducir el cambio climático o actuar para adaptarnos al cambio climático? ¿Por qué?
14. ¿Qué acciones consideras que pueden ayudar a disminuir el Cambio Climático?
15. ¿Qué acciones haces tú para disminuir los efectos del Cambio Climático?
16. ¿Consideras que se debería hablar más sobre el cambio climático en la escuela? ¿Por qué?

Figura 1. Cuestionario sobre conocimientos previos del Cambio Climático.



La estructura del cuestionario se diseñó con la finalidad de obtener datos respecto a las fuentes primarias como objetivo fundamental. Posteriormente se sondeó el conocimiento en cuanto a causas y consecuencias del cambio climático; en las consecuencias, se implementó una estructura deductiva: yendo de las afectaciones a nivel global hasta llegar al nivel familiar y personal. Finalmente, se exploraron las actividades que los participantes llevan a cabo para reducir el impacto de las consecuencias del cambio climático.

Aunque la finalidad de este trabajo fue evaluar la efectividad del cuestionario, se gestionó una revisión previa con colegas profesores cuya experiencia en la elaboración de reactivos es mayor. Los datos obtenidos tras la aplicación fueron ordenados y agrupados para su posterior análisis; los resultados se muestran en el siguiente apartado.

RESULTADOS

A fin de contrastar los resultados, los estudiantes de licenciatura se organizaron como un grupo y los de secundaria como otro. Tras integrar y analizar los datos, pueden observarse los conocimientos previos de los estudiantes respecto al fenómeno del cambio climático, así como de dónde los han obtenido. A la vez, se evidencia el nivel de proximidad que sienten en relación con el fenómeno y sus consecuencias desde el nivel global a lo más personal. Respecto al primer objeto de interés, se detectaron siete fuentes distintas; resalta que la mayoría de los estudiantes mencionó más de una (Figura 2).

FUENTES DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

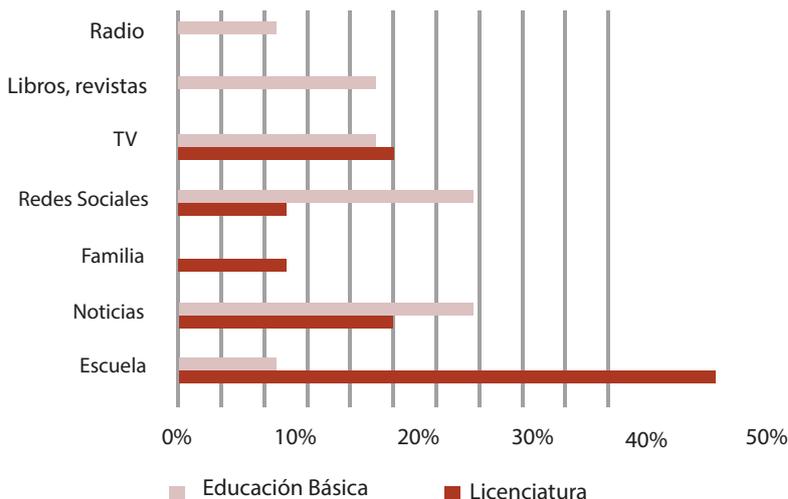


Figura 2. Fuentes de conocimientos previos (la categoría TV abarca series, películas y documentales).

CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

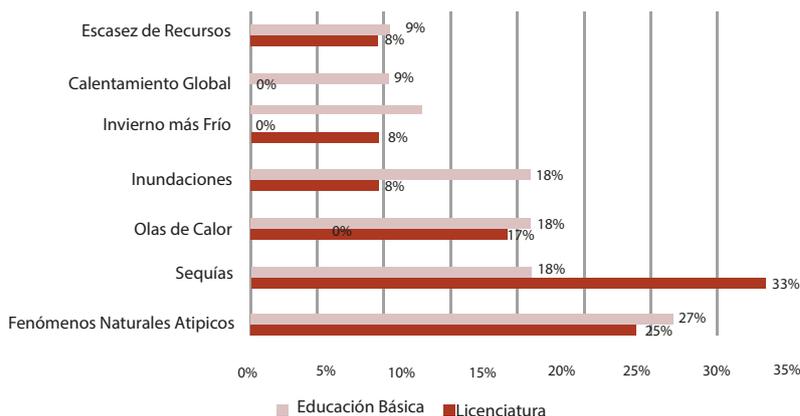


Figura 3. Causas del cambio climático.

Se observan diferencias marcadas entre ambos grupos de estudio respecto a las fuentes de conocimientos previos sobre el cambio climático: entre los estudiantes de licenciatura, la fuente principal es la escuela; en contraste, los estudiantes de educación básica tienen por fuentes principales las redes sociales y noticieros. Solo un estudiante mencionó que su familia le ha hablado sobre el cambio climático y, asimismo, solo un estudiante recordó haber escuchado el tema en clases.

Las respuestas, en cuanto a las causas del cambio climático, fueron variadas (Figura 3), podría decirse que ambiguas y calçadas. Ocultan la profundidad de las causas y cómo es que estas ejercen sus efectos.

En vez de agrupar las causas por grupos similares, como podría ser "quemar combustibles fósiles" junto a "gases de efecto invernadero", se muestran las respuestas obtenidas, ya que faltó variedad en ellas. En su mayoría, las unas



implican a las otras, pero los estudiantes fueron incapaces de notarlo.

Respecto a las intempestivas del cambio climático, encontramos sobre todo respuestas relacionadas con el aumento de temperatura, a saber, sequías y olas de calor; sin embargo, un estudiante mencionó inviernos más intensos y otro resaltó la diferencia entre *cambio climático* y *calentamiento global* (Figura 4).

Con el objetivo de determinar la proximidad que los estudiantes sienten hacia el fenómeno de cambio climático, se les pidió que a través de embudo interpretarían la repercusión de estos cambios en el mundo; se empezó por las afectaciones al planeta para finalmente llegar a las afectaciones a su persona.

En el nivel global aparecieron pocas diferencias; en ambos grupos, la principal afectación que se menciona es la destrucción de ecosistemas; un estudiante de educación básica menciona además el derretimiento de glaciares, y uno de licenciatura considera que no hay afectaciones, puesto que a ese nivel "es algo normal" (Figura 5).

En segundo lugar, el nivel de proximidad nacional; aquí, la principal diferencia se encuentra en que los estudiantes de licenciatura aluden mayormente a los impactos económicos; por su parte, los de básica mencionaron dos afectaciones que el otro grupo desconocía: la precarización de condiciones laborales y la aparición de enfermedades nuevas (Figura 6).

En tercer lugar, corresponde a la comunidad donde radican los estudiantes; en esta ocasión, los alumnos de licenciatura destacaron

CAUSAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

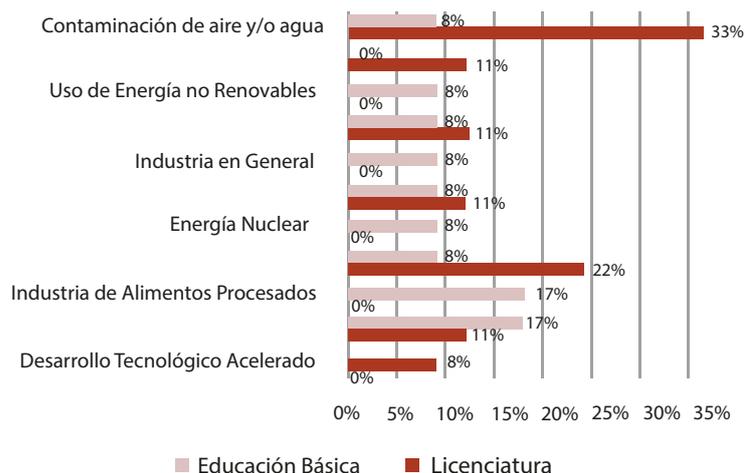


Figura 4. Consecuencias del cambio climático.

AFECTACIONES AL PLANETA

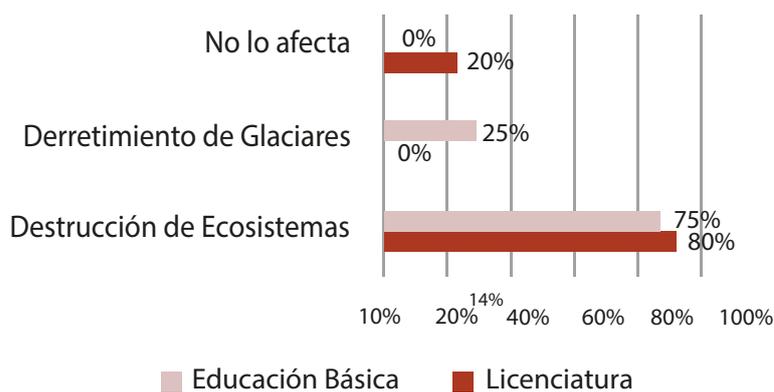


Figura 5. Afectaciones del cambio climático al planeta.

AFECTACIONES AL PAÍS

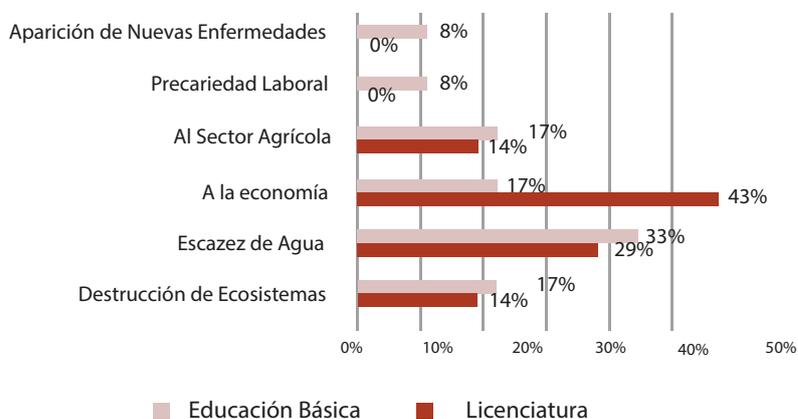


Figura 6. Afectaciones del cambio climático a nivel nacional.

las afectaciones al sector agrícola como las más prominentes, mientras que los de educación básica nombraron la escasez de agua. Otra diferencia notable es que los primeros nuevamente refieren la destrucción de los ecosistemas; el otro grupo, menciona las sequías (Figura 7).

En último lugar, se encuentra la cercanía a nivel familiar y personal. Aquí la mayor diferencia fue que los estudiantes de educación básica listaron la escasez de agua como principal afectación y en segundo lugar la inflación; su contraparte de licenciatura, la inflación y tres afectaciones más no mencionaron los otros estudiantes (Figura 8).

También se les pidió a los estudiantes que especificaran si realizan actividades que ayuden a disminuir los efectos del cambio climático. En este apartado se encontraron numerosas diferencias: ambos grupos coinciden en reducir su consumo de agua y evitar compras innecesarias; los estudiantes de licenciatura mencionaron: el uso de transportes de bajo impacto como la bicicleta, reparar prendas para prolongar su vida útil y la separación de residuos; el otro grupo señaló reforestar, reciclar envases de PET y desconectar aparatos en desuso; uno de los estudiantes mencionó omisión para combatir el cambio climático (Figura 9).

AFECTACIONES A LA COMUNIDAD

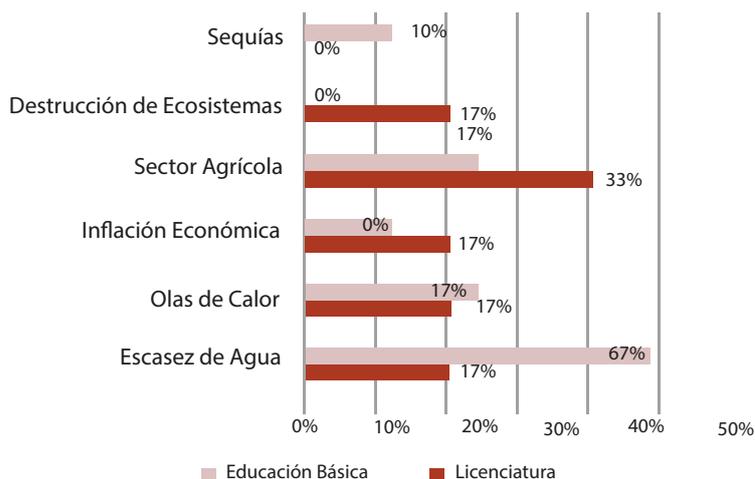


Figura 7. Afectaciones del cambio climático a la comunidad.

AFECTACIONES A SU FAMILIA Y PERSONA

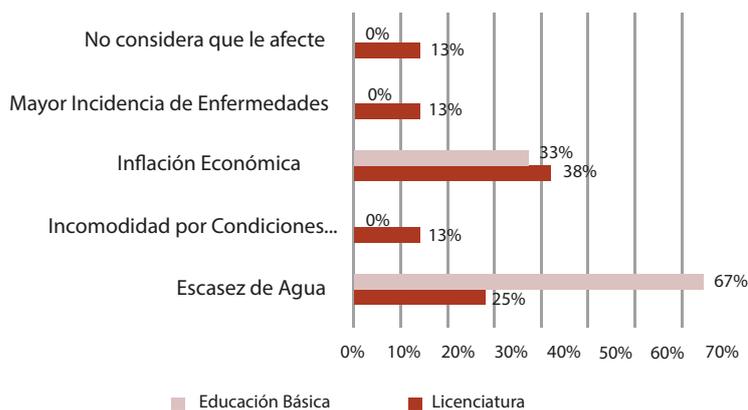


Figura 8. Afectaciones a nivel familiar y personal.

ACCIONES PERSONALES CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

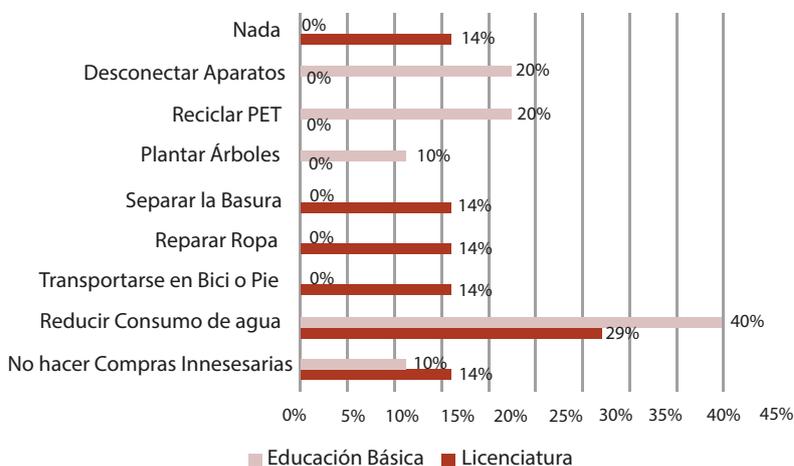


Figura 9. Acciones personales para reducir los efectos del cambio climático.





CONCLUSIONES

Aunque hay algunas situaciones donde las percepciones de ambos grupos fueron similares, en otras se percibe un gran contraste. Por ejemplo, algunos estudiantes de licenciatura reportan que la escuela es su principal fuente de conocimientos previos, a diferencia del otro grupo, que menciona las redes sociales. Esta discordancia se puede atribuir a varios factores; la diferencia de edades entre ambos grupos podría ser uno, ya que los más jóvenes se encuentran más inmersos en las redes sociales, a diferencia de los universitarios, quienes experimentaron una exposición más tardía a dichas plataformas; por otro lado, quizás intervengan los cambios en los planes de estudio en educación pública a lo largo de los años. Para confirmar estas suposiciones, es necesario revisar los planes educativos en el periodo de educación básica de los actualmente universitarios y cotejarlos con el plan vigente al momento de realizar este trabajo.

En cuanto las causas y consecuencias del fenómeno de cambio climático, las diferencias no fueron tan notorias; sin embargo, en cuestión de percepción de proximidad a las afectaciones del fenómeno, se manifestó la mayor discrepancia a nivel personal, ya que los estudiantes mencionaron, con mayor frecuencia, que la falta de agua implicaría una afección -significativa- tanto sobre sus familias como su persona. Esto podría significar que en sus comunidades la escasez de agua es más frecuente que en la zona metropolitana.

El estudiante que negó las afectaciones del cambio climático fue el mismo que no realiza ninguna acción por combatir los efectos del fenómeno. Su apatía puede

deberse a su posición económica y social, ya que, aunque está al tanto de la realidad global del fenómeno, no logra ver cómo lo afecta personalmente dados sus privilegios.

Finalmente, se considera que el cuestionario es eficaz para recopilar los datos de interés, a reserva de mínimas modificaciones para su aplicación con una población de mayor tamaño para la realización del trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al programa de Intervenciones Comunitarias de la Universidad Autónoma de Querétaro por la invitación a su Curso de Regularización de Matemáticas y Ciencias y a los estudiantes voluntarios, tanto asistentes al programa como los prestadores de servicio social que apoyaron con sus respuestas para la realización de este trabajo.

De igual manera agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca brindada como apoyo durante el posgrado en curso, del cual se desprende parte de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al doctor Jesús Hinojos por auxiliarnos con la revisión del escrito con el software Turnitin para la detección de posible plagio.

REFERENCIAS

[1] S. Moscovici, *La psychanalyse son image et son public. [El Psicoanálisis, su Imagen y su Público]* (Finetti, N. M., Trad) Huemul S. A. (Original work published 1961). 1979.

[2] D. Jodelet, "Aportes de las representaciones sociales en la educación" *Espacios en Blanco. Serie Indagaciones. Revista de Educación*, no. 21 pp.133-154, 2011.

[3] Organización de las Naciones Unidas. "Report of the Intergovernmental Negotiating Committee for a Framework Convention on Climate Change on the work of the second part of its fifth session, held at New York from 30 April to 9 May 1992". pp. 5, 1992.

[4] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, M. P. Baptista Lucio, (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª Ed). McGraw Hill.

[5] S. Fàbregues, J. Meneses, D. Rodríguez Gómez, M. Hélène Paré, (2016). *Técnicas de investigación social y educativa* (1ª Ed). UOC.

DIFERENCIAS DE ATENUACIÓN SÍSMICA EN UN ANÁLISIS POR TRAYECTORIAS: ZONA DE SUBDUCCIÓN HACIA QUERÉTARO

DIFFERENCES IN SEISMIC ATTENUATION IN A TRAJECTORY
ANALYSIS: SUBDUCTION ZONE TOWARDS QUERÉTARO

Paola Liliana Sánchez López^{1*}
Alejandro Clemente Alvarado Chávez²
Ángel Gregorio Figueroa Soto³
Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández⁴

*División de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería^{1,2 y 4}
Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra³
Universidad Autónoma de Querétaro^{1,2 y 4}
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo³*

paosalop8@gmail.com^{1}
alejandro.clemente@uaq.mx²
angfsoto@gmail.com³
miguel.perezlara@uaq.edu.mx⁴*

RESUMEN

Algunas investigaciones sugieren que, debido a la composición morfotectónica de la faja volcánica transmexicana (FVTM), existen diferencias significativas en el comportamiento de las señales sísmicas provocadas por los terremotos con fuente en la zona de subducción y lugares dentro de la FVTM. El interés de este artículo es presentar esas diferencias mediante el análisis de cuatro trayectorias particulares: Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca, cuatro desplazamientos convergen a la misma dirección, al estado de Querétaro, que se encuentra dentro de la FVTM. Se analizan 40 registros sísmicos de velocidad de ocho movimientos telúricos interplaca para encontrar las diferencias de aceleración pico

Es interesante examinar el comportamiento de las señales sísmicas provocadas por los terremotos, ya que comparten la particularidad de que las anomalías provienen de la misma fuente, que viene a ser la zona y lugar de subducción dentro de la faja volcánica transmexicana.

del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) para cada trayectoria. Asimismo, se comparan los valores obtenidos con tres relaciones de atenuación, dos las cuales rigen el peligro sísmico en México.

Palabras clave: atenuación sísmica, FVTM, interplaca, PGA.

ABSTRACT

Research suggests that because of the morphotectonic composition of the Trans-Mexican Volcanic Belt (TMVB) there are significant differences in the behavior of the seismic signals caused by the earthquakes originated in the Mexican subduction zone, and other places inside the TMVB. This article focuses on showing these differences through the analysis of four trajectories in particular: Colima, Michoacan, Guerrero and Oaxaca, each trajectory headed to the state of Queretaro, located within the TMVB. To identify these differences, we analyze 40 seismic speed entries from eight interplate earthquakes. The results show the differences in the peak ground acceleration (PGA) for each path, and we compare the results with three attenuation relationships; two of which measure the seismic danger in Mexico.

Keywords: seismic attenuation, TMVB, Interplate, PGA.





INTRODUCCIÓN

La zona de subducción mexicana es una de las regiones sismogénicas más activas del mundo [10]. Esta actividad se debe principalmente a la interacción entre las placas Norteamericana, de Cocos, del Pacífico, Rivera y Caribe, así como las fallas locales, pero estas últimas de menor incidencia [12]. Como se muestra en la Figura 1, los estados de Oaxaca, Guerrero, Chiapas, Michoacán, Jalisco y Colima cuentan con mayor sismicidad [13], pues en ellos se concentran los epicentros de los sismos interplaca causados por la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera bajo la Norteamericana y del Caribe [12].

A partir del estudio de la actividad sísmica de México, se han desarrollado métodos semiempíricos para conocer cómo disminuye la intensidad de la carga sísmica en función de la distancia a su origen.

Estas investigaciones de atenuación sísmica son fundamentales para estimar el peligro sísmico de una región, y a su vez, permiten establecer criterios de diseño adecuados para las construcciones.

La faja volcánica transmexicana (FVTM) es una de las áreas de mayor interés para las investigaciones geológicas y geofísicas [6]. En varias de ellas se plantea que, debido a su composición morfotectónica, las señales sísmicas provenientes de la zona de subducción pueden amplificarse o atenuarse [3, 14]. De igual manera, se han hecho estudios que exponen de forma general las diferencias de atenuación hacia la parte central y a lo largo de la zona de subducción del país; sin embargo, se omitieron datos dentro de la FVTM, o bien, se hicieron simulaciones para una sola trayectoria [1].

Al momento de esta investigación se desconocen las diferencias

cuantitativas que llegan a existir entre los valores probables de aceleración pico del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) dentro de la FVTM, en particular para la ciudad de Querétaro [11]. En este artículo se realizó el análisis de la señal sísmica por medio de cuatro trayectorias desde la zona de subducción hacia Querétaro: Colima, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Los resultados se comparan con tres relaciones de atenuación; la primera de ellas, propuesta por Mario Ordaz en 1989 [9], se basa en sismos interplaca registrados en su mayoría por la red de Guerrero; la segunda, de Daniel García [5], se desarrolla a partir de eventos entre los estados de Colima y Oaxaca; y la tercera, por Alejandro Clemente [1], se enfoca particularmente, en la trayectoria de Guerrero a Querétaro.

Se concibe que la metodología ayude a determinar cuál es la trayectoria que presenta mayor riesgo sísmico para la Ciudad.

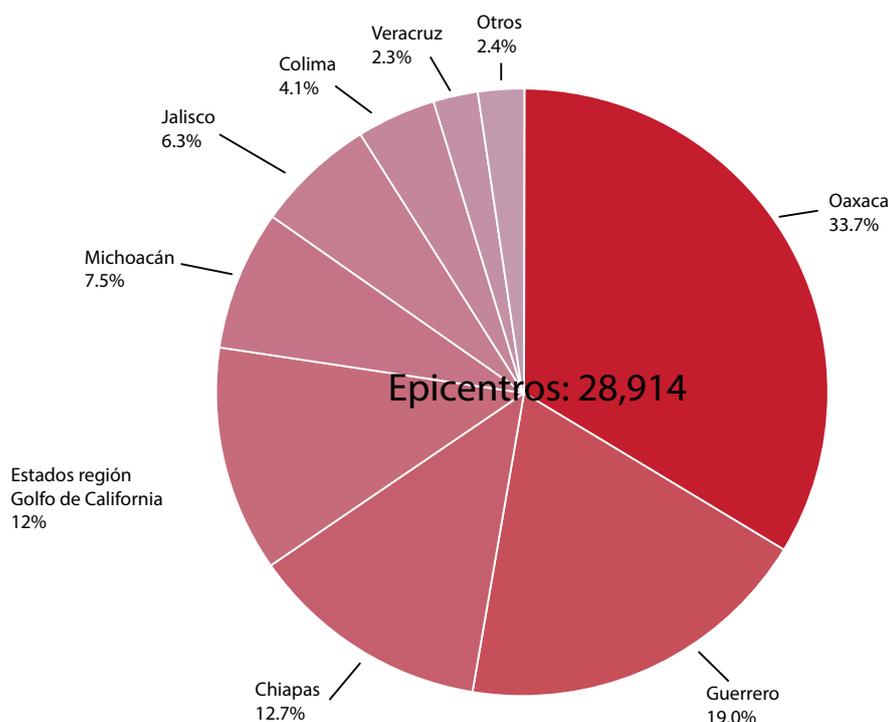


Figura 1. Sismicidad anual en México 2021 [13].

DATOS

Se emplearon 40 registros de velocidad de ocho sismos interplaca ocurridos entre los años 2012 y 2018. Los datos tienen un rango de magnitud de momento (M_w) de 5.1 a 7.2 y una profundidad (H) de 3.2 a 20 km (Tabla 1).

En la Figura 2 se grafican los epicentros de los sismos y las estaciones a cargo del Servicio Sismológico Nacional (SSN) de las cuales se obtuvo esta información. La red de banda ancha del SSN está equipada con sismómetros STS-2 cuyas frecuencias de muestreo van de 80 a 100 Hz.

Tabla 1. Sismos analizados en este estudio.

TRAYECTORIA	EVENTO	FECHA UTC	HORA UTC	LATITUD ° N	LONGITUD ° W	H Km	MAGNITUD M_w	REGISTROS
COLIMA	1	20/02/2013	21:23:09	18.500	-103.990	3.2	5.6	6
	2	09/02/2018	14:05:48	18.950	-104.810	3.5	5.9	6
MICHOCÁN	3	11/04/2012	22:55:10	17.922	-103.068	20.0	6.4	4
	4	17/07/2018	8:54:37	18.140	-103.520	5.0	5.1	5
GUERRERO	5	08/05/2014	17:00:14	16.990	-100.920	10.0	6.5	5
	6	10/05/2014	7:36:00	17.040	-100.890	10.0	6.1	5
OAXACA	7	08/05/2016	7:33:59	16.320	-97.880	7.4	6	5
	8	16/02/2018	23:39:39	16.220	-98.010	16.0	7.2	4

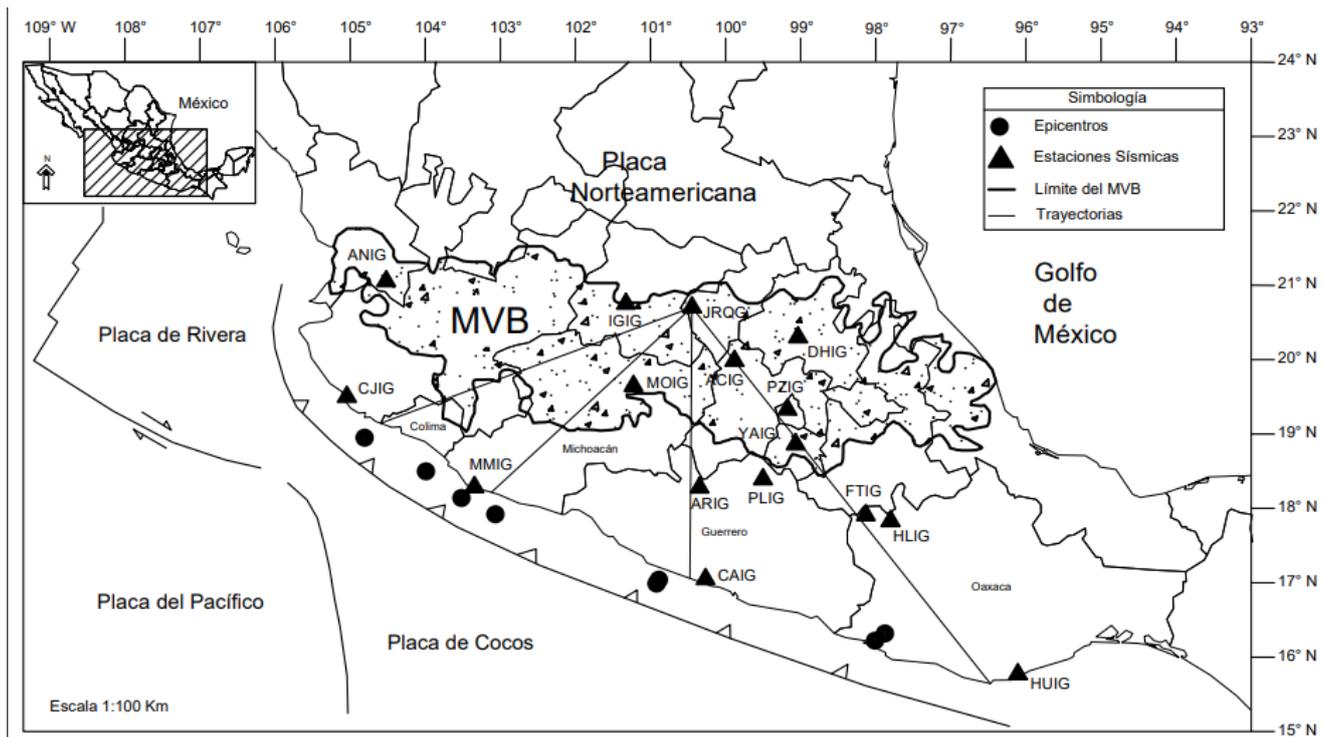
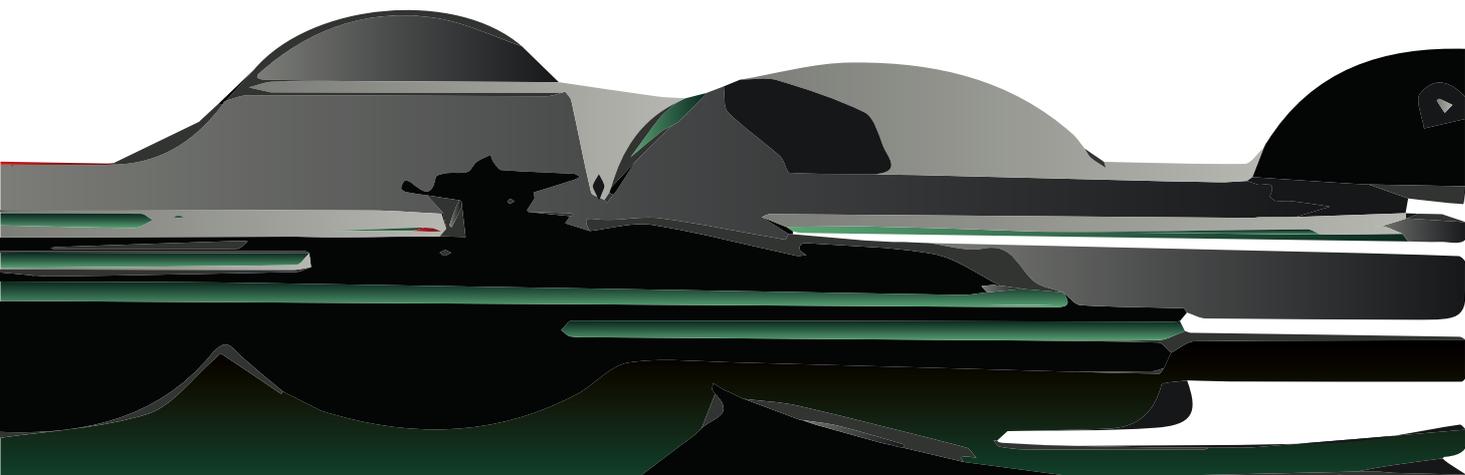


Figura 2. Ubicación de epicentros analizados en este estudio.





METODOLOGÍA

52

Para determinar los valores de **PGA** se recopilaron los sismogramas de las trazas de velocidad de sitios en roca. El primer paso fue elegir señales completas con alta relación señal-ruido ($S/R > 2.5$) [2]; este nivel se estimó a partir de cocientes espectrales H/V [7, 8].

Posteriormente, se recortaron los registros a ventanas de tiempo entre 5 y 50 segundos a partir del inicio de la onda S para obtener los puntos máximos. A cada serie de tiempo se le aplicó una deconvolución y corrección de línea base; para tal fin fue necesario construir un archivo de polos y ceros [4].

El **PGA** empleado se obtuvo mediante los promedios cuadráticos de la aceleración máxima de las componentes horizontales de cada registro con base en la ecuación (1) [2].

$$PGA = \sqrt{\frac{A_E^2 + A_N^2}{2}} \quad (1)$$

Se determinaron las distancias hipocentrales a cada estación a partir de la profundidad (H) y distancia epicentral de cada evento sísmico, con la finalidad de graficar los resultados y observar la atenuación de las ondas sísmicas en función de la distancia respecto a la fuente. Como ya se mencionó antes, a modo de punto de comparación se utilizaron las relaciones de atenuación desarrolladas por Ordaz [9] (Ecuación 2), García [5] (Ecuación 3) y Clemente [1] (Ecuación 4).

$$\log PGA = 1.76 + 0.300Mw - \log R - 0.0031R \quad (2)$$

$$\log PGA = 2.5 + 0.12Mw - 0.0037R - (1.82 - 0.16Mw) \log(R + 0.0075 * 10^{0.474Mw}) - 0.003H \quad (3)$$

$$\log PGA = (-0.25 + 0.325Mw - 0.00608H) + (-0.00125 + 0.00126Mw - 0.000018H)R + (0.00429 - 0.00672Mw + 0.00135H) \log R \quad (4)$$

Las tres ecuaciones involucran las variables de magnitud de momento (Mw) y distancia hipocentral (R). No obstante, en las ecuaciones 3 y 4 se agrega la profundidad (H).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 3-6 se muestra la comparación de los **PGA** observados en este estudio con los valorados por medio de las tres relaciones de atenuación. Se consideró la banda de desviación estándar de cada una de ellas como ± 0.25 (factor de sobreestimación de 1.78) para la ecuación de Ordaz

[9]; ± 0.33 (factor de sobreestimación de 2.13) para la de García [5] y ± 0.21 (factor de sobreestimación de 1.62) para la propuesta de Clemente [1].

En cuanto a la trayectoria de Colima (Figuras 3a-3f), se destaca que los valores de **PGA** calculados con las relaciones de atenuación se encuentran sobreestimados en

los primeros 200 km con respecto a los observados. Después de tal distancia, los valores analizados convergen con las bandas de desviación estándar de las ecuaciones de atenuación propuestas por García [5] y Clemente [1]; estos dos últimos modelos son los que describen con mayor precisión los valores de **PGA** en esta trayectoria.

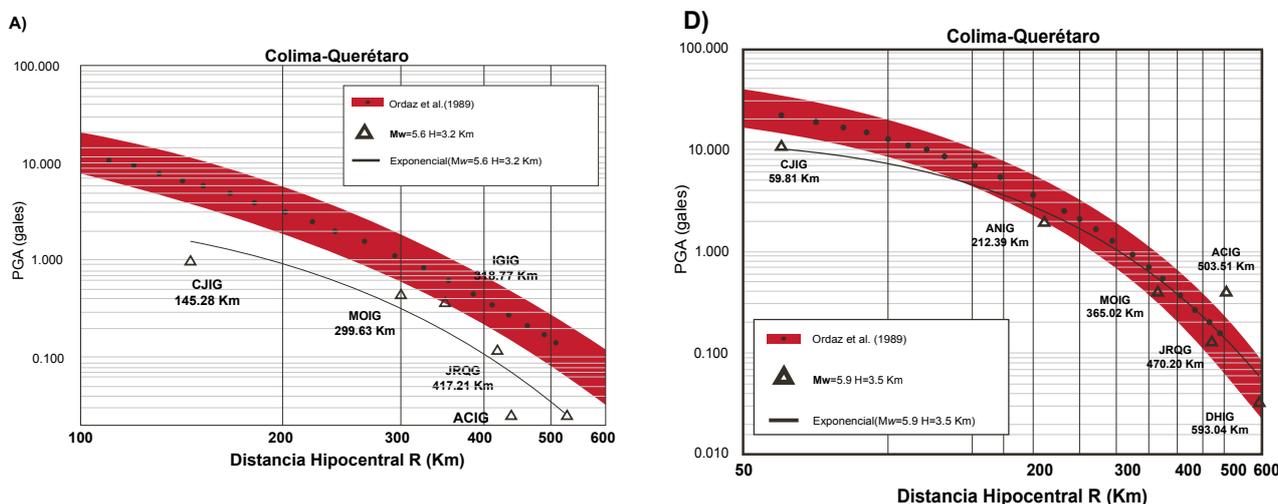


Figura 3. Gráficas de atenuación (Trayectoria Colima).

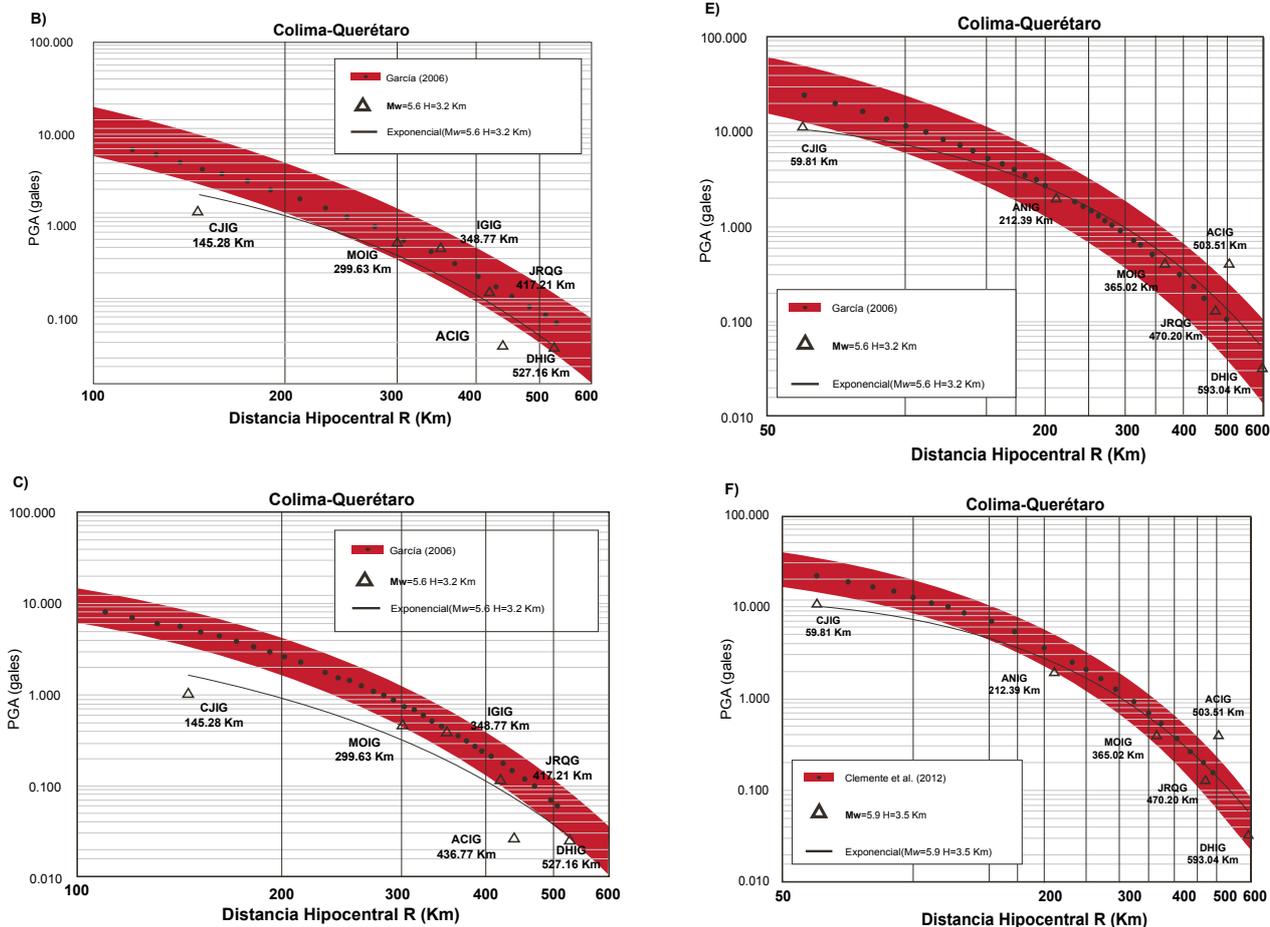


Figura 3 (continuación). Gráficas de atenuación (Trayectoria Colima).

En cuanto a la trayectoria de Michoacán (Figuras 4a- 4f), la ecuación de atenuación propuesta por Clemente [1] subestima el PGA observado en los primeros 200 km, pero después de esa distancia los PGA se encuentran dentro de la desviación estándar (± 0.21).

Por otro lado, las curvas de atenuación trazadas a partir de la ecuación propuesta por García [5] presentan estimaciones más concordantes con respecto a los valores observados, debido a que los PGA se encuentran dentro del ancho de banda correspondiente a la desviación estándar.

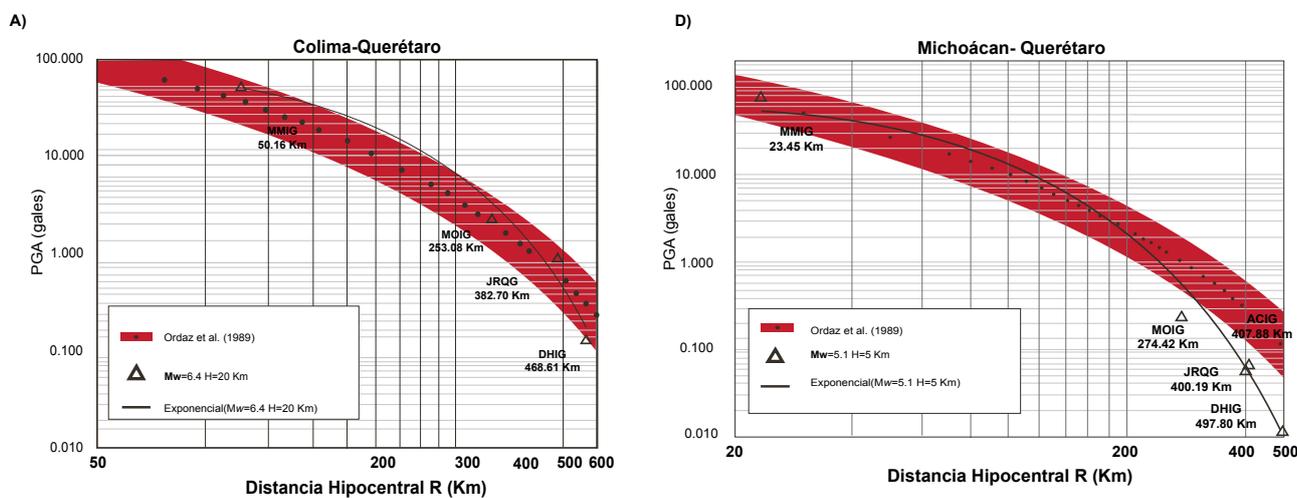


Figura 4. Gráficas de atenuación (Trayectoria Michoacán).

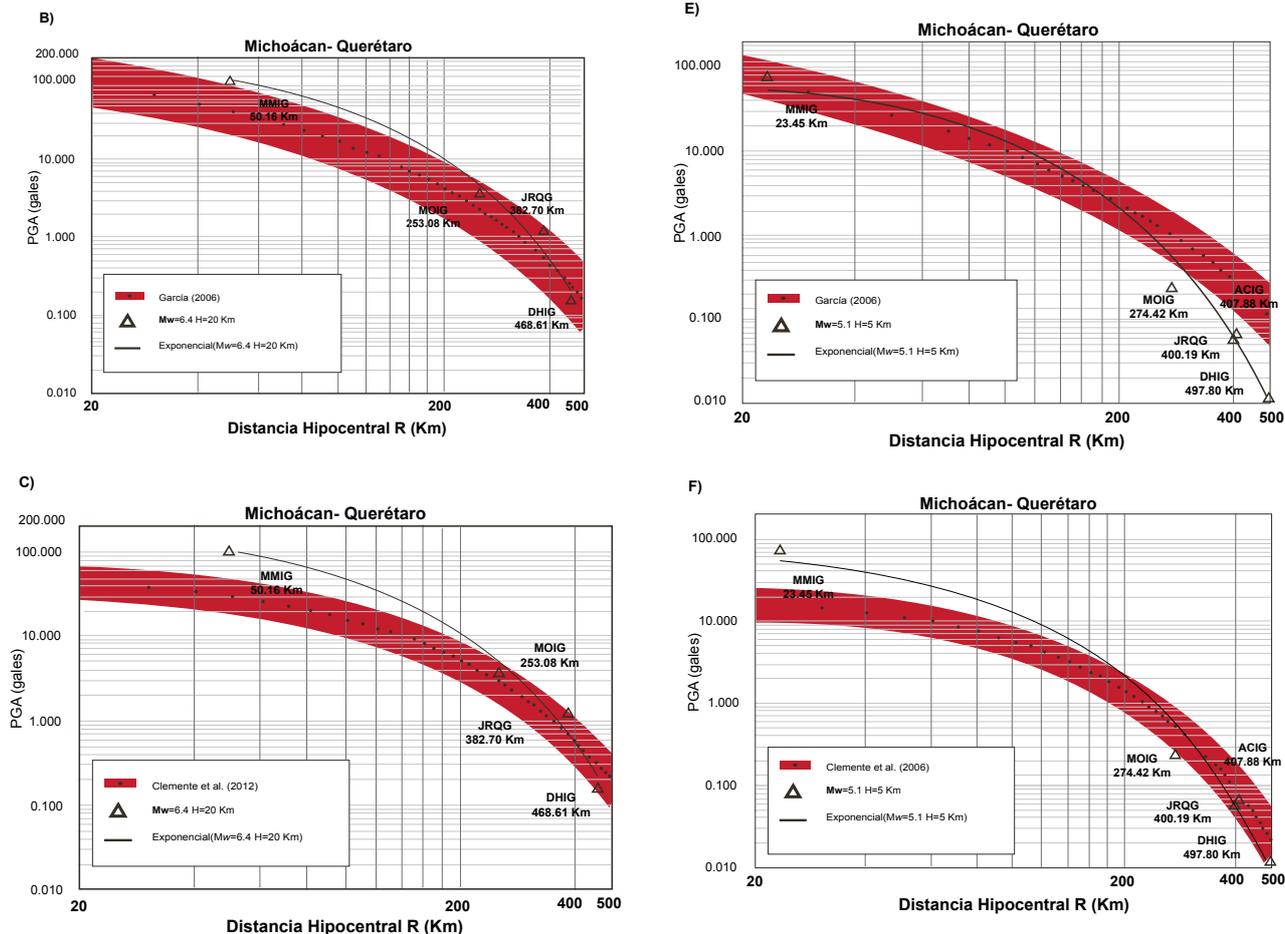


Figura 4 (continuación). Gráficas de atenuación (Trayectoria Michoacán).

En cuanto a la trayectoria de Guerrero, en la Figura 5a los valores de PGA observados concuerdan con los estimados con la relación de atenuación de Ordaz [9], mientras que en la Figura 5d tres de los valores examinados están fuera del rango de desviación estándar. Por otra parte, los valores estimados con la ecuación de García [5] se aproximan a los razonados.

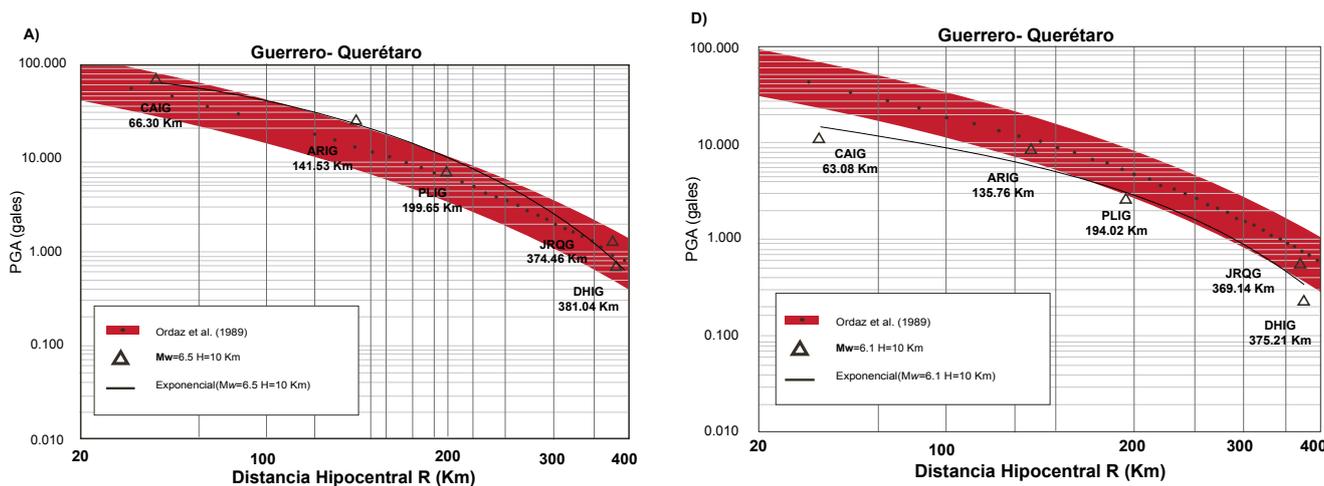


Figura 5. Gráficas de atenuación (Trayectoria Guerrero).



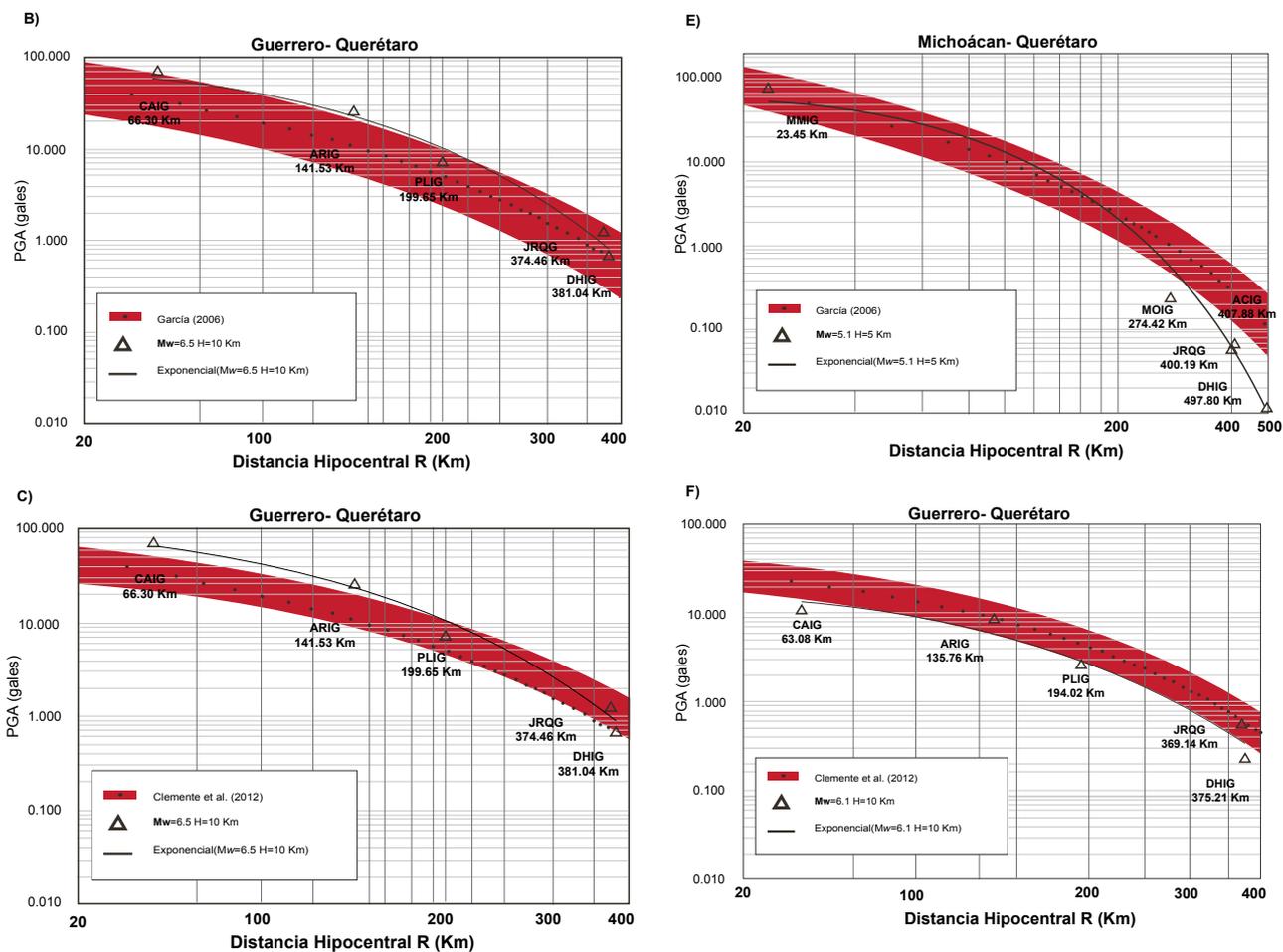


Figura 5. Gráficas de atenuación (Trayectoria Guerrero).

Del mismo modo en la trayectoria de Oaxaca (Figuras 6a-6f), la mayoría de los datos observados coinciden con los estimados a partir de la relación de atenuación por García [5].

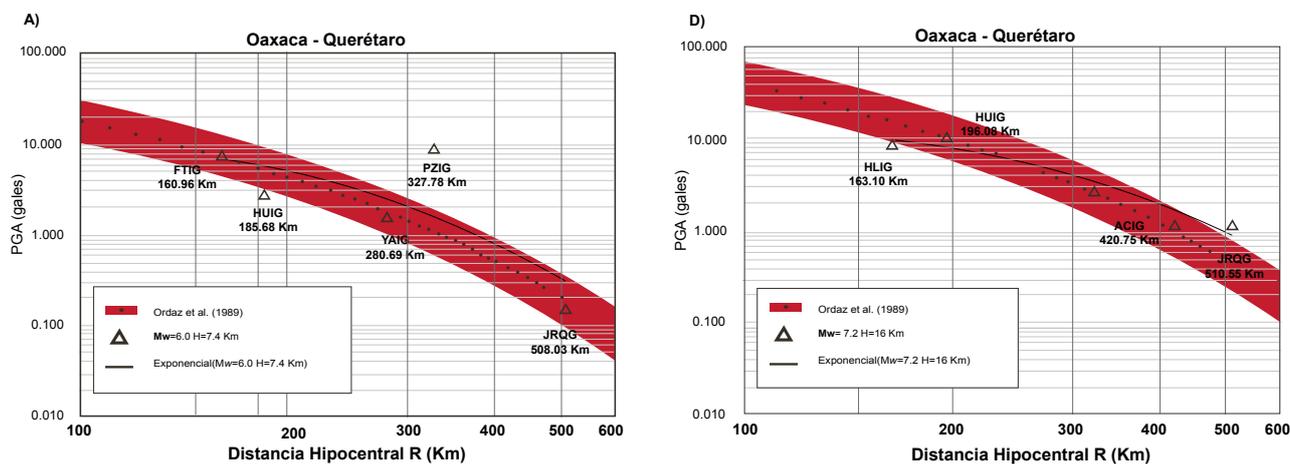


Figura 6. Gráficas de atenuación (Trayectoria Oaxaca).

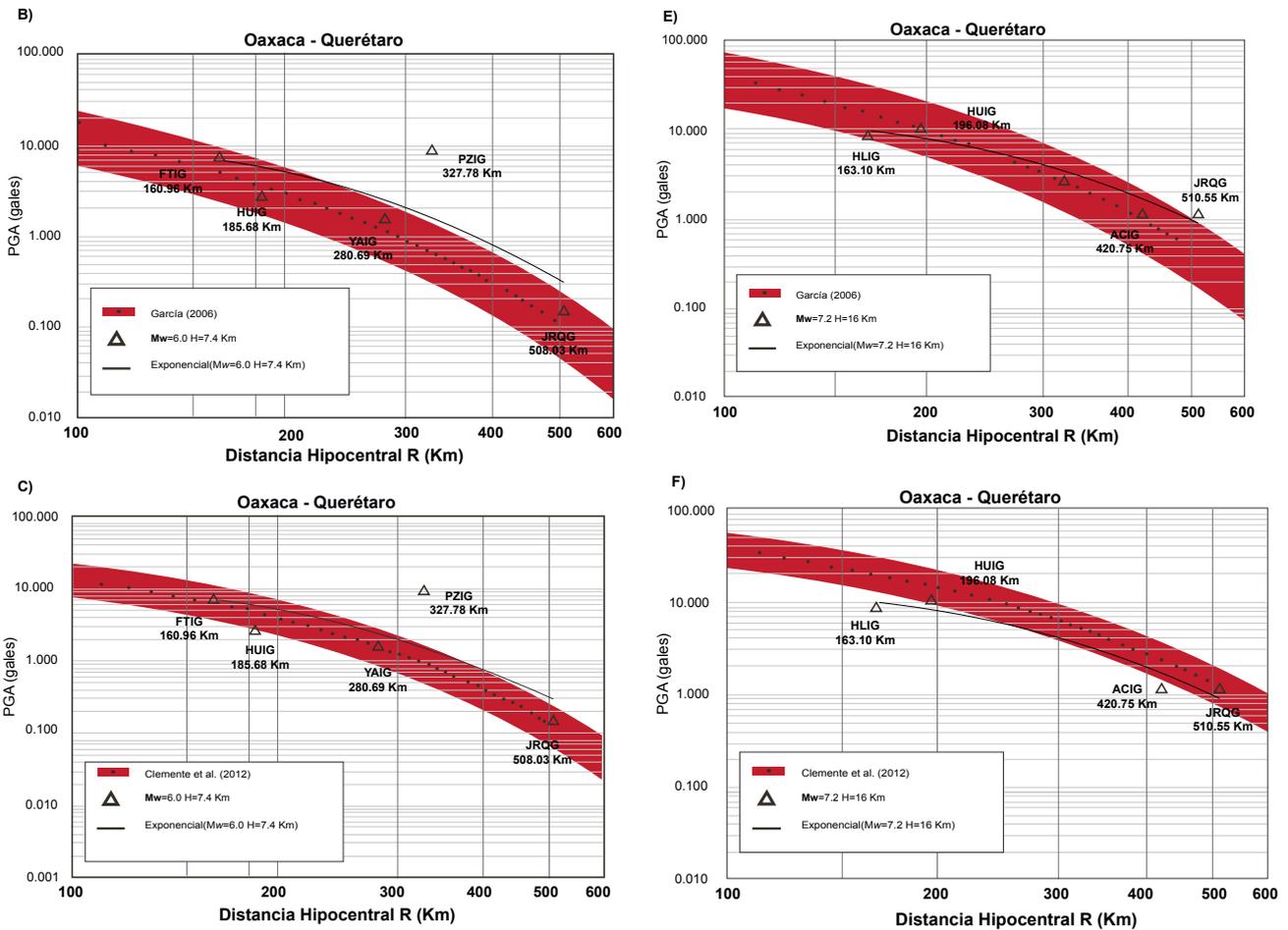


Figura 6 (continuación). Gráficas de atenuación (Trayectoria Oaxaca).

Hasta el momento, los datos sugieren que la trayectoria que representa mayor riesgo sísmico para Querétaro es la de Michoacán, seguida de Guerrero, Oaxaca y Colima.

CONCLUSIÓN

La información obtenida comprueba que existen diferencias significativas entre las aceleraciones pico del terreno esperadas en Querétaro, de acuerdo con las trayectorias analizadas. Aun así, es necesario evaluar más datos para estimar con precisión cuál trayectoria resulta ser de gran peligro sísmico para la Ciudad; por tal motivo, se requiere observar la variabilidad de los resultados y comprobar la tendencia vista en este estudio con un tamaño de muestra mayor.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos otorgados para

realizar esta investigación, al igual que al Servicio Sismológico Nacional de México (SSN) por el mantenimiento de la estación, la adquisición y distribución de datos.

REFERENCIAS

[1] A. Clemente Chávez, G. M. Arroyo, R. Zúñiga, Á. Figueroa, M. A. Pérez y C. S. López "Relación de atenuación del movimiento del suelo para la aceleración máxima (PGA) sobre el Cinturón Volcánico Mexicano (MVB); análisis por trayectoria: Guerrero Querétaro", *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. 87, no. 27, pp. 67-93, julio 2012.

[2] A. Clemente Chávez, F. R. Zúñiga, J. Lermo, A. Figueroa Soto, C. Váldez, M. Montiel, O.

Chávez y M. Arroyo, "On the behavior of site effects in central Mexico (the Mexican volcanic belt-MVB), based on records of shallow earthquakes that occurred in the zone between 1998 and 2011", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 14, no. 16, pp. 1391-1406, junio 2014.

[3] J. H. Cruz, G. F. Chávez y T. Furumura, "Differences in Attenuation of Ground Motion Perpendicular to the Mexican Subduction Zone between Colima and Guerrero: An Explanation Based on Numerical Modeling, *Bulletin Seismological Society of America*", *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 99 (1), no. 7, pp. 400-406, febrero 2009.

[4] A. Figueroa Soto, A. Clemente Chávez y F. R. Zúñiga, "Decon-

- volución de Sismogramas digitales y determinación del ruido sísmico para el sismógrafo Trillium 120 instalado en el campus Juriquilla de la UNAM”, *Bol-e (Órgano de Comunicación electrónica del Centro de Geociencias de la UNAM)*, vol. 6, no. 1, 2010.
- [5] D. García, “Estimación de Parámetros del Movimiento Fuerte del Suelo para terremotos Interplaca e Intraslab en México Central”, Tesis Doctoral, Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, UCM, Madrid, España, 2006.
- [6] A. Gómez Tuena, T. Orozco Esquivel y L. Ferrari, “Petrogénesis ígnea de la faja volcánica transmexicana”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. Conmemorativo del Centenario. *Temas Selectos de la Geología Mexicana*, Tomo LVII, *Revista BSGM*, pp. 227-283, 2005.
- [7] J. Lermo y F. J. Chavez García, “Site effect evaluation using spectral ratios with only one station”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 83, pp. 1574-1594, 1993.
- [8] Y. Nakamura, “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface”, *Quarterly Report of Railway Technical Research*, vol. 30, pp. 25-33, 1989.
- [9] M. Ordaz, J. M. Jara y S. K. Singh, “Riesgo sísmico y espectros de diseño en el Estado de Guerrero”, *Mem. VIII Congr. Nac. Ing. Sísmica, Acapulco, México*, 16-19 noviembre, D40-D56, 1989.
- [10] Situación Sísmica: México en el entorno de la sismicidad mundial, Protección Civil de la Ciudad de México, consultado: 22 marzo de 2022. [Online]. Disponible: <http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/simulacros/CDMX/Situacionsismica.html#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20uno%20de%20los,se%20registran%20en%20el%20mundo>.
- [11] P. Sánchez López, A. Clemente Chávez y A. Figueroa Soto, “Seismic attenuation in Mexico; Interplate seismicity and its behavior on the Mexican Volcanic Belt (MVB)”, *Memorias del XVIII International Engineering Congress (CONIIN)*, Santiago de Querétaro, Qro., 2022.
- [12] Servicio Geológico Mexicano, Sismología de México, consultado el 01 agosto de 2022. [En Línea] <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgosgeologicos/Sismologia-de-Mexico.html>.
- [13] Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, consultado: 20 marzo de 2022. [En línea] <http://www.ssn.unam.mx>
- [14] N. M. Shapiro, M. Campillo, A. Paul, S. K. Singh, D. Jongmans, y F. J. Sánchez Sesma, “Surface-wave propagation across the Mexican Volcanic Belt and the origin of the long-period seismic-wave amplification in the Valley of Mexico”, *Geophys. J. Int.*, vol. 128, pp. 151-166, 1997.

SOFTWARE DE PRUEBAS PARA DETECCIÓN DE NIVELES DE ATENCIÓN

TECHNOLOGICAL TOOL FOR MEASURING
LEVELS OF ATTENTION

María del Carmen Cabrera Hernández^{1*}
Abel Santillán Rodríguez¹
Marco Antonio Aceves Fernández¹
Carlos Jesus Pedraza Ortega¹
Manuel Toledano Ayala¹

¹*Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro
Querétaro, México*

*maria.delcarmen.cabrera@uaq.mx

RESUMEN

El diagnóstico del trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) es con mayor frecuencia el que se realiza en la etapa temprana de la infancia. No es fortuito que los números varíen dependiendo del país y en algunos casos, como lo es México, se desconozcan las cifras oficiales de quienes padecen dicho trastorno; podríamos sugerir que es debido a los instrumentos de diagnóstico actuales, ya que ignoran los factores que intervienen en los mecanismos de atención, por ejemplo: el creciente número de TDAH podría estar sujeto a la noción social acerca de la infancia.

La mejora de los procesos para detectar el TDAH es primordial para los profesionales del campo, llevándoles a analizar constantemente las pruebas que se aplican. Dentro de esta búsqueda de innovación, se plantea un software moderno, basado en exámenes históricamente utilizados para el diagnóstico oportuno del TDAH y enfocado en el análisis de la atención visual.

Dentro del objetivo del artículo es fundamental comprender los cimientos y el proceso de la atención en los niños. Por tal motivo proponemos una solución tecnológica multidisciplinaria, debido a que es necesario para efectuar un cotejo más fino de los niveles de atención del usuario. En el presente trabajo se utilizaron herramientas de

seguimiento ocular en conjunto con pruebas de carga cognitiva y evaluaciones neuropsicológicas.

Palabras clave: pruebas psicológicas, seguimiento ocular, software, TDAH, trastornos de atención.

ABSTRACT

The diagnosis of attention disorders such as Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is the most common in school-age children, however, the figures vary depending on the children's country of residence, and in some cases, Mexico does not have official figures of how many children suffer from it, this is believed to be due to the fact that current diagnostic instruments do not take into account all the factors that influence the mechanisms of attention, for example, the concept of childhood in society could be influencing the growing number of ADHD cases, among other factors.

In this work, a proposal for a technological tool supported by various disciplines is presented that contributes to the objective of understanding how the attention process is in children to measure the levels of attention, using eye tracking tools. In conjunction with cognitive load tests and neuropsychological assessments.

Keywords: psychological tests, eye tracking, software, adhd, attention disorders.





INTRODUCCIÓN

El trastorno de déficit de atención (TDAH) es una perturbación del desarrollo y aprendizaje, fruto de la falta de control de determinadas áreas cerebrales sobre la conducta. Dentro del espectro de los trastornos crónicos el TDAH es el que cuenta con mayor visibilidad, por lo mismo se ha reportado que tiene una prevalencia del 5 % de la población a nivel mundial [1] y en México las cifras apuntalan que entre 1.5 y 2 millones de personas lo padecen [2, 3].

En 2019 el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) reportó que atendió cerca de 87 645 casos de TDAH, lo cual representa el 5.8 % de la población estimada de los que padecen este déficit [4]. Queda manifiesta la necesidad de crear herramientas para diagnosticar, controlar y mitigar los síntomas.

Actualmente, las herramientas utilizadas para el diagnóstico de estos trastornos incluyen el electroencefalograma [5] y listas de verificación para valorar los síntomas y conductas del individuo. Si bien los síntomas a evaluar son diversos, se clasifican en dos categorías: falta de atención e hiperactividad. Se entiende que si se presentaran más de seis de estos síntomas se recibe un diagnóstico de trastorno de atención [6 - 7]. Esta lista de valoración, en caso de niños y adolescentes, es contestada principalmente por los tutores y profesores; en algunas ocasiones los resultados difieren entre sí, ya que están basados en la percepción que tiene el adulto del infante [8].

A principios del siglo xx se realizaron investigaciones que proponían métodos para medir la atención, por ejemplo, distractores y sensibi-

lidad retiniana [9]. Actualmente el progreso tecnológico ha reconfigurado los métodos que tratan de obtener una medición precisa del TDAH. Como se mencionó anteriormente, una de las principales herramientas para este diagnóstico, desde hace setenta y cinco años [11], es el electroencefalograma (del inglés electroencephalography, EEG), el cual monitorea la actividad eléctrica del cerebro, en específico, la fluctuación de electricidad de las neuronas [10]. Sin embargo, se sigue cuestionando la confiabilidad del EEG como herramienta diagnóstica [12], ya que el margen de error es susceptible de producir falsos positivos para TDAH.

En efecto, se ha propuesto otro tipo de herramientas para apoyar al diagnóstico del trastorno, como es el Conners Continuous Performance Test (CPT-II) [13] [14], el cual constituye una prueba automatizada que evalúa la capacidad de atención global del individuo. Sin embargo, se ha descubierto que es falible para el diagnóstico, debido a que reconoce como TDAH los casos de sujetos con desórdenes de lectura [15].

SEGUIMIENTO OCULAR Y MEDICIÓN DE ATENCIÓN VISUAL

Se ha documentado el uso de pruebas de seguimiento ocular, técnica que registra los movimientos de la mirada [16], en conjunto con algoritmos de aprendizaje automático para el diagnóstico de TDAH [17], ya que ha demostrado preeminencia durante el monitoreo de emociones, procesos de lectura, fatiga en conductores y la percepción del usuario en la publicidad de un sitio web. El seguimiento registra y analiza los movimientos constantes de los ojos de alguien que mira una pantalla,



y así detecta cuando el usuario aparta la mirada de una zona en particular [18]. Dicha herramienta resulta benéfica al momento de registrar el estatus de la atención visual del usuario; en el caso de este proyecto, se pretende ampliar el alcance de la atención en los infantes.

CARGA COGNITIVA

El concepto de carga cognitiva expone la proporción de la demanda de recursos atencionales o los mencionados en el título que se invierten en tareas de aprendizaje [19]. Algunas investigaciones han catalogado el ínfimo desempeño en tareas de carga cognitiva como parte de los indicadores de trastornos de atención [20].

MATERIALES Y MÉTODOS

Es oportuno ahora proponer una herramienta de trabajo que recolectará la información del comportamiento visual de los pacientes durante actividades de carga cognitiva. Se encargará de aunar

la información clínica del historial mental del paciente mediante la implementación de la evaluación Neuropsicológica Infantil II (ENI-2).

MÓDULOS DEL SOFTWARE

Sirven de apoyo para los especialistas al momento de dictaminar algún padecimiento y su posterior seguimiento. El software cuenta con diversos módulos: registro de usuario, entrevistas, pruebas e información básica. El diagrama de flujo de datos entre dichos bloques se puede observar a detalle en la Figura 1.

MÓDULO DE REGISTRO DE USUARIO

Primero, para obtener el historial adecuado del paciente y darle seguimiento es necesario tener una cuenta personalizada como responsable de la evaluación; para tal fin es posible ingresar a una cuenta existente o crear una nueva, como se refleja en las Figuras 2 y 3. Los resultados de las pruebas guardan el registro de quién fue el encargado de aplicarlas en cada ocasión.



Figura 1. Diagrama de flujo de la herramienta.



Figura 2. Módulo de registro.



Figura 3. Detalle del registro de usuario.

Las pruebas realizadas a los pacientes se seleccionaron con el objetivo de que representaran tareas con cierta carga cognitiva, para las cuales fue imprescindible que el usuario centrara su atención en dicha tarea; de esta forma, se puede perfilar la atención cuando es requerida en una zona delimitada. Así, se estableció cuál sería la versión implementada, puesto que pruebas específicas tienen diferentes formas de efectuarse. Sin embargo, es importante aclarar que las versiones incluidas en la herramienta siguen los lineamientos correspondientes a cada prueba, de modo que los resultados sean analizados y validados. La validación se ejecuta tras una calibración del seguidor ocular con respecto a la pantalla, a fin de calcular el margen de error con los puntos de mirada y las imágenes desplegadas.

PRUEBA DE LAS FIGURAS SUPERPUESTAS

Es una prueba rápida para verificar si existen problemas de reconocimiento visual. Como indica el nombre, la prueba consiste en dos láminas en las que aparecen dibujos de objetos superpuestos, el paciente tiene que identificar los objetos presentados; para que se realice correctamente es necesario que se reconozca el contraste entre la figura y el fondo y así se permitan identificar los elementos.

Nuestra adaptación del test consiste en que a los participantes se les mostrarán dos grupos de dibujos, el primero los presenta superpuestos y el segundo aislados. El infante tendrá que elegir aquellos dibujos del segundo grupo (respuestas) que aparezcan

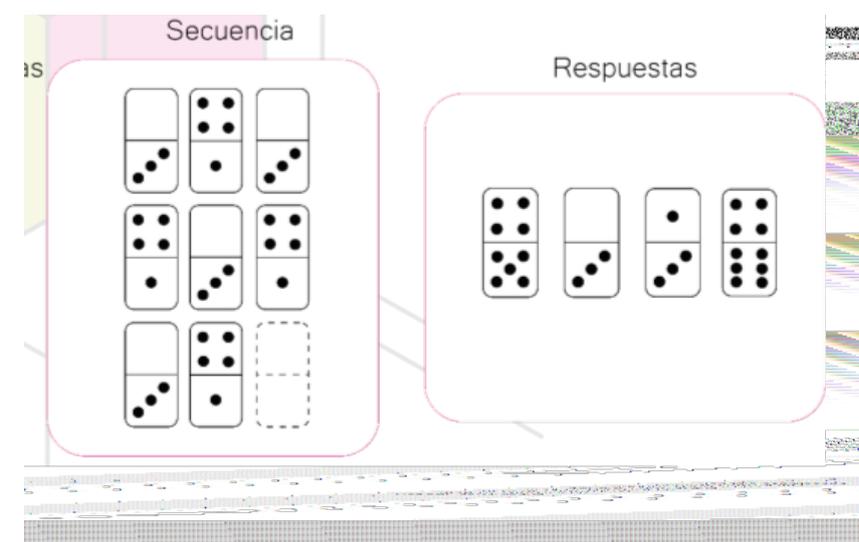


Figura 4. Prueba de las figuras superpuestas.

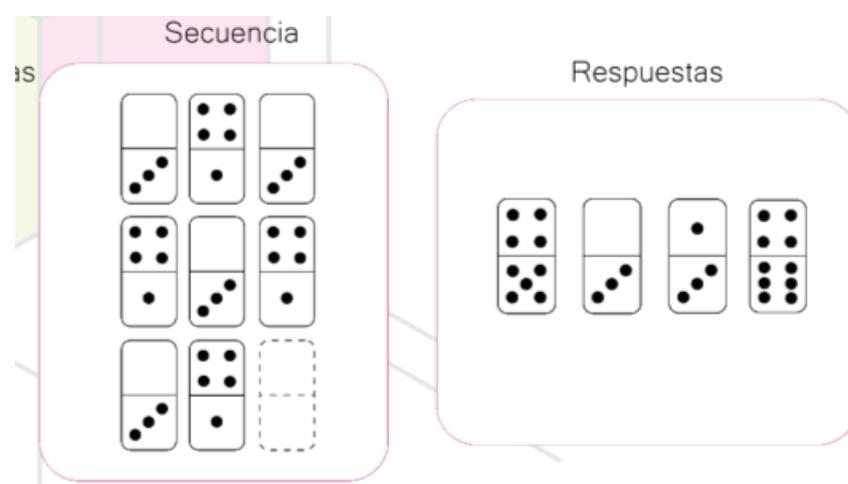


Figura 5. Prueba de series numéricas de dominó.

en el conjunto sobrepuesto (Figura 4). Cabe aclarar que los dibujos cambian de color al ser seleccionados.

La prueba tiene como antecedente el *Test de las Figuras Superpuestas de Poppelreuter Ghent*, el cual fue elaborado como una escala de reconocimiento visual, mismo que integra figuras objetivo y distractores [21]; lo encontramos útil para la investigación, ya que mide la atención del paciente a través del seguidor ocular que recoge varias métricas apoyadas en la vista. Es importante recalcar el tiempo de respuesta, la prueba puede durar 30, 40 o 50 segundos, aunque en este caso particular se eligió un tiempo de 40 segundos.

PRUEBA DE LAS FICHAS DE DOMINÓ

Se le proporcionará al paciente una secuencia numérica a través de fichas de dominó, y se le facilitará una serie de respuestas potenciales para continuar con la secuencia numérica, pero solo podrá elegir una (Figura 5).

Un referente para esta prueba es *Dominó* también conocido como D-48, el cual consta de 44 problemas clasificados por orden y dificultad [22]. Este sondeo fue diseñado para medir el factor G, es decir, la capacidad de inteligencia general en función de las facultades lógicas. Hay quienes afirman que para resolver la prueba es necesario poseer una

sobresaliente capacidad intelectual [23]. En esencia, el carácter de la prueba es relevante a nuestro trabajo debido a los principios de exactitud en cuanto a la atención que el paciente debe enfocar para realizarla.

PRUEBA DE LOS CUBOS DESPLEGADOS

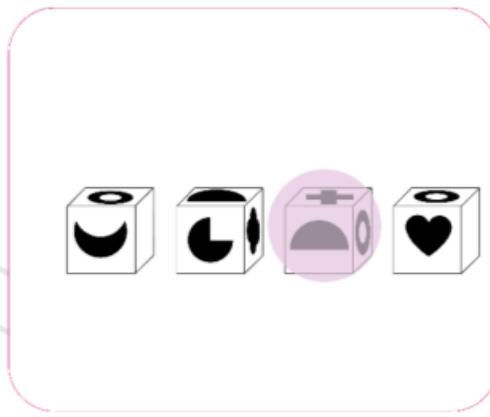
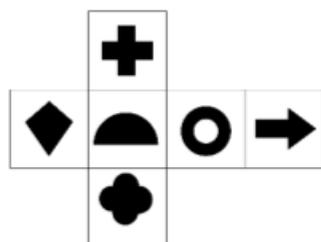


Figura 6. Prueba de los cubos desplegados.

Se le mostrará al paciente la imagen de un cubo desplegado, que a su vez contiene colores y figuras en cada uno de sus lados; posteriormente se le darán opciones de cubos plegados con la finalidad de que elija aquel que coincida con el desarrollo plano mostrado al inicio (Figura 6).

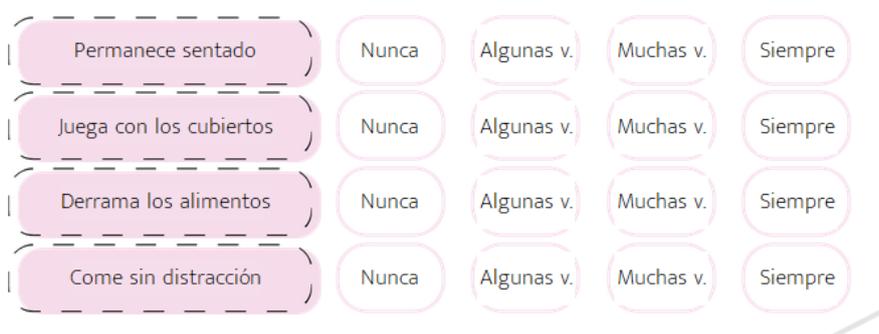


Figura 7. Vista parcial de una pantalla de la ENI-2

Conviene distinguir que el examen implementado está basado en el test de medida de la capacidad para formar imágenes mentales espaciales (Measure of the Ability to Form Spatial Mental Imagery, MASM), el cual funciona como instrumento para estimar los diferentes tipos de imágenes mentales, su capacidad para pensar en dos y tres dimensiones, manipulación, rotación y navegación de objetos en la mente del usuario además de su habilidad para percibir detalles [24]. De aquí que se eligió este esquema para integrarlo a la herramienta, ya que se relaciona con el análisis visual del objeto para crear una imagen mental, como lo hicimos notar, la mayor parte del ejercicio es la examinación visual.

ENTREVISTAS

El módulo de entrevistas contiene dos ejemplares: el Test de Magallanes y la Evaluación Neuropsicológica Infantil.

TEST DE MAGALLANES

Es una escala que tiene como propósito detectar indicadores de trastornos de atención e hiperactividad. Las variables que evalúa [26] son las siguientes: déficit de atención sostenida, hiperactividad-hipercinesia-hiperactividad, déficit de eficacia atencional, lentitud motriz y cognitiva (DEA), agresividad, retraimiento social, ansiedad y ren-

dimiento académico. Esta escala también se registra como parte de la evaluación e historial clínico del paciente.

ENI-2

La Evaluación Neuropsicológica Infantil o ENI-2 [25] es un cuestionario para los padres. Su naturaleza es en gran medida autoadministrable. Entre sus funciones se encuentran las de recabar datos generales sobre el núcleo familiar, detectar la presencia de trastornos y detallar los informes sobre el motivo de la evaluación. En la Figura 7 se expone una vista parcial de la implementación del ENI-2.





Aquí nos referimos a las partes que constituyen esta entrevista, tales como: historial clínico y familiar, antecedentes prenatales, natales y posnatales, comportamientos, método de disciplina y escolaridad.

MÓDULO DE INFORMACIÓN BÁSICA

Contiene numerosos referentes sobre la información del programa, y va enlazado a un video junto con una breve explicación. A continuación, la Figura 8 muestra las opciones de referencia básica sobre el funcionamiento del software: información del mismo, descripción del seguidor ocular y metodología de las pruebas.

ARQUITECTURA DEL SOFTWARE

Consta de tres capas: hardware, aplicación y datos; se muestran a continuación en la Figura 10.

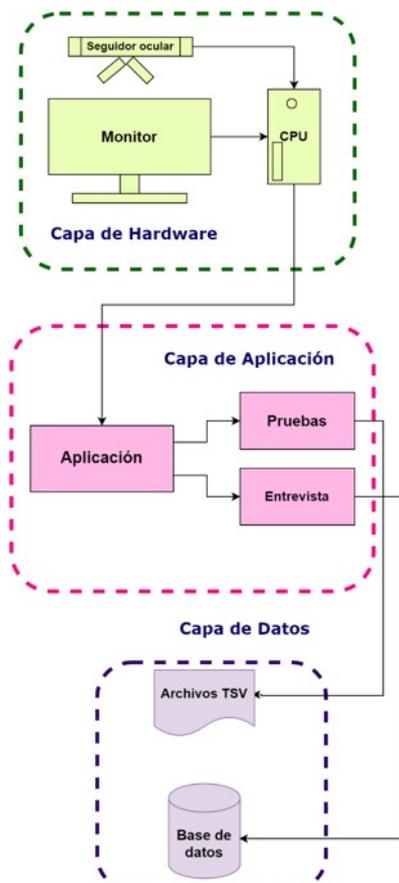


Figura 10. Diagrama de la arquitectura de la herramienta.



Figura 8. Detalle del menú del módulo de información básica.



Figura 9. Pantalla del menú del módulo de información básica.

Ahora bien, en la Figura 11, se presenta el diagrama del ensamblaje del sistema que conforma la herramienta propuesta.

HARDWARE

Aquí nos referimos al soporte físico del sistema, el cual registra el comportamiento visual del paciente mientras realiza las tareas de carga cognitiva a través del

seguidor ocular, asimismo la computadora donde reside el software que conforma la herramienta:

COMPUTADORA

- Procesador: Intel® Core™ i5
- RAM: 8 GB
- Sistema operativo: Windows 7, 8.1 o 10
- Monitor: 15 pulgadas



Figura 11. Diagrama del sistema (imagen editada para proteger la identidad del paciente).

SEGUIDOR OCULAR

- Modelo: EyeTribe
- Precisión del ángulo visual: 0.5 - 1°
- Velocidad de muestreo: 60 Hz
- Calibración: 5 o 9 puntos
- Movimiento: 25 cm horizontal x 11 cm vertical
- Rango de movimiento de profundidad: +15 cm (Figura 12)
- Dimensiones: 235 x 45 x 40 mm
- Peso: 115 g [26]

Este seguidor ocular [28] registra: tamaño de pupila, coordenadas en bruto y normalizadas en píxeles para cada ojo.

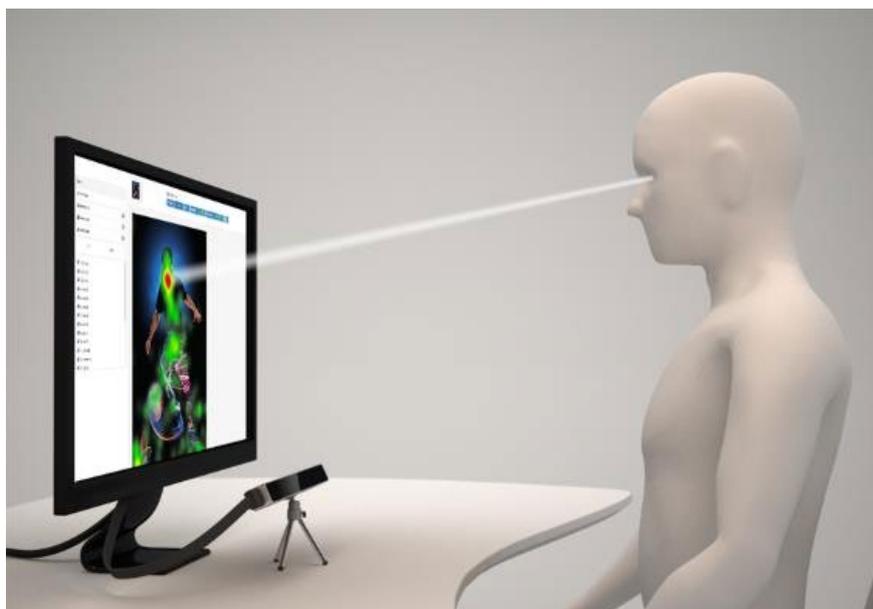


Figura 12. Uso del seguidor ocular EyeTribe [26].

APLICACIÓN Y DATOS

Con respecto a lo anterior, la capa de aplicación en conjunto con el seguidor ocular generan datos que posteriormente serán procesados para organizar la información sobre los niveles de atención del paciente. Los informes resultantes se clasifican en dos maneras (Figura 13): los puntos de mirada se almacenan en un archivo de texto separado por comas (formato .tsv) en una carpeta señalada por la aplicación; las entrevistas y registros de las pruebas se almacenan en una base de datos (Figura 14) construida en el administrador de bases de datos de código abierto MySQL; contienen fecha, usuarios, pruebas realizadas y ubicación del archivo .tsv.

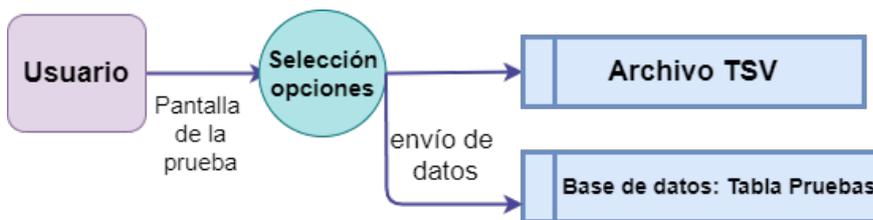


Figura 13. Diagrama de flujo de datos de las pruebas.

DATOS DEL SEGUIDOR OCULAR

El análisis de los datos obtenidos por medio del seguidor involucra conceptos básicos sobre cómo evaluar los movimientos oculares, por ejemplo: la dirección, duración y secuencia de la mirada[29].

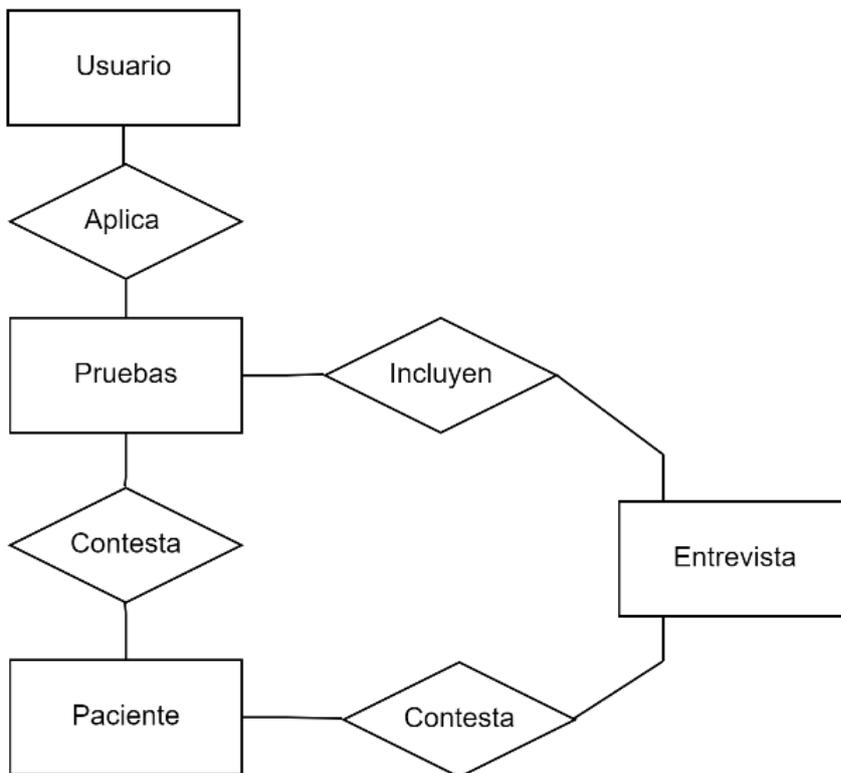


Figura 14. Diagrama de entidad y relación simplificada de la base de datos.

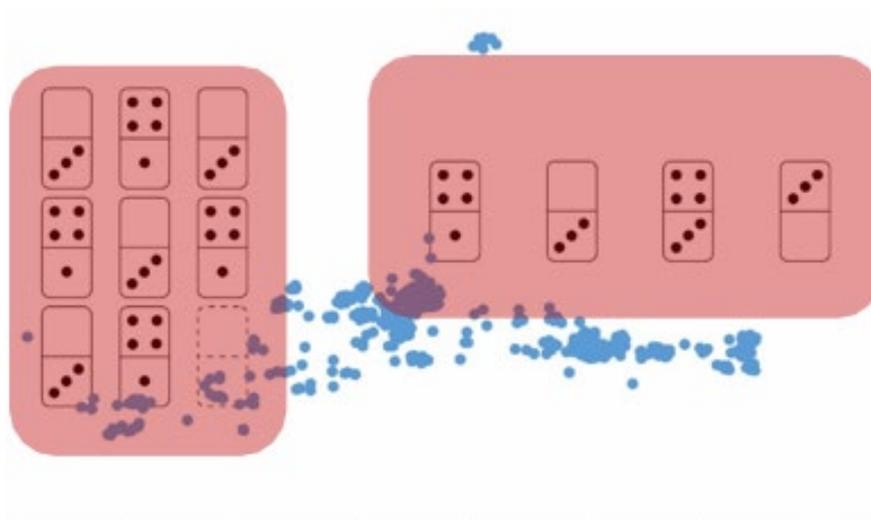


Figura 15. Ejemplo de nube de puntos y AOI en una prueba de Dominó.

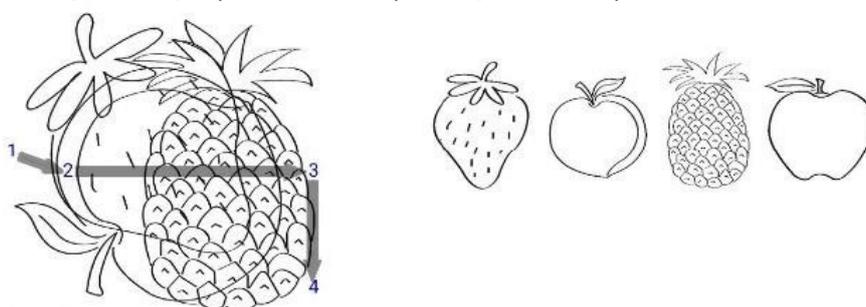


Figura 16. Patrón de escaneo en prueba de figuras superpuestas.

Primeramente la fijación visual es la habilidad del ojo para mantener la mirada enfocada en un objeto, en un estímulo puede estabilizarse durante un periodo que va de los 200 a los 300 ms. El talante en que se relaciona esta acción del ojo y sus procesos cognitivos tiene una explicación en dos etapas: la inmediatez, donde la mirada se posa sobre aquello que observa; y el mecanismo ojo-mente, donde la fijación permanece hasta que la persona comprende el objeto observado.

Los sacádicos, movimientos oculares súbitos y continuos que suceden entre fijaciones, son voluntarios y duran de 40 a 50 ms. Posteriormente, tenemos a los microsacádicos, movimientos espasmódicos e involuntarios aunque necesarios durante fijaciones prolongadas, cuya función principal es refrescar la memoria visual. En cuarto lugar, se encuentra la

dilatación de la pupila, la cual cuando hay escasa iluminación se ensancha para permitir mayor entrada de luz; sin embargo, puede suceder también cuando interfieren otros factores como cambios en el estado de ánimo o si el paciente debe realizar tareas cognitivas complejas.

Las áreas de interés (AOI) son como se estudian los datos de los movimientos oculares, con respecto a ciertas tareas que contienen estímulos, por ejemplo, diagramas o imágenes. Un AOI puede jugar un papel relevante para el participante al momento de completar una tarea. Por último, la ruta de escaneo (*scanpath*) es el registro cronológico de una serie de fijaciones y evidencia el patrón de movimientos oculares del usuario.

En concreto, en la Figura 15 se expone una propuesta de AOI, la cual contiene una nube que representa

los puntos obtenidos en un experimento preliminar, con una de las evaluaciones de dominó que formarán parte de las tareas destinadas a los involucrados del estudio. La nube representa las direcciones en que el participante fijó la mirada, simbolizadas por los puntos azules. A su vez, las AOI son representadas por los recuadros rojos.

El análisis de estas áreas puede llevarse a cabo de distintos modos, desde determinar cuántos puntos en porcentaje quedaron inscritos en los recuadros, hasta delinear diferentes áreas de interés y hacer un análisis con respecto a ese nuevo objetivo.

La Figura 16 representa cómo sería una ruta de escaneo seguida por la mirada en la prueba de las figuras superpuestas, y cómo cada fijación es constituida por un número que expresa el orden en que sucedió.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez implementada la herramienta se realizó la extracción de los datos proporcionados por los voluntarios, que fueron un total de 7, cuya información se muestra en la Tabla 1. En el caso de los infantes, se les hizo acompañar de padres o tutores que respondieran las entrevistas de Magallanes y ENI-2 y salvaguardaran la integridad y privacidad de los niños (Figura 17).

Los datos procedentes de las pruebas nos proporcionan información sobre la calibración que se realiza al empezar cada ensayo. Revelan que el software cumplió su encomienda al cuantificar el comportamiento de la mirada y almacenarla en los archivos de extensión .tsv de la Figura 18.

En este punto ya es posible realizar un análisis con los datos mediante técnicas que parten desde la inteligencia artificial o métodos estadísticos para encontrar patrones de mirada y estos se clasifican en niveles.

En la Figura 19, se observa un análisis de ruta de escaneo obtenido a través de datos recolectados por la herramienta de software. Además, otro de los resultados importantes es que el software que forma parte de la herramienta ya fue registrado ante el Instituto de Derechos de Autor (Indautor) [30] con número de registro 03-2022-071113515900-01. El resultado es un producto tecnológico susceptible de convertirse en una transferencia de tecnología.

Tabla 1. Voluntarios para pruebas.

SEXO	VOLUNTARIOS	EDADES
Masculino	4	20 a 24
Femenino	3	8 a 23



Figura 17. Aplicación de las pruebas en niños.

timestamp	time	fix	state	rawx	rawy	avgx
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		pygaze initiation report start			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		display resolution: 1536x864			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		display size in cm: 48x28			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		samplerate: 30 Hz			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		sampletime: 33.33333333333336 ms			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		fixation threshold: 1.5 degrees			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		speed threshold: 35 degrees/second			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		acceleration threshold: 9500 degrees/second**2			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0		pygaze initiation report end			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0	450228900	pygaze calibration report start			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0	450228901	accuracy (degrees): LX=0.0, LY=0.0, RX=0.0, RY=0.0			
MSG	2022-08-26 10:46:39.314.0	450228901	accuracy (in pixels): LX=0.0, LY=0.0, RX=0.0, RY=0.0			

Figura 18. Datos del comportamiento visual de los voluntarios.

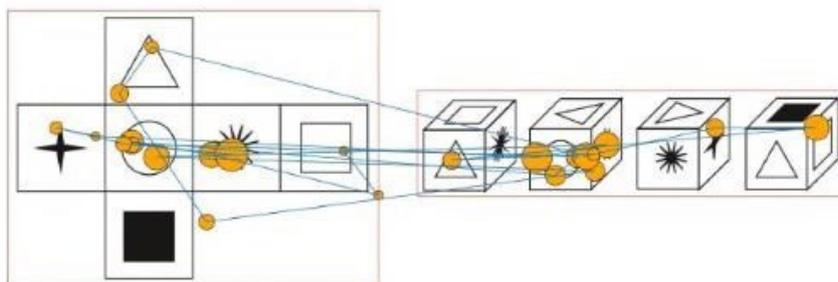


Figura 19. Análisis proyectado de los datos.





CONCLUSIONES

Se infiere que con los datos obtenidos por medio del seguidor ocular y la aplicación de pruebas se puede ejecutar un análisis que admita clasificar de manera precisa en diferentes niveles la atención visual a través de algoritmos pertenecientes a la inteligencia artificial. Hay que añadir que se proyecta que nuestra investigación contribuya al desarrollo de una metodología que dé resultados precisos, a pesar del bajo costo de las herramientas. Por último, se espera que en subsecuentes investigaciones se incluyan en el análisis variables que forman parte del contexto de los sujetos de investigación, como las del hábitat y el comportamiento individual, haciendo de este un estudio interdisciplinario.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a la Universidad Autónoma de Querétaro por otorgarnos el apoyo económico para llevar a cabo este proyecto, a través del Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al apoyo de la Facultad de Ingeniería de dicha institución, por los recursos económicos y la gestión para el registro ante Indautor del software que forma parte del sistema descrito en el presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] R. Drechsler, S. Brem, D. Brandeis, E. Grünblatt, G. Berger, S. Walitzka, "ADHD: Current concepts and treatments in children and adolescents" *Neuropediatrics*, vol. 51(05), 315-335, 2020.
- [2] En México dos millones de personas con Trastorno de déficit de Atención, Retrieved August 27, 2022, from <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/grupos-parlamentarios/38806-en-mexico-dos-millones-de-personas-con-trastorno-de-deficit-de-atencion.html>.
- [3] UNAM, F. (n.d.). TDAH afecta a más de un millón y medio de niños mexicanos. TDAH afecta a más de un millón y medio de niños mexicanos. Retrieved August 15, 2022, from <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/trastorno-de-deficit-de-atencion-e-hiperactividad-afecta-a-mas-de-un-millon-y-medio-de-ninos-mexicanos/>
- [4] Comunicación Social IMSS, Durante confinamiento, fundamental que menores con tdah realicen actividades en casa y sean constantes con sus medicamentos. *Acercando el Imss al ciudadano*. Recuperado en agosto 14, 2022. <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/202007/473>
- [5] A. Lenartowicz & S.K. Loo, "Use of EEG to diagnose ADHD", *Current psychiatry reports*, vol. 16(11), 1-11, 2014.
- [6] American Psychiatric Association, "Diagnostic and statistical manual of mental disorders" *BMC Med*, 17, 133-137, 2013.
- [7] C. T. Gualtieri & L.G. Johnson, "ADHD: Is objective diagnosis possible?" *Psychiatry Edgmont*, vol. 2(11), 44, 2005.
- [8] M.E. Narad, A.A. Garner, J.L. Peugh, L. Tamm, T.N. Antonini, K.M. Kingery & J.N. Epstein, "Parent-teacher agreement on ADHD symptoms across development", *Psychological assessment*, vol. 27(1), 239, 2015.
- [9] H. Woodrow, "The measurement of attention" *The psychological monographs*, vol. 17 (5), I, 1914.
- [10] E. Niedermeyer, "The normal EEG of the waking adult. Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields", 167 155-164, 2005.
- [11] A. Lenartowicz & S.K. Loo (2014). "Use of EEG to diagnose ADHD. *Current psychiatry reports*", vol. 16 (11), 498, 2014.
- [12] N. Weder. "Are we there yet? Electroencephalography as a diagnostic tool for attention-deficit/hyperactivity disorder", 2013.
- [13] C.K. Conners, "Manual for the Conners' Rating Scales, Toronto: Multi-Health Systems", 1990.
- [14] K. Holmqvist, M. Nyström, R. Andersson, R. Dewhurst, H. Jarodzka, & J. Van de Weijer, "Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures", OUP Oxford, 2011.
- [15] R.A. McGee, S.E. Clark & D.K. Symons, "Does the Conners' continuous performance test aid in ADHD diagnosis?", *Journal of Abnormal*, 2000.
- [16] S.Lis, N.Baer, C. Stein en Nosse, B. Gallhofer, G. Sammer & P. Kirsch, "Objective measurement of motor activity during cognitive performance in adults with attention deficit/hyperactivity disorder", *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 122 (4), 285-294, 2010.
- [17] P. H. Tseng, I. G. Cameron, G. Pari, J. N Reynolds, D. P. Munoz, & L. Itti, "High-throughput classification of clinical populations from natural viewing eye movements", *Journal of Neurology*, 260 (1), 275-284. doi: 10.1007/s00415-012-6631-2, 2013.
- [18] S. Chandra, G. Sharma, S. Malhotra, D. Jha & A. P. Mittal, "Eye tracking based human computer interaction: Applications and their uses", *International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI)*, pp. 1-5, IEEE, 2015.

- [19] J. Zambrano, "Enseñar considerando la carga mental del aprendizaje: la teoría de la carga cognitiva", *IV Congreso Internacional de Ciencias Pedagógicas de Ecuador*, Guayaquil, 2018.
- [20] R. M. Alderson, L. J. Kasper, K. L. Hudec & C. H. Patros, "Attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD) and working memory in adults: a meta-analytic review", *Neuropsychology*, 27(3), 287, 2013.
- [21] S. D. Sala, M. Laiacona, C. Trivelli & H. Spinnler, "Poppelreuter-Ghent's overlapping figures test: Its sensitivity to age, and its clinical use", *Clinical Neuropsychology*, 10(6), 511-534, 1995.
- [22] E. Anstey, "Dominó D-48", *TEA Ediciones*, 1999.
- [23] C. Thorne, O. Villegas, P. Martínez, Z. Rossel & W. Twanama, "El Test de Dominos: elaboración de baremos para la población de Lima Metropolitana", *Revista de Psicología*, 3(2), 163-181, 1985.
- [24] A. Campos, "Spatial imagery: A new measure of the visualization factor. *Cognition and Personality*", 29(1), 31-39, 2009.
- [25] A. R. Bodoque Osma, "Detección de la condición TDAH en niños/as de la Provincia de Cuenca mediante la Escala Magallanes de Detección de Déficit de Atención (EMA-DDA)", 2015.
- [26] E. Matute, M. Roselli, A. Ardila & F. Ostrosky, "ENI-2 Evaluación Neuropsicológica Infantil Manual de Aplicación", Manual Moderno, México, 2014.
- [27] S. Alstrup, J. San Agustín, M. Tall & H. Skovsgaard, 2016. <https://theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/general/index.html>, 02 de septiembre de 2022.
- [28] S. Alstrup, J. San Agustín, M. Tall & H. Skovsgaard, 2016. [https://theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/api/index.html](https://theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/api/index.html), 03 de mayo de 2022.
- [29] Z. Sharafi, T. Shaffer, B. Sharif, Y. G. Guéhéneuc, "Eye-tracking metrics in software engineering", *Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)* pp. 96-103, IEEE, 2015.
- [30] Instituto Nacional del Derecho de autor, <https://www.indautor.gob.mx>, 20 de agosto de 2022.

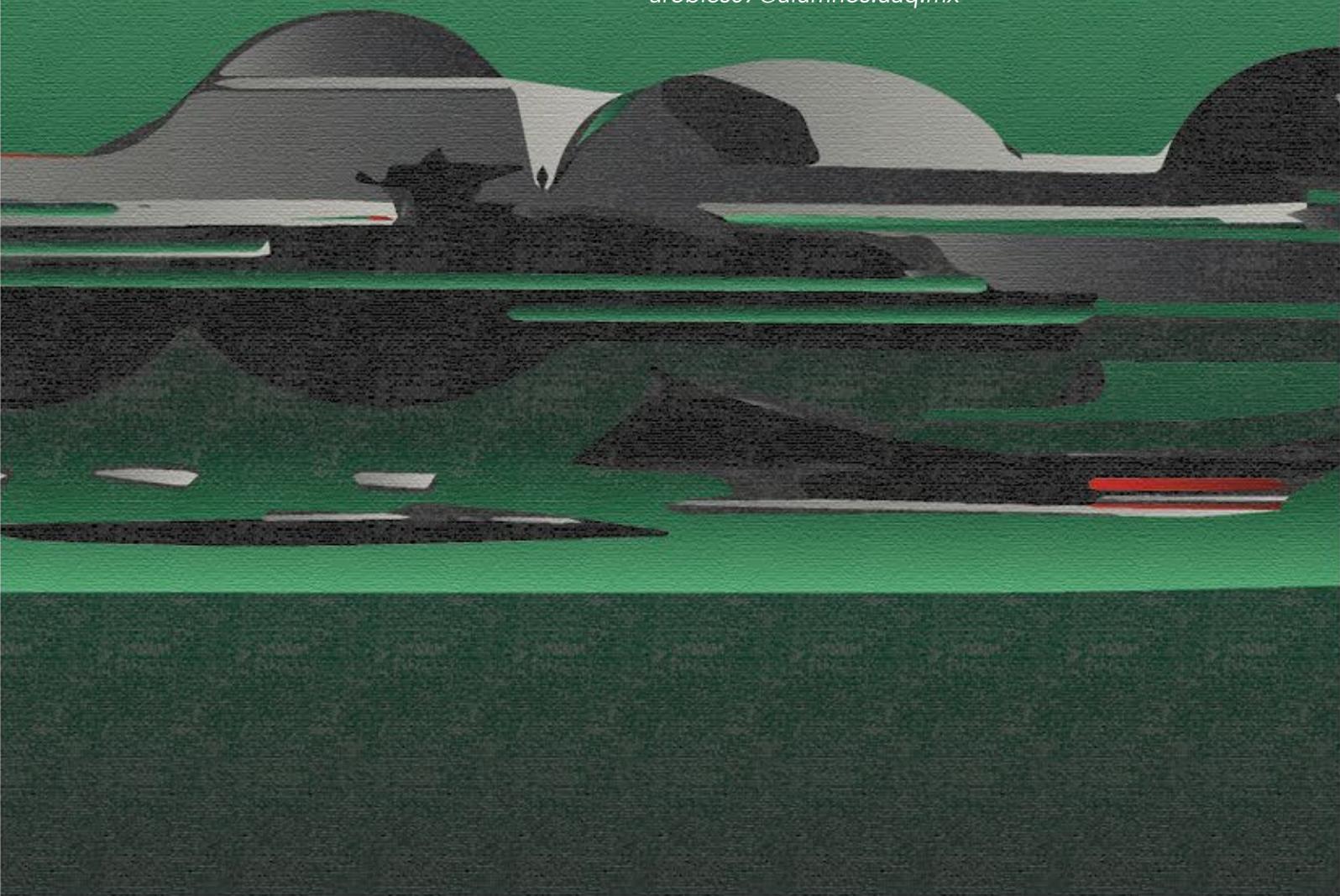
EFEECTO DEL SOLVENTE Y EL PH SOBRE LA ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD QUÍMICA DE LA MOLÉCULA DE DELFINIDINA

EFFECT OF SOLVENT AND PH ON THE STABILITY AND CHEMICAL REACTIVITY OF THE DELPHINIDIN MOLECULE

Ana Paola Robles Sánchez^{1*}
Oscar Eduardo Ortiz Contreras¹
Ángeles Cuan Hernández¹

¹Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro

*arobles07@alumnos.uaq.mx



RESUMEN

Se presenta un comparativo de la estabilidad y la reactividad química de la molécula de delphinidina en cuatro disolventes (agua, metanol, etanol y acetona) a través del modelado molecular. La molécula de estudio se modeló en las distintas condiciones experimentales con base en sus estructuras predominantes correspondientes a los pH 1, 4.5, 5.5 y 7. Asimismo, los estudios mecánico-cuánticos se efectuaron según la teoría funcional de la densidad (DFT en inglés) a nivel B3LYP y con un conjunto de bases 6-11+g (d,p). Las energías de solvatación de la molécula de delphinidina revelaron que en metanol es donde mejor se disuelve. Además, los índices de reactividad química por efecto de disolvente indicaron que la delphinidina pierde dureza cuando se disuelve en agua, volviéndose más reactiva. Los resultados también mostraron que, a pH menor que 2 y en metanol como disolvente, el grupo hidroxilo unido al carbono 4' es el más propenso a donar hidrógenos.

Palabras clave: antocianinas, delphinidina, DFT, efecto del solvente, pH.

A través del modelado molecular se comprende que la molécula delphinidina muestra un variado tema de estudio. A continuación, se presentará la comparativa respecto a su estabilidad y reactividad química en cuatro disolventes: agua, metanol, etanol y acetona, a través de distintas condiciones experimentales y estudios mecánico-cuánticos.

ABSTRACT

A comparison of the stability and chemical reactivity of the delphinidin molecule in four solvents (water, methanol, ethanol and acetone) is presented through molecular modeling. The study molecule was modeled in the different experimental conditions based on its predominant structures corresponding to pH

1, 4.5, 5.5 and 7. Furthermore, the quantum-mechanical studies were performed according to density functional theory (DFT) at the B3LYP level and with a 6-11+g (d,p) basis set. The solvation energies of the delphinidin molecule revealed that it dissolves best in methanol. In addition, the chemical reactivity indices by solvent effect indicated that delphinidin loses hardness when dissolved in water, becoming more reactive. The results also showed that, at pH less than 2 and in methanol as solvent, the hydroxyl group attached to carbon 4' is the most likely to donate hydrogens.

Keywords: anthocyanins, delphinidin, DFT, solvent effect, pH.

INTRODUCCIÓN

Las antocianinas forman parte del grupo de los flavonoides, metabolitos generados por biosíntesis en plantas [1] que confieren la pigmentación azul, rojo o púrpura a diversas flores, frutas y vegetales [2]. Se presentan en bayas como la mora, saúco, uva, frambuesa, y otros alimentos como la cereza, fresa, maíz morado, camote amarillo, granadas y cebolla roja [3, 4]. Las antocianinas se han vuelto atractivas los investigadores gracias a sus propiedades farmacológicas como los antioxidantes, precursores de enfermedades neurodegenerativas y cardioprotectoras [3, 5]. En particular, las antocianidinas, la forma aglicona de las antocianinas, poseen uno o más azúcares enlazados a los oxígenos de C3 o C3 y C5 principalmente (Figura 2 para la numeración); de las más de 600 antocianinas identificadas hasta la fecha, solo 5 se clasifican de acuerdo a los grupos hidroxilo del esqueleto *flavylium* que caracteriza a las antocianidinas [4, 6].

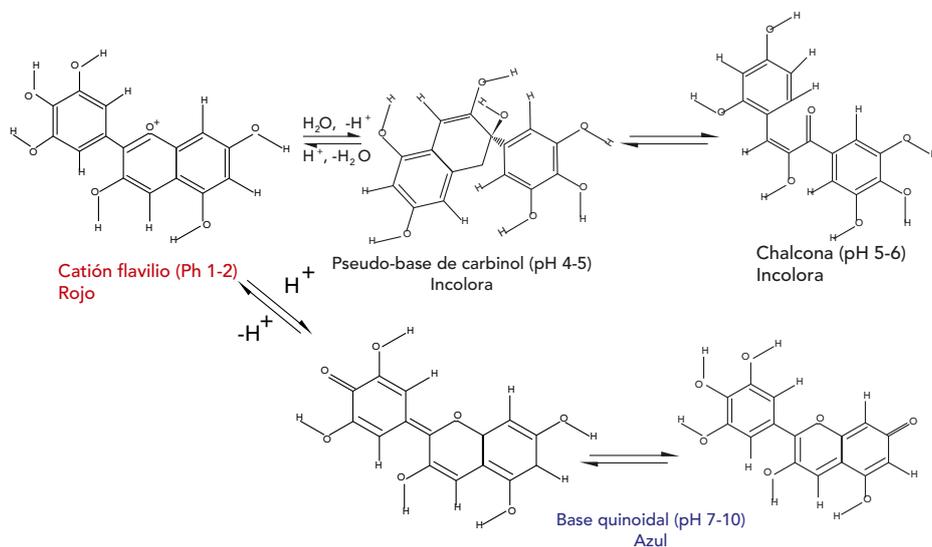


Figura 1. Estructuras de la delfinidina a diferentes pH. Cation flavilio (pH 1-2): predomina el ion oxonio en el anillo B. Pseudo-base de carbinol (pH 4-5): producto de la hidratación del cation flavilio. Base quinoidal (pH 7-10): producto de la reacción ácida del cation flavilio, los enlaces pi conjugados de la estructura le proporcionan la absorción en el espectro visible. Chalcona (pH 5-6): tautómero de la molécula pseudobase de carbinol, resultado de la apertura del anillo de pirilio, con H_2O como catalizador. Estructuras reportadas en [6].

Por otra parte, el potencial de hidrógeno (pH) desempeña un papel fundamental en la estructura de las antocianinas al propiciar reacciones ácido-básicas, de isomerización o de adición de una molécula de agua. Para un pH menor a, 3 la estructura mayoritaria es el cation flavilio (HA^+), con un pKa de 4-5 para la formación de la base conjugada A (base quinoidal). Una adición nucleofílica de H_2O en el carbono 2 resulta en la formación de la forma hemiacetal incolora, que tras un aumento en el pH produce su tautómero incoloro, la chalcona (Figura 1) [7, 8]. Al variar el pH, la chalcona adopta un pigmento que se emplea como colorante natural en aditivos de alimentos, en la enología [9] e incluso como indicador inteligente de frescura en el empaquetado de productos alimentarios [10]. También, los diferentes niveles de pH durante la digestión propician el estado mayoritario de una estructura u otra en el cuerpo.

Aunque la delfinidina es la segunda antocianina predominante en

mora azul, granada, uva roja, entre otras [8], solo después de la cianidina, su presencia alcanza apenas un 12 %. El porcentaje tan bajo conlleva para extraerlo un arduo trabajo de purificación, donde el disolvente posee un rol fundamental [11]. En este trabajo se analizó la estabilidad, así como la reactividad química, de la molécula de delfinidina en varios disolventes empleando las estructuras predominantes de acuerdo al pH [7], mediante el modelo de polarización continua (SMD), con la finalidad de elucidar el mecanismo por el cual alcanza su configuración más estable.

METODOLOGÍA

CÁLCULO DE OPTIMIZACIÓN Y FRECUENCIA

Se utilizó el método *ab initio* de la DFT para la generación de cuatro geometrías óptimas (de mínima energía) de delfinidina en su estado fundamental (EF) correspondientes a los rangos de pH 1-2, 4-5, 5-6, y 7-10. Se consideró el

ion flavilio con carga +1; además, con base en la teoría de funcional de la densidad (DFT), se adoptó el funcional de correlación de intercambio B3LYP (Becke, 3 parámetros, Lee–Yang–Parr) [12], un conjunto de bases con función difusa “+” y de polarización 6-311+g (d,p). Mediante el paquete informático Gaussian 09, se ejecutaron los cálculos de frecuencia para obtener los parámetros termodinámicos; dichos cómputos se cotejaron con los reportes. También se realizaron cálculos TD-DFT, una ampliación de la teoría del funcional de la densidad asignada a sistemas excitados, para determinar los espectros UV y los estados electrónicos excitados alcanzados en las estructuras geométricas propuestas [13].

EFFECTOS DEL SOLVENTE

Se evaluaron 4 solventes orgánicos puros a fin de calcular la estabilización o energía de solvatación de la delfinidina en el medio, a saber, acetona, agua, metanol y etanol. Se examinó cada estructura en

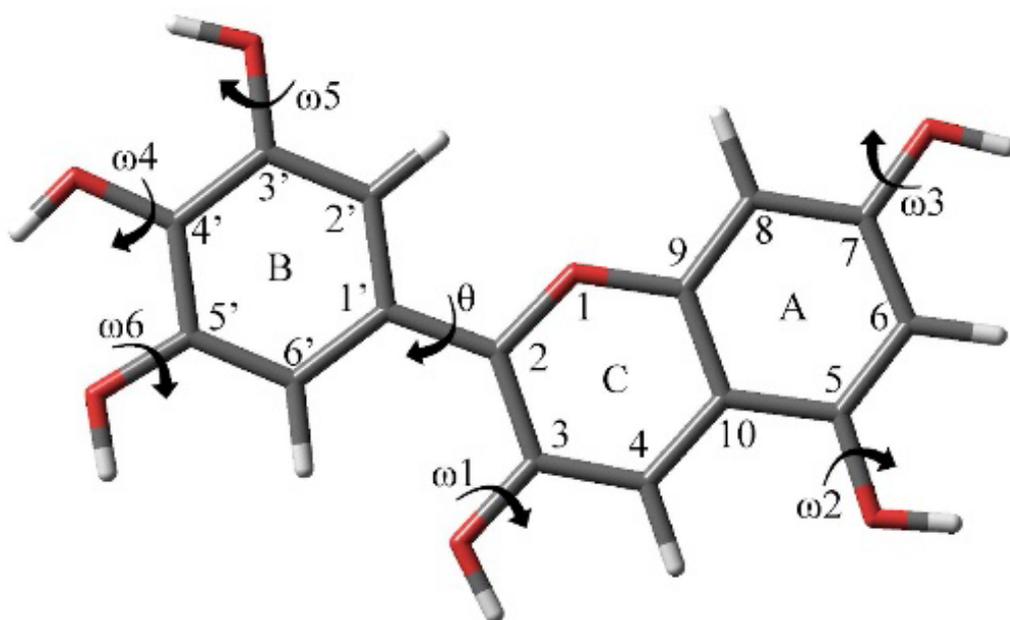


Figura 2. Estructura optimizada de delphinidina en estado gaseoso [14].

estado fundamental, primero sin efecto de disolvente, y posteriormente se calculó el efecto de solvatación al utilizar el modelo universal de solvatación basado en densidad (SMD). El solvente se representó implícitamente como un medio dieléctrico y la tensión superficial se calculó en el límite entre soluto y solvente [14]. Cada energía de solvatación se computó como la diferencia de la energía libre de Gibbs en estado solvatado menos la misma en el vacío. Adicionalmente, se obtuvieron los descriptores químicos de dureza (η), potencial (μ), blandura (σ), electronegatividad (χ) e índice de electrofilicidad (ω) al usar los valores de los orbitales frontera HOMO y LUMO. Donde $I = -\text{HOMO}$ y $A = -\text{LUMO}$, para las diferentes geometrías formadas dependiendo del valor pH. Las Ecuaciones (1-5) ilustran estos planteamientos:

$$\mu = -(I + A)/2 \quad (1)$$

$$\eta = (I - A)/2 \quad (2)$$

$$\sigma = 1/(2\eta) \quad (3)$$

$$\chi = (I + A)/2 \quad (4)$$

$$\omega = \mu^2/2\eta \quad (5)$$

A su vez, las cargas fueron evaluadas como puntuales, centradas en los átomos y derivadas del potencial electrostático en específico CHELPG.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESTRUCTURA DE LA DELFINIDINA

La estructura optimizada en la fase gaseosa para el isómero catiónico (catión flavilio) es completamente plana (Figura 2). Los ángulos diedros $\omega 1$ (C2-C3-O-H), $\omega 4$ (C3'-C4'-

O-H), $\omega 5$ (C2'-C3'-O-H), y $\omega 6$ (C4'-C5'-O-H) son anti-periplanares, de modo que se maximiza la distancia entre los hidrógenos con carga parcial positiva del grupo hidroxilo. En contraste, $\omega 2$ (C5-C6-O-H) y $\omega 3$ (C6-C7-O-H) son sin-periplanares, y mientras $\omega 2$ concuerda con la literatura en este sentido [15, 16], el ángulo $\omega 3$ no, lo que podría sugerir que la siguiente estructura es un mínimo local, no global.

La estructura de menor energía de solvatación obtenida conforme a la Ecuación (6), corresponde a la geometría catiónica (pH < 2).

$$\Delta G_{(solv)} = G_{(e.s)} - G_{(e.g)} \quad (6)$$

Donde:

$\Delta G_{(solv)}$: energía de solvatación;

$G_{(e.s)}$: energía libre de Gibbs en estado solvatado;

$G_{(e.g)}$: energía libre de Gibbs en fase gaseosa.

Los resultados, resumidos en la Figura 3, muestran la estabilización de las diferentes estructuras propuestas experimentalmente en [7] y calculadas en este trabajo. El ion oxonio de la estructura flavilio (especie formada a pH = 1) es el que se estabiliza más en cualquier disolvente, con respecto a las estructuras moleculares. Esto se encuentra en congruencia con la parte experimental, donde el pH seleccionado para purificar el compuesto es, de igual forma, 1. Existen pequeñas diferencias en la estabilidad molecular de la estructura tipo flavilio, de mayor a menor: metanol, etanol, agua y acetona. Las constantes dieléctricas de cada solvente son 0.791, 0.789, 0.998 y 0.788, respectivamente. Por tanto, es evidente que, cuando la constante dieléctrica se encuentra en el rango de 0.8-0.78, la solubilidad aumenta con la polaridad de la molécula. Las diferencias más significativas ocurren a pH = 4-5 y 5-6. Además, contrariamente a los demás disolventes, la acetona no forma puentes de hidrógeno, por lo que se ve una marcada disminución en la energía de solvatación. Por otro lado, en los rangos de pH de 4-5 y pH > 7 no parece haber una diferencia significativa, quizás debido a que tanto la base carbinol como la pseudobase quinoidal son moléculas neutras. Lo anterior concuerda con resultados experimentales [17].

REACTIVIDAD QUÍMICA

Los orbitales de frontera HOMO y LUMO son los principales involucrados en la reactividad química. HOMO proporciona información acerca de la habilidad de donar un electrón, mientras LUMO indica la capacidad de aceptar un electrón.

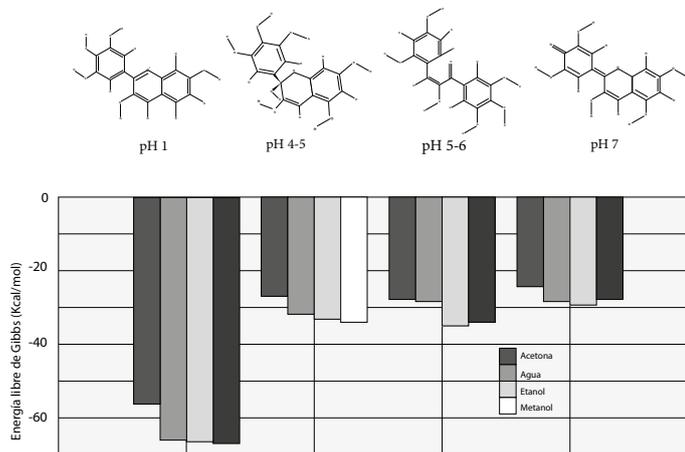


Figura 3. Gráfica de la energía de solvatación de las diferentes estructuras evaluada en diferentes solventes orgánicos. pH < 2: catión flavilio. pH 4-5: pseudobase de carbinol. pH 5-6: chalcona. pH > 7: base quinoidal.

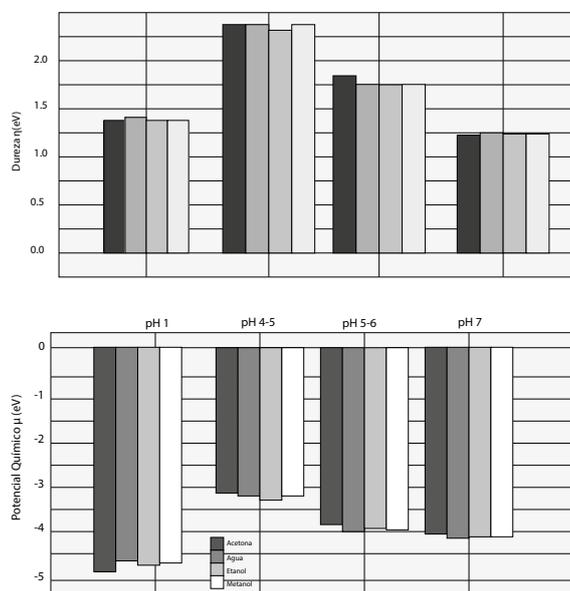


Figura 4. Dureza (η) y potencial químico (μ) de las estructuras evaluadas en diferentes solventes orgánicos. pH 1: catión flavilio. pH 4-5: pseudobase de carbinol. pH 5-6: chalcona. pH > 7: base quinoidal.

Las energías de dichos orbitales sirven para calcular los descriptores de reactividad química. El primero corresponde a la dureza (η), es decir, la resistencia a la deformación o polarización de la nube de electrones. De acuerdo a la Figura 4 (parte superior), la pseudobase de carbinol presenta la mayor estabilidad, seguida de la chalcona, es decir, los dos compuestos incoloros. En contraste, de acuerdo a la blandura, los cromóforos a pH 7 y 1 poseen la mayor reactividad (Figura 4; Tablas 1-4).

CARGA DE LA MOLÉCULA

En la Figura 5, se muestran las cargas parciales atómicas calculadas con CHELPG para el estado gaseoso puro del soluto y con los solventes agua y metanol. En la estructura de pH < 2, el ion oxonio de la estructura flavilio presenta una menor carga negativa que los demás oxígenos. En forma gaseosa (-0.291), no alcanza una carga +1 en este átomo, debido a que las cargas se distribuyen en todos los átomos de la molécula.

Tabla 1. Energías de solvatación (Kcal/mol), potencial químico, dureza, blandura, electronegatividad e índice de electrofilicidad de la molécula de delphinidina a pH 1.

	$\Delta G_{(SOLV)}$	μ	H	Σ	X	Ω
ACETONA	-55.913	-4.969	1.402	0.357	4.969	8.804
AGUA	-62.923	-4.741	1.422	0.352	4.741	7.904
ETANOL	-63.243	-4.803	1.411	0.354	4.803	8.177
METANOL	-63.974	-4.771	1.414	0.354	4.771	8.050

Tabla 2. Energías de solvatación (Kcal/mol), potencial químico, dureza, blandura, electronegatividad e índice de electrofilicidad de la molécula de delphinidina a pH 4-5.

	$\Delta G_{(SOLV)}$	μ	H	Σ	X	Ω
ACETONA	-26.004	-3.158	2.373	0.211	3.158	2.101
AGUA	-31.233	-3.197	2.377	0.210	3.197	2.150
ETANOL	-32.447	-3.270	2.334	0.214	3.270	2.291
METANOL	-33.009	-3.166	2.374	0.211	3.166	2.111

Tabla 3. Energías de solvatación (Kcal/mol), potencial químico, dureza, blandura, electronegatividad e índice de electrofilicidad de la molécula de delphinidina a pH 5-6.

	$\Delta G_{(SOLV)}$	μ	H	Σ	X	Ω
ACETONA	-24.559	-3.849	1.805	0.277	3.849	4.103
AGUA	-29.594	-4.002	1.755	0.285	4.002	4.563
ETANOL	-30.414	-3.932	1.752	0.285	3.932	4.411
METANOL	-30.247	-3.967	1.746	0.286	3.967	4.505

Tabla 4. Energías de solvatación (Kcal/mol), potencial químico, dureza, blandura, electronegatividad e índice de electrofilicidad de la molécula de delphinidina a pH 7.

	$\Delta G_{(SOLV)}$	μ	H	Σ	X	Ω
ACETONA	-25.031	-4.057	1.232	0.406	4.057	6.680
AGUA	-28.352	-4.146	1.251	0.400	4.146	6.868
ETANOL	-28.993	-4.088	1.242	0.403	4.088	6.728
METANOL	-28.162	-4.115	1.246	0.401	4.115	6.796

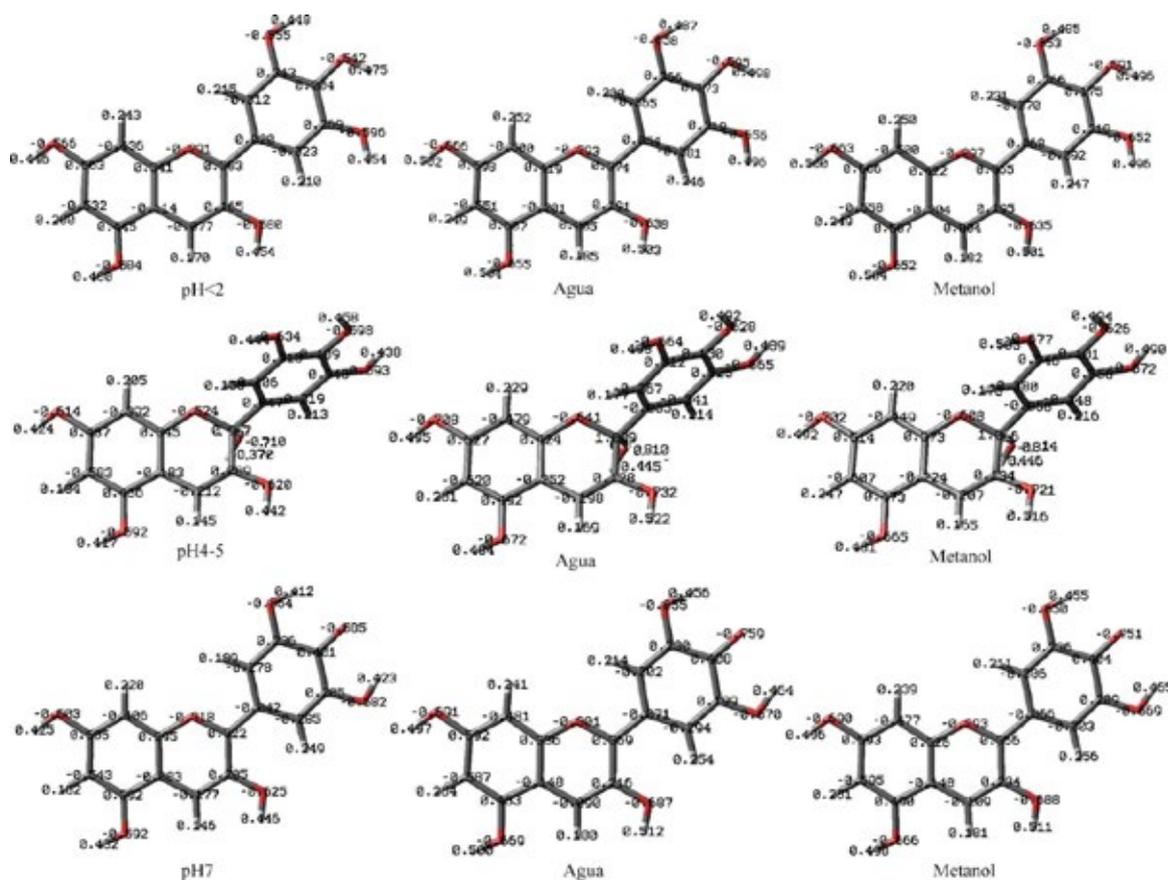
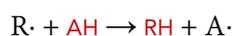


Figura 5. Carga parcial atómica calculada con CHELPG, para el estado gaseoso puro del soluto y con los solventes agua y metanol.

Sin embargo, a comparación de los átomos de oxígeno restantes en la molécula, el O1 es ligeramente más positivo. El segundo oxígeno con mayor carga parcial positiva es el contenido en el hidroxilo 4'C-OH; por lo tanto, actúa como un ácido débil (AH), este grupo podría ser un lugar de eliminación de radicales por el mecanismo de transferencia de hidrógenos a la especie reactiva (R·) (HAT, por sus siglas en inglés), como se muestra en la siguiente reacción:



La base conjugada producto de esta reacción (base quinoidal)

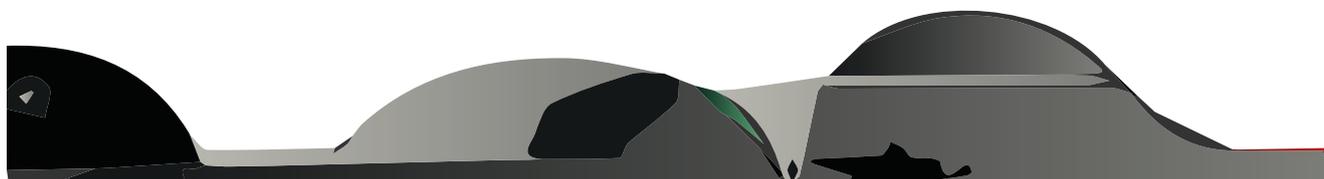
se estabiliza por los puentes de hidrógeno de los hidroxilos 3'C-OH y 5'C-OH [15]; posterior a este, el O de 5C-OH es el más positivo, por lo que a pH 7 podría ser un grupo ácido. Esta estructura es importante en la cavidad oral y en el intestino humano, donde el pH varía en rangos de 5.6-7.9 y 6.7-7.4 respectivamente [17].

CÁLCULO DE LOS ESTADOS EXCITADOS TD-DFT

En la Figura 6, se muestran los estados excitados obtenidos con el cálculo TD-DFT. Las excitaciones electrónicas van de los HOMO,

HOMO-1, HOMO-2 a los LUMO, LUMO+1, LUMO+2, LUMO+3, principalmente, y corresponden a las transiciones de los orbitales $n \pi \pi^*$, $\pi \pi \pi^*$ y $\pi \pi \pi^*$.

Las excitaciones con longitudes de onda entre los 400 nm y los 600 nm confieren color a los sistemas moleculares. La brecha energética, $\Delta E = |E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}}|$, se dio notablemente en un rango menor para el ion oxonio de la estructura flavilio formada a pH 1 en comparación a otros compuestos. De tal forma, queda confirmado que este compuesto resulta ser el más sensible a los efectos del medio.



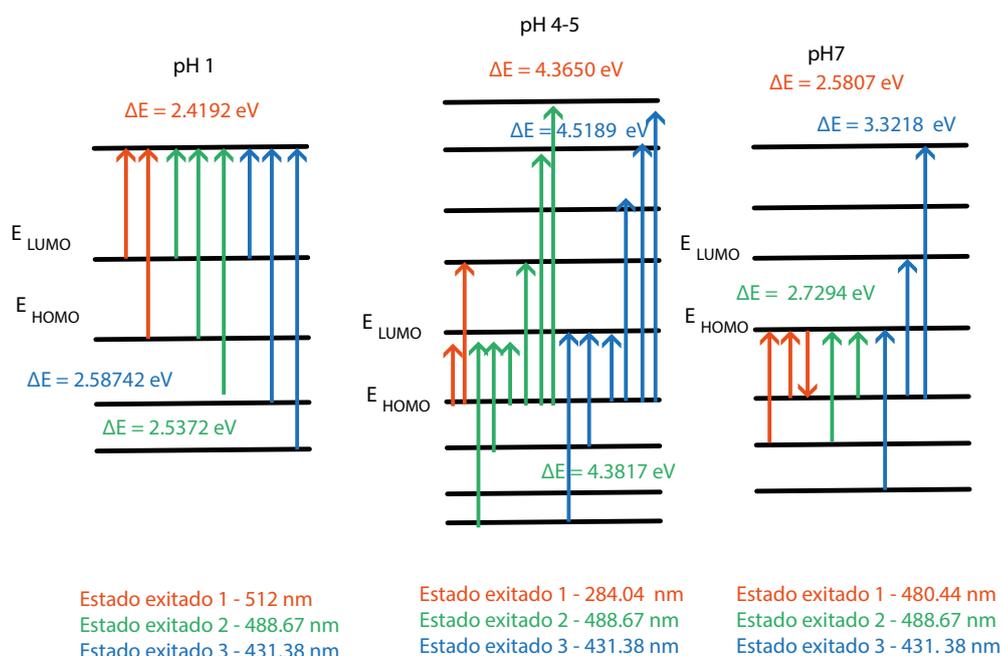


Figura 6. Estados excitados y transiciones electrónicas de la molécula de delphinidina predominante en 3 diferentes niveles de pH.

CONCLUSIONES

Gracias a la teoría del funcional de densidad en la descripción de propiedades estructurales y electrónicas de las moléculas, se logró conocer la energía de solvatación y estabilización de la molécula delphinidina en los cuatro solventes propuestos. Se encontró que posee una mayor estabilidad cuando adquiere una estructura de ion flavilio, el cual se forma a un pH de 1.0. Además, las cargas parciales atómicas de la molécula revelaron que el grupo con mayor potencial antioxidante, entre los solventes utilizados, es el 4'C-OH. Su efecto antioxidante y sus cualidades terapéuticas se adjudican a sus metabolitos predominantes: el ácido protocatecuico y cafeico [17]. Sin embargo, en las fuentes de consumo se encuentra en la forma glicosilada, que ha reportado una disminución de la actividad antioxidante, además de que se descompone durante la digestión. Finalmente, los resultados obtenidos mediante este tipo de estudios permiten una cabal comprensión

de la naturaleza química que un sistema molecular puede obtener y a su vez el potencial efecto del medio (disolvente) desde el punto de vista electrónico.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro, a la Universidad Autónoma de México plantel Iztapalapa: Laboratorio de Supercómputo y a Visualización en Paralelo (LSVP) de la UAM-Unidad Iztapalapa por los recursos computacionales aquí empleados. Extiendo mi gratitud al alumno de posgrado Oscar Ortiz y la doctora Ángeles Cuan Hernández por su apoyo; sin ellos, la realización del presente artículo habría sido imposible.

REFERENCIAS

[1] S. K. Panchal, O. D. John, M. L. Mathai y L. Brown, "Anthocy-

anins in chronic diseases: The power of purple", *Nutrients*, vol. 14, no. 10, p. 2161, 2022.

[2] H. E. Khoo, A. Azlan, S. T. Tang y S. M. Lim, "Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits", *Food & Nutrition Research*, vol. 61, no. 1, p. 1361779, 2017.

[3] V. Bendokas, V. Stanys, I. Mažeikienė, S. Trumbeckaite, R. Baniene y J. Liobikas, "Anthocyanins: From the field to the antioxidants in the body", *Antioxidants*, vol. 9 no. 9, p. 819, 2020. <https://doi.org/10.3390/antiox9090819>

[4] C. Chaiyasut, B. S. Sivamaruthi, N. Pengkumsri, S. Sirilun, S. Peerajan, K. Chaiyasut y P. Kesika, "Anthocyanin profile and its antioxidant activity of widely used fruits, vegetables, and flowers in Thailand", *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, vol. 9, no. 6, p. 218, 2016.



- [5] J. Liu, H. Zhou, L. Song, Z. Yang, M. Qiu, J. Wang y S. Shi, "Anthocyanins: Promising natural products with diverse pharmacological activities", *Molecules*, vol. 26, no. 13, p. 3807, 2021.
- [6] R. Matera, S. Gabbanini, S. Berretti, R. Amorati, G. R. De Nicola, R. Iori y L. Valgimigli, "Acylated anthocyanins from sprouts of *Raphanus sativus* cv. sango: Isolation, structure elucidation and antioxidant activity", *Food Chemistry*, vol. 166, pp. 397-406, 2015.
- [7] O. Dangles y J. A. Fenger, "The chemical reactivity of anthocyanins and its consequences in food science and Nutrition", *Molecules*, vol. 23, no. 8, p. 1970, 2018.
- [8] H. E. Khoo, A. Azlan, S. T. Tang y S. M. Lim, "Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits", *Food & Nutrition Research*, vol. 61, no. 1, p. 1361779, 2017.
- [9] K. Zhang, L. Yuan, Q. Li, R. Wang y Z. Z. Zhang, "Comparison of the anthocyanins composition of five wine-making grape cultivars cultivated in the wujiaqu area of Xinjiang, China", *OENO One*, vol. 53, no. 3, 2019.
- [10] S. Roy y J. W. Rhim, "Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 61, no. 14, pp. 2297-2325, 2020.
- [11] A. Houghton, I. Appelhagen y C. Martin, "Natural blues: Structure meets function in anthocyanins", *Plants*, vol. 10, no. 4, p. 726, 2021.
- [12] K. Sakata, N. Saito y T. Honda, "Ab initio study of molecular structures and excited states in anthocyanidins", *Tetrahedron*, vol. 62, no. 15, pp. 3721-3731, 2006.
- [13] Y. K. Choong, "Fourier transform infrared and two-dimensional correlation spectroscopy for substance analysis", *Fourier Transforms - High-tech Application and Current Trends*, 2017.
- [14] A. V. Marenich, C. J. Cramer y D. G. Truhlar, "Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions", *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 113, no. 18, pp. 6378-6396, 2009.
- [15] L. Estévez y R. A. Mosquera, "Molecular structure and antioxidant properties of Delphinidin", *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 112, no. 42, pp. 10614-10623, 2008.
- [16] R. Guzmán, C. Santiago y M. Sánchez, "A density functional study of antioxidant properties on anthocyanidins", *Journal of Molecular Structure*, vol. 935, no. 1-3, pp. 110-114, 2009.
- [17] A. C. Kumoro, D. S. Retnowati y C. S. Budiyati, "Solubility of delphinidin in water and various organic solvents between (298.15 and 343.15) K", *Journal of Chemical & Engineering Data*, vol. 55, no. 7, pp. 2603-2606, 2010.
- [18] N. Tena, J. Martín y A. G. Asuero, "State of the art of anthocyanins: Antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health", *Antioxidants*, vol. 9, no. 5, p. 451, 2020.

IDENTIFICACIÓN DE VEHÍCULOS CON SOBRECARGA EN UN PUENTE ATIRANTADO INSTRUMENTADO

IDENTIFICATION OF OVERLOADED VEHICLES ON AN
INSTRUMENTED CABLE-STAYED BRIDGE

Violeta Rodríguez Millán^{1*}
Luis Álvaro Martínez Trujano²
Miguel Ángel Pérez Lara y Hernández¹
Jaime Moisés Horta Rangel¹
Francisco Pérez Moreno¹
Francisco Javier Carrión Viramontes²
Juan Antonio Quintana Rodríguez²

¹Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma de Querétaro

²Instituto Mexicano del Transporte
Querétaro, México

*violeta.9727@gmail.com

migperez@uaq.mx

amartinez@imt.mx

carrion@imt.mx

jaquintana@imt.mx



RESUMEN

Este estudio propone una metodología para identificar vehículos que presenten sobrecarga, los cuales influyen en la degradación prematura por fatiga en los elementos estructurales de un puente. Mediante el sistema de monitoreo del puente río Papaloapan, se obtuvieron registros de deformación de un conjunto de extensómetros en pruebas experimentales controladas; en ellas transitaban vehículos tipo C3 con peso conocido y velocidad controlada. Posteriormente, a través del análisis de información, se desarrolló e implementó un algoritmo que permite identificar vehículos C3 con sobrecarga de acuerdo a la normativa vigente, mediante la correlación entre la respuesta dinámica (deformación máxima) y el peso bruto vehicular. Finalmente, se establece un modelo matemático que permite estimar el peso bruto del vehículo.

Palabras clave: BWIM, EST, monitoreo estructural, puente atirantado, puente río Papaloapan, sobrecarga.

the analysis of the information, an algorithm was developed and implemented to identify overloaded C3 vehicles, according to current regulations, through the correlation between the dynamic response (maximum deformation) and the gross vehicle weight. Finally, a mathematical model is established to estimate the gross vehicle weight.

Keywords: EST, SHM, overload truck, rio Papaloapan Bridge, BWIM, cable-stayed bridge.

INTRODUCCIÓN

La historia de los puentes, a nivel mundial, ha estado marcada por desastres que se derivan de factores como el exceso de peso. Para evitar catástrofes de ese tipo, es de suma importancia detectar y dar seguimiento de los daños para estimar el deterioro de los elementos estructurales en infraestructura civil, ya que el tránsito continuo de vehículos de carga con exceso de peso puede comprometer el equipamiento del transporte.

De acuerdo con los estudios de campo del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el 18 % de los vehículos de carga circulan con pesos excesivos. En el caso particular del puente río Papaloapan, se tomó como referencia el límite de 66.5 toneladas (t) para un peso bruto vehicular máximo; la vida útil tiene un decremento del 5 % cuando el límite aumenta a 80 toneladas y de un 12 % con los niveles de sobrecarga que se reportan actualmente [1].

El tránsito vehicular es causal de la mayoría de los efectos dinámicos en la estructura [2]. Además, los niveles de violación a

El respeto a las leyes de carga vehicular es imperativo para el mantenimiento de la vida útil de los puentes y demás estructuras de tránsito vehicular. Sistemas de monitoreo son herramientas requeridas para medir el cumplimiento de dichas normas. Con base en puente río Papaloapan se ofrece la oportunidad de crear un método eficiente de medición y control.

ABSTRACT

This study proposes a methodology to identify overloaded vehicles, which can cause premature fatigue degradation in the structural elements of a bridge. By means of the monitoring system of the Papaloapan River bridge, deformation records were obtained

from a set of strain gauges in controlled experimental tests; in these tests, C3 type vehicles with known weight and controlled speed were transited. Subsequently, through



la reglamentación sobre pesos y dimensiones en México provocan que gran parte de los criterios y procedimientos norteamericanos que se utilizan en el cálculo de capacidades y el diseño de carreteras interurbanas y suburbanas no sean directamente aplicables para México [3].

SISTEMAS DE PESAJE EN MOVIMIENTO

La sobrecarga de vehículos de autotransporte es un problema común en las estructuras que conforman la red carretera; se refiere a aquellos vehículos que transitan con cargas que exceden las normas establecidas, los cuales, al transitar sobre las vías de transporte, provocan grave daño estructural y aceleran la degradación de la infraestructura. Debido a lo anterior, es posible afirmar que la principal dificultad que acorta la vida útil de la estructura en puentes es la fatiga.

La American Society for Testing and Materials (ASTM E1318-02) define el pesaje de vehículos en movimiento, mejor conocido como pe-

saje dinámico (*wim*, *weigh-in-motion*), como el proceso mediante el cual se dimensionan las fuerzas dinámicas de los neumáticos de un vehículo de autotransporte en movimiento y se estiman las correspondientes cargas por neumático del vehículo estático [4]. En el caso de puentes, una de las tecnologías más comunes es el sistema de pesaje en movimiento (*BWIM*, *bridge weigh-in-motion*); al igual que *wim*, no necesita la interrupción del flujo vehicular para el pesaje de transporte circulante, y es capaz de medir parámetros de operación para determinar el peso o lado de eje de los vehículos de autotransporte [5]. A su vez, el monitoreo de salud estructural (*SHM*-Structural Health Monitoring) proporciona una herramienta para afianzar la integridad y seguridad del puente; en este sentido, también desplegarse del *BWIM*. La instrumentación de un sistema *BWIM* está conformada por un sistema de adquisición, uno de comunicación, uno de suministro eléctrico y sensores que registran de manera global las respuestas de esfuerzos por tensión en el puente [6].

PUENTE RÍO PAPALOAPAN

Sobre el río Papaloapan se eleva un puente homónimo de tipo atirantado ubicado en el kilómetro 85 + 980 de la autopista la Tinaja-Acayucan, en el estado de Veracruz, México. Ha estado en servicio desde el año 1995; cuenta con una longitud total de 407 m, un claro máximo de 206 m, y se encuentra suspendido por 8 semi-arpas de 14 tirantes cada una (Figura 1) [7].

El puente río Papaloapan desempeña un papel primordial dentro de la red federal carretera, ya que permite el intercambio económico entre el centro y el sur del país [8]. Es también el primero instrumentado, monitoreado en tiempo real y evaluado de forma permanente por el Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes (*CEMPEI*) de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (*SICT*) [9].

A través del sistema de monitoreo del puente río Papaloapan, se ha iniciado el desarrollo de herramientas de detección como el algoritmo para la identificación de



Figura 1. Puente río Papaloapan.



Figura 2. Vehículo de configuración C3.

carga viva por tránsito vehicular, entre otros [2].

METODOLOGÍA

A continuación, se describe el proceso metodológico empleado al desarrollo e implementación de un nuevo algoritmo que permita identificar con mayor precisión los vehículos de autotransporte que presenten sobrecarga en un puente atirantado.

DEFINICIÓN DE TIPO DE VEHÍCULO EN PRUEBAS EXPERIMENTALES

Inicialmente, se plantea efectuar ensayos controlados a vehículos de autotransporte de configuración C3 que transitan el puente río Papaloapan a diferentes velocidades. La configuración vehicular C3 (Figura 2) consta de un camión unitario (C) que se define como un vehículo automotor destinado al

transporte de carga con 3 ejes de ocho o diez llantas.

Cabe mencionar que se decidió utilizar el vehículo C3 porque la mayor parte del peso se encuentra en los ejes traseros y, debido a la longitud del vehículo, la carga se concentra en un área menor, de modo que tiene un espectro de carga con niveles de sobrecarga importantes.

De acuerdo con los datos viales del año 2021, se registró un tráfico diario promedio anual (TDPA) de 5794 vehículos en el puente río Papaloapan; 348 de ellos conciernen al tipo C3. Por otro lado, para regular la configuración vehicular, la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 demanda que el traslado vehicular en las vías generales de comunicación se ejecute en condiciones de seguridad, vigilando que el peso y las dimensiones no inflijan daños a la integridad de las personas ni a la infraestructura carretera [10]. Dentro de este

marco, el peso bruto vehicular (PBV) máximo autorizado para la configuración vehicular C3 se indica en la Tabla 1.

DESARROLLO DEL PLAN Y ESTRATEGIA PARA EVALUAR LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO DURANTE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Tras las pruebas preliminares, se elaboró un programa de actividades para efectuar los ensayos, se gestionaron las licencias para trabajar sobre el puente, se elaboraron plantillas para el registro de los pesajes y se diseñaron los planos de la ubicación de sensores en el tablero. A fin de registrar la respuesta dinámica del puente ante las cargas vivas aplicadas, el sistema de monitoreo permanente cuenta una red de fibra óptica que conecta 24 sensores de deformación, 24 acelerómetros, 8 medidores de inclinación, 5 sensores de

Tabla 1. Peso bruto vehicular (en toneladas) autorizado por tipo de vía para un C3.

EJES	LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (T)			
		ET Y A	B	C	D
3	8	24.0	19.0	17.0	16.0
	10	27.5	23.0	20.0	18.5



temperatura y 1 sensor de desplazamiento, además de dos cámaras de video [7]. Para correlacionar el peso de los vehículos de prueba, se registró la respuesta dinámica de los sensores de deformación unitaria (Figura 3): se disponen 10 sensores bajo cada una de las dos vigas principales del tablero del puente y un sensor en el costado, a media altura de cada torre [11].

En la Tabla 2 se muestra una descripción de las pruebas experimentales controladas y los vehículos de autotransporte utilizados.

En la Tabla 3 se observan los pesos de los vehículos C3 obtenidos mediante una pesadora estática de tipo portátil, instalada *in situ* para determinar los pesos por eje y el PBV.

EJECUCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

La ejecución y evaluación de la información del sistema de monitoreo se llevaron a cabo en pruebas experimentales con vehículos de autotransporte de configuración vehicular C3 de peso conocido, circulando a velocidades establecidas sin tráfico vehicular.

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ESTRUCTURALES SENSIBLES AL PESO VEHICULAR

Durante las pruebas, se registraron señales de deformación unitaria con una tasa de muestreo de 125 Hz en diferentes puntos a lo largo del tablero del puente: puntos de medición R1, R2, ..., R12. Respecto a esto, se advirtió que la amplitud de respuesta dinámica por el paso de los vehículos de prueba varía dependiendo de la carga del vehículo C3.

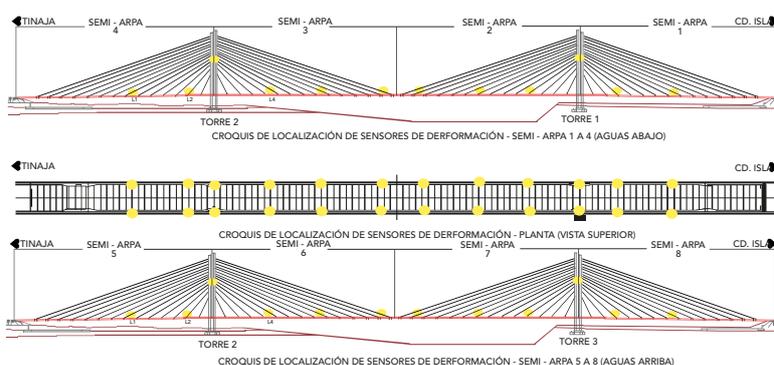


Figura 3. Ubicación de sensores de deformación en el puente río Papaloapan.

Tabla 2. Descripción de pruebas experimentales controladas.

PRUEBA	VEHÍCULOS	DESCRIPCIÓN
DIN1	Baja/pesado/9-XDB-40A, 2: baja/ligero/XU-22454, 3: alta/pesado/XM-0833-A y 4: alta/ligero/XK-5966-A	4 vehículos C3: 1 pesado y 1 ligero por el carril de baja; 1 pesado y 1 ligero por el carril de alta a 20 km/h.
DIN2	Baja/pesado/9-XDB-40A, 2: baja/ligero/XU-22454, 3: alta/pesado/XM-0833-A y 4: alta/ligero/XK-5966-A	4 vehículos C3: 1 pesado y 1 ligero por el carril de baja; 1 pesado y 1 ligero por el carril de alta a 60 km/h.
DIN3	Baja/pesado/9-XDB-40A, 2: baja/ligero/XU-22454, 3: alta/pesado/XM-0833-A y 4: alta/ligero/XK-5966-A	4 Vehículos C3: 1 pesado y 1 ligero por el carril de baja; 1 pesado y 1 ligero por el carril de alta a 60 km/h.
DIN4	Baja/pesado/9-XDB-40A, 2: baja/ligero/XU-22454, 3: alta/pesado/XM-0833-A y 4: alta/ligero/XK-5966-A	4 Vehículos C3: 2 pesados por el carril de baja; 2 ligeros por el carril de alta a 20 y 60 km/h.

Tabla 3. Pesos de vehículos: pruebas dinámicas en el puente río Papaloapan.

PLACA	EJE 1	EJE 2	EJE 3	PBV
	TOTAL			
	PESOS (T)			
XU-22454	5.2	8.9	8.5	22.6
9-XDB-40A	8	17.2	17.3	42.5
XK-5966-A	5.4	9.6	10.4	25.3
XM-0833-A	7.5	16.3	16	39.7

DISEÑO Y DESARROLLO DE UN ALGORITMO PARA DETERMINAR LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS QUE TRANSITAN SOBRE EL PUENTE

En cuanto al proceso de diseño y desarrollo del algoritmo se utilizó el lenguaje de programación Python. Inicialmente, para que la señal de deformación unitaria sea procesada, se remueve la señal asociada a los cambios térmicos y por carga estática, denominada *offset*. El desarrollo

consiste en restar aritméticamente la media de los datos a la señal original, y se repite para cada extensómetro para adecuar los datos antes de filtrarlos. Con la finalidad de disminuir los resultados indeseados, generados por el mismo sistema de adquisición, se emplea un preprocesamiento de datos mediante un filtro tipo Butterworth en configuración pasa banda de segundo orden, con una frecuencia baja de 0.01 Hz y una alta de 1.5 Hz [12].

Tras el filtrado, se continúa con una función de búsqueda para encontrar los picos de tensión de la señal filtrada, establecer la posición en el vector de tiempo e identificar los alcances correspondientes a las deformaciones unitarias máximas ($\mu\epsilon$) causadas por cada uno de los vehículos que transitaron por el puente; los picos corresponden al movimiento de un vehículo C3 de peso conocido. Posteriormente, se correlaciona la amplitud máxima en el sensor de deformación elegido con los datos del peso bruto vehicular obtenidos por la pesadora estática. En conclusión, mediante una regresión lineal, se obtiene una función matemática que describe la relación entre las amplitudes máximas de deformación por carga viva y el peso bruto vehicular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

Tras la obtención de las señales durante las pruebas dinámicas, se procesó la señal mediante el algoritmo descrito. Al aplicar el filtro, se obtuvo de la prueba DIN1 en el sensor R7 la siguiente señal (Figura 4):

Después de aplicar el filtrado de la señal, se continuó con la búsqueda de las amplitudes máximas de deformación en cada sensor (Figura 5).

Tras repetir el procedimiento para cada prueba dinámica, se obtuvo el valor correspondiente a las amplitudes máximas por evento. A continuación, en las Tablas 4 y 5, se exponen las deformaciones por carga viva en el sensor R7 y el peso bruto vehicular de los carriles de baja y alta velocidad, respectivamente.

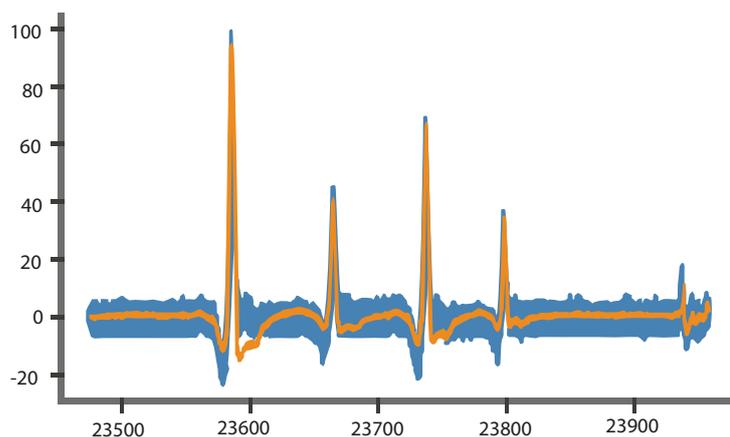


Figura 4. Señal filtrada para el sensor de deformación R7 correspondiente a la prueba DIN1.

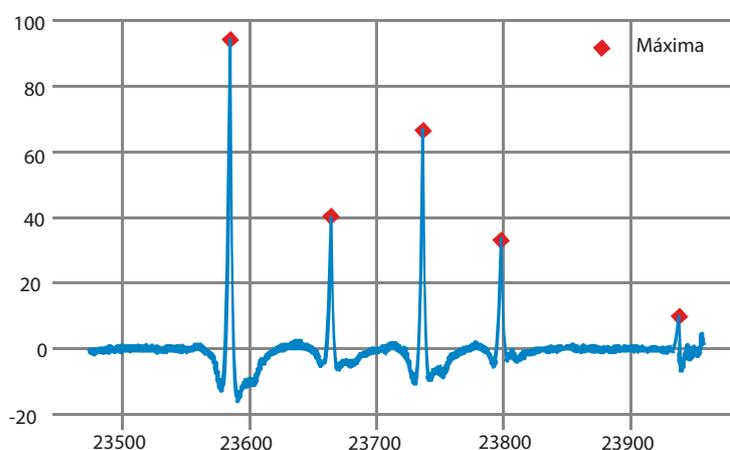


Figura 5. Identificación de eventos en señal filtrada para el sensor de deformación R7 correspondiente a prueba DIN1.

Tabla 4. Deformaciones por carga viva (R7) y peso bruto vehicular para el carril de baja velocidad.

CARRIL DE BAJA VELOCIDAD, CUERPO A		
PRUEBA	R7 ($\mu\epsilon$)	PBV (T)
DIN 1 (primer evento)	94.5136509	42.5
DIN 1 (segundo evento)	40.2163575	22.6
DIN 2 (primer evento)	97.3060945	42.5
DIN 2 (segundo evento)	41.36593	22.6
DIN 3 (primer evento)	95.2878376	42.5
DIN 3 (segundo evento)	42.4483465	22.6
DIN 4 (primer evento)	100.633134	42.5

Tabla 5. Deformaciones por carga viva (R7) y peso bruto vehicular para el carril de alta velocidad.

CARRIL DE ALTA VELOCIDAD, CUERPO A		
PRUEBA	R7 ($\mu\epsilon$)	PBV (T)
DIN 1 (tercer evento)	66.7083396	39.7
DIN 1 (cuarto evento)	33.947302	25.3
DIN 2 (tercer evento)	71.638954	39.7
DIN 2 (cuarto evento)	37.3821355	25.3
DIN 3 (tercer evento)	71.082699	39.7
DIN 3 (cuarto evento)	38.109593	25.3



En seguida, se aplicó un modelo de regresión lineal ajustado para cada uno de los carriles y los sensores (Figuras 6 y 7).

A partir de los datos de deformación unitaria, se obtuvieron las ecuaciones (1) y (2) para calcular el peso bruto vehicular para el carril de baja.

$$y = 0.3563x + 7.9227 \quad (1)$$

$$y = 0.4258x + 9.8716 \quad (2)$$

Donde:

x: deformación máxima a tensión generada por el paso del vehículo de autotransporte en microdeformaciones ($\mu\epsilon$).

y: peso bruto vehicular en toneladas (t).

Los resultados mostrados en las figuras 6 y 7 reflejan un $R^2 = 0.9953$ para el carril de baja velocidad y un $R^2 = 0.9855$ para el de alta, por lo que puede conocer una alta correlación entre la deformación unitaria y el peso bruto vehicular.

En la Tabla 6 se muestra un resumen de los resultados del ajuste lineal por el método de mínimos cuadrados del coeficiente R^2 para cada sensor instalado bajo la viga principal del cuerpo A, así como el modelo matemático que emana del mismo ajuste.

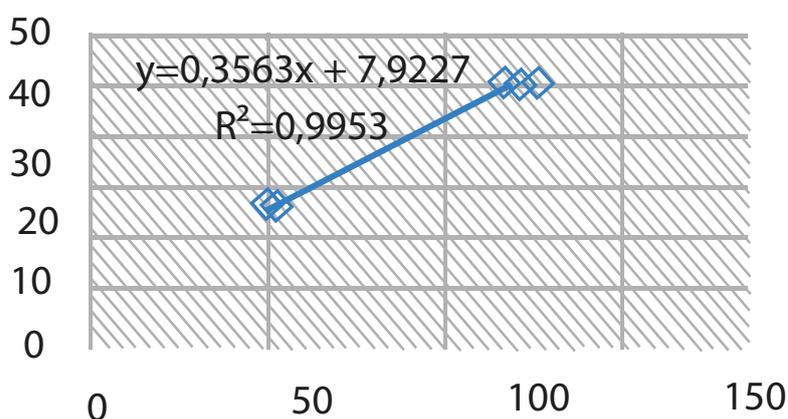


Figura 6. Carril de baja velocidad, sensor R7, cuerpo A.

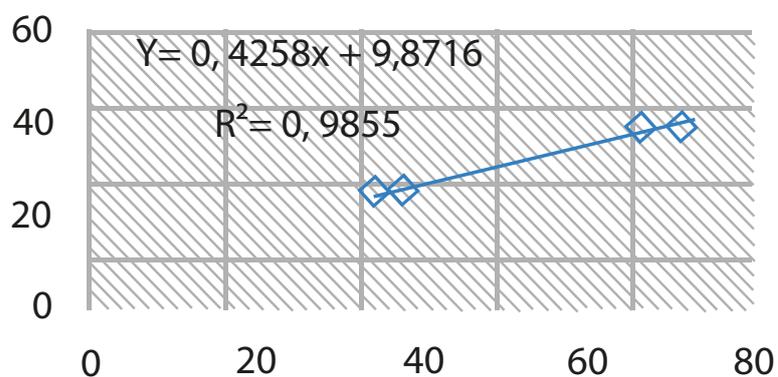
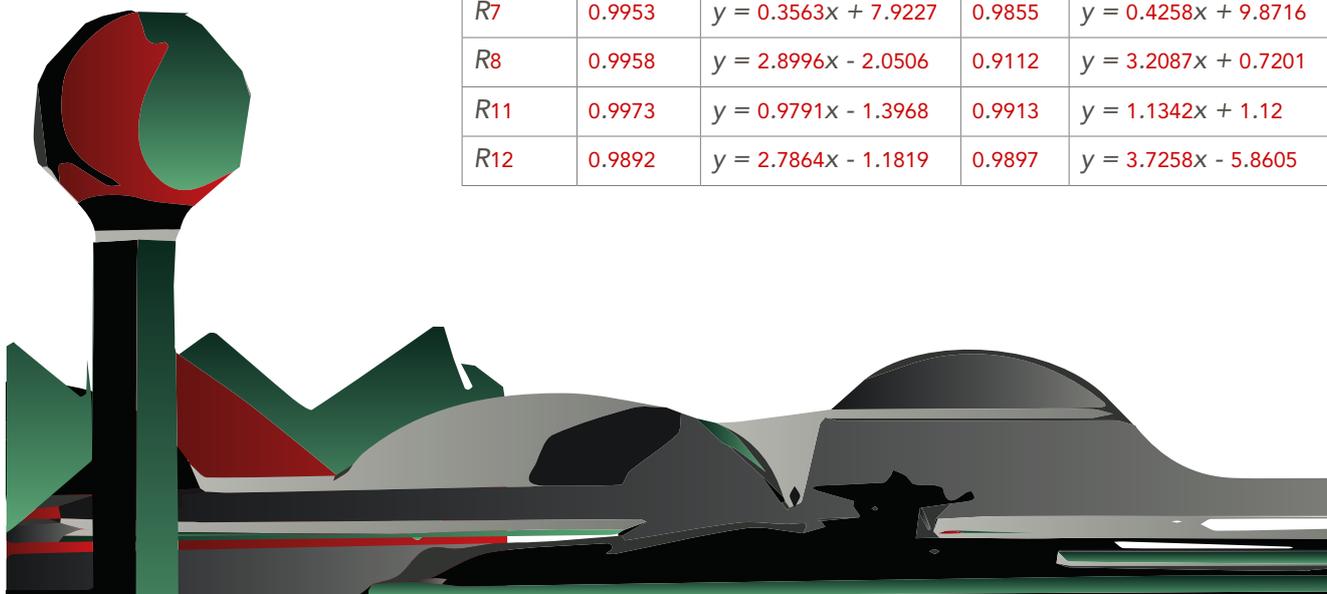


Figura 7. Carril de alta velocidad, sensor R7, cuerpo A.

Tabla 6. Coeficiente R^2 y ecuación para estimar el peso bruto vehicular (PBV) para cada sensor en carril de alta y baja velocidad.

SENSOR	CUERPO A DEL PUENTE RÍO PAPALOPAN			
	BAJA VELOCIDAD		ALTA VELOCIDAD	
	R^2	ECUACIÓN PBV	R^2	ECUACIÓN PBV
R1	0.9959	$y = 0.8265x - 3.151$	0.9826	$y = 0.9894x - 1.5045$
R2	0.9968	$y = 1.021x - 0.571$	0.9165	$y = 1.253x + 3.3327$
R4	0.9901	$y = 0.8963x + 0.2609$	0.9939	$y = 0.9971x + 4.9449$
R5	0.9973	$y = 1.3389x - 4.8791$	0.9771	$y = 1.394x - 0.1772$
R6	0.9787	$y = 1.3685x - 2.8226$	0.9513	$y = 1.4646x + 2.3443$
R7	0.9953	$y = 0.3563x + 7.9227$	0.9855	$y = 0.4258x + 9.8716$
R8	0.9958	$y = 2.8996x - 2.0506$	0.9112	$y = 3.2087x + 0.7201$
R11	0.9973	$y = 0.9791x - 1.3968$	0.9913	$y = 1.1342x + 1.12$
R12	0.9892	$y = 2.7864x - 1.1819$	0.9897	$y = 3.7258x - 5.8605$



VALIDACIÓN DEL ALGORITMO

A través de las cámaras del sistema de monitoreo del puente río Papaloapan, se identificó el paso de vehículos C3 en diferentes horarios (Figura 8).

Posteriormente, se analizaron los registros de los sensores de deformación de cada evento aplicando el algoritmo desarrollado. De este modo, a través de la ecuación correspondiente para cada sensor y carril, se obtuvo el peso bruto vehicular de cada evento. En la Tabla 7 se muestran los resultados para el sensor R7 de los PBV correspondientes al paso de vehículos C3 a través del puente. Al verificar los datos de acuerdo con la NOM-12, establece que el peso bruto máximo permitido para vehículos C3 en camino tipo A es de 27.5 t, podemos afirmar que un 10 % de los vehículos C3 analizados presentan sobrecarga.



Figura 8. Vehículo C3 circulando en el carril de baja del cuerpo A.

Tabla 7. Resultados del PBV de vehículos C3, obtenidos a través de los registros de deformación del sensor R7.

CARRIL	R7 (μE)	PBV (T)	SOBRECARGA (T)	SOBRECARGA (%)
Baja	22.37	15.89	-11.6	-42%
Baja	53.51	26.99	-0.5	-2%
Baja	53.51	26.99	-0.5	-2%
Baja	12.23	12.28	-15.2	-55%
Baja	22.52	15.95	-11.6	-42%
Baja	35.13	20.44	-7.1	-26%
Baja	44.7	23.85	-3.7	-13%
Baja	119.7	50.57	23.1	84%
Alta	10.16	14.20	-13.3	-48%
Baja	19.34	14.81	-12.7	-46%

CONCLUSIONES

Es viable identificar vehículos con sobrecarga en puentes a través de la implementación de un algoritmo caracterizado por la respuesta dinámica de sensores de deformación unitaria en pruebas controladas, empleando vehículos con configuración C3 que circulan en un mismo cuerpo, en carriles y velocidades diferentes. Además, existe una fuerte correlación entre las deformaciones unitarias máximas a tensión generada por vehículos de autotransporte y el peso bruto vehicular. De hecho, un solo modelo lineal es suficiente para describir tal relación con una precisión de 97 % para los vehículos que circulan en el carril de baja velocidad y 91 % para los que circulan en el de alta velocidad. El análisis para determinar el peso

bruto vehicular se puede realizar en condiciones normales de tráfico, identificando los vehículos C3 a través de las cámaras de video del sistema de monitoreo del puente.

Se ha desarrollado un algoritmo que permite conocer información relevante de los vehículos que circulan los puentes monitoreados a través del IMT con el objetivo de proporcionar a las autoridades un control vial del autotransporte que presenta sobrecarga en México.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por los recursos otorgados a través del programa de PNPC y al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por brindar apoyo, asesoría y

los recursos necesarios para realizar esta investigación.

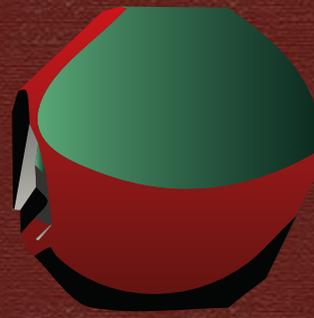
REFERENCIAS

- [1] J. A. Quintana Rodríguez, F. Carrión Viramontes, S. E. Crespo Sánchez, A. Hernández Guzmán, D. Rodríguez Naranjo y D. Arceo Mariñelarena, "Efecto de las variaciones del peso máximo de vehículos doblemente articulados en el deterioro de un puente atirantado," *Sanfandila*, 2014.
- [2] L. Á. Martínez Trujano, J. A. Quintana Rodríguez, B. Arroyo Ramírez, F. J. Carrión Viramontes, S. E. Crespo Sánchez, J. A. Hernández Figueroa, V. M. Bonilla Ureña, H. M. Gasca Zamora y A. Hernández Guzmán, "Sistema Inteligente



- y protocolos de actuación para monitoreo remoto de puentes," I. M. d. Transporte, Ed., *Sanfandila*, Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pp. 43-46, 2016.
- [3] A. Mendoza Díaz, A. Cadena Rodríguez, O. de Buen Richkarday, L. Domínguez Pommerencke y A. Rico Rodríguez, "Análisis estadístico del peso y las dimensiones de los vehículos de carga que circulan por la red nacional de carreteras. Estaciones instaladas durante 1991," *Sanfandila*, 1992.
- [4] J. L. M. García, "Efectos de fatiga y extremos en puentes de concreto presforzado ante cargas de vehículos pesados", Querétaro, 2014.
- [5] M. d. J. F. Gallegos, "CE-NAM," 09 Octubre 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.cenam.mx/cb/Pres/Pesaje%20din%C3%A1mico%20en%20carreteras%20-%20Manuel%20Fabela.pdf>.
- [6] Y. Yu, C. CS y D. Lu, "State of the art review on bridge weigh in motion technology," 2016.
- [7] J. A. Quintana Rodríguez, F. J. Carrión Viramontes, L. Á. Martínez Trujano, J. A. Hernández Figueroa y H. M. Gasca Zamora, "Monitoreo y evaluación estructural en tiempo real del puente río Papaloapan," *Sanfandila*, Querétaro, 2020.
- [8] J. A. Quintana Rodríguez, F. J. Carrión Viramontes, S. E. Crespo Sánchez, D. Rodríguez Naranjo, L. Á. Martínez Trujano, H. M. Gasca Zamora, D. Arceo Mariñelarena, A. Hernández Guzmán y J. Hernández Figueroa, "Estrategias de evaluación y análisis del monitoreo del puente Río Papaloapan," *Sanfandila*, Querétaro, 2015.
- [9] J. P. M. Díaz, "Procesos de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2 Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de auto-transporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal," 2018.
- [10] L. Á. Martínez Trujano, J. A. Quintana Rodríguez, B. Arroyo Ramírez, F. J. Carrión Viramontes, S. E. Crespo Sánchez, J. A. Hernández Figueroa, V. M. Bonilla Ureña, H. M. Gasca Zamora y A. Hernández Guzmán, "Sistema Inteligente y protocolos de actuación para monitoreo remoto de puentes," I. M. d. Transporte, Ed., *Sanfandila*, Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pp. 43-46, 2016.
- [11] L. Á. Martínez Trujano, J. A. Quintana Rodríguez, B. Arroyo Ramírez, F. J. Carrión Viramontes, S. E. Crespo Sánchez y J. A. Hernández Figueroa, "Sistema Inteligente y protocolos de actuación para monitoreo remoto de puentes," *Sanfandila*, Querétaro, 2016.
- [12] L. Á. Martínez Trujano, M. Anaya, G. Guzmán y V. Varela, "Estudio mediante monitoreo estructural de puentes para la identificación de tránsito: velocidad, dirección y peso bruto vehicular," *Sanfandila*, 2021.

Recibido el 14 de enero de 2023, aceptado el 20 de mayo de 2023.



09

MODELO FÍSICO A ESCALA DE UN POZO DE INFILTRACIÓN

SCALE PHYSICAL MODEL OF A DRYWELL

Rubén Gasca Granados^{1*}
Enrique González Sosa¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro

**rgasca@yahoo.com*

RESUMEN

La explosión demográfica está provocando tensión en la disponibilidad de los recursos hídricos, en especial debido a la sobreexplotación de las aguas subterráneas. Además, para preservar la naturaleza, deben implementarse herramientas que garanticen la calidad, abastecimiento y recarga de los mantos acuíferos sin deteriorar el medio ambiente. Sin embargo, la eficacia y funcionalidad de estas herramientas dependen de una amplia variedad de factores; en particular, de las características y propiedades del suelo. Con todo lo anterior en cuenta, este trabajo presenta la metodología llevada a cabo para la puesta a punto del modelo físico a escala de un pozo de absorción, con el fin de dilucidar el proceso de infiltración y mejorar su funcionamiento en condiciones de flujo permanente. Se efectuaron pruebas en condiciones estáticas y de flujo permanente, con y sin suelo, mediante 15 sensores centralizados que se adaptaron a una tarjeta Arduino Mega. Los transductores se calibraron de forma hidrostática, su comportamiento fue propicio y se ajustó con regresión lineal. También se efectuaron tres pruebas en flujo permanente (arena, arena-arcilla, y arcilla-arena), y se observó que los sensores respondían de acuerdo con lo esperado (comportamiento lineal) en todas las pruebas. En resumen, el modelo a escala representa adecuadamente un pozo de infiltración.

La sobreexplotación de recursos como el hídrico han afectado la integridad de la naturaleza. Las herramientas propuestas para contrarrestar el deterioro de los mantos acuíferos presentan fallas debido a la irregularidad del suelo. El modelo de este trabajo busca mejorar el funcionamiento del proceso de infiltración en los pozos de absorción.

Palabras clave: hidrología, modelo a escala, pozo de infiltración, recarga artificial.

ABSTRACT

The population explosion is causing stress on the availability of water resources, especially due to the overexploitation of groundwater. Moreover, in order to preserve nature, tools must be implemented to ensure the quality, supply and recharge of aquifers without deteriorating the environment. However, the effectiveness and functionality of these tools depends on a wide variety of factors; in particular, on the characteristics and properties of the soil. With all of the above in mind, this paper presents the methodology carried out for the development of a physical scale model of an absorption well in order to elucidate the infiltration process and improve its performance under permanent flow conditions. Tests were conducted under static and steady flow conditions, without soil and with soil, using 15 centralized sensors that were adapted to an Arduino Mega board. The transducers were hydrostatically calibrated, their behavior was linear and fitted with linear regression. Three tests were performed in steady flow (sand, sand-clay, and clay-sand), and the sensors were observed to respond as expected (linear behavior) in all tests. In summary, the scale model adequately represents an infiltration well.

Keywords: hydrology, artificial recharge, drywell, scale model.

INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia garantizar la disponibilidad del agua de manera sostenible, por lo que se requiere un manejo integral de este recurso. El crecimiento acelerado de la población está provocando tensión en la asignación de recursos



hídricos; por ejemplo, existe una preocupante sobreexplotación de las aguas subterráneas en algunas zonas [1]. Tal abuso comienza a causar problemas de subducción, debidos a la disminución en la presión de poro, ocasionado asentamientos o grietas, según la litología del sitio donde se localice el acuífero en cuestión. Por tanto, para fomentar la recuperación de la naturaleza es imperativo incrementar la cantidad de agua que se infiltra hacia los acuíferos, siempre y cuando se garantice su calidad, así como la protección de las fuentes de abastecimiento sin deteriorar el medio ambiente [2].

El interés en la recarga de acuíferos nace al inicio del siglo **XX**, en California y Nueva York, debido a la sobreexplotación de los mantos. La recarga artificial (**RA**), también conocida como **MAR** (*Managed Aquifer Recharge*) consiste en disponer agua superficial en balsas, surcos, zanjas, pozos de infiltración o cualquier otro tipo de dispositivo, desde donde se infiltra y alcanza los mantos acuíferos. La técnica ha gozado de una creciente aceptación para almacenar agua a corto o largo plazo, ya que presenta múltiples ventajas con respecto al almacenamiento en superficie [3]. En México se encuentran normalizadas la construcción, operación, mantenimiento y cierre de mecanismos de **RA** (Normas Oficiales Mexicanas **NOM-015-CONAGUA-2007**, *Recarga artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras y del agua*) [4]. Sin embargo, la eficacia y funcionalidad dependen principalmente de las características y propiedades del suelo. A partir de su desarrollo en los años **20** en Estados Unidos, los pozos de inyección o recarga se utilizaron para recuperar humedales para la agricultura y fueron exitosos en

zonas de gran porosidad como las calizas de Florida y los depósitos basálticos altamente fracturados [5]; por desgracia, los primeros diseños llegaron a presentar inconvenientes de bloqueo y contaminación debido a la acumulación de sedimentos transportados a lo largo de los pozos, como también a la proliferación de algas y bacterias.

Entre los primeros intentos de recarga se encuentra el llevado a cabo en **1954** por la Universidad de Arkansas; consistía en una recarga horizontal en el fondo del pozo a través de un sistema de tuberías perforadas en forma radial, dispuesto como una rueda de bicicleta. Desde el punto de vista experimental, [6] analizaron el comportamiento temporal en la interacción del acuífero con los filtros para la recarga, en específico, la permeabilidad en términos del gradiente hidráulico desde que inicia la recarga. Como era de esperar, encontraron que existe una oscilación entre la recarga y un flujo inverso que resulta del taponamiento y la compactación del filtro.

No obstante, el estudio de los pozos de infiltración no se ha ocupado en hacer modelos físicos para ver el comportamiento del flujo y de las presiones a lo largo de los pozos. Es cierto que varios investigadores han realizado pruebas de campo [1, 7], pero pocos han construido modelos en laboratorio, ya que los suelos son heterogéneos y anisotrópicos. El tipo de estructura que se utiliza para la recarga está condicionada si la fuente de abastecimiento es superficial o profunda; por ese motivo, los pozos son los más utilizados en pequeñas comunidades para satisfacer las demandas de agua [8]. En este trabajo se describe la

puesta en operación de un modelo físico a escala de un pozo de infiltración desarrollado para esclarecer el proceso de infiltración en condiciones de flujo permanente y medios heterogéneos verticales.

MÉTODOS, MATERIALES Y DATOS

El concepto de modelo físico se refiere a una analogía experimental: “[...] cualquier representación de un fenómeno físico a escala reducida, sustentada en leyes de similitud, de manera que los resultados obtenidos pueden ser interpretados con la menor incertidumbre posible y buena precisión” [9]. La representación del pozo de infiltración considera dónde el comportamiento del flujo a través del suelo es observable, y define los puntos donde medir las presiones en diferentes alturas y observar el avance de la humedad. Asimismo, existen trabajos experimentales que han dado seguimiento a la funcionalidad de los pozos de recarga (Figura 1).

En ellos, se establecen en forma general los mecanismos hidrodinámicos del proceso:

- Formación y expansión del bulbo de infiltración,
- abultamiento de la superficie piezométrica,
- recarga en estado permanente,
- desaparición del abultamiento de la carga hidráulica una vez que el agua se ha infiltrado.

El frente de humedad está restringido por la porosidad del suelo. Cuando pasa entre los poros más pequeños, el flujo es de baja velocidad y el contenido de agua disminuye. A su vez, el flujo está sujeto al contenido de agua, gradiente de potencial de matriz

(potencial capilar), y potencial gravitatorio con base en la siguiente relación:

$$q = -k \left(\frac{d(h-z)}{dz} \right) \quad (1)$$

Donde

h: cambio de altura del agua respecto a la horizontal (m).

q = Q/A: caudal que circula por unidad de área (m³/s).

k: conductividad hidráulica (m/s).

d(h-z)/dz: gradiente hidráulico expresado en incrementos infinitesimales.

El signo negativo de k se debe a que el caudal es una magnitud vectorial, cuya dirección decreciente es hacia los d(h-z), es decir, Δh o d(h-z) es negativo y, por tanto, el caudal será positivo.

Dentro de las zonas saturadas, el flujo se mueve por una carga hidráulica positiva; por el contrario, en la zona no saturada se debe generalmente a un gradiente negativo [3]. Entonces, el avance del flujo es directamente proporcional al gradiente hidráulico, conocido como *conductividad hidráulica* (k) o *coeficiente de permeabilidad* [10]. Sin embargo, los pozos de recarga (infiltración o absorción) responden físicamente en función de las capas que atraviesan; además, contienen un filtro de arena gruesa o grava fina. De esta forma, el flujo circula por una tubería perforada o con malla en el centro.

Con todo, estas condiciones requieren más investigación porque, mientras que por un lado, el medio no es heterogéneo; por el otro, es importante mejorar el conocimiento de las interacciones entre las zonas no saturada y saturada, para adaptar optimamente la teoría que describe el funcionamiento de los pozos de recarga.

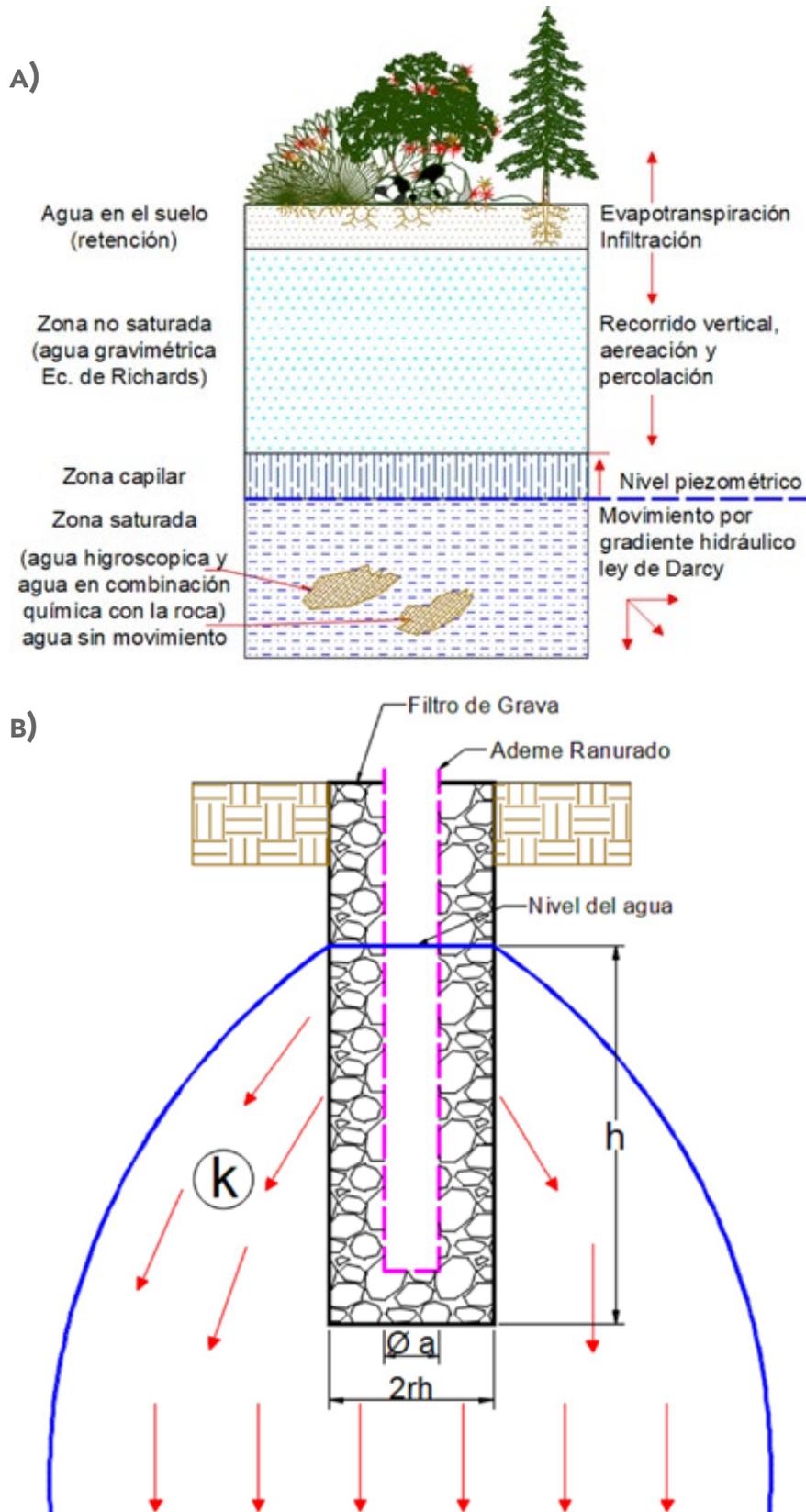


Figura 1. Esquema típico de movimiento del agua en el suelo y de un pozo de recarga artificial de frente de humedecimiento teórico en medio homogéneo.
 a) Movimiento del agua en el suelo. b) Pozo con ranura y filtro.
 k: permeabilidad; h: carga hidráulica; rh: radio del pozo.
 Fuente: Basado en [3].

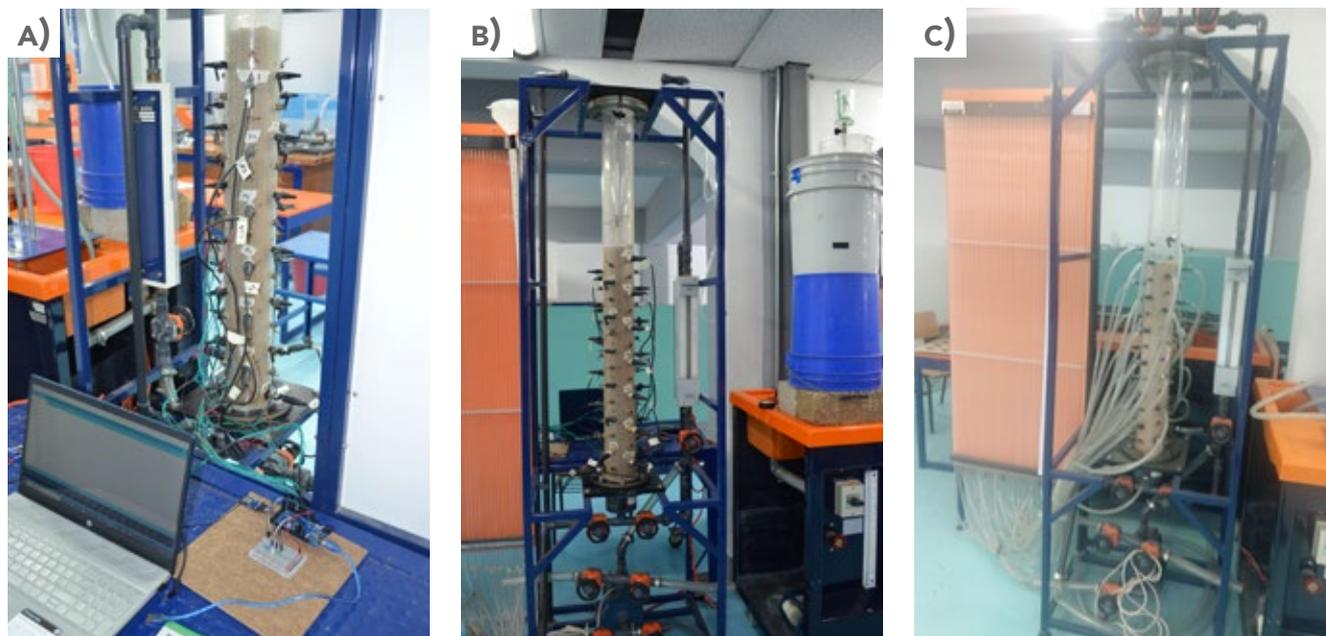


Figura 2. Foto del equipo de Columna de Filtración con Lecho Profundo Armfield-W5-MkII-A, ubicado en el laboratorio de fluidos de la UAQ. A) Condiciones iniciales, conectados con piezómetros de manguera. B) Prueba hidrostática. C) Prueba con un estrato (arena).

LEYES DE SIMILITUD

Existen tres leyes que rigen la parte experimental de modelos a escala en mecánica de fluidos, a fin de que estos sean válidos para respaldar las hipótesis y los resultados de estudio de un modelo físico: geométrica, cinemática y dinámica. En el caso del pozo de recarga, el modelo físico cuenta con una escala geométrica de 1:50; por su parte, la escala cinemática corresponde a 1:1 (Rreal=Remodelo), debido a que los efectos de la viscosidad son independientes de la geometría, siempre y cuando la relación sea menor que 1:100. Por último, se considera que la similitud dinámica se conserva porque depende de las dos anteriores [11].

MODELO FÍSICO

El modelo está constituido por un tubo de acrílico transparente de 10.4 cm de diámetro interno y 1.35 m de altura. Se acoplaron bridas en un extremo y se perforaron orificios a cada 4 cm en 6 colum-

nas dispuestas a cada 60° sobre la circunferencia de la sección transversal del tubo, iniciando a la altura de 2 cm hasta 78 cm de profundidad. Además, el conducto se adaptó para colocar transductores de presión en lugar de piezómetros. En su parte central se instaló un conducto ranurado de acrílico de diámetro 7 mm, y se añadió una cubierta de tela para simular un filtro de grava que permitiera el flujo de agua. Dicha corriente en estado permanente se simuló mediante un sifón con una manguera transparente de 1/4" conectada a un contenedor plástico de 19 litros, en el cual la carga se mantuvo constante.

Se adaptaron 15 sensores de presión piezoresistivos (Figura 2) centralizados a la tarjeta Arduino Mega, cuya función es transformar las señales analógicas a digitales y almacenarlas en una unidad de memoria microSD; la fuente de alimentación del arreglo fue un generador de corriente continua de 5 V a 2 A. De esta forma se monitoreó la señal del

avance del flujo y se agilizó su registro para periodos del orden de milisegundos acerca de la respuesta del suelo en condiciones de flujo permanente.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los transductores de presión piezoresistivos se componen de una membrana de silicio y cuentan con galgas extensométricas, que detectan las deformaciones por presiones aplicadas. Al formar un puente de Wheatstone, las galgas extensométricas reducen la sensibilidad y aumentan la potencia de salida del instrumento. Se ajustaron de la siguiente manera: 10 sensores de 0-30 psi, 3 de 0-10 psi, y 2 de 0-5 psi. Cada uno con las siguientes características:

- Cuerpo de acero inoxidable,
- voltaje: 5 v cc,
- tipo de rosca: 1/8" NPT,
- salida: voltaje lineal de 0.5 v ~ 4.5 v (0 psi = 0.5 v, 15 psi = 2.5 v, 30 psi = 4.5 v),
- precisión: dentro del 2 % de la lectura (escala completa).

La tarjeta Arduino Mega ATmega2560 posee pines de entradas y salidas (E/S) analógicas y digitales; programada en un entorno de lenguaje Processing/Wiring, se comunica a una PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Contiene un microcontrolador ATmega2560 y posee 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 receptores/transmisores asíncronos universales, un cristal de 16 Mz, conexión USB, entrada para alimentación de corriente continua, conector ICSP, y un botón de reseteo. El lenguaje nativo de Arduino para programación de alto nivel se basa en Processing, una variante simplificada de C++, y comparte similitudes con otros lenguajes. Para garantizar la

funcionalidad, y sensibilidad del sistema, fueron realizadas pruebas de calibración en condiciones controladas, las cuales se describen en el apartado siguiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CALIBRACIÓN DE CARGA Y PRESIÓN HIDRÁULICA ESTÁTICA

La condición estática se refiere a que la carga es constante en el tiempo. Sin embargo, la presión hidráulica es linealmente creciente: aumenta con la profundidad de acuerdo a la ley de Pascal [11]. La calibración de los transductores de presión hidrostática se efectuó llenando el cilindro de acrílico hasta las alturas de los sensores, en este caso: 110, 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 y 0 cm; se restó el efecto

de la altura en cada sensor para precisar su carga hidrostática (Figura 3), y los valores de la presión se midieron en mV.

A partir de la comparación gráfica con la distribución de presión teórica, las registradas en diferentes lapsos de tiempo fueron ajustadas mediante una regresión lineal para determinar el factor de corrección. Una vez que las presiones teórica y real fueron similares, las ecuaciones se integraron al programa en la tarjeta Arduino, a fin de obtener directamente el valor de la carga durante los experimentos. Aunque las lecturas de presión pueden registrarse con exactitud de milisegundos, se realizaron en periodos de 20 segundos para disponer de información sobre la dinámica de la presión asociada al frente del flujo mientras se evitaba la saturación de la memoria de la tarjeta (Figura 4).

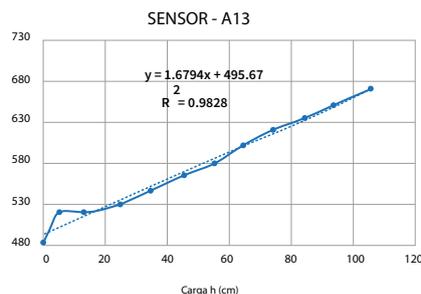
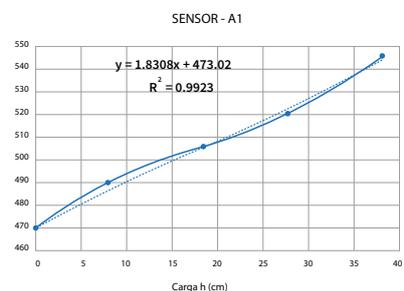
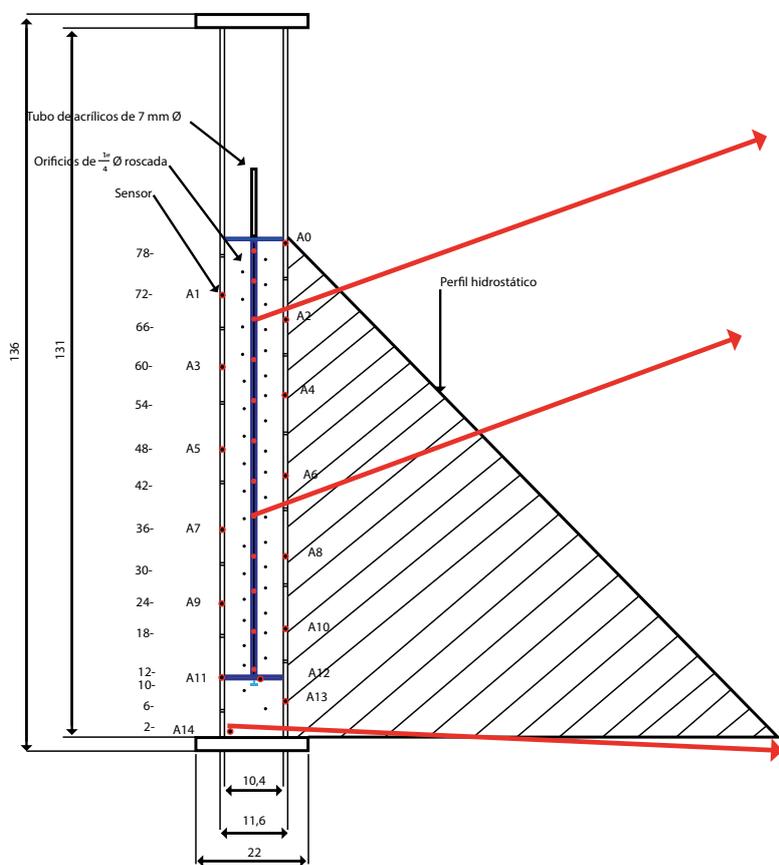


Figura 3. Disposición del modelo físico para la calibración de los sensores en estado hidrostático. Izquierda: esquema del modelo con la ubicación de los sensores con su perfil de presiones. Derecha: ejemplos de la calibración de sensores A1, A7 y A14 con la regresión lineal.

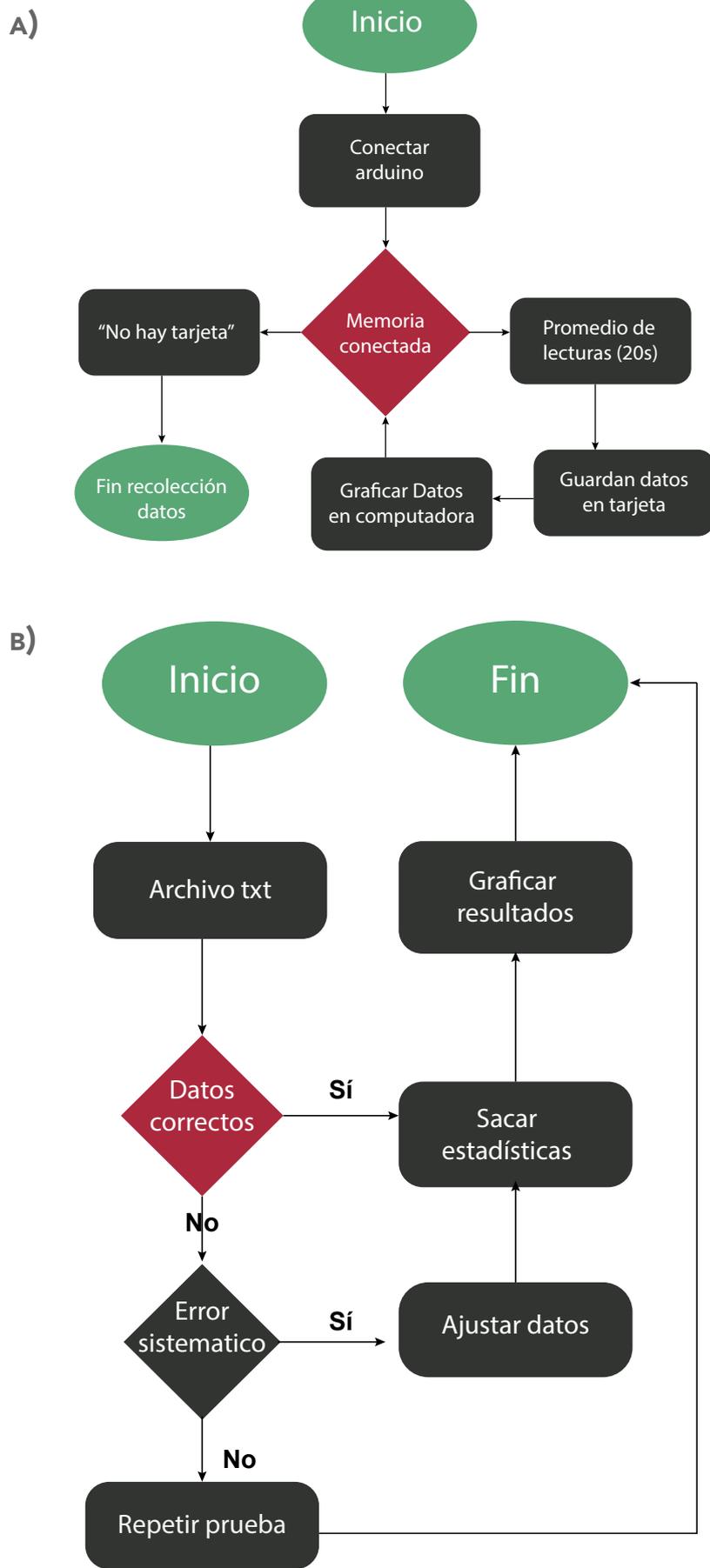


Figura 4. A) Esquema del sistema de adquisición de datos. B) Procesamiento de información obtenida por el Arduino.

CALIBRACIÓN BAJO FLUJO PERMANENTE

Para este caso fueron consideradas combinaciones de suelo: alta permeabilidad (arena) en la parte superior de la columna y baja (suelo franco arcilloso) en la inferior, y viceversa. Se agregó material desde los diez primeros centímetros en la parte baja hasta los 80 cm. La

permeabilidad de los diferentes tipos de suelo utilizados para la calibración fue determinada previamente con la textura del material. El flujo permanente se estableció al alimentar el tubo ranurado de acrílico colocado en el centro del pozo: y para garantizar el nivel constante se empleó un sifón. Se tomaron las lecturas desde el inicio de la operación del sifón hasta que

se estabilizaron; posteriormente se guardaron las lecturas en la tarjeta de memoria y se procesaron los datos. Las observaciones mostraron que, a pesar de que el flujo es permanente, la presión aumenta al descender hasta los dos tercios de altura y después decae; es decir, se cumple la ley de conservación de la energía (Figura 5).

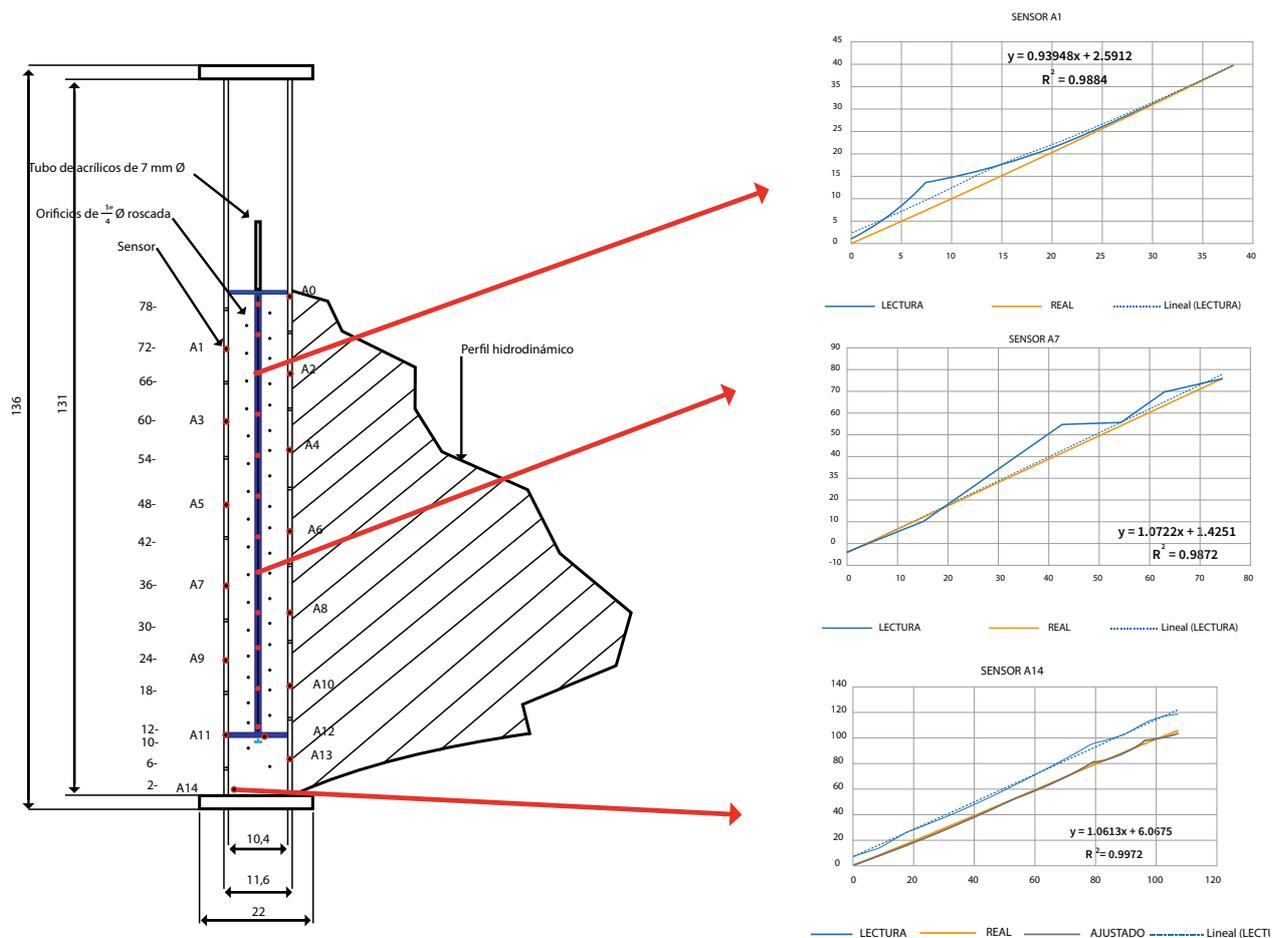


Figura 5. Disposición del modelo físico para la calibración de los sensores piezométricos en estado hidrodinámico y el sistema de adquisición de datos. Izquierda: esquema del modelo con la ubicación de los sensores con su perfil de presiones. Derecha: ejemplos de la calibración de sensores A1, A7 y A14 con su regresión lineal.

CONCLUSIONES

El modelo físico ayuda a visualizar y comprender los procesos involucrados en el frente del flujo. En ese sentido, se confirma que las leyes de similitud son de vital importancia, puesto que permiten diseñar y construir un modelo a escala que respalde las hipótesis

iniciales. En otros factores, la calibración de los transductores de presión es otro aspecto fundamental, porque permitió validar la confiabilidad en la medición del proceso de infiltración inducido por el pozo de recarga para su transformación de escala proceso a natural. Del mismo modo, se confirma la confiabilidad de los dispositivos de

medición de presión, al igual que su pertinencia para el análisis de los productos de la investigación y la comparación de resultados de los modelos matemáticos.

Un área de mejora corresponde a la automatización del flujo para medir la conservación de masa; en este estudio el proceso se



ejecutó en forma manual, pero convendría mejorar el sistema de adquisición de datos mediante la reducción del error humano. En este tenor, también sería adecuado llevar a cabo experimentos para el caso de flujo no permanente. Asimismo, aunque no constituye una limitante, es preferible disponer de sensores de mayor resolución para aminorar las incertidumbres. En esta ocasión no se realizó por falta de recursos y tiempo. Por último, el modelo físico solo ha examinado acuíferos libres, con profundidades del nivel estático de 30 a 100 m, de uno o varios estratos; no obstante, con unas cuantas modificaciones se puede adecuar a otros tipos de acuíferos y condiciones.

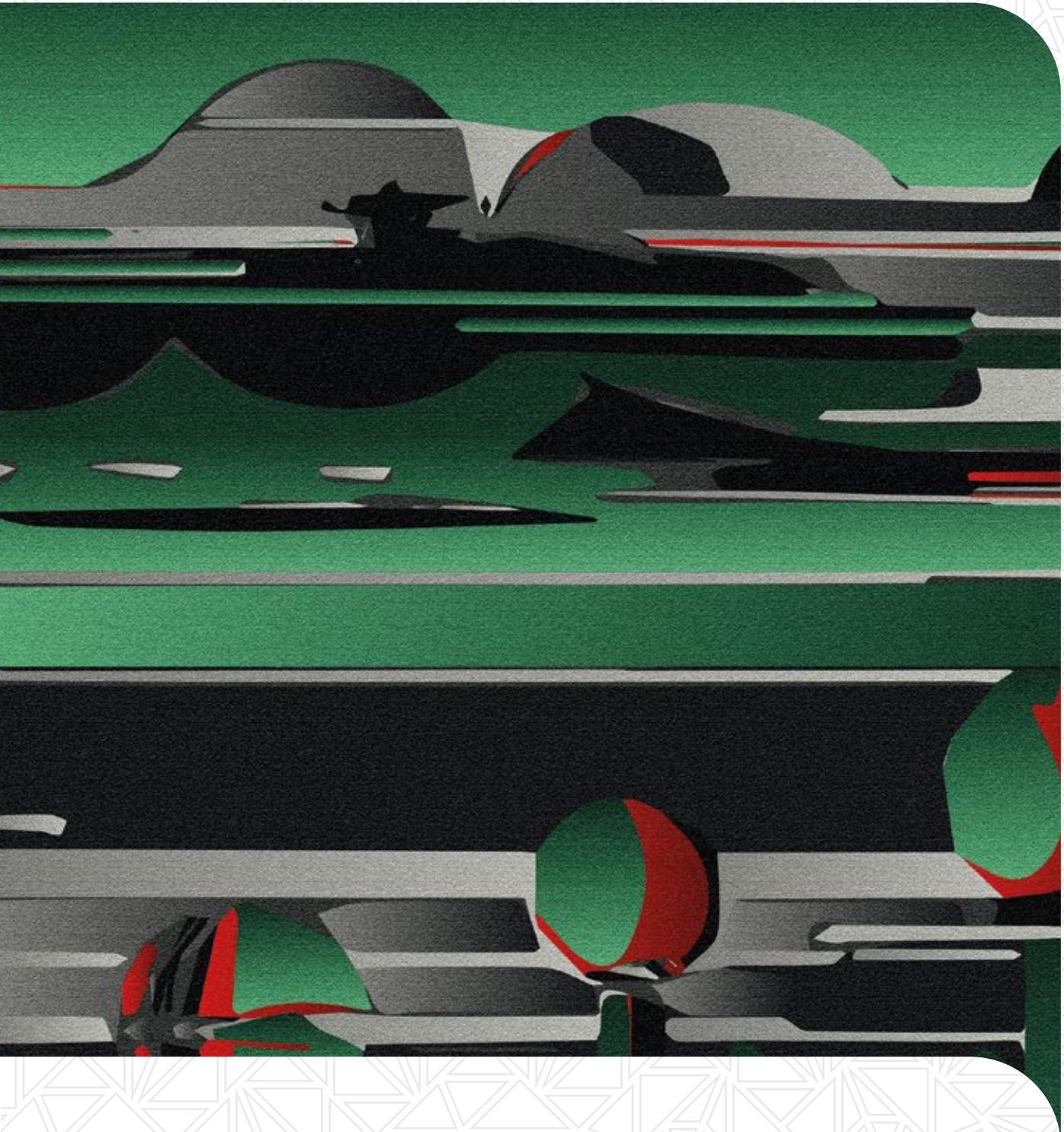
AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría expresar nuestra gratitud a un grupo de personas que nos apoyaron a realizar este trabajo, especialmente a Juan Ivan Silva Arellano, por su ayuda en la configuración de los sensores y tarjeta, al personal académico de Hidrología Ambiental, al personal del laboratorio de fluidos de la Facultad de Ingeniería de la UAQ y, desde luego, a la propia UAQ.

REFERENCIAS

- [1] Secretaría de Protección Civil del DF - CDMX., "Situación Sísmica: México en el entorno de la sismicidad mundial" <http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/simulacros/CDMX/Situacionsismica.html#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20uno%20de%20los,se%20registran%20en%20el%20mundo>. (Consultado el 22 de mayo de 2022).
- [2] Servicio Geológico Mexicano, "Sismología de México." <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgosgeologicos/Sismologia-de-Mexico.html>. (Consultado el 1 de agosto de 2022).
- [3] Universidad Nacional Autónoma de México. Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, "Sismos Recientes". [En línea] Disponible en: <http://www.ssn.unam.mx> (consultado el 20 de marzo de 2022).
- [4] A. Gómez-Tuena, M. T. Orozco-Esquivel, y L. Ferrari, "Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 57, no. 3. pp. 227-283, 2005. doi: 10.18268/bsgm2005v57n3a2.
- [5] H. Cruz-Jiménez, F. J. Chávez-García y T. Furumura, "Differences in attenuation of ground motion perpendicular to the Mexican subduction zone between Colima and Guerrero: An explanation based on numerical modeling", *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 99, no. 1. pp. 400-406, 2009. doi: 10.1785/0120080167.
- [6] N. M. Shapiro, M. Campillo, A. Paul, S. K. Singh, D. Jongmans y F. J. Sánchez-Sesma, "Surface-wave propagation across the Mexican Volcanic Belt and the origin of the long-period seismic-wave amplification in the Valley of Mexico", *Geophysical Journal International*, vol. 128, no. 1. pp. 151-166, 1997. doi: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb04076.x.
- [7] A. Clemente Chávez, "Relación De Atenuación Del Movimiento Del Suelo Para La Aceleración Máxima (PGA) Sobre El Cinturón Volcánico Mexicano (MVB); Análisis Por Trayectoria", *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. 93, no. 87. pp. 67-93, 2012. [En línea] Disponible en: <http://www.smis.org.mx/rsmis/n87/index.html>
- [8] P. Sánchez López, A. Clemente Chávez y A. Figueroa Soto, "Seismic attenuation in Mexico: Interplate seismicity and its behavior on the Mexican Volcanic Belt (MVB)", *Memorias del XVIII Int. Eng. Congr.*, 2022.
- [9] S. Ordaz, J. M. Jara y S. K. Singh, "Riesgo sísmico y espectros de diseño en el estado de Guerrero", *VIII Congreso Nacional Ingeniería Sísmica*, pp. 40-56, 1989.
- [10] D. García, "Estimación de parámetros de movimiento fuerte del suelo para terremotos interplaca e intraslab en Mexico central", Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2007.
- [11] A. Clemente-Chavez et al., "On the behavior of site effects in central Mexico (the Mexican volcanic belt - MVB), based on records of shallow earthquakes that occurred in the zone between 1998 and 2011", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 14, no. 6. pp. 1391-1406, 2014. doi: 10.5194/nhess-14-1391-2014.
- [12] J. Lermo y F. J. Chavez-Garcia, "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", *Bulletin - Seismological Society of America*, vol. 83, no. 5. pp. 1574-1594, 1993. doi: 10.1785/bssa0830051574.
- [13] Y. Nakamura, "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *Reporte trimestral del Railway Technical Research Institute, Japan*, vol. 30. 1989.
- [14] A. Figueroa Soto, A. Clemente Chávez y F. R. Zúñiga, "Deconvolución de sismogramas digitales y determinación del ruido sísmico para el sismógrafo Trillium 120 instala-

do en el campus Juriquilla de la UNAM", *Boletín del Centro de Geociencias UNAM*, no. 1. pp. 1-9, 2010. [En línea] Disponible en: http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/ruido_sismico.pdf digitales y determinación del ruido sísmico para el sismógrafo Trillium 120 instalado en el campus Juriquilla de la UNAM". Bol-e (Órgano de Comunicación electrónica del Centro de Geociencias de la UNAM), vol. 6, no.1, 2010.



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO