

ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN DE LAS GEOCIENCIAS



Volumen 2 número 2, diciembre 2023



IMAGEN DE LA PORTADA

Excursión geológica para niños dentro del Parque Ecológico la Huasteca del Área Natural Protegida Parque Nacional Cumbres de Monterrey, en el estado de Nuevo León. Se muestra una vista aérea de su ruta, así como de su explicación en términos geológicos.

Fotografía e imagen de Igor Rubio, v2-2, 2023.

CONTRAPORTADA

Extracción del relato de Plácido Llarión sobre el mayor sismo registrado en la historia, tomado de Pavez et al., v2-2, 2023



Esta obra está bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución No Comercial 4.0

ENSEÑANZA Y COMUNICACIÓN DE LAS GEOCIENCIAS, Revista electrónica, Año 2, No.1, diciembre de 2023, es una publicación semestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla-UNAM, Querétaro, Estado de Querétaro, a través del Centro de Geociencias, Boulevard Juriquilla No. 3001, Colonia Jurica La Mesa, Juriquilla, Querétaro, Qro., C.P. 76230, Tel. (+52) (442) 2381104, exts. 177 y 196,
<http://encomunicacionct.geociencias.unam.mx> ; encomunicacionct@geociencias.unam.mx

Editora responsable: Dra. Susana Alicia Alaniz Álvarez. Certificado de Reserva de Derechos de Autor número: 04-2022-110710533300-102, ISSN online: 2992-8087, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. DOI: 10.22201/cgeo.29928087e.2023.2.2 Responsable de la última actualización de este número, Centro de Geociencias, Dra. Susana Alicia Alaniz Álvarez, Boulevard Juriquilla No. 3001, Colonia Jurica La Mesa, Juriquilla, Querétaro, Qro., C.P. 76230. Fecha de la última modificación, 12 de diciembre de 2023.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del editor o de la UNAM. Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



EDITORES EN JEFE

Sección Enseñanza

Dra. Susana Alicia Alaniz Álvarez
alaniz@geociencias.unam.mx

Sección Comunicación

M. en C. Rodrigo Gutiérrez Navarro
rgutierrez@geociencias.unam.mx

Centro de Geociencias, campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México

EDITORES ASOCIADOS

Dra. Dalila Aldana Aranda
daldana@cinvestav.mx
CINVESTAV
Instituto Politécnico Nacional, Mérida México

Dra. Laura Mori
mori@unam.mx
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Thierry Calmus
arnithy@gmail.com
Instituto de Geología
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Ángel F. Nieto Samaniego
afns@geociencias.unam.mx
Centro de Geociencias, campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Claudia C. Mendoza Rosales
claus@unam.mx
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Gilberto Silva Romo
silvarg@unam.mx
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

M. en C. Mónica G. Ramírez Calderón
monicald@ciencias.unam.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
Planeteando

Dr. Yadira H. Hernández Pérez
yadira.hernandez@enp.unam.mx
Escuela Nacional Preparatoria
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Enrique A. González Torres
eagtgaia@unam.mx
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Anthony Ramírez Salazar
r.s.anthonyy@gmail.com
Instituto de Geología
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Bernardo A. Bastien Olvera
bastien@ucdavis.edu
University of California, San Diego, EUA.

Dr. Saul A. Villafañe Barajas
saul.villafane@correo.nucleares.unam.mx
Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad
Nacional Autónoma de México

Dr. Roberto Greco
greco@unicamp.br
Universidad Estadual de Campinas (Unicamp),
SP, Brasil

Dra. Sandra Villacorta Chambi
sandra.villacortachambi@csiro.au
Australian Resources Research Centre,
Australia

MSc. Néstor Damian Salinas Franco
nestorsalinas@facen.una.py
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de
Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de
Geología, Paraguay

Ing. Geol. Angel E. Espinosa Borges
angeleduardoespinosaborges@gmail.com
Universidad de Desarrollo e Innovación de la
Universidad de las Tunas, Cuba

Enseñanza y Comunicación de las Geociencias

Centro de Geociencias, campus Juriquilla UNAM | Boulevard Juriquilla núm. 3001, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México | encomunicacionct@geociencias.unam.mx DOI: 10.22201/cgeo.29928087e.2023.2.2



Dr (c). Marcelo Darío Bazan
marcelo.bazan@unahur.edu.ar
Universidad Nacional de Hurlingham, Argentina

Lic. Geól. Romina M. Celabe Gaona
rominacelabe@facen.una.py
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

Dr. Richard Serrano-Agila
rgserrano@utpl.edu.ec
Departamento de Geociencias, Facultad de
Ingenierías y Arquitectura, Universidad Técnica
Particular de Loja, Ecuador

M. en C. Ana Cecilia Lopera
terramovil@geologia.unam.mx
Instituto de Geología, Universidad Nacional
Autónoma de México

Geóloga D.Sc. Anna Paula Lima Costa
anna.costa@ifrn.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil

Dra. Amelia Calonge García
a.calonge@uah.es
Departamento de Geología, Geografía y
Medio Ambiente, Universidad de Alcalá,
España

Dr. Alexis Del Pilar
adelpilarmtz@gmail.com
Instituto de Geología, Universidad Nacional
Autónoma de México

EDITORAS TÉCNICAS

Dra. Marina Vega
mvega@geociencias.unam.mx
Centro de Geociencias, campus Juriquilla
Universidad Nacional Autónoma de México

Mtra. Sandra Fuentes Vilchis
sandra.fuentes@dgenp.unam.mx
Escuela Nacional Preparatoria
Universidad Nacional Autónoma de México



CONTENIDO

Pág.

UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA DE CIENCIAS DE LA TIERRA EN LA EDUCACIÓN PRIMARIA: EXCURSIÓN GEOLÓGICA AL PARQUE ECOLÓGICO LA HUASTECA, NUEVO LEÓN, MÉXICO	1
---	----------

Igor Ishi Rubio-Cisneros

Centro de Estudios Parlamentarios, Universidad Autónoma de Nuevo León

Palabras clave: Excursión geológica, parque ecológico, guía geólogo, noreste de México.
(mayores de 10 años)

CONQUISTANDO EL ESPACIO GEOGRÁFICO A TRAVÉS DE LA ENSEÑANZA SITUADA. EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS	5
--	----------

Viridiana Yazmin Jiménez-Zuñiga

Colegio Queen Mary School, Sección Preparatoria

Palabras clave: Enseñanza situada, Aprendizaje Basado en Problemas, pensamiento crítico, espacio geográfico.
(mayores de 15 años)

EVALUACIÓN DEL DETERIORO DE LA MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS A TRAVÉS DE LA PETROLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS	10
---	-----------

Norma González-Cervantes, Raudel Padilla-Ceniceros y Rodrigo Gutiérrez-Navarro

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes

Palabras clave: Petrología de rocas volcánicas, patologías en rocas, patrimonio histórico, glosario ICOMOS-ISCS.
(mayores de 18 años)



**IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA DE LA UNESCO
EN LA LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA DE LA UNAM, MÉXICO, PARA ABORDAR
LA DESIGUALDAD Y LA VIOLENCIA DE GÉNERO** **19**

Bessy Elvia Sterling Pérez

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México

Palabras clave: Educación, sostenibilidad, educación para el desarrollo sostenible, igualdad de género, perspectiva de género, ODS, UNESCO.
(mayores de 18 años)

**LA CONTAMINACIÓN POR OZONO EN LA CIUDAD DE MÉXICO:
¿CÓMO PODEMOS CONTROLARLA?** **24**

José Agustín García-Reynoso, Víctor Almanza-Veloz y Ricardo Torres- Jardón

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México

Palabras clave: Hoy no circula, NOx, COV, ozono.
(mayores de 18 años)

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO QUE FORTALECEN
LA COMPRESIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO PARA ESTUDIANTES DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** **28**

Felipe de Jesús López-Saucedo, José Alberto Batista-Rodríguez, Yuri Almaguer-Carmenates, Juan Martín Gómez-González, Ramón Yosvanis Batista-Cruz

Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos" Universidad Autónoma de Coahuila

Palabras clave: Campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia, resistencia.
(mayores de 18 años)



EL HÁBITAT DE LOS HONGOS Y SU VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

33

Fernanda Giovanna Villegas-Gómez, Iriliana López-Caballero
y Rita Fonseca-Alvarez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Palabras clave: Cambio climático, suelo, micorrizas.
(mayores de 15 años)

RELATO DEL MAYOR SISMO REGISTRADO INSTRUMENTALMENTE.

38

**EL MEGATERREMOTO DE CHILE DE 1960 Y SU RELACIÓN CON LA
ESCALA DE MERCALLI**

Miguel Antonio Pavez-Román, Susana Alicia Alaniz-Álvarez,
Carlos Mendoza, y Dante J. Morán-Zenteno

Empresa WSP Ambiental, Santiago de Chile

Palabras clave: Sismo, megaterremoto, tsunami, escala de Mercalli, Chile.
(mayores de 18 años)



EDITORIAL

Hemos preparado este ejemplar de la revista Enseñanza y Comunicación de las Geociencias con una amplia gama de trabajos que exploran temáticas de actualidad en diversos campos de las Geociencias. Primero incluimos una excursión geológica al Parque Ecológico de la Huasteca en Nuevo León, México, diseñada para que estudiantes de primaria observen imponentes estructuras geológicas que se formaron en la Sierra Madre Oriental en la región. También se encontrará en este número el impresionante testimonio de un superviviente del megaterremoto registrado en Chile en 1960 y algunas fotografías de archivo que documentan el fenómeno. Se presenta un estudio sobre la contaminación por ozono y su vínculo con el programa “Hoy no Circula” de la Ciudad de México, este trabajo presenta propuestas interesantes para su control, y que, como ciudadanos debemos tomar en consideración. Otro artículo muy interesante aborda el deterioro de un monumento histórico en la ciudad de Aguascalientes, México, basado en el glosario internacional de patologías en rocas de la UNESCO. En esta edición, se incluyen dos manuscritos enfocados en la enseñanza de la Geografía: uno que explora el aprendizaje basado en problemas para el nivel de preparatoria. El otro artículo aborda una propuesta de la UNESCO para combatir la desigualdad y la violencia de género en el nivel licenciatura. De igual manera, presentamos un trabajo de divulgación y comunicación que resalta la importancia de los hongos y su compleja pero frágil relación con el cambio climático.

Rodrigo Gutiérrez Navarro
Susana A. Alaniz Álvarez

UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA DE CIENCIAS DE LA TIERRA EN LA EDUCACIÓN PRIMARIA: EXCURSIÓN GEOLÓGICA AL PARQUE ECOLÓGICO LA HUASTECA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

Igor Ishi Rubio-Cisneros

Centro de Estudios Parlamentarios, Universidad Autónoma de Nuevo León, Biblioteca Universitaria Raúl Rangel Frías, Av. Alfonso Reyes 400, Niños Héroes, Regina, 64290, Monterrey, Nuevo León.

GeoNetwork of Latin-American German Alumni (GOAL).

igor_rubio@yahoo.com

RESUMEN

El texto presenta la experiencia de una práctica de campo al Parque Ecológico la Huasteca en Nuevo León, con orientación al conocimiento de las Ciencias de la Tierra dirigida a estudiantes de educación básica, bilingüe y privada. Se destaca la importancia de las excursiones para vincular a los estudiantes con la naturaleza y la geología del entorno acompañados por un guía geólogo. Este trabajo les permite a los estudiantes una mejor integración de los conceptos aprendidos en el aula y en una práctica de campo. El programa NGSS-Next Generation Science Standards sirvió de marco de enseñanza para los conceptos del entorno natural, los procesos geológicos y la importancia de la conservación ambiental. Se llevaron a cabo actividades grupales para cumplir con el objetivo educativo y para practicar el sentido de orientación mediante el uso de la brújula, la observación directa de los elementos naturales y su comparación con gráficos y muestras de rocas. El ejercicio descriptivo ayudó a los estudiantes a comprender cómo se forman las montañas, qué tipos de rocas existen, cómo es la erosión en un valle y dónde se ubica uno de los acuíferos que abastece al área metropolitana de Monterrey.

Palabras clave: Excursión geológica, parque ecológico, guía geólogo, noreste de México.

ABSTRACT

The text presents the experience of a field practice at the Huasteca Ecological Park in Nuevo León, with an orientation to knowledge of the Earth Sciences aimed at students of basic, bilingual, and private education. The importance of excursions is highlighted to link students with nature and the geology of the environment, accompanied by a geologist guide. This work enables students to better integrate the concepts learned in the classroom and in field practice. The NGSS-Next Generation Science Standards program served as a teaching framework for concepts of the natural environment, geological processes, and the importance of environmental conservation. Group

activities were carried out to meet the educational objective and to practice the sense of orientation through the use of the compass, direct observation of natural elements, and their comparison with graphs and samples of rocks. The descriptive exercise helped students understand how mountains are formed, what types of rocks exist, what erosion is like in a valley, and where one of the aquifers that supply the metropolitan area of Monterrey is located.

Keywords: Geological excursion, ecological park, geologist guide, northeastern México.

INTRODUCCIÓN

Las excursiones de campo son una valiosa alternativa educativa para el aprendizaje fuera del aula. Estas excursiones ofrecen la oportunidad de conocer de primera mano elementos naturales con características complejas que a veces resultan difíciles de explicar de manera teórica. Durante las salidas al campo es posible enriquecer las observaciones y descripciones del entorno físico mediante el uso de herramientas de medición, así como a través de métodos didácticos como gráficos y representaciones esquemáticas (Lillie, 2005).

Las ciencias de la Tierra, geociencias y geología estudian muchas de las manifestaciones de los diferentes procesos físicos en el planeta, cómo esculpen su superficie (p. ej., la erosión) y cómo se distribuyen sus recursos y los fenómenos naturales (Tarbuck y Lutgens, 2008). La comprensión de la complejidad de los sistemas terrestres depende de las estrategias que empleen los profesores para comunicarse de manera clara y coherente con los alumnos (Reynolds *et al.*, 2019). Este trabajo no pretende ser un guión museográfico al aire libre de estructuras geológicas del paisaje, pero sí expone algunos de los elementos esenciales para guiar al docente en la descripción del entorno físico mediante conceptos y herramientas.

Para los estudiantes de tercero a quinto año de primaria, los acercamientos al ambiente natural favorecen el desarrollo de su campo visual al observar las formaciones naturales del paisaje, dibujando bocetos y escuchando las palabras de un guía geólogo. La experiencia de una salida programada al Parque Ecológico La Huasteca el 14 de febrero de 2023, hizo posible desarrollar una modalidad de aprendizaje en campo y el uso de herramientas didácticas en la educación bilingüe de las ciencias naturales. Las ventajas del objetivo general para trabajar con los estudiantes fueron: (1) ayudarles a mejorar su atención, (2) desarrollar su capacidad de observación del entorno que les rodea y (3) mostrarles con ejemplos naturales en qué medida influye la geología en lo que vemos del paisaje.

Para cumplir con los objetivos se desarrollaron actividades grupales para ubicar los puntos cardinales con la brújula, la observación directa de los elementos naturales, su comparación con esquemas y muestras de rocas. El ejercicio demostrativo ayudó a los estudiantes a comprender cómo se forman las montañas por plegamiento, cuáles son algunos tipos de rocas existentes en el sitio, cómo luce un pliegue erosionado hasta formar un valle y qué rocas forman un acuífero.

El nivel de conocimiento para esta actividad necesita una simplificación de los conceptos científicos acorde al nivel de enseñanza básica de primaria. Las manifestaciones del paisaje natural y las interpretaciones del guía geólogo sirvieron para reforzar el contenido de aprendizaje adquirido en el aula. Los conceptos geológicos para la formación de montañas (c.f., orogenia), la deformación por plegamiento de la corteza y la erosión de la superficie fueron aclarados a los alumnos durante la excursión; estos procesos están comprendidos en una escala de tiempo geológico en millones de años.

UBICACIÓN Y GENERALIDADES GEOLÓGICAS DEL PAISAJE

La Sierra Madre Oriental, ubicada en el noreste de México en la región de Monterrey (Figura 1), es un lugar excepcional de renombre mundial para observar la geología de rocas, las cuales se formaron hace decenas de millones de años (Ma) en el planeta. El anticlinal de Los Muertos, ubicado en el municipio de Santa Catarina en el estado de Nuevo León, con una orientación este-oeste, es el primero de una serie de cañones en La Huasteca y forma parte del Área Natural Protegida Parque Nacional Cumbres de Monterrey (ANP PNCM; Cantú-Ayala *et al.*, 2013).

En la ubicación del anticlinal las geometrías del paisaje revelan claramente el proceso de formación de las montañas. El proceso de la orogenia es resultado de la deformación y plegamiento de estratos de rocas sedimentarias de caliza y margas litificadas durante el Jurásico Superior al Cretácico Inferior (aproximadamente 150 Ma.; Chávez-Cabello *et al.*, 2004). También, en la zona se presentan formas del terreno moldeadas por la erosión en cañones, causadas por el escurrimiento del Río Santa Catarina y sus afluentes. El sitio elegido para esta excursión está sobre el cauce del río, que atraviesa la secuencia sedimentaria y plegada del Anticlinal de los Muertos en dirección de sur a norte con flujo superficial.

Figura 1. Ubicación de la excursión geológica dentro del Parque Ecológico la Huasteca del Área Natural Protegida Parque Nacional Cumbres de Monterrey, en la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León.



Figura 2. Imágenes del grupo de alumnos, maestros y el guía geólogo en La Huasteca.

MÉTODOS Y MATERIALES

El plan de actividades, las relaciones entre las partes del medio ambiente y la teoría tienen como objetivo mostrar al estudiante el sistema terrestre. La visita al campo se apoyó en el marco de enseñanza en ciencias del programa de medición del aprendizaje NGSS (2013): *Next Generation Science Standards* (National Research Council, 2012). La interacción del guía geólogo con los jóvenes estudiantes recibió la asistencia y coordinación de los maestros de grupo y modulares (Figura 2).

Para implementar la estrategia del recorrido en campo, se fusionaron dos grupos en un único equipo compuesto por aproximadamente 40 alumnos. Las actividades al aire libre tuvieron el propósito de (a) fortalecer la observación, (b) reconocer el espacio físico y (c) relacionar las formas del paisaje con diversos procesos naturales. Para fomentar el desarrollo de las y los alumnos se incluyeron prácticas para ubicar (i) puntos estratégicos en el paisaje, (ii) el dibujo del panorama y (iii) el uso de la brújula. La introducción a estas habilidades se incorpora a los conceptos del aula. En concreto, la secuencia de trabajo que combina las actividades y los conceptos se muestra de la siguiente manera en la Figura 3.

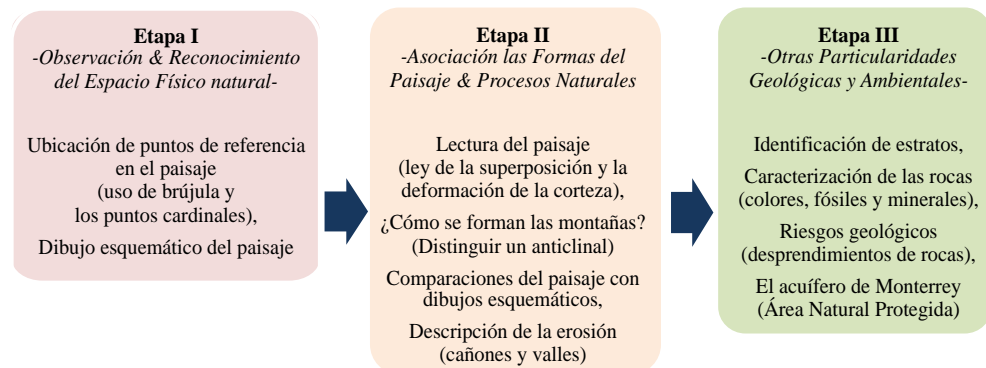


Figura 3. Plan de etapas en actividades de campo y su referencia con algunos conceptos en geología.

PROPUESTA DE EXPOSICIÓN A LAS ESTRUCTURAS Y PROCESOS GEOLÓGICOS

El sitio para el análisis está sobre el cauce del Río Santa Catarina; su curso tiene una dirección de sur a norte, exponiendo rocas sedimentarias de caliza y margas en una secuencia plegada del Anticlinal de los Muertos. De manera introductoria, se presentó a los estudiantes parte del equipo básico utilizado por los geólogos en sus investigaciones de campo (p.ej., pica, lupa, brújula, libreta, transportador, regla, lápices y colores). Para describir el entorno natural, fue necesario recordar algunos conceptos previamente aprendidos en el aula, complementados con señaléticas de 36x28 cm que simplificaban la exposición conceptual mediante líneas y colores sencillos (Figura 4). Se empleó el concepto de superposición de capas para explicar la estratificación de forma horizontal; posteriormente, se abordó el tema de la formación de montañas (Figura 2a). Además, se proporcionaron a los alumnos ilustraciones de los cuatro procesos que pueden originar montañas: plegamiento, levantamiento, fallamiento y vulcanismo (Figura 4 b-e).

Durante la visita, se enfocó la atención de los estudiantes en los procesos de superposición de capas y plegamiento, haciendo hincapié en la falta de evidencia de actividad volcánica en el área. De manera introductoria, se identificó el norte magnético mediante el uso de una brújula. Para explicarles a los estudiantes cómo sería

un anticlinal completo con su forma arqueada, se les instruyó a observar detalladamente el paisaje de forma panorámica. Este ejercicio ayudó a los estudiantes en su comprensión de la forma arqueada del pliegue que está ausente debido a la erosión. Los estudiantes identificaron los rasgos más sobresalientes en los extremos norte y sur del Río Santa Catarina y en la parte central del valle en el Cañón Huasteco.

Mediante el uso de puntos de referencia en el paisaje fue posible caracterizar algunos rasgos de esa estructura megalítica que aún se preservan y no han sido erosionados. La Cueva de La Virgen en el norte, las paredes de roca vertical en el extremo sur y las lomas en el centro del valle fueron los sitios que sirvieron como referencias de los elementos más prominentes del paisaje para ayudar a los estudiantes a esclarecer qué es un anticlinal erosionado. Las lomas en el centro del valle representan el núcleo del anticlinal con rocas más antiguas; mientras que la cueva de La Virgen en el norte y las paredes de roca vertical en el extremo sur son los flancos del anticlinal formados por rocas con una edad más reciente. Las tres ubicaciones permitieron trazar líneas imaginarias para reconstruir la forma arqueada del Anticlinal de los Muertos. Como referencia en este ejercicio, se indicó la dirección y pendiente de la carretera que sigue el cauce del río en el interior del cañón (Figura 5).

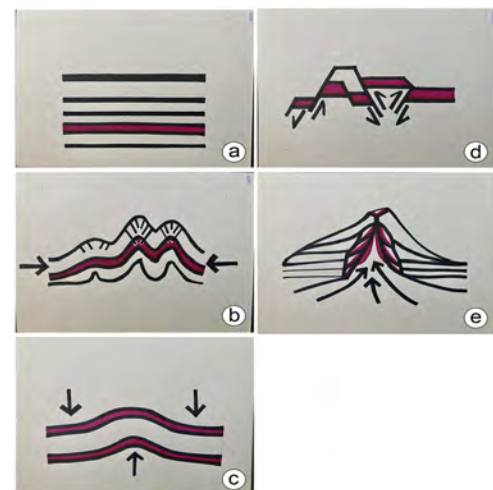


Figura 4. Señaléticas alusivas a fundamentos en la geología: a.- superposición de capas; b.- plegamiento; c.- levantamiento; d.- fallamiento, y; e.- vulcanismo. La flechas indican en b.- el acortamiento; c.- cargas diferenciales, doblez o subsidencia; d.- rompimiento, desplazamiento y discontinuidad; e.- ascenso de material fundido.

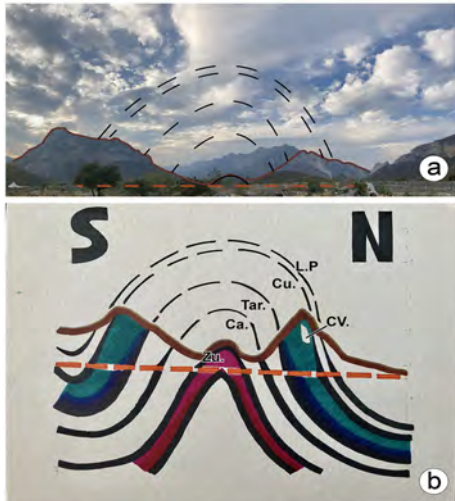


Figura 5. Comparativa entre los elementos geológicos de una (a) fotografía panorámica y la (b) señalética esquemática del anticlinal de Los Muertos en La Huasteca con sus formaciones: Zu: Zuloaga; Ca: Casita; Tar: Taraises; Cu: Cupido; LP: La Peña. La línea gruesa en color café es el nivel actual del terreno. La línea negra en segmentos indica la proyección arqueada de las formaciones. La línea punteada en anaranjado refiere el camino paralelo al Río Santa Catarina de sur (S) a norte (N) y marca el horizonte de referencia con el subsuelo y la estructura de las formaciones en la profundidad. CV- Cueva de la Virgen. Figura basada en la sección geológica de Padilla y Sánchez, 1982.

Con el fin de relacionar los conceptos de la superposición de las capas de roca con las características de cada una de ellas, se explicó el concepto de formación geológica y su uso para definir unidades de rocas según sus propiedades en composición y estructura. Con el fin de ayudar a los estudiantes y atraer su interés en esas definiciones, se mencionaron brevemente los nombres de algunas de las formaciones geológicas del Anticlinal de los Muertos, que, en orden cronológico, son Zuloaga, Casita, Taraises, Cupido y La Peña (Figura 5).

En el lecho del río se descubrieron múltiples tonos y componentes de los cantos rodados, que le permitieron al guía geólogo resaltar las variedades litológicas y sus colores para caliza en tonos grises, y la arenisca en ocre; además de otros agregados como fósiles (p.ej., bivalvos) y minerales como la calcita en color blanco y el sílice del pedernal en negro.

Como parte de la cultura de la conservación y preservación de la naturaleza, una vez concluida la observación de rocas, fósiles y minerales, se solicitó a los estudiantes que devolvieran cualquier roca o material a su entorno natural. Además del tema de la sustentabilidad y los recursos naturales, se destacó la importancia hidrogeológica y de la conservación de las fuentes de agua del Área Natural Protegida Parque Nacional Cumbres de Monterrey, que abastecen de agua a la zona metropolitana de Monterrey con más del 50 %. También se enfatizó en la cultura de la prevención y precaución, señalando las zonas de riesgo geológico en paredes, cañadas y tajos debido al desprendimiento, vuelco y deslizamiento de bloques y fragmentos de roca de menor tamaño.

COROLARIO

En la educación primaria la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia mediante las visitas al campo adquieren una significativa ventaja en la aprehensión del conocimiento. La elección de incorporar la ciencia desde los grados básicos de la primaria permite a los estudiantes

interactuar con geólogos y participar en excursiones de campo desde muy temprana edad.

La Huasteca, al suroeste de la ciudad de Monterrey, es un sitio ideal para la enseñanza de los aspectos terrestres más complejos que resulta difícil explicar en lo reducido de las aulas de clase convencionales. El aprendizaje al aire libre enfatiza la importancia de la responsabilidad y la conciencia ambiental en los estudiantes.

Una salida de campo ofrece a los estudiantes de educación básica en la primaria una experiencia transformadora que fortalece positivamente su capacidad de concentración en las relaciones espaciales y temporales de los cuerpos de roca, y les permite relacionar conceptos de manera diferente a la actividad en el salón de clases. Esto es especialmente notable cuando emprenden una caminata con sus compañeros y maestros entre las espectaculares paredes de la Formación Cupido, desafiando la verticalidad, durante una excursión geológica un 14 de febrero, Día del Amor y la Amistad.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece sinceramente la invitación a participar en este proyecto a A.E. Treviño y al equipo de Abuelo Expediciones @abueloexpediciones. También agradece al colegio a cargo por su confianza y por su disposición a colaborar en este programa académico junto con sus maestros. Además, un gran agradecimiento a la maestra Mrs. E.L. Ugarte-Cisneros por la orientación proporcionada. Finalmente, se agradece a los revisores del manuscrito inicial y a los Editores en Jefe por dirigir el arbitraje y la edición del contenido para este trabajo.

REFERENCIAS

- Cantú-Ayala, C., Rovalo-Merino, M., Marmolejo-Monsiváis, J., Ortiz-Hernández, S., y Serriñá-Garza, F. (2013). Historia natural del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Chávez-Cabello, G., Cossio-Torres, T., y Peterson-Rodríguez, R. (2004). Change of the maximum principal stress during the Laramide Orogeny in the Monterrey salient, Northeast México. En, Sussman, A.J., y Weil, A.B., eds., *Orogenic Curvature: Integrating Paleomagnetic and Structural Analyses* (pp. 145-159). Geological Society of America Special Paper 383.
- Lillie, R.J. (2005). *Parks and plates*. W.W. Norton y Company.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Padilla y Sánchez, R.J. (1982). *Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo and Monterrey, México* [Doctoral dissertation, University of Texas].
- Reynolds, S., Johnson, J., Morin, P., y Carter, C. (2019). *Exploring Geology* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Tarback, E.J., y Lutgens, F.K. (2008). *Earth: An Introduction to Physical Geology*. Pearson Prentice Hall.

Manuscrito recibido: 2 de octubre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 19 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 4 de diciembre de 2023

CONQUISTANDO EL ESPACIO GEOGRÁFICO A TRAVÉS DE LA ENSEÑANZA SITUADA. EL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS

Viridiana Yazmin Jiménez-Zuñiga

Colegio Queen Mary School, Sección preparatoria, Río Balsas 12, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06500, Ciudad de México, México.

yazvira8163@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados de la intervención didáctica de la asignatura de Geografía sobre el tema: Espacio Geográfico, la cual se aplicó en el grupo 501 del Colegio Anáhuac de la sección de preparatoria, con el grupo 501 integrado por siete chicas y ocho chicos. Se tiene el objetivo de aplicar la estrategia didáctica del Aprendizaje Basado en Problemas 4x4 para mejorar la enseñanza del objeto de estudio de la Geografía. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que es funcional y favorable trabajar con el Aprendizaje Basado en Problemas 4x4 debido a que permite el desarrollo de habilidades de tipo conceptual, procedimental y actitudinal para alcanzar un aprendizaje significativo.

Palabras clave: Enseñanza situada, Aprendizaje Basado en Problemas, pensamiento crítico, espacio geográfico.

ABSTRACT

This paper shows the results of the didactic intervention of the subject of geography on the topic: Geographic space, which was applied in group 501 of the high school section of Colegio Anahuac, with group 501 composed of seven girls and eight boys. The objective is to apply Problem Based Learning 4x4 as a didactic strategy to improve the teaching of the object of study of Geography. According to the results obtained, it can be concluded that it is functional and favorable to work with Problem Based Learning 4x4 because it allows the development of conceptual, procedural and attitudinal skills to achieve meaningful learning.

Keywords: Situated teaching, Problem Based Learning, critical thinking, geographic space.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza situada como teoría cognitiva

La enseñanza situada como teoría cognitiva se caracteriza principalmente porque el aprendizaje está enfocado en el alumno, Barriga y Arceo (2006) mencionan que el alumno se vuelve un de acción, deja de ser un receptor pasivo del conocimiento y se vuelve el actor principal de su propio proceso de construcción de su aprendizaje.

Se sabe que todo individuo está caracterizado por su aprendizaje personal y particular, también por el contexto social y cultural del cual se rodea, así como de la experiencia al interactuar con los demás. Por lo tanto, la construcción del aprendizaje está relacionada con la convivencia de los semejantes y del medio Díaz y Hernández (2010), mencionan que dentro del ámbito educativo los semejantes son el docente y los compañeros dentro del aula, lo cual permite el proceso de apropiación cultural por medio de la experiencia que involucra el pensamiento crítico y reflexivo, así como la participación activa del alumnado, formando parte y producto de la actividad de aprendizaje". El resultado del proceso permite a los estudiantes obtener un aprendizaje significativo, donde lo que aprehende tiene sentido y le es útil en su vida cotidiana.

La enseñanza situada tiene varias estrategias, entre ellas el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) 4x4, el cual permite la adquisición de conocimiento conceptual, el desarrollo de actitudes y la aplicación de procedimientos.

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP)

El ABP es una estrategia diseñada para desarrollar el juicio crítico del alumnado, es catalizadora en el estudio independiente y el trabajo colaborativo por medio de un aprendizaje significativo y activo, enfrentando a los alumnos a una situación problemática real o simulada (Cruz Reyes Vera, 2022). El alumno tiene como eje rector un "problema" o situación "relevante y solucionable" alrededor del

cuál construye, analiza y propone una solución. Dicha problemática debe estar relacionada con algún objetivo de aprendizaje; para el presente trabajo se abordó como objeto de estudio de la geografía, el Espacio Geográfico, partiendo de que la premisa que los alumnos conciben al Espacio Geográfico como algo abstracto, no real y cotidiano.

Toda estrategia de enseñanza tiene ventajas y desventajas, Del Valle y Escribano (2020) enlistan algunas ventajas del ABP:

- Aumenta la motivación intrínseca
- Logra un aprendizaje significativo
- Suscita el aprendizaje autónomo
- Permite el desarrollo de la creatividad e innovación
- Se aplican habilidades de comunicación y colaboración
- Permite la integración de la enseñanza con la investigación.

También mencionan desventajas "limitantes" que pueden impedir alcanzar el objetivo de aprendizaje, por ejemplo:

- Aumenta la vulnerabilidad al no ser experto
- Presentar ansiedad
- Se presentan discusiones basadas sólo en la experiencia sin análisis argumentativo.

El ABP está sustentado en la teoría constructivista, la cual sostiene que los individuos construyen su conocimiento por medio de la experiencia con la realidad, pero también a partir del conocimiento teórico que adquieren, con lo cual generan la manera de interpretarla y de conocerla.

Carretero (2021) reconoce tres tipos de constructivismo:

- Centrado en el individuo. Donde se reconoce el papel fundamental de la sociedad, concretamente en la relación del individuo con su entorno inmediato y real, del cual se deriva la construcción del conocimiento.
- Centrado en la sociedad. Sostiene que el conocimiento implica siempre a la sociedad. Lo cual expone que la construcción del conocimiento es un proceso determinado por la sociedad, también considera que el conocimiento adquirido no puede ser estudiado sin anclar el estudio en los procesos sociales y políticos.
- Centrado en el vínculo del individuo con su entorno social. Se presenta cuando la construcción del conocimiento depende del individuo, así como de la influencia que tiene la sociedad sobre él para construir su conocimiento.

Carretero (2021) concluye que esta diversidad de concepciones sobre el constructivismo tiene en común al individuo como responsable de su propio aprendizaje dentro de su entorno social.

Modelo de ABP 4x4

Para el presente trabajo se utilizó el modelo de ABP 4x4. Se identifica así porque consta de cuatro pasos (análisis, investigación, resolución y evaluación), así como cuatro escenarios (clase completa, grupo con tutor, grupo sin tutor y trabajo individual).

En el análisis los alumnos estudian el problema que se plantea, recuperan los conocimientos previos, que se comparten dentro del equipo de trabajo (aquí se definen los conocimientos que se deben tener para dar solución a la problemática), se planifican las actividades a desarrollar y se asignan los roles a desempeñar.

En la investigación se realiza la búsqueda de información

en diversas fuentes, la cual será utilizada para construir el nuevo conocimiento. En la resolución el grupo de trabajo usa la nueva información para analizar nuevamente el problema de estudio y dar una solución. El grupo también prepara el material necesario para dar a conocer los resultados obtenidos.

Por último, en la evaluación los equipos de trabajo comunican la solución a la comunidad escolar.

METODOLOGÍA

La intervención se realizó en el colegio Anáhuac ubicado en Tlalnepantla de Baz, Estado de México, con el grupo 501 de bachillerato, integrado por 15 alumnos: 8 hombres y 7 mujeres, entre los 17 y 18 años. Como ya se comentó se abordó el tema: El Espacio Geográfico. Partiendo de la premisa que el objeto de estudio de la Geografía no es abstracto, se tiene como objetivo:

- Aplicar como estrategia didáctica el Aprendizaje Basado en Problemas 4x4 para mejorar la enseñanza del objeto de estudio de la Geografía.

Se desarrollaron cuatro sesiones de clase, la duración de cada una de ellas varió de acuerdo a las necesidades de cada paso (análisis, investigación, resolución y evaluación). A continuación se presentan los pasos y los instrumentos empleados en cada una de ellas.

Previo a la implementación del ABP 4x4 se realizó una evaluación diagnóstica: recuperación de conocimientos previos, la cual tiene como fin recuperar los saberes conceptuales de los estudiantes, para poder comparar los resultados generados antes y después de la intervención.

Para la recuperación de conocimientos previos se usó como instrumento un cuestionario consistente en cinco reactivos de opción múltiple (Anexo 1). Se presentaron cuatro opciones de respuestas: una correcta y tres distractores. La evaluación se realizó a través de respuestas correctas e incorrectas. Las preguntas estuvieron enfocadas en la definición del Espacio Geográfico y en las características de sus componentes.

- Se desarrollaron cuatro sesiones: el análisis es fundamental porque en él se presenta el escenario del problema a estudiar (Anexo 2). Se trabajó con el instrumento: Q-S-A (Anexo 3) que plantea las preguntas ¿qué sé?, ¿qué quiero saber? y ¿qué aprendí? para fomentar el desarrollo de la habilidad lectora. Este instrumento además permite obtener información sobre la problemática de estudio y los intereses de los alumnos en el tema a desarrollar.
- En la investigación se llevó a cabo la búsqueda de la información necesaria para darle solución al escenario problema, en equipos se compartieron y dialogaron sobre sus hallazgos, la docente supervisó y solventó las dudas con respecto a la construcción de la exposición a presentar.
- Resolución, los equipos presentaron frente al grupo los "resultados" obtenidos por medio de una presentación, la docente intervino para guiar la exposición y permitir llegar a la solución del escenario problema. Continuó con el enriquecimiento de ideas y la solución de dudas; cada equipo planteó tres preguntas al equipo expositor.

- Evaluación, fue el último paso del proceso, permitió recuperar los nuevos conocimientos adquiridos, éstos se midieron con el instrumento Evaluación final, la cual tiene la misma estructura que el de Recuperación de conocimientos previos, sólo que tiene un orden diferente en las respuestas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se observa en los resultados de la evaluación diagnóstica (Figura 1), ninguno de los alumnos acertó todos los incisos y más del 70 % sólo acertaron el 40 % de las respuestas, es decir, la mayoría de los alumnos no cuentan con el conocimiento conceptual sobre el espacio geográfico y más de la mitad del grupo no aprobó.



Figura 1. Resultados de la evaluación diagnóstica previa a la estrategia ABP 4x4.

En contraste, los resultados posteriores a la estrategia ABP 4x4 (Figura 2) muestran un aumento en el porcentaje de alumnos aprobados, por lo tanto, puede afirmarse que el ABP 4x4 permite la apropiación de conocimiento conceptual en la mayoría de los alumnos, quienes alcanzaron un aprendizaje significativo.



Figura 2. Resultados de la evaluación final aplicada después del proceso ABP 4x4.

Comparando los resultados pre y post estrategia ABP 4x4, se aprecian los cambios favorables en el conocimiento de los alumnos. Por ejemplo, el 60 % de los alumnos que no aprobaron en un inicio, disminuyó un 13 % después del ABP 4x4, aumentando al 47 % y, un poco más de la mitad de ellos respondió correctamente al 80 % o más de la evaluación final. Estos resultados reflejan que los alumnos adquirieron y comprendieron el concepto concepto del espacio geográfico y sus componentes.

CONCLUSIONES

Con base a los resultados y a su análisis, se concluye que el Aprendizaje Basado en Problemas 4x4 es viable para trabajar el tema del espacio geográfico y sus componentes, debido a que permite que el alumnado desarrolle diversas habilidades como las actitudinales, procedimentales y conceptuales.

Es importante destacar que la incorporación del ABP 4x4 como estrategia didáctica dentro del quehacer docente es un proceso complejo y su éxito depende de un adecuado diseño, planeación y aplicación por parte del docente. Sin embargo, los resultados sí ayudan a potencializar un aprendizaje significativo y autónomo de los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, institución donde realice mis estudios de maestría, de la cual se derivan los resultados del presente trabajo. Agradezco la revisión por un árbitro anónimo y por el Dr. Marcelo Darío Bazan, quienes con sus comentarios y sugerencias permitieron enriquecer este trabajo. Así mismo, agradezco al Colegio Anáhuac, institución sede donde se llevó a cabo la estrategia didáctica y al grupo 501.

REFERENCIAS

- Aguirre-Díaz, G. J., Aguillón-Robles, A., Tristán-González, M., Labarthe-Hernández, G., López-Martínez, M., Bellon, H., & Nieto-Obregón, J. (2013). Geologic setting of the Peña de Bernal Natural Monument, Querétaro, México: An endogenous volcanic dome. *Geosphere*, 9(3), 557-571.
- Barriga, D., y Arceo, A. (2006). Enseñanza situada: vínculo entre la escuela y la vida. Mexico City: McGrawHill.
- Carretero, M. (2021). Constructivismo y educación. Tilde editora
- Cruz Reyes Vera, P. (2022). El Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia didáctica para la educación en línea. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Del Valle, A., y Escribano, A. (2020). Aprendizaje Basado en Problemas: Una propuesta metodológica en educación superior. Alfaomega.
- Díaz, F., y Hernández, G. (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista. (3a edición). Mc Graw Hill.
- J.S.C. (2023, 10 de mayo). Conoce la increíble isla habitada más inaccesible del mundo. ABC-viajar. <https://acortar.link/w2onTj>

ANEXOS

ANEXO 1. RECUPERACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS

Objetivo: Determinar los conocimientos académicos con los que cuentas, con el fin de conocer tus fortalezas y áreas de oportunidad.

Nombre del alumno (a) _____

I. Lee el texto y responde las preguntas.

Conoce la increíble isla habitada más inaccesible del mundo

Tristán da Cunha es una isla volcánica con tan sólo 268 habitantes. Se encuentra en el Océano Atlántico sur, a 2816 kilómetros (de siete a diez días navegando) del sudoeste de Ciudad del Cabo. Forma parte del territorio británico de ultramar formado por Santa Elena, Ascensión y Tristán da Cunha.

Tristán da Cunha consta de cuatro islas. Tristán es la más grande y la única que alberga población. Nightingale e Inaccesible (sí, ese es su nombre y ha sido declarada Patrimonio de la Humanidad de la Unesco) están a 38 y 40 kilómetros respectivamente de la isla principal. Gough, la segunda más grande, también es Patrimonio de la Humanidad y se localiza a 350 kilómetros de Tristán da Cunha.

Tristán fue descartada por los exploradores como un posible hogar cuando fue descubierta debido a su abrupto paisaje montañoso, la ausencia de un puerto natural, la falta de tierras para la agricultura y un clima severo con lluvias y fuertes rachas de viento durante todas las estaciones, según señala su página web oficial (<https://www.abc.es/viajar/20150509/abci-conoce-increible-isla-habitada-201505072306.html>) Sin embargo, a pesar de las dificultades surgen gente dispuesta a vivir en los márgenes del mundo dando lugar a una comunidad en la isla más aislada del planeta.

Pero las cosas cambiaron mucho desde su descubrimiento en 1506 por el navegante portugués Tristão da Cunha. El peñasco cuenta ahora con una economía mixta basada en la agricultura y la pesca, con una vida salvaje muy particular y con todo lo que cualquier comunidad necesita, y más si cabe, estando aislada: una escuela, una iglesia, un museo, un café y hasta un club de golf.

La isla puede visitarse y hay tours organizados desde Ciudad del Cabo, aunque es necesario obtener una autorización del Consejo administrativo de la isla (J.S.C., 2023). Las respuestas correctas están en **negritas**.

1. La Isla Tristán da Cunha ha pasado por un proceso de cambio. Selecciona cuáles de las siguientes oraciones lo indican.

- i. Ahora cuenta con los recursos que una comunidad necesita para sobrevivir.
- ii. Por su ubicación.
- iii. Por ser la isla más aislada del planeta.
- iv. Porque en un principio fue descartada por los exploradores como un posible hogar cuando fue descubierta

a)	i y iv	b)	i y ii
c)	ii y iv	d)	i y iii

2. Completa la oración

La isla Tristán es un espacio social, porque _____

- a) La vegetación permitió alimentar a los habitantes.
- b) Está presente la interacción entre los habitantes y la vegetación.**
- c) Los habitantes modificaron las características naturales de la isla.
- d) La presencia de agua atrajo a los habitantes.

3. ¿Por qué se considera a la isla un espacio geográfico?

- a) Por la relación presente entre los componentes físicos y humanos.
- b) Porque hay una relación entre los componentes económicos y políticos.
- c) Porque está presente la relación e interacción entre los componentes naturales, sociales, culturales, económicos y políticos.**
- d) Ninguna de las anteriores.

4. ¿Cuáles son las actividades que forman parte del componente económico de la Isla de Tristán?

- a) Ecoturismo y pesca.
- b) Agricultura y tecnología.**
- c) Turismo y caza
- d) Agricultura y pesca.

5. De acuerdo con el componente político, ¿a cuál territorio pertenece la Isla de Tristán?

- a) Zona Británica de Ultramar**
- b) Ciudad del Cabo.
- c) Sur del Océano Atlántico.
- d) Isla Gough

ANEXO 2. ESCENARIO DEL PROBLEMA A ESTUDIAR

Introducción

Los pueblos mágicos son un grupo de poblaciones dentro de la República Mexicana, considerados como los representantes culturales y arquitectónicos de la historia nacional. Numerosas poblaciones buscan formar parte del grupo, ya que representa un estímulo para levantar la economía de las comunidades olvidadas. Sin embargo, otras poblaciones han rechazado la oportunidad debido a que consideran que es un atentado privatizador en contra de la identidad y el valor patrimonial del lugar.

La Peña de Bernal, el monolito más grande del mundo

Aprovechando el puente del 21 de marzo decidí salir con mi familia a visitar el pueblo mágico de Bernal, ubicado en el estado de Querétaro, para recibir el equinoccio de primavera y poder mostrar a mis hijos, todo aquello que me asombró de pequeño.

Recuerdo haber subido la Peña de Bernal que es un monolito que tiene una altura de 360 metros, por ello es considerado el tercero más grande del mundo. Su origen está relacionado con el nacimiento de un volcán, hace ya millones de años (Aguirre-Díaz, et al., 2013). A sus faldas se localiza el pueblo de Bernal, habitado en un principio por los chichimecas y posteriormente por españoles a partir de 1642. Ellos hicieron construir a los indígenas los templos y edificios emblemáticos de esta comunidad, como la Capilla de las Ánimas y el Templo de San

Sebastián Mártir, hechos en cantera. Estos atractivos convirtieron a Bernal en un lugar turístico y, ahora, en un pueblo mágico, donde sus artesanos confeccionan prendas de lana y elaboran deliciosos dulces de leche que ponen a la venta para propios y extraños.

Ahora al recorrer las calles empedradas se observa la venta de productos de origen chino, fenómeno que no estaba presente; hay pocos productos artesanales los cuales se encuentran exhibidos en lugares poco concurridos. Al final la visita no fue lo esperado; sin embargo, se disfrutó del lugar a pesar de los cambios presentes en él.

- Da respuesta a las interrogantes siguientes:
 - a) La presencia de la venta de productos chinos, ¿qué cambios sociales ha provocado al pueblo de Bernal?
 - b) ¿Cómo es la transformación de Bernal por la presencia de empresas extranjeras?
 - c) ¿Cómo llegó Bernal a ser un pueblo mágico?
 - d) ¿Cómo describirías el Espacio Geográfico en estudio?
 - e) ¿Cuáles componentes del Espacio Geográfico identificas en la lectura?

ANEXO 3. "Q-S-A" (QUE SÉ-QUE QUIERO SABER-QUÉ APRENDÍ)

Objetivo: Determinar lo que se conoce y lo que se quiere saber sobre el tema de estudio.

Nombre del equipo _____

- I. Escribe brevemente en la primera y segunda columna la información de lo que sabes y desconoces sobre la temática indicada. La última columna se llenará posteriormente.

Temática	Lo que sé	Lo que quiero saber	Lo que aprendí
¿Qué cambios sociales se han provocado al pueblo de Bernal por la venta de productos chinos?			
¿Cómo es la transformación de Bernal, por la presencia de empresas extranjeras?			
¿Cómo llegó Bernal a ser un pueblo mágico?			
¿Cómo describirías el espacio geográfico de estudio?			
¿Cuáles son los componentes del espacio geográfico que identificas en la lectura?			

Manuscrito recibido: 30 de septiembre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 15 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 29 de noviembre de 2023

EVALUACIÓN DEL DETERIORO DE LA MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS A TRAVÉS DE LA PETROLOGÍA DE ROCAS VOLCÁNICAS

Norma González-Cervantes^{1*}, Raudel Padilla-Ceniceros² y Rodrigo Gutiérrez-Navarro³

¹ Centro de Ciencias del Diseño y de la Construcción, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, Universidad Autónoma de Aguascalientes, C.P. 20100, Aguascalientes, México.

² Departamento de Construcción, Universidad Tecnológica de Calvillo, Carretera al Tepetate No. 102, Col. El Salitre, C.P. 20860, Calvillo, Aguascalientes, México.

³ Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, Blvd. Juriquilla 3001, Campus UNAM, Juriquilla La Mesa, C.P. 76230, Juriquilla, Querétaro, México.

*norma.gonzalez@edu.uaa.mx (autora para correspondencia)

RESUMEN

La ignimbrita es una roca volcánica ampliamente utilizada en México para la construcción de edificios y monumentos históricos debido a su versatilidad, durabilidad, disponibilidad y atractivo estético. Sin embargo, para garantizar la restauración y preservación de los edificios y monumentos es fundamental comprender las características petrológicas de las rocas que se utilizaron en su construcción, aunado a otras características físicas como la porosidad. En este trabajo se presentan una metodología y los resultados de la evaluación del deterioro de la mampostería del edificio histórico Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, México con base en la caracterización petrológica, presentada como cartografía, de las rocas volcánicas que conforman la fachada de este inmueble. Como parte del análisis de este trabajo, se compararon las cartografías de caracterización petrológica con la realizada a partir de las patologías en las rocas, desarrollada ésta última con base en los criterios del glosario ilustrado de fenómenos y procesos de degradación (ICOMOS-ISCS), el cual a su vez, fue elaborado por el Consejo Internacional de piedras, como parte de la cátedra UNESCO para la conservación del patrimonio mundial. La metodología descrita se desarrolló durante la pandemia por COVID-19 como una práctica de campo con asistencia del docente, para estudiantes del primer semestre de la maestría de ingeniería civil de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, para que practicasen en la caracterización petrológica de diferentes rocas volcánicas, así como en la evaluación de diferentes edificios históricos en la ciudad de Aguascalientes. Como resultados del análisis, se observa que los daños en las rocas de la fachada son variados, afectando principalmente a la zona baja, sobre todo en su parte noroeste. Los daños están asociados en gran medida a las características de soldamiento de la roca, lo cual es inverso en estos casos a la porosidad. El ascenso de agua por capilaridad a través de la roca es heterogéneo, provocando que la humedad se concentre principalmente en la parte derecha de la fachada.

Palabras clave: Petrología de rocas volcánicas, patologías en rocas, patrimonio histórico, glosario ICOMOS-ISCS.

ABSTRACT

Ignimbrite is a volcanic rock widely used in historical buildings and monuments in Mexico due to its versatility, durability, availability, and aesthetic appeal. Ensuring restoration and preservation of buildings and monuments relies heavily on understanding the petrological properties of the rocks employed in their construction, alongside other physical traits such as porosity. This study outlines a methodology and findings regarding assessing decay in masonry of the historic building Casa Rosal 102a, in the La Purísima district of Aguascalientes, México. This evaluation relies on petrological characterization, represented as mapped data, focusing on volcanic rocks comprising the building's facade. This research analysis drew comparisons between the petrological characterization mappings and those generated from rock pathologies. The latter were formulated using criteria outlined in the Illustrated Glossary of Degradation Phenomena and Processes (ICOMOS-ISCS), a resource crafted by the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) as an integral component of the UNESCO chair for world heritage preservation. The described methodology was developed during the COVID-19 pandemic as a field practice supervised by the instructors for first-semester students in the Civil Engineering Master's program at the Universidad Autónoma de Aguascalientes. It aimed to provide hands-on experience in the petrological characterization of volcanic rocks and evaluating historical buildings in Aguascalientes. Analysis revealed a diverse range of damages primarily concentrated in the lower areas, notably the northwest section of the facade. These damages predominantly stem from the rock's soldering characteristics, which, in these instances, oppose the expected porosity. The uneven capillary water ascent through the rock accumulates moisture primarily on the NW side of the facade.

Keywords: Volcanic rock petrology, rock pathologies, historical heritage, ICOMOS-ISCS glossary.

INTRODUCCIÓN

México es probablemente uno de los países con el mayor número de edificios y monumentos históricos construidos con mampostería de rocas volcánicas, entre ellas las piroclásticas (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017). Estas rocas, también llamadas ignimbritas, comúnmente se les denomina “cantera” en el ámbito de la construcción, en la cual es usual que se elijan a las rocas principalmente por su atractivo visual y por su abundancia o cercanía, dejando en segundo término propiedades mecánicas favorables como su alta resistencia y durabilidad. Con el paso del tiempo y la acción de agentes atmosféricos, estas rocas comienzan a deteriorarse, ocasionando degradación visual y el consiguiente desgaste de los inmuebles históricos.

Las rocas volcánicas afloran ampliamente en México particularmente en la Sierra Madre Occidental (SMOCC) a lo largo de una superficie aproximada de 300 000 km² (McDowell y Clabaugh, 1979). Para dar un contexto, numerosos edificios y monumentos históricos de varios estados del centro de México están construidos con rocas volcánicas procedentes de las inmediaciones de la SMOCC, de la Mesa Central y del Cinturón Volcánico Transmexicano (Siegesmund *et al.* 2022).

En el estado de Aguascalientes, por ejemplo, los edificios históricos patrimoniales se construyeron entre los siglos XVI y XX, utilizando mampostería compuesta principalmente por rocas volcánicas, comúnmente conocidas con el nombre de tobas que en este trabajo se describen como ignimbritas (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Orenday-Tapia *et al.* 2019). Debido a la antigüedad de su construcción, varios edificios presentan daños y deterioro de las piedras de mampostería, principalmente en la base de los muros, y que los especialistas asumen que dicho deterioro es debido a la humedad, la cual favorece la cristalización de las sales (Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Orenday-Tapia *et al.* 2019). No obstante, al comparar las mamposterías de un mismo edificio y en iguales condiciones, se ha observado que algunas presentan un mayor deterioro que otras. ¿A qué se debe esto? Se podría esperar que ambas mamposterías tuvieran un comportamiento similar, sin embargo, no siempre es así.

En México, el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) es el encargado de la conservación y protección de edificios históricos, monumentos y zonas arqueológicas. El resguardo del patrimonio a cargo del INAH es muy importante, por la relevancia del legado cultural del país y porque determina el grado de conservación de estos edificios. El personal experimentado del INAH basa sus determinaciones en el glosario ICOMOS-ISCS (por sus siglas en inglés: *International Council on Monuments and Sites-International Scientific Committee for Stone*) (García de Miguel, 2011). Este glosario señala y describe los diferentes tipos de meteorizaciones químicas y físicas presentes en las rocas que conforman los edificios y monumentos con el fin de evitar confusiones terminológicas entre especialistas de diferentes áreas.

Conocer el grado de conservación de un edificio permite realizar un monitoreo regular, analizar los agentes degradantes y aplicar tratamientos de conservación petrofísica para reparar y garantizar la protección y conservación de monumentos históricos construidos con rocas volcánicas (Ostrooumov *et al.* 2003; Siegesmund *et al.* 2002, López-Doncel *et al.* 2015). Cabe mencionar que el ICOMOS-

ISCS sugiere “conocer las raíces del problema más que los síntomas para ayudar a mejorar la terapia de reparación, protección y conservación de los inmuebles”. Con esto en mente, se reconoce que la degradación de los materiales pétreos de los edificios históricos ocurre por diferentes factores como el viento, el sol, los contaminantes, la humedad, las actividades antrópicas, y también por la influencia de flora o fauna agrestes (López-Doncel *et al.* 2015). Por su parte, la capacidad de la roca volcánica (ignimbrita) para mantener su integridad depende de su petrología, es decir, de los componentes que la conforman y del grado de soldamiento que presente.

Este trabajo se desarrolla sobre la Casa Rosal 102a, una edificación ubicada en el tradicional barrio de La Purísima, en el centro histórico de la ciudad de Aguascalientes (Figura 1). Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) han realizado trabajos sobre porosidad versus deterioro en rocas ígneas (ignimbritas) de la catedral de Aguascalientes, la cual presenta rocas similares a las de la Casa Rosal 102a. En ese trabajo, los autores indican que cuanto más porosidad presente una ignimbrita mayor es el deterioro, lo que implica que el parámetro de soldamiento de la roca es muy importante, ya que, en cuanto más soldadas sean, menor porosidad presentan y por lo tanto son más resistentes al deterioro.



Figura 1. Localización de la Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima, estado de Aguascalientes, México. a) Mapa con la división política de la República Mexicana en donde se resalta en el recuadro el estado de Aguascalientes (AGS). b) Mapa de la traza urbana de la ciudad de Aguascalientes. c) Fotografía aérea del barrio de La Purísima, Aguascalientes; en azul se destaca la ubicación del inmueble de interés. Coordenadas geográficas (13Q 780625 m E; 2422363 m N). d) Imagen de la fachada Casa el Rosal 102a, diseñada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943).

Es importante destacar que preservar el patrimonio construido con rocas volcánicas implica enfrentar desafíos específicos ya que no se pueden extraer muestras de las rocas de los edificios para hacerles estudios de laboratorio.

En este trabajo se tienen los siguientes objetivos: 1) hacer una evaluación petrológica de las rocas utilizadas en la fachada de la construcción; 2) realizar una clasificación de los daños en las rocas según el glosario ICOMOS-ISCS, y 3) hacer una comparación entre estos parámetros para conocer las características de las rocas, como el porcentaje de los componentes de la fábrica y el grado de soldamiento. Con estas variables se hace un diagnóstico rápido y económico de la fachada del inmueble, así como la evaluación cualitativa de su resistencia mecánica y de la integridad de la mampostería, con lo que se reconoce la roca o rocas con la(s) que se

construyó el edificio y así se puede identificar el banco de material o zona donde se extrajo la piedra que conforma la mampostería, haciendo posible realizar un muestreo físico para trabajos futuros de mayor detalle; finalmente, se obtiene una clasificación de daños en las rocas basado en el glosario de ICOMOS-ISCS. Esto es importante para que especialistas y estudiantes interesados caractericen edificios históricos construidos con rocas volcánicas y puedan seguir la metodología propuesta en este trabajo, basada en el edificio histórico que aquí se analiza.

Para aplicar estos conocimientos durante el periodo de la pandemia por COVID-19, en la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) se impartió un curso intersemestral interdisciplinario titulado: “Introducción a los edificios históricos desde la petrología de las rocas ígneas” a un grupo de doce estudiantes de la maestría de Ingeniería Civil (sin clave; Generación 2021-2022) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. En dicho curso se realizó una descripción petrográfica y se identificaron los porcentajes de los componentes, la formación y los principales procesos de meteorización de las rocas que presentan algunos edificios de la ciudad de Aguascalientes. Con este reconocimiento se realizó una cartografía petrológica de la fachada y los costados de edificios y/o monumentos. También se utilizó la ficha de identificación de daños tomada del glosario de ICOMOS-ISCS, lo que permitió visualizar las zonas más afectadas según la petrología descriptiva. La metodología utilizada en este curso se aplica en este trabajo a la Casa Rosal 102a. Se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Antecedentes y descripción arquitectónica de la Casa Rosal 102a, Barrio de La Purísima

La Casa Rosal 102a se ubica en la calle Rosal #102a, Barrio de la Purísima, en la ciudad de Aguascalientes, estado de Aguascalientes, México (Figura 1), de acuerdo con la ficha Nacional de Catálogo de Monumentos Históricos Inmuebles y el centro de documentación del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles (CNMHI) (Gobierno Municipal de Aguascalientes, Departamento de Conservación y Mantenimiento, Comunicación Personal, 2023). Su construcción data de un período comprendido entre los siglos XIX y XX y fue realizada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943), considerado “Arquitecto Empírico” (Ruvalcaba y Sifuentes, 2014) y que fue reconocido por ser el autor de algunos de los edificios más emblemáticos de los estados de Aguascalientes y de Zacatecas, por lo que la Casa Rosal 102a representa un valioso patrimonio histórico y arquitectónico.

Teniendo como elemento principal de referencia la fachada noreste, este inmueble responde al estilo neoclásico, debido a su sencillez y a la elegancia de sus líneas (Figura 2). Dentro de los materiales implementados en su construcción predominan los muros recubiertos con chapa de ignimbrita, dejando en su interior muros de adobe con un espesor de 60 cm y para el sistema constructivo de la cubierta viguetas y bóveda de ladrillo plano, mientras que sus pisos están preparados a base de loseta de pasta de cemento. No obstante, destaca la tendencia a la simetría partiendo del acceso con un arco rebajado y al centro una clave como remate visual, mientras que en la parte lateral derecha existen dos accesos conformados por arcos de medio punto y columnas adosadas (Figura 2).

En el sureste de la fachada se sitúa una ventana que fue modificada debido a la presencia del antepecho y con herrería de características diferentes a la principal; en la parte superior de la fachada se encuentra una cornisa que le otorga un toque distintivo al inmueble (Figura 2). El edificio tiene un guardapolvos que alcanza una altura de hasta 0.5 m. Es evidente que a lo largo del tiempo se realizaron algunas modificaciones en la fachada, como el relleno del espacio inferior de una de las ventanas con adobe y chapa de dimensiones diferentes a las originales, lo que en un principio podría haber sido un balcón, como en el caso de los vanos del noroeste (Figura 2).

También se pueden identificar molduras en el nivel inferior de la cornisa y en el remate del muro. Las dos columnas estructurales y las ocho columnas (C1 a C10) de apoyo a los arcos son de fuste liso y se encuentran adosadas (Figura 2). Con relación a la conducción del agua pluvial, las salidas de las bajadas se ubican en el espacio entre los vanos, a una altura de 0.4 m del nivel de la banqueta. El agua se desliza sobre la ignimbrita hasta el nivel de la banqueta. En la parte superior, al nivel de la azotea, se pueden distinguir las zonas de descarga de las mismas bajadas, las cuales presentan tonos oscuros (Figura 2).

El formato de la chapa de ignimbrita que conforma la fachada del muro tiene dimensiones de 0.4 x 0.25 m y 0.15 m de espesor. Estas últimas medidas se obtienen al observar las zonas con alto grado de deterioro donde se expone el adobe por debajo de la chapa de ignimbrita (Figura 2).



Figura 2. Distribución arquitectónica de la fachada y principales elementos constructivos de La Casa Rosal 102a, diseñada por el arquitecto Refugio Reyes Rivas (1862- 1943).

METODOLOGÍA

A continuación se describe la secuencia de los análisis realizados para la caracterización de la fachada La Casa Rosal 102a. En términos generales consistió en un análisis petrológico, la clasificación de zonas de la fachada basados en el glosario ICOMOS-ISCS y la correlación de la cartografía con los daños observados.

Análisis petrológico

En este trabajo se utiliza el término ignimbrita para la descripción de las rocas ígneas extrusivas formadas durante la acumulación de flujos piroclásticos calientes constituidos por fragmentos de cristales y rocas. En el ámbito de la construcción y la geotecnia, los términos de las ignimbritas y las tobas se consideran indistintamente iguales por lo que el término de toba no será empleado en este artículo. Bajo esta aclaración, se define a la ignimbrita como roca

piroclástica de flujo (secuencia: oleada y flujo piroclástico y depósito de ceniza), compuesta principalmente de material juvenil vesiculado (pómez) y líticos, pudiendo estar soldada o no (Sparks *et al.* 1973). Estas rocas recientemente han sido redefinidas como corrientes de densidad piroclástica formada por proporciones variables de pómez, ceniza y líticos provenientes de erupciones explosivas de gran tamaño (Brown y Andrews, 2015), por lo que estas rocas presentan una amplia variedad de texturas, colores, composiciones y resistencias al esfuerzo cortante. Las ignimbritas son emplazadas a altas temperaturas, por lo que el soldamiento, la cristalización y la alteración pueden ocurrir en el periodo de enfriamiento (Cas y Wright, 1987). Por su parte el soldamiento es la sinterización de fragmentos de pómez, líticos y fragmentos de vidrio bajo una carga de compactación caliente, por lo que la pérdida de porosidad en la roca es consecuente (Smith 1960; Ross y Smith, 1961).

Por otro lado, en el análisis petrológico general de una roca piroclástica se identifican tres parámetros importantes: fábrica, textura y estructura. Este análisis permite la identificación y con ello la evaluación cualitativa de su resistencia mecánica y grado de alteración (Fort *et al.* 2008). Adicional a estos parámetros, en las rocas ignimbritas está el grado de soldamiento, el cual se manifiesta con base a la temperatura de emplazamiento, por lo que entre más caliente haya sido su emplazamiento, más soldamiento pérdida de porosidad y resistencia tendrá la roca (Quane y Russell, 2005; Padilla-Ceniceros *et al.* 2017; Solano, 2018).

Para este trabajo no se utilizó la clasificación composicional de Fisher (1966), ya que se buscó que fuera una ayuda visual para las personas con poca experiencia en geología, así que se hizo una adaptación y simplificación de la clasificación del cuadro de comparación para la estimación visual de porcentaje de líticos de Terry y Chilingar, (1955) y modificada por Scholle *et al.* (2014, Figura 3a).

Así mismo, se agregó el grado de soldamiento como parámetro característico de la roca, es decir, se le agregó un valor al parámetro de grado de soldamiento, como una función inversa a la porosidad estimada para algunas de las muestras de la fachada de la catedral Basílica de Aguascalientes, ya que corresponden a la roca observada en la fachada de La Casa Rosal 102a, esta afirmación se basa en que en ambos inmuebles intervino el arquitecto Refugio Reyes (1862- 1943), en que son edificaciones contemporáneas y en que las características petrológicas de las mamposterías son similares; por ello, se adaptó y empleó la clasificación rango-porosidad e índice de aplastamiento de Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) y Quane y Russell, (2005) (Figura 3b).

El recuadro en rojo en la figura 3b corresponde a la porosidad obtenida en el laboratorio de una ignimbrita de la fachada de la catedral Basílica de Aguascalientes y que se correlaciona con la roca

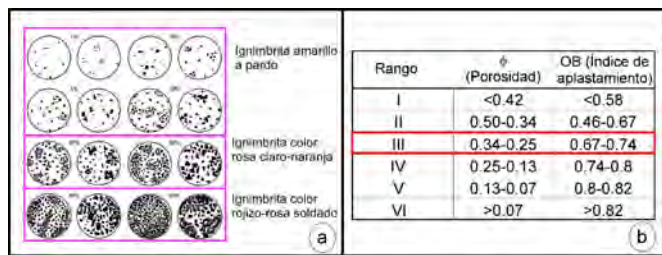


Figura 3. Adaptación y propuesta de la clasificación utilizada en este trabajo. (Modificado de Terry y Chilingar, 1955 y modificado por Scholle *et al.* 2014, Quane y Russell, 2005 y Padilla-Ceniceros *et al.* 2017). a) Porcentajes componentes de la matriz vs esqueleto de las litologías. b) Valores de soldamiento, porosidad e índice de aplastamiento para las ignimbritas.

similar de la fachada del edificio reconocida en este trabajo como ignimbrita color rojizo-rosa soldado. Dado que es la muestra en este trabajo con mayor soldamiento, se sugiere que las otras dos rocas (ignimbrita color rosa claro - naranja e ignimbrita amarillo a pardo) se encuentran en el rango IV y V, de la figura 3b, respectivamente.

Criterio ICOMOS-ISCS

El glosario de ICOMOS-ISCS es la recopilación de términos escritos por diferentes autores (por ejemplo: Grimmer, 1984, Delgado-Rodrigues, 1991, etc.). La descripción que se hace con estos términos es para material individual en una escultura o construcción. Dentro de este documento se pueden encontrar términos generales como alteración, daño, degradación, deterioro y meteorización, y a partir de aquí se divide en: 1) grietas y deformaciones, 2) desprendimiento, 3) rasgos inducidos por pérdida de material, 4) alteraciones cromáticas y depósitos y 5) colonización biológica (Figura 4). Cada una de las divisiones tiene una subdivisión y algunas de estas subdivisiones llegan a dividirse nuevamente (Figura 4). Para hacer una visualización rápida de los parámetros de deterioro se realizó una lista de verificación visual (Figura 4), para posteriormente hacer una comparación de la cartografía petrológica y la cartografía de los parámetros de deterioro.

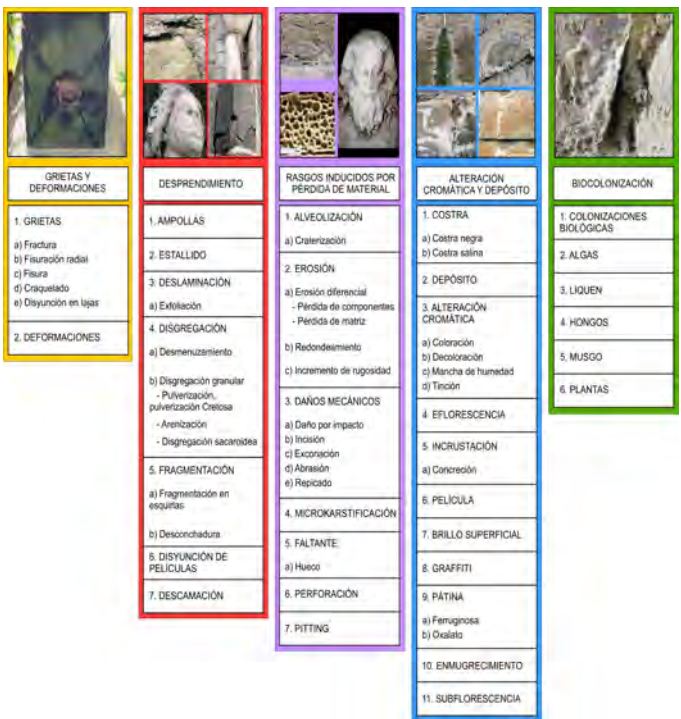


Figura 4. Tomado y modificado del resumen de términos generales del glosario ICOMOS-ISCS.

RESULTADOS

Cartografía petrológica de la fachada

La fachada del edificio en estudio está compuesta por rocas ígneas extrusivas reconocidas como ignimbritas, las cuales se separaron en este trabajo según el porcentaje de matriz contra esqueleto en al menos tres tipos: 1) 10 % de esqueleto contra 90 % de matriz (Figura 5a- ignimbrita amarilla a pardo), 2) 20 % de esqueleto contra 80 % de matriz (Figura 5b- ignimbrita color rosa claro-naranja), y 3) 50 % de esqueleto contra 50 % de matriz (Figura 5c- ignimbrita color rojizo-rosa soldado).



Figura 5. Fotografías de detalle de las texturas de las tres ignimbritas que componen la fachada La Casa Rosal 102a; a) ignimbrita amarilla a pardo, b) ignimbrita rosa claro-naranja y c) ignimbrita color rojizo-rosa.

El primer tipo de ignimbrita observada es de color amarillo a pardo con aureolas color rojizo, medianamente soldada. Tiene una matriz de vidrio en un 90 % con un esqueleto conformado por pómez y líticos en un 10 %. Las pómez se observan elongadas, poco soldadas, de ~1 cm, mientras que los líticos son angulares con tamaño de 1 mm, bien sorteados. El esqueleto suele ser escaso y se aglomera en ciertas zonas (Figura 5a- ignimbrita amarilla a pardo). Esta roca es la que se encuentra en mayor proporción en la fachada de La Casa Rosal 102a, distribuida en casi toda la fachada (Figura 6).

El segundo tipo de ignimbrita observada es color rosa claro-naranja, soldada, con una matriz fina de vidrio (80 %), un esqueleto de líticos y limitadas pómez (20 %). La disposición del esqueleto se observa en toda la roca. Los líticos son angulosos, con tamaño principalmente de 1-3 mm y mal sorteados; se observan escasos líticos de 5 cm, mientras que las pómez se observan elongadas, un poco aplastadas pero no totalmente, ya que llegan a medir hasta 3 ó 4 cm (Figura 5b- ignimbrita color rosa claro-naranja). Esta ignimbrita se encuentra en la fachada en menor proporción que la de color amarillo a pardo, pero en mayor cantidad que la de color rojizo-rosa descrita más abajo; la distribución se concentra principalmente en el área del capitel y algunos guardapolvos (Figura 6).

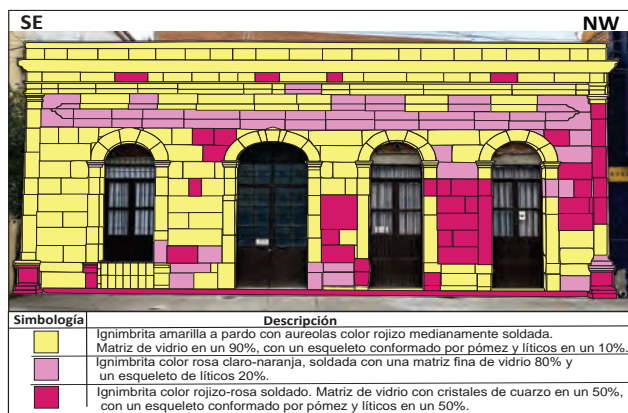


Figura 6. Cartografía petrológica de la fachada de La Casa Rosal 102a. Obsérvese que la ignimbrita amarilla a pardo es la que tiene una mayor distribución.

El tercer tipo de ignimbrita observada en la fachada La Casa Rosal 102a, es una roca de color rojizo-rosa soldado. Está compuesta por una matriz de vidrio con cristales de cuarzo en un 50 % con un esqueleto en un 50 %, este último está conformado por pómez (en un 10 % con respecto a los líticos) y líticos (en un 40 % con respecto a las pómez). Las pómez se observan elongadas, parcialmente aplastadas, soldadas de ~5 mm – 2 cm, ocasionalmente se llegan a ver fiammes, mientras que los líticos son angulares, con tamaño de 1 mm, mal sorteados (Figura 5c- ignimbrita color rojizo-rosa soldado) y se encuentran distribuidos en toda la roca. Esta ignimbrita se encuentra en menor proporción en la fachada de esta casa que las anteriormente descritas; la distribución se concentra en los pilares centro-derecha y algunos plintos (Figura 6).

Cartografía de las patologías de daños ICOMOS-ISCS

Dentro de las observaciones que se realizaron en La Casa Rosal 102a se encuentran alteraciones, degradaciones y meteorización que causan deterioro en ciertas partes del inmueble, sobre todo en la parte baja y en la cornisa (Figura 7). Las patologías que se observaron son: 1) grietas y deformación (grietas y fisuras radiales), 2) desprendimiento (disgregación, fragmentación y descamación), 3) rasgos inducidos por pérdida de material (alveolización y erosión) y 4) alteración cromática y depósito (alteración cromática-manchas de humedad, eflorescencia y pátina de oxalato). Asimismo, se observaron algunos puntos donde existen dos o más patologías combinadas (Figura 7).

Agrietamiento o deformación

En la fachada de la construcción en estudio se observaron fisuras radiales en el arco rebajado y en las columnas adosadas de la ventana del lado SE (Figuras 7 y 8a). Las fisuras radiales son grietas individuales ocasionadas por las anclas o fijaciones de hierro de la protección de la ventana izquierda.

Desprendimiento

Incluye ampollas, estallido, deslaminación, disgregación, fragmentación, disyunción de películas y descamación. En la fachada se observaron disgregaciones, fragmentaciones y descamaciones; la disgregación es el desprendimiento de partículas por la pérdida de cohesión, desagregación, pulverización y desgranamiento (ICOMOS-ISCS, 2011).

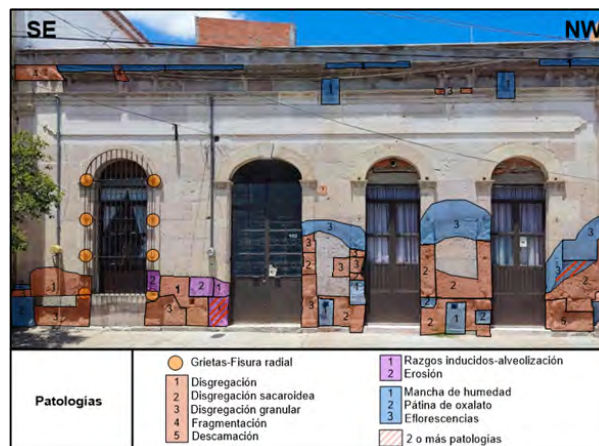


Figura 7. Resultado de la cartografía de patologías de la fachada. Los colores y números se describen en el texto.

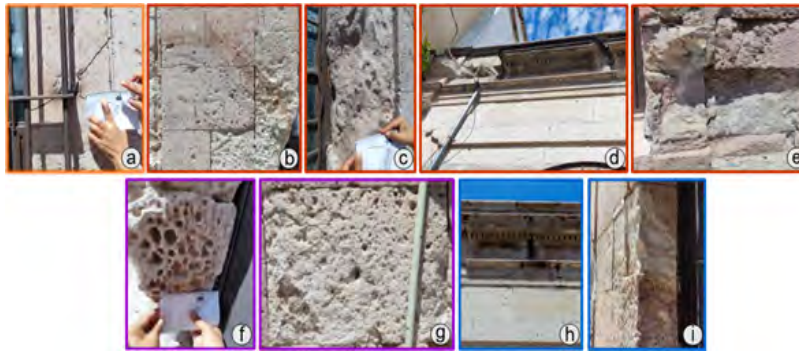


Figura 8. Ejemplos de patologías y fotografías de detalle. a) Grietas radiales asociadas a la instalación de la herrería, b) Disgregación, c) Disgregación sacaroidea, d) Fragmentación, e) Descamación, f) Alveolización, g) Erosión, h) Manchas de humedad e i) Eflorescencias.

Las disgregaciones que se observaron fueron sacaroideas y granulares, y cuando no se pudo distinguir ninguna de las anteriores sólo se consideró como disgregación. En ese contexto, la disgregación sacaroidea se observó principalmente en las tres columnas de la derecha del inmueble, mientras que la disgregación, aunque se observa en todas las columnas, se concentra principalmente en la columna del centro (Figuras 7, 8b y 8c).

La fragmentación se refiere principalmente a trozos o partes de la piedra desprendidos por la rotura parcial o total de ésta y pueden tener tamaños variables e irregulares (ICOMOS-ISCS, 2011). Este proceso se observa principalmente en las cornisas del inmueble (Figura 7 y 8d).

Por su parte, la descamación es el desprendimiento en forma de capas, escamas o pilas de escamas de tamaño pequeño (milimétrico o por centímetros. ICOMOS-ISCS, 2011). Este proceso se observó en la columna de la derecha (Figuras 7 y 8e). En la fachada, la patología de desprendimiento se observó en mayor proporción que el resto de las patologías y casi siempre en la parte baja del inmueble: en esta zona la fragmentación tuvo mayor presencia.

Rasgos inducidos por pérdida de material

Estos procesos incluyen alveolización, erosión, daños de origen mecánico, microkarstificación, faltante, perforación y *pitting*. En la fachada de construcción de estudio se observaron principalmente alveolización y erosión: la primera se refiere a cavidades (alveolos) de tamaño variable en la superficie de la roca, y que pueden estar interconectadas (Figura 8f. ICOMOS-ISCS, 2011). La erosión es la pérdida de la superficie original que da como resultado el suavizado de las formas (ICOMOS-ISCS, 2011). Tanto la alveolización como la erosión se observan en la parte baja de la segunda columna de izquierda a derecha (Figuras 7 y 8g).

Alteración cromática y depósito

Incluye costras, depósito, alteración cromática, eflorescencia, incrustación, película, brillo, graffiti, pátina, enmugrecimiento y subeflorescencia. En la fachada de la construcción en estudio se observaron alteración cromática, manchas de humedad, eflorescencia y pátina de oxalato. La alteración cromática es el cambio de color de la roca en diferentes tonos, luminosidad o saturación. Dentro de esta alteración puede haber coloración, decoloración, manchas de humedad y tinción. Las manchas de humedad se observan con un oscurecimiento de la superficie (ICOMOS-ISCS, 2011) y se encuentran en algunos puntos debajo de la cornisa y de las bajadas pluviales en la parte baja del inmueble (Figuras 7 y 8h).

La eflorescencia es la acumulación de sales solubles provenientes de la misma roca y que llegan a tener forma cristalina, pulverulenta y blanda en la superficie (ICOMOS-ISCS, 2011). Esta patología se observa en la cornisa del inmueble y en las tres columnas del NW y en la última de la izquierda (Figuras 7 y 8i). La pátina de oxalato es una alteración cromática en el caso de estudio de color rojizo (ICOMOS-ISCS, 2011); esta patología se observa en las columnas C7, C8 y C10 y la columna C1 del inmueble, con mayor presencia en las columnas C7 y C8 (Figura 7).

Cartografía petrológica-patologías ICOMOS-ISCS

Los resultados de la comparación entre la cartografía petrológica y la de patologías del ICOMOS-ISCS generaron un nuevo mapa, lo que ayudó a observar si algunas de las patologías están asociadas a la petrología y al grado de soldamiento (Figura 9). En la parte alta de la fachada (cornisa) existe un porcentaje mayor de ignimbrita color amarillo, mientras que en la base de la fachada hay mayor variedad de las rocas, es decir, las tres ignimbritas cartografiadas (primeros 1.5 metros del muro), por lo que esta zona es la ideal para hacer comparaciones.

La humedad por filtración se presenta tanto en la parte inferior del muro como en la azotea, donde aún no se observan tantos daños como en la parte inferior del muro. La humedad por filtración en la azotea, por debajo de la cornisa en todo lo largo de la fachada generó un crecimiento de hongos, es decir la humedad se localiza en las bajadas pluviales. Por otro lado, en algunos puntos de la cornisa y del capitel de la fachada se observan daños por fragmentación (Figuras 8 y 9).

La parte inferior de la fachada es el lugar donde más patologías se localizan, por humedad de filtración, humedad accidental y humedad por capilaridad. En el caso de la humedad por filtración se observan alteraciones como: manchas de humedad localizadas en paredes y techos cercanos a ventanas, puertas o áreas propensas a filtraciones (Figuras 7 y 9) y desarrollo de eflorescencias en la superficie de los muros debido a la acumulación de sales disueltas en el agua de infiltración (Figuras 7 y 9).

Con respecto a la humedad por capilaridad, ésta se manifiesta como manchas en la parte inferior de los muros y proviene del agua acumulada en la banqueta. Los criterios de alteración son: 1) presencia de manchas de humedad en la parte inferior de los muros, con una apariencia más difuminada hacia arriba, 2) descamación y desprendimiento de la capa superficial de la chapa de ignimbrita y 3) daños en los materiales porosos que pueden provocar la pérdida de resistencia y la degradación de la fachada (Figuras 7 y 9).

En el caso de la humedad accidental en la fachada, ésta se debe a las tuberías, principalmente en la salida ubicada a 0.4 m del nivel de la banqueta y en la boca de la bajada pluvial. Los criterios de alteración son: 1) manchas y zonas húmedas claramente localizadas, que pueden tener formas irregulares; 2) daños importantes en los materiales, como la pérdida de cohesión en los muros, el desprendimiento de la capa superficial de la chapa de ignimbrita y la deformación de elementos estructurales (Figuras 7 y 9).

Las patologías observadas en las ignimbritas amarillas que contienen un mayor porcentaje en matriz pero menos soldamiento, son según el glosario ICOMOS-ISCS, alveolización, erosión diferencial, disgregación, disgregación granular y descamación en la columna derecha. Las humedades han provocado que la matriz se erosione, desintegre y presente cambios químicos y algunas oquedades (Figuras 6 y 9).

Las patologías observadas en la ignimbrita color rosa claro-naranja descrita con 80 % de matriz fina de vidrio y 20 % de líticos y parcialmente soldada son, según el glosario ICOMOS-ISCS: descamación, disgregación granular, disgregación sacaroidea y manchas por humedad. Aquí las humedades provocan que las pómez y parte de la matriz se erosionen, dejando oquedades (Figuras 6 y 9).

En la Ignimbrita color rojizo-rosa soldado la cual presenta mayor soldamiento que las dos anteriores, se puede observar una aureola de humedad por capilaridad en la parte inferior del inmueble. La zona de humedad provocó una alteración cromática que se observa en un mapeo de salinidad (eflorescencia costra salina), pátina de oxalato y manchas de humedad. El esqueleto de esta ignimbrita presenta en igual porcentaje matriz de cuarzo y concentración esqueleto, el cual está conformado por líticos y menor cantidad por pómez (tipo *fiammes*), toda ella bien soldada, lo que al parecer reduce como se puede observar los efectos de humedad sobre la roca (Figuras 6 y 9).

DISCUSIÓN

El hecho de que el inmueble de La Casa Rosal 102a sea muy antiguo favorece la meteorización de sus componentes a diferentes grados, sobre todo en la base de los muros. ¿Cuál es la razón para que esto suceda así? En este trabajo se encontró que el deterioro y meteorización que ha tenido la fachada del inmueble se debe en gran medida a la humedad, lo que se asume porque se observa un deterioro en las bajadas de agua y porque, como indican las conclusiones de otros estudios realizados en inmuebles antiguos en la ciudad de Aguascalientes, la humedad favorece la cristalización de las sales, entre otras cosas, porque los edificios antiguos no tienen una barrera que inhiba el ascenso de humedad, además de que las propiedades de la ignimbrita (porosidad) propician el fenómeno capilar (Padilla-Ceniceros *et al.*, 2017; Orenday-Tapia *et al.*, 2019).

De hecho, Padilla-Ceniceros *et al.* (2017) realizaron trabajos sobre porosidad versus deterioro en rocas ígneas (ignimbritas) de la Catedral de Aguascalientes, la cual tiene rocas similares a las de la edificación en estudio de este trabajo, y sus conclusiones indican que entre mayor porosidad es mayor el deterioro, lo que a su vez indicaría que el parámetro de soldamiento de la roca es importante, ya que la pérdida de porosidad está ligada a un mayor grado de soldamiento, el cual se refiere a la sinterización de fragmentos de pómez, líticos y vidrio bajo una carga de compactación y a altas temperaturas, lo que da como resultado una pérdida de porosidad (Smith 1960; Ross y Smith, 1961). Así que es correcto afirmar que entre más soldadas menor porosidad y, en consecuencia, más resistentes al deterioro.



Figura 9. Sobreposición de la cartografía y las patologías presentes en la fachada del inmueble. Para mayor información sobre el tipo de rocas en esta figura, ver Figuras 6 y 7.

Con base en lo anterior y poniendo énfasis en la petrología de las rocas y su grado de soldamiento, se elabora una metodología con aplicación rápida, sencilla y económica y que permite a los estudiantes realizar una visualización del grado de porosidad, la cual está relacionada con el porcentaje o grado de soldamiento y con las características petrológicas de las rocas para, posteriormente, compararlas con las patologías del glosario ICOMOS-ISCS.

De manera general, las patologías de la fachada de la Casa Rosal 102a se observan en la parte superior, específicamente en la cornisa y el capitel, aunque la parte media y baja concentra el mayor número de patologías. Una de ellas está ligada a cambios que se han realizado en la casa, como por ejemplo las grietas radiales ocasionadas por las anclas o fijaciones de hierro de la protección de la ventana izquierda; sin embargo, el resto de ellas se deben a la alteración por humedad, la cual se presenta de forma capilar, por filtración y accidental ocasionando un mayor deterioro en las rocas con menor soldamiento, como lo indican las patologías superpuestas en ciertas zonas (diferentes tipos de disgregación, descamación, fragmentación, alveolización y erosión), sobre todo en la ignimbrita color amarillo a pardo, que es la que tiene menor grado de soldamiento.

Por el contrario, las que tienen mayor grado de soldamiento como la ignimbrita color rojizo-rosa, la meteorización por humedad sólo ha hecho que presente cambios de colores como pátina de oxalato, eflorescencias, manchas de humedad, y pocas veces disgregación. Haciendo énfasis en el frente de humedad, se observa que al SE de la fachada se presente por debajo del primer metro de altura, mientras que en la parte central y sector NW el frente húmedo asciende hasta 1.4 m de altura.

Esta variación en la altura del frente húmedo se podría relacionar con el tipo de roca en la parte baja del muro; la menor concentración de humedad también puede deberse en parte al hecho de que en esa zona se concentra la ignimbrita amarillo a pardo, la cual es menos soldada, por lo que tiene poros de mayor diámetro que las rocas del sector NW, donde se concentran ignimbritas color rojizo-rosa más soldadas, es decir, se inhibe (aunque no por completo) el efecto de capilaridad en la zona SE y se concentra en la parte NW.

Al observar el comportamiento de la humedad por capilaridad en la zona centro y NW de la fachada, ésta asciende mejor en la ignimbrita color rosa claro-naranja que en la roca color amarillo a pardo; pero ¿por qué entonces se observa un frente de humedad más alto en el muro segundo de derecha a izquierda? Es probable que sea por la roca que sobreyace a la ignimbrita amarillo a pardo, la cual está colocada a una mayor altura y es la roca más densa (ignimbrita color rojizo-rosa soldada), donde los poros pequeños permiten un más rápido ascenso de la humedad sin retenerla, haciendo que se concentre solo a los lados, provocando que la humedad no afecte tanto en el centro.

En la parte NW de la fachada se esperaría que el frente húmedo ascendiera por encima de 1.4 m sobre la zona de la roca color rojizo-rosa soldada, sin embargo, es probable que, debido al reducido espesor de la chapa, una colocación a una mayor altura de la ignimbrita amarillo a pardo provoque una evaporación de la humedad en la roca antes de ascender y por esto no presente un mayor ascenso.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran una base cartográfica petrológica de la fachada de la Casa la Purísima, en la ciudad de Aguascalientes, Aguascalientes, México. Sobre esta cartografía se superpone otra de los daños identificados de acuerdo con el glosario ICOMOS-ISCS. Los resultados muestran que muchos de los daños son consecuentes con la petrología y el grado de soldamiento de la roca en la fachada. Al realizar la caracterización de las patologías principales en la fachada, se observa que existe una combinación de las mismas. Esto se debe en parte a que la roca de la baldosa donde se presentan, que en este caso se trata de la ignimbrita amarillo a pardo, es la que tiene mayor porcentaje de matriz y la cual se encuentra menos soldada que las rocas de los otros dos tipos. Asimismo, en esta roca se observan patologías que muestran mayor deterioro, como por ejemplo, erosión, alveolización, disgregación, fragmentación y descamación. Por el contrario, las patologías con menor erosividad como, por ejemplo, manchas por humedad, pátina de oxalato y eflorescencias, se encuentran en las rocas con igual porcentaje de matriz y esqueleto más soldados (ignimbrita color rojizo-rosa) que las otras dos rocas observadas.

Las grietas y deformaciones se observaron en un área menor que el resto de las patologías y son antropogénicas, mientras que la patología de rasgos inducidos por pérdida de material se observó siempre en la parte baja del inmueble, y en mayor proporción que la patología de grietas y deformación. Las de mayor proporción son las patologías de desprendimiento que han afectado a todas las rocas pero y en mayor medida a las que tienen mayor porcentaje de matriz. Mientras que la patología de alteración cromática y depósito se observó en las partes finales o partes de inicio de las ignimbritas color rojizo-rosa soldado, lo que sugiere que el agua se evapora antes de ascender aún más o pasa muy rápido sin quedarse en ella, haciendo que la humedad se concentre en esa zona pero sólo alrededor de dichas baldosas, lo que indicaría que se trata de una zona de transición del frente de humedad y en consecuencia sin muchos daños por este proceso aunque permite que la humedad se concentre alrededor de dicha zona.

A partir del trabajo realizado en este estudio se concluye que la cartografía petrológica de rocas volcánicas como herramienta de caracterización y evaluación visual es rápida, sencilla y económica. Si se combina con una cartografía de las patologías de daños del glosario ICOMOS-ISCS, resulta una metodología aún más eficiente. Puede ser implementada por estudiantes y/o por personal dedicado a la restauración y valoración de monumentos y/o edificios históricos, ya que la comparación superpuesta de estas dos cartografías (cartografía petrológica-patologías ICOMOS-ISCS) muestra el comportamiento de las patologías de daños según la petrología y el grado de soldamiento de las rocas, que señalan el grado de degradación que se podría presentar y que se esperarían que ocurra con el paso del tiempo en las mismas condiciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y de los estudiantes del primer semestre de la maestría de Ingeniería Civil. Así mismo, se agradece la revisión de los árbitros anónimos y de la Mtra. Sandra Fuentes Vilchis, cuyas observaciones contribuyeron a mejorar sustantivamente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Brown, R. J., y Andrews, G. D. (2015). Deposits of pyroclastic density currents. In the encyclopedia of volcanoes. Academic Press. pp. 631-648.
- Cas, R. A. F., y Wright, J. V. (1987). Volcanic successions: Ancient and modern. Allen and Unwin, London.
- Delgado-Rodriguez, J. (1991). Causes, mechanisms and measurement of damage in stone monuments. Science, Technology and European Cultural Heritage.
- Fisher, R. V. (1966). Rocks composed of volcanic fragments and their classification. *Earth-Science Reviews*, 1(4), 287-298
- Fort, R., García del Cura, M., Varas, M. J., Bernabéu, A., Álvarez de Buergo, M., Benavente, D., y Pérez-Monserrat, E. M. (2008). La petrología: una disciplina básica para el avance en la investigación y conservación del Patrimonio.
- García de Miguel, J. M. (2011). ICOMOS-ISCS: Illustrated glossary on stone deterioration patterns= Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2089/1/spanish_glossary.pdf
- Grimmer, A. E. (1984). A Glossary of Historic Masonry Deterioration Problems and Preservation Treatments. Washington DC: National Parks Service.
- López-Doncel, R., Cardona-Velázquez, N. y Wedekind, W. (2015). El rescate del patrimonio cultural pétreo de San Luis Potosí. *Revista Universitarios Potosinos*, 194, 6-12.
- McDowell, F. W. y Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico: Geological Society of America Special Paper, 180, 113- 124.
- Orenday Tapia, E. E., Tapia Tovar, E., y Pacheco Martínez, J. (2019). Intervenciones no destructivas para el diagnóstico de la salud estructural de dos templos de Aguascalientes, en México. *Intervención (México DF)*, 10(19), 85-98.
- Ostrooumov, M., Monroy, V. H. G., Nieto, H. C., y Santacruz, R. L. (2003). Mineralogía y geoquímica de los procesos de degradación en monumentos históricos: primer acercamiento a un caso mexicano (Morelia, Michoacán). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 20(3), 223-232.
- Padilla-Ceniceros, R., Pacheco-Martínez, J., López-Doncel, R. A., y Orenday-Tapia, E. E. (2017). Rock deterioration in the masonry walls of the Cathedral Basilica of Aguascalientes, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2), 138-149.
- Quane, S. L., y Russell, J. K. (2005). Ranking welding intensity in pyroclastic deposits. *Bulletin of Volcanology*, 67, 129-143.
- Ross, C. S., y Smith, R. L. (1961). Ash-flow tuffs: their origin, geologic relations, and identification (No. 366). United States Government Printing Office.
- Rubalcava, G., y Sifuentes, R. R. (Coordinadores). (2014). Refugio Reyes Rivas, Arquitecto empírico, Instituto Cultural de Aguascalientes, 29 p.
- Siegesmund, S., Weiss, T., y Vollbrecht, A. (2002). Natural stone, weathering phenomena, conservation strategies and case studies: introduction. Geological Society, London, Special Publications, 205(1), 1-7.
- Siegesmund, S., Pötzl, C., López-Doncel, R., Gross, C. J., Dohrmann, R., y Ufer, K. (2022). Overview and quality assessment of volcanic tuffs in the Mexican building heritage. *Environmental Earth Sciences*, 81(17), 426.
- Scholle, Ullmer, D. S., Scholle, P. A., Schieber, J., y Raine, R. J. (2014). A color guide to the petrography of sandstones, siltstones, shales and associated rocks (Vol. 109). Tulsa, OK, USA: American Association of Petroleum Geologists.
- Smith, R. L. (1960). Zones and zonal variations in welded ash flows (No. 354-F, pp. 149-159). US Geological Survey.
- Sparks, R. S., Self, S., Walker, G. P. L. (1973). Products of ignimbrite eruptions. *Geology* 1:115-118
- Solano, J. P. (2018). Estratigrafía y petrografía del Plio-Pleistoceno del noroeste de Costa Rica: Formación Bagaces y Lavas Pelón de la Bajura. (Unpublished licenciatura thesis). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Terry, R. D., y Chilingar, G. V. (1955). Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by MS Shvetsov. *Journal of Sedimentary Research*, 25(3), 229-234.

Manuscrito recibido: 3 de octubre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 30 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 4 de diciembre de 2023

IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA DE LA UNESCO EN LA LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA DE LA UNAM, PARA ABORDAR LA DESIGUALDAD Y LA VIOLENCIA DE GÉNERO

Bessy Elvia Sterling Pérez

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, Sabadell 101A, B4, Col. San Nicolás Tolentino, Iztapalapa, C.P 09850, Ciudad de México, México.

bessysterling@filos.unam.mx

RESUMEN

La educación geográfica tiene un papel fundamental para el logro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las 169 metas de la Agenda 2030 (ONU, 2015). En 2021, la UNESCO planteó una nueva propuesta educativa, llamada Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS). En este artículo se presenta la forma en que se implementó dicha metodología didáctica, con el objetivo de ponerla a prueba con estudiantes de la Licenciatura en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México que cursan el Seminario de Enseñanza de la Geografía en Secundaria. Para ello, se consideró el ODS 5, Igualdad de género, con la finalidad de identificar la distribución y las causas de la violencia hacia las mujeres en diferentes escalas, lo cual se logró mediante la aplicación de una encuesta, la elaboración de mapas y el análisis cartográfico, dando como resultado la generación de propuestas de solución para dicha problemática.

Palabras clave: Educación, sostenibilidad, educación para el desarrollo sostenible, igualdad de género, perspectiva de género, ODS, UNESCO.

ABSTRACT

Geographic education plays a fundamental role in achieving the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) and the 169 goals of the 2030 Agenda (UN, 2015). In 2021, UNESCO proposed a new educational proposal, called Education for Sustainable Development (ESD). This article presents the way in which said teaching methodology was implemented, with the aim of testing it with students of the Bachelor's Degree in Geography of the National Autonomous University of Mexico who are taking the Geography Teaching Seminar in Secondary School. To this end, SDG 5 Gender Equality was considered, with the aim of identifying the distribution and causes of gender violence against women at different scales. This was achieved through the application of a survey, the preparation of maps and cartographic analysis, resulting in the generation of solution proposals for said problem.

Keywords: Education, sustainability, education for sustainable development, gender equality, gender perspective, SDGs, UNESCO.

INTRODUCCIÓN

El presente artículo pretende dar a conocer al profesorado de los niveles básico, medio superior y superior el nuevo enfoque de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (UNESCO, por sus siglas en inglés) en la educación para sostenibilidad, porque es relevante para la formación de los ciudadanos que se requieren para transformar el mundo en un espacio con un medio ambiente más limpio, con un uso más sustentable de los recursos naturales, más inclusivo y con una mayor equidad social. Dicha metodología se implementó con estudiantes del Seminario de Enseñanza de la Geografía en Secundaria de la Licenciatura en Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual se cursa en el campus de Ciudad Universitaria. Para ello, de los 17 Objetivos para el Desarrollo Sostenible plasmados en la Agenda 2030 se trabajó con el ODS 5, cuyo objetivo es lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y las niñas. Se seleccionó este objetivo debido a la magnitud de la problemática de la violencia de género, que como se observa en la Figura 1, es de diferentes tipos.

En el documento Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación, UNESCO (2021), se pone de manifiesto que uno de los principales puentes para alcanzar los ODS es la educación, por ser la base para la renovación y la transformación para forjar un futuro pacífico, justo y sostenible; pero para ello, la propia educación debe transformarse: las instancias correspondientes deben garantizar el derecho a una educación de calidad a lo largo de toda la vida y fortalecerla como proyecto público y bien común. De esta manera podremos afrontar retos como la desigualdad en la educación y, en consecuencia, la desigualdad social.

En dicho documento se propone que la pedagogía se organice en torno a principios de cooperación, colaboración y solidaridad y que los planes de estudio hagan hincapié en el aprendizaje ecológico, intercultural y transdisciplinario, para que los estudiantes accedan y contribuyan al saber global, al mismo tiempo que desarrollen su capacidad para cuestionarlo y aplicarlo. Asimismo, en los contenidos, políticas y métodos educativos, es necesario promover la ciudadanía activa y la participación democrática, desde una perspectiva de la ciudadanía igualmente global.

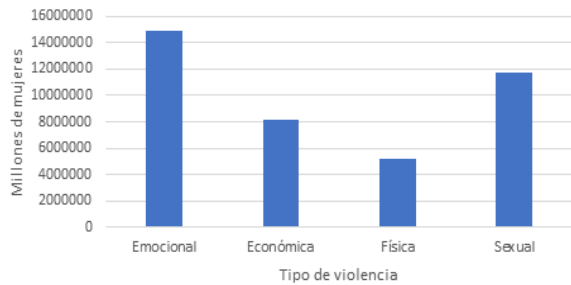


Figura 1. Mujeres de 15 años y más que han sufrido algún incidente de violencia por tipo, se observa que las mujeres mexicanas sufren en mayor grado violencia emocional y sexual (Fuente: INEGI, 2021).

En las escuelas se deben promover la inclusión, la equidad y el bienestar individual y colectivo. Para lograrlo, se requiere de un compromiso masivo con el diálogo social, haciendo un llamamiento a la investigación y a la innovación y otro a la solidaridad mundial y a la cooperación internacional.

Debido a que se pretende alcanzar el equilibrio entre las dimensiones económica, ecológica y social, la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) no se puede abordar con un pensamiento lineal ni desde la perspectiva de una sola disciplina, por lo que la propuesta didáctica de la UNESCO plantea abordar los problemas ecológicos, económicos y sociales con un enfoque sistémico, transdisciplinario y desde el pensamiento complejo, porque de esta manera los cambios que se efectúen en la realidad estudiada producirán menos retroalimentaciones o propiedades emergentes no deseadas al considerar el mayor número de factores posibles para solucionar una problemática dada. Para ello, la UNESCO ha creado una guía para los docentes titulada Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2017), donde presenta los propósitos de aprendizaje generales y específicos para alcanzarlos. Además, se establecen 3 dominios (áreas) para el logro de dichos objetivos de aprendizaje: cognitivo, socioemocional y conductual.

La metodología didáctica propuesta por la UNESCO (2017) consiste en seleccionar un ODS, las competencias clave para la sostenibilidad y al menos un objetivo de aprendizaje para cada dominio del ODS. Con estos elementos, se procede a elaborar la secuencia de actividades del proyecto didáctico.

Las competencias clave para la sostenibilidad que se seleccionaron de la Tabla 1.1. de UNESCO (2017) fueron las siguientes:

Competencia estratégica: las habilidades para desarrollar e implementar de forma colectiva acciones innovadoras que fomenten la sostenibilidad a nivel local y más allá.

Competencia de colaboración: las habilidades para aprender de otros, para comprender y respetar las necesidades, perspectivas y acciones de otros (empatía), para comprender, identificarse y ser sensibles con otros (liderazgo empático), para abordar conflictos en grupo y para facilitar la resolución de problemas de manera colaborativa y participativa.

Competencia de pensamiento crítico: la habilidad para cuestionar normas, prácticas y opiniones, para reflexionar sobre los valores, percepciones y acciones propias y para adoptar una postura en el discurso de la sostenibilidad.

Competencia de autoconciencia: la habilidad para reflexionar sobre el rol que cada uno tiene en la comunidad local y en la sociedad (mundial); de evaluar de forma constante e impulsar las acciones que uno mismo realiza; y de lidiar con los sentimientos y deseos personales.

Competencia integrada de resolución de problemas: la habilidad general para aplicar distintos marcos de resolución de problemas a problemas de sostenibilidad complejos e idear opciones de solución equitativas que fomenten el desarrollo sostenible, integrando las competencias antes mencionadas. (UNESCO, 2017, p. 10).

El ODS que se trabajó fue el 5: Igualdad de género, enfocándose en la meta 5.2 Eliminar todas las formas de violencia de género (ONU, 2015). Los objetivos específicos seleccionados de UNESCO (2017) para el proyecto fueron los siguientes para cada dominio (área):

Cognitivos

El/la alumno/a comprende los niveles de desigualdad de género dentro de su propio país y cultura en comparación con las normas mundiales (respetando el anclaje cultural), incluida la interseccionalidad de género con otras categorías sociales, tales como la capacidad, la religión y la raza.

El/la alumno/a conoce las oportunidades y beneficios que ofrece la igualdad y la participación plena de género en la legislación y la gobernanza, incluida la asignación de presupuesto público, el mercado laboral, y la toma de decisiones públicas y privadas.

El/la alumno/a comprende el rol de la educación, de las tecnologías facilitadoras y de la legislación para empoderar y garantizar la participación plena de todos los géneros.

Socioemocionales

El/la alumno/a es capaz de reconocer y cuestionar la percepción tradicional de los roles de género desde una perspectiva crítica, a la vez que respeta el anclaje cultural.

El/la alumno/a es capaz de conectarse con otros para trabajar juntos en aras del fin de la violencia y la discriminación de género, empoderar a aquellos que todavía carezcan de poder y fomentar el respeto y la plena igualdad en todos los niveles.

Conductuales

El/la alumno/a es capaz de evaluar su entorno para empoderarse y empoderar a otros que son discriminados por su género.

El/la alumno/a es capaz de planificar, implementar, prestar apoyo y evaluar las estrategias para la igualdad de género.

CONTEXTO EN EL QUE SE IMPLEMENTÓ LA PROPUESTA DIDÁCTICA DE LA UNESCO EN MÉXICO

En México, los programas de estudio de las asignaturas geográficas que se imparten en secundaria y bachillerato, tanto de la Universidad Nacional Autónoma de México -UNAM como de la Secretaría de Educación Pública - SEP, poseen contenidos relacionados con el desarrollo sostenible, debido a que la Geografía, como ciencia y como asignatura, desempeña un papel fundamental en la EDS, debido a su enfoque transdisciplinario y a su capacidad para proporcionar una comprensión integral de los sistemas naturales y sociales. De hecho, la Nueva Escuela Mexicana, cuyos programas de estudio se están implementando en 2023, integra en gran parte de su propuesta curricular el modelo de la UNESCO y el Aprendizaje Basado en Proyectos. La planeación de proyectos inspirados en el Aprendizaje Basado en Problemas, el enfoque STEAM (Science, Technology, Engineering and Matemathics) y de Aprendizaje de Servicio, permiten formar el perfil de ciudadanos que se requieren para alcanzar los ODS. Por ello, estos deben planearse con base en las competencias clave para la sostenibilidad y los objetivos de los ODS en sus tres dominios cognitivos.

El proyecto realizado se enmarca en la perspectiva de género. De acuerdo con García y De Oliveira (1994, citados por Ramírez y Bermúdez, 2015), el género es una categoría que permite el análisis distintivo en los roles, estereotipos, subjetividades que determinan y transforman las relaciones entre los sujetos. Los análisis de género hacen evidentes las dinámicas que inciden en la construcción cultural de la diferencia sexual. Dicha diferencia sexual, culturalmente construida, genera la brecha de género y la violencia hacia las mujeres. Sin embargo, Arce (2006), después de conceptualizar y exponer la problemática de la violencia contra las mujeres en México y sus graves consecuencias sociales, considera que, a pesar de ser un fenómeno creciente, en la medida en que las estructuras se transformen y que hombres y mujeres aprendan desde temprana edad, se podrá construir una sociedad donde se rechace la violencia y se construyan relaciones humanas más democráticas, más equitativas y más justas.

Cabe señalar que los estudiantes de la Facultad de Filosofía y Letras, donde se cursa la Licenciatura en Geografía, llevan una asignatura de género en todas las carreras, por lo que ya tienen conocimiento sobre los conceptos relacionados con la perspectiva de género. La propuesta didáctica de la UNESCO se implementó en 2023 en el Seminario de Enseñanza de la Geografía en Secundaria de la Licenciatura en Geografía; se puso a prueba con un total de 6 estudiantes con el modelo del Aprendizaje Basado en Proyectos para que ellos lo pongan posteriormente en práctica como docentes.

ETAPAS EN LAS QUE SE IMPLEMENTÓ EL PROYECTO

Inicio

En esta primera etapa se formularon los objetivos del proyecto y las actividades a realizar en conjunto con los estudiantes.

Desarrollo

Los estudiantes diseñaron las encuestas, las aplicaron a otros estudiantes de las diferentes carreras que se imparten en la facultad y las analizaron para identificar las principales causas de la violencia

Principales causas de la violencia de género hacia las mujeres



Figura 2. Gráfica de las principales causas de violencia de género, se observa que la cultura patriarcal es considerada la causa principal de la violencia de género hacia las mujeres, seguida muy de cerca por el machismo, los roles de género y la impunidad (Fuente: INEGI, 2021)

Principales acciones que se deben llevar a cabo para prevenir y reducir la violencia de género hacia las mujeres

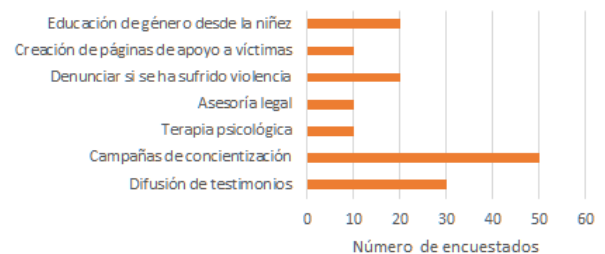


Figura 3. Gráfica de las principales acciones que se deben llevar a cabo para prevenir y reducir la violencia de género hacia las mujeres, se observa que, como principales acciones, se sugirieron la creación de campañas de concientización, la difusión de testimonios, las denuncias y la educación de género desde la niñez.

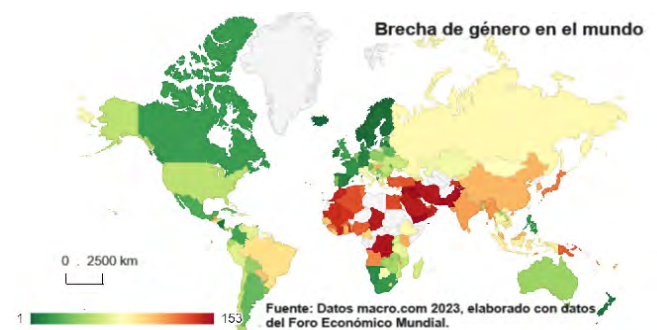


Figura 4. Mapa de brecha de género en el mundo en 2021. Los mayores índices de desigualdad entre hombres y mujeres se encuentran principalmente en Asia y África, en general, y en Brasil en lo particular.

de género hacia las mujeres; asimismo, con los resultados obtenidos, formularon propuestas de posibles soluciones y elaboraron las gráficas de las figuras 2 y 3, utilizando la herramienta Excel. Posteriormente, con un mapa de la brecha de género en el mundo (Figura 4) y con información estadística del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), elaboraron el mapa de prevalencia total de violencia contra las mujeres de 15 años y más en México por entidad federativa (Figura 5), utilizando la herramienta Mapchart. Por último, investigaron sobre los casos de femicidio en 2021 y cartografiaron los resultados utilizando la herramienta Paintmaps (Figura 6).



Figura 5. Mapa de prevalencia total de violencia contra las mujeres de 15 años y más en México por entidad federativa. Se observa que los estados con mayor prevalencia de violencia contra las mujeres son Sonora, Coahuila, Jalisco, Querétaro, Estado de México, Ciudad de México y Yucatán (Fuente INEGI, Violencia contra las mujeres en México)

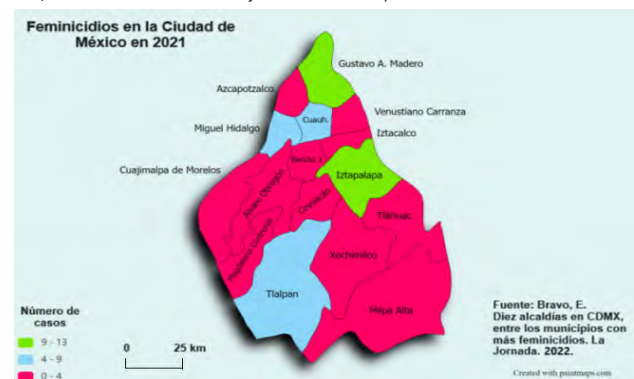


Figura 6. Mapa de feminicidios en la Ciudad de México, 2021. Las alcaldías que presentaron un mayor número de casos de feminicidios fueron Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Tlalpan.

Con base en el análisis de la información representada en los mapas y en la que obtuvieron mediante las encuestas, realizaron un análisis comparativo y dialogaron para determinar las causas de la violencia de género.

Cierre

Los estudiantes llegaron a los siguientes resultados y conclusiones:

1. En el mapa mundial se observa que los países con mayor desigualdad de género y violencia hacia las mujeres se concentran principalmente en el sureste y suroeste de Asia, el oeste de África y Brasil. En todos los sitios estudiados hay religiones ancestrales de carácter patriarcal que han normalizado la desigualdad de género y la violencia contra las mujeres. En Brasil, como en otros lugares del mundo, la violencia puede deberse a la pobreza extrema y a la inseguridad, sobre todo en las favelas.
2. En el mapa de México, se observa que los estados que presentan mayor violencia de género son Sonora, Coahuila, Jalisco, Colima, Querétaro, Estado de México, Ciudad de México y Yucatán, identificando como principales causas la impunidad, la corrupción y la inseguridad.
3. En el mapa de la Ciudad de México, se observó que hubo mayores casos de violencia contra las mujeres (feminicidios) en las alcaldías Gustavo A. Madero e Iztapalapa y en menor medida en Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc y Tlalpan. Como causas se mencionaron la inseguridad, la violencia intrafamiliar y la impunidad, así como la cultura urbana que normaliza la desigualdad y la violencia hacia las mujeres. Lo que tienen en común los 3 mapas en cuanto a las causas son las culturas, ya sean tradicionales o urbanas, que normalizan la desigualdad y la violencia de género debido a roles y estereotipos de género.

VIOLENCIA DE GÉNERO HACIA LA MUJER
FRENAR LA VIOLENCIA DE GÉNERO

EN EL MUNDO
Los países con mayor índice de violencia de género son los que cuentan con un buen sistema económico y educativo, por el contrario sus culturas tradicionales y patriarcales son detonantes para el aumento de la violencia a nivel mundial.

Brecha de género en el mundo

EN MÉXICO
Normalización de la cultura violenta y machista. Hace falta la educación de género desde la niñez.

EN LA CIUDAD DE MÉXICO
Se debe a la cultura patriarcal, los estereotipos y roles de género y a la impunidad.

Principales causas de la violencia de género hacia las mujeres

- 47% Inseguridad
- 15% Cultura de género
- 13% Discriminación
- 12% Impunidad
- 7% Corrupción
- 6% Desigualdad

Principales acciones que se deben llevar a cabo para prevenir y reducir la violencia de género hacia las mujeres

- Educación de género desde la niñez
- Crear un plan de acción a nivel institucional
- Desarrollar un plan de acción a nivel comunitario
- Desarrollar un plan de acción a nivel individual
- Trabajar con líderes comunitarios
- Comunicación de información
- Crear un plan de acción

EDUCA SOBRE LA VIOLENCIA DE GÉNERO Y PROMUEVE LA EQUIDAD, EL RESPETO Y LA EMPATÍA HACIA LAS MUJERES

Educa, combate la impunidad y promueve el respeto y la empatía hacia todas las personas, especialmente hacia aquellas que son más vulnerables a la violencia de género.

ELABORADO POR ESTUDIANTES DE LA LICENCIATURA EN GEOGRAFÍA DE LA UNAM

Figura 7. Cartel elaborado por los estudiantes durante el proyecto, anotando una breve interpretación de los mismos.

Como producto final, los estudiantes elaboraron un cartel digital, utilizando la herramienta Canva (Figura 7). Se puede ver con mayor detalle dando clic en este enlace:

https://www.canva.com/design/DAFxJZ1Reso/Q5CnjHszBUD2jFP-iUAKQ/edit?utm_content=DAFxJZ1Reso&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Instrumentos de evaluación

Los estudiantes autoevaluaron su desempeño en la actividad, considerando el grado de involucramiento y colaboración que alcanzaron. En coevaluación, verificaron si el equipo logró o no alcanzar el objetivo de hacer un análisis espacial en diferentes escalas sobre la distribución y las causas de la violencia contra las mujeres.

CONCLUSIONES

El análisis cartográfico en diferentes escalas brindó a los estudiantes una conciencia del entorno sociocultural en el cual tiene lugar la violencia de género. Esta conciencia fue esencial para fomentar actitudes de compromiso con la comunidad. Además, permitió establecer las relaciones entre los factores sociales, económicos y culturales, como causas de la distribución de la violencia de género en las 3 escalas de análisis, para identificar las principales causas de dicha problemática y buscar soluciones con perspectiva de género.

La adquisición de conocimientos geográficos y el uso de habilidades matemáticas y cartográficas con herramientas como Excel, Mapchart, Paintmaps y Canva, permitió representar y analizar la información obtenida y, con ello, fomentó el pensamiento crítico y la participación activa de los estudiantes en la toma de decisiones para plantear soluciones sobre la problemática estudiada. Al comprender los procesos y las dinámicas espaciales, los estudiantes pudieron involucrarse en debates y acciones relacionadas con la sostenibilidad. Esto les permitió comprender los desafíos y las oportunidades asociadas con el desarrollo sostenible y con la igualdad de género.

De esta forma, la geografía contribuyó, de manera interdisciplinaria, junto con la perspectiva de género, a la formación de ciudadanos responsables, al brindar a los estudiantes una base sólida de conocimientos geográficos y habilidades matemáticas, cartográficas y comunicativas. Asimismo, proporcionó los conocimientos, las habilidades y las perspectivas necesarias para desarrollar su pensamiento crítico y abordar uno de los importantes desafíos del desarrollo sostenible de manera colaborativa.

Los estudiantes se sintieron satisfechos de haber realizado el proyecto, pues les agradó la metodología aplicada porque pudieron expresar sus opiniones, trabajar colaborativamente e interactuar con otros estudiantes de la facultad, al aplicar la encuesta.

Como lo menciona la UNESCO, es necesario transformar la educación para poder transformar el mundo de una manera más pacífica, justa y sostenible. Para ello, tenemos que cambiar nuestra manera de enseñar, por lo que la formación docente tiene un papel fundamental en este proceso de cambio, tanto en la formación inicial como en la formación continua, para que podamos formar los ciudadanos críticos y participativos que nuestro mundo necesita para luchar contra la crisis socioambiental global.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Mary Frances Rodríguez Van Gort y a la Mtra. Flavia Tudela Rivadeneyra, respectivamente Directora de la Facultad de Filosofía y Letras y Coordinadora del Colegio de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, por las facilidades prestadas para la realización del proyecto.

A Quetzalli Evelin Ayala Ventura, Fátima Aidée Villar Ávila, Diego Adrián Garduño Martínez, Gustavo González Guzmán, Iñaki Palma Hernández y Javier Antonio Noé Jaimes, estudiantes del Seminario de Enseñanza de la Geografía en Secundaria, por su dedicación y entusiasmo en la realización de este proyecto. Se agradece a la Dra. Sandra Paula Villacorta Chambi y a la Geol. Anna Paula Lima Costa por las revisiones al manuscrito.

REFERENCIAS

- Arce, M. (enero-junio de 2006). Género y violencia. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 3(6), 77-90. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722006000100005
- Bravo, E. (23 de febrero de 2022). Diez alcaldías en CDMX, entre los municipios con más feminicidios. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/02/23/capital/10-alcaldias-de-cdmx-en-la-lista-de-municipios-con-mas-feminicidios/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). Violencia contra las mujeres en México (ENDIREH). <https://www.inegi.org.mx/tableroestadisticos/vcmm/#:~:text=En%202021%2C%20a%20nivel%20nacional,lo%20largo%20de%20su%20vida.>
- Instituto Nacional de las Mujeres (s. f). Mujeres de 15 años y más que han sufrido algún incidente de violencia por tipo según ámbito. Sistema de Indicadores de Género. <http://estadistica-sig.inmujeres.gob.mx/formas/pcindicadores.php?pc=5&objetivo=5>
- López, D. K. R., & Urbina, F. M. B. (2015). Avances, retos y desafíos: aproximación al estado del conocimiento de los estudios de género en educación superior en México. *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 3(6), 91-105. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457644944007>
- Organización de las Naciones Unidas (2015). La Asamblea General adopta la Agenda para el 2030. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2021). Unesco.org. Reimaginar juntos nuestros futuros: un nuevo contrato social para la educación. Francia: UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379381_spa
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) (2017). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos de aprendizaje. Francia: UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>

Manuscrito recibido: 27 de septiembre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 20 de octubre de 2023

Manuscrito aceptado: 24 de octubre de 2023

LA CONTAMINACIÓN POR OZONO EN LA CIUDAD DE MÉXICO: ¿CÓMO PODEMOS CONTROLARLA?

José Agustín García-Reynoso^{1*}, Víctor Almanza-Veloz¹ y Ricardo Torres-Jardón¹

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Circuito de la Investigación s/n, Ciudad Universitaria CP 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

*agustin@atmosfera.unam.mx (autor para correspondencia)

RESUMEN

El ozono en el ambiente es un contaminante secundario que afecta a la salud y a los ecosistemas, lo que hace que su estudio y control sean importantes. El control de las emisiones de ozono está influenciado por la reducción de sus precursores, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). No obstante, la relación que posee el ozono con sus precursores no es lineal, por lo que disminuir las emisiones de alguno de ellos no asegura la reducción de la concentración de ozono presente en el aire.

En este trabajo se revisa la relación no lineal que existe entre los precursores del ozono y su concentración ambiental, así como la implicación de las estrategias de control de las emisiones como el programa "Hoy No Circula" y su influencia en las concentraciones máximas de ozono. También se presentan algunas estrategias que se sugiere emplear a futuro para abatir precursores y con ello mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

Palabras clave: Hoy no circula, NO_x, COV, ozono.

ABSTRACT

Ozone in the environment is a secondary pollutant that affects health and ecosystems, what makes its study and control important. Control of ozone emission is influenced by the reduction of its precursors, nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs). However, the relationship between ozone and its precursors is not linear, so reducing the emissions of any of them does not mean that the reduction in ozone concentration at the environment is guaranteed.

In this work, the non-linear relationship between ozone precursors and their environmental concentration is reviewed, as well as the implication of control strategies in emissions such as "Hoy No Circula" and their influence on maximum ozone concentrations. Some strategies that are suggested to be used in the future to abate precursors and, thereby improve air quality in the Mexico City Metropolitan Area (ZMCM) are also presented.

Keywords: No-driving day, NO_x, VOC, ozone.

DESCRIPCIÓN Y VENTAJAS DEL MATERIAL DE DIVULGACIÓN

Comprender la relevancia del ozono en nuestro entorno aporta múltiples beneficios para el público en general. El ozono no sólo se encuentra en la capa protectora de la atmósfera superior, también se encuentra en niveles más bajos en donde se convierte en un contaminante secundario que incide directamente en la salud humana y en los ecosistemas.

En este trabajo se describe el control de las emisiones de ozono que está relacionado con la reducción de sus precursores, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). No obstante, el nexo entre el ozono y sus precursores es complejo y no se rige por una relación lineal. El reducir simplemente las emisiones de uno de éstos precursores no garantiza automáticamente una disminución de la concentración de ozono en el ambiente. El analizar la relación no lineal entre los precursores y la concentración de ozono ayuda a discernir cómo las estrategias de control, como el programa "Hoy No Circula", influyen en las emisiones y en las concentraciones máximas de ozono ambiental. Además, este conocimiento es fundamental en la búsqueda de soluciones a largo plazo para mejorar la calidad del aire en áreas críticas como la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Identificar estrategias adecuadas para reducir los precursores del ozono requiere una comprensión profunda de su relación compleja y no lineal. Esto allana el camino para medidas futuras que puedan abatir los precursores y, en consecuencia, mejorar la calidad del aire en la ZMCM.

En última instancia, la divulgación de esta información empodera al público para tomar decisiones más conscientes y ejercer un papel activo en la protección de su salud y su entorno. Conocer la complejidad de las relaciones entre los precursores del ozono y su concentración en el ambiente nos permite avanzar hacia soluciones más efectivas y sostenibles, encaminadas a tener un aire más limpio y una atmósfera más saludable para todos.

INTRODUCCIÓN

En este documento se describe, de forma general, la evaluación de una estrategia de control de emisiones de precursores de ozono mediante la utilización del diagrama *Empirical Kinetic Modelling Approach* (EKMA) (Bouley, 1992). En los antecedentes se presentan los aspectos generales de la contaminación atmosférica, posteriormente se describe la formación de este ozono troposférico, para después explicar el diagrama EKMA. Con éste diagrama se ilustra la relación del ozono con sus precursores; se explica qué es una atmósfera sensible a NOx y sensible a COVs; se aplican las mediciones de la red automática de monitoreo ambiental para mostrar el comportamiento no lineal de la producción de ozono con sus precursores; se ilustra cómo identificar si la atmósfera en la Ciudad de México es sensible a NOx o a COV. Posteriormente, se emplean estos conceptos para evaluar la implementación del programa "Hoy no Circula" en situaciones de altos registros de ozono y se identifica si la reducción de emisiones por esta medida en la Ciudad de México (CdMx) es eficiente para disminuir el ozono. Finalmente, se exponen algunas alternativas de control de emisiones para disminuir las concentraciones de ozono.

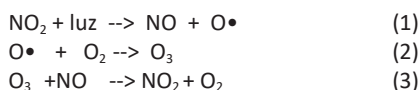
Antecedentes

Un contaminante es una sustancia presente en el ambiente en concentraciones mayores que las detectadas en ambientes naturales y que por su magnitud y persistencia afecta de forma negativa a la salud y al entorno (LGEEPA, 2014). La contaminación atmosférica en una región depende de factores como las condiciones meteorológicas prevalecientes, las características orográficas y las emisiones antrópicas que ocurran en la zona. De los tres factores anteriores, en las emisiones antrópicas se puede ejercer algún control para mejorar la calidad del aire, mediante la reducción de las cantidades liberadas a la atmósfera aplicando las políticas adecuadas (SEMA, 2017).

Entre las sustancias presentes en la atmósfera se encuentran aquellas utilizadas para evaluar el estado de la calidad del aire, denominadas contaminantes criterio: monóxido de carbono, dióxido de azufre, plomo, partículas, dióxido de nitrógeno y ozono (SSA, 2014). Los contaminantes inicialmente liberados y en presencia de luz interactúan entre sí mediante una serie de reacciones que dan origen a nuevos contaminantes denominados secundarios, siendo el ozono uno de ellos (García-Reynoso et al., 2009). El ozono es una sustancia altamente reactiva que puede desencadenar problemas respiratorios, exacerbando condiciones como el asma y afectando la función pulmonar (Molina y Molina, 2002). Además, este contaminante contribuye al smog, afectando la calidad del aire. Adicionalmente, puede dañar los tejidos de las plantas, afectando negativamente los cultivos y a los ecosistemas. (Ruiz-Suárez et al., 2018).

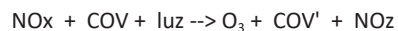
Formación de ozono troposférico

El ozono es un alótropo inestable del oxígeno, el cual se forma y se descompone en la atmósfera por tres reacciones básicas (Jacobson, 1999):



El dióxido de nitrógeno (NO₂) experimenta una descomposición inducida por la luz, donde se desprende un átomo de oxígeno (O•, reacción 1), que reacciona inmediatamente con una molécula de oxígeno (O₂) para producir ozono (O₃, reacción 2). A continuación, el O₃ reacciona con el monóxido de nitrógeno (NO, generado en la reacción 1) para regenerar tanto la molécula de oxígeno como la de dióxido de nitrógeno (reacción 3). Este ciclo de formación-remoción conduce a niveles bajos de la concentración de ozono y ocurre generalmente en ambientes limpios donde las emisiones de NO₂ y NO son producidas naturalmente (Wallace y Hobbs, 2006; Leighton, 2012).

Las reacciones anteriores también ocurren en áreas urbanas; sin embargo, la interacción de compuestos orgánicos volátiles (COV) con los óxidos de nitrógeno (NOx) rompe el ciclo nulo antes mencionado, provocando que el ozono se acumule (Haagen-Smit y Fox, 1956; Chameides et al., 1992). En estas áreas, los COV de origen antrópico y biogénico sufren una serie de reacciones de oxidación que resultan en la formación de especies llamadas radicales orgánicos que, a su vez, reaccionan mucho más rápido con el NO generado en la reacción 1 y ofreciendo una ruta alterna más eficiente de formación NO₂ que la reacción 3. Esto rompe el ciclo y la concentración de O₃ se ve incrementada al no consumirse esta especie. En resumen, estas reacciones con radicales orgánicos ofrecen una ruta alterna para regenerar el NO₂ que nuevamente produce ozono (reacciones 1 y 2), a lo largo de varios ciclos antes de que el dióxido de nitrógeno sea removido por otras reacciones de acuerdo a la reacción general:



donde COV' representa compuestos orgánicos fragmentados que previamente reaccionaron para formar radicales y otros COV de cadena más corta, y NOz representan a otras especies de nitrógeno oxidado diferentes a los NOx resultantes de los procesos de remoción del NO₂. Por lo anterior, para controlar la formación de ozono se deben reducir tanto los NOx como los COV, aunque no en forma indiscriminada, sino que se debe considerar tanto la abundancia inicial de ambos como el potencial de formación de ozono de la mezcla de los COV (Haagen-Smit, 1972).

Diagrama EKMA y la producción de ozono

El EKMA es un modelo cinético empírico usado en fotoquímica de la calidad del aire que calcula las concentraciones de ozono resultantes de las reacciones entre sus precursores. El EKMA es el resultado de la realización de infinidad de experimentos en cámaras de smog donde se determinó precisamente la producción máxima de ozono a partir de concentraciones iniciales de NOx y COV irradiadas con radiación ultravioleta (Finlayson-Pitts y Pitts, 1986). Los valores de este modelo se pueden representar en un diagrama conocido como EKMA. En este diagrama (Figura 1) las abscisas muestran las concentraciones iniciales (o matutinas) de COV, y en las ordenadas se representan las concentraciones iniciales (matutinas) de NOx. Las líneas curvas representan líneas de isoconcentración del ozono máxima pronosticada por el modelo cuya magnitud se incrementa de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.

En el diagrama EKMA se destacan tres regiones que se definen según la relación constante COV/NOx (líneas punteadas): la región sensible a COV donde COV/NOx ≤ 4, la transición donde 4 < COV/NOx < 15 y la región sensible a NOx con COV/NOx ≥ 15.

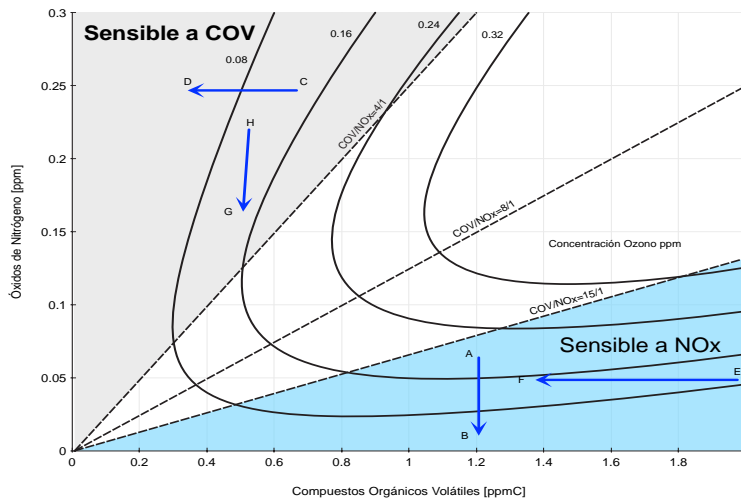


Figura 1. Isoconcentraciones máximas esperadas de ozono (en ppm) dependiendo de las concentraciones iniciales de NOx y COV de acuerdo al con el modelo *Empirical Kinetic Modeling Approach* (EKMA). La concentración de la mezcla de COV no incluye al metano (ppmC: partes por millón de carbono)(Finlayson-Pitts y Pitts, 1986).

Si la condición química de la atmósfera se ubica en la región sensible a NOx, la reducción de NOx hace que se reduzca el ozono (reducción de NOx de A a B en la Figura 1); si la condición se ubica en la región sensible a COV, la reducción de COV también induce que se reduzca el ozono (reducción de COV de C a D en la Figura 1, Lin *et al.*, 1988). En la región sensible a COV, la reducción de NOx no induce una disminución de ozono, incluso, puede provocar su incremento (reducción de NOx de G a H en la Figura 1); El área sensible a NOx la reducción de los COV puede incrementar la concentración de ozono (reducción COV de E a F en la Figura 1). Generalmente, la concentración de ozono se incrementa en regiones cercanas a donde se dan los cambios de emisiones, pero disminuye conforme es transportado por el viento a escala regional (Song *et al.*, 2010). Estudios realizados al inicio de la década de los años 2000 indican que la atmósfera de la Ciudad de México tenía una condición sensible a los COV (Torres-Jardón *et al.*, 2009).

Para identificar en qué región del diagrama EKMA se encuentra actualmente la atmósfera de la Ciudad de México, se presenta en la Figura 2 el perfil de las concentraciones de los contaminantes O₃ y NO por hora y días de la semana (SEDEMA, 2021). En este caso se utiliza NO como un sustituto razonable de las emisiones primarias de los NOx.

La Figura 2 revela la presencia del conocido "efecto de fin de semana" en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMCM), donde, a pesar de la notable reducción de emisiones de origen vehicular durante los fines de semana (especialmente los domingos en donde se registra 50 % menos NO) las concentraciones de ozono no disminuyen. Este fenómeno sugiere que la atmósfera de la Ciudad de México se mantiene sensible a los compuestos orgánicos volátiles (región sensible a COV), ya que la reducción en NOx no genera la disminución en las concentraciones de ozono y, en ciertos momentos, pueden incluso ocasionar aumento en sus concentraciones ambientales (García-Reynoso *et al.*, 2009; Torres-Jardón *et al.*, 2009).

De acuerdo con el inventario de emisiones de la CdMx para el 2018 (SEDEMA, 2021), las fuentes móviles aportan el 85.8 % de los NOx, por lo cual disminuciones en las concentraciones ambientales de este compuesto se pueden relacionar directamente con la disminución de la actividad vehicular. En el caso de disminuir la actividad vehicular, esto no presenta una reducción significativa de

compuestos orgánicos volátiles.

Por lo tanto, una reducción en la actividad vehicular en una atmósfera sensible a COV puede mantener constante el nivel máximo de ozono e incluso inducir su incremento.

La implementación del programa "Hoy No Circula", que teóricamente resulta en una disminución del 20 % en la flota vehicular en circulación, contribuye a reducir las concentraciones ambientales de contaminantes primarios como NOx, CO y SO₂. Sin embargo, debido a la condición de sensibilidad química de la atmósfera de la Ciudad de México a los compuestos orgánicos volátiles, la reducción puede tener como consecuencia un incremento o una nula disminución de este tipo de contaminantes a nivel local en la ciudad, sin embargo, si se observa una reducción a nivel regional.

Para reducir eficazmente las concentraciones de ozono en la Ciudad de México, es necesario dar prioridad a la disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Las fuentes de área, que representan el 65.5 % de las emisiones totales, son las principales generadoras de estos compuestos. Entre las medidas a tomar se incluyen la reducción de las emisiones de COV provenientes del uso de solventes, carga de combustibles, combustión incompleta de gas LP, fugas de tanques portátiles, y el uso de productos de cuidado personal y limpieza en hogares, entre otras.

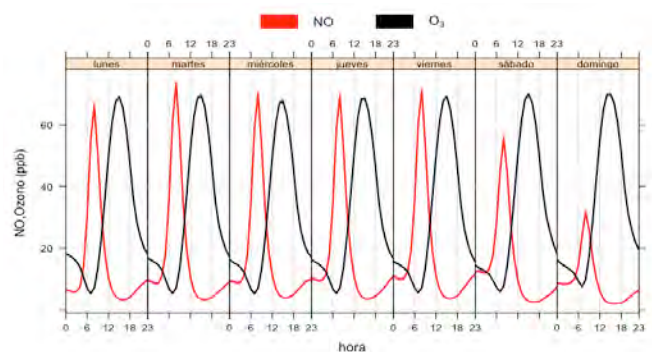


Figura 2. Concentraciones promedio por día de la semana del 2016 a 2019 para NO y ozono (O₃) en ppb en la ZMCM con datos de SEDEMA (2021).

CONCLUSIONES

De este texto se verifica que en la Ciudad de México se ha mantenido a lo largo de los años una atmósfera química de formación de ozono sensible a COV, por lo que disminuir NOx puede producir un incremento en el ozono o a una nula disminución de este contaminante secundario, tal y como lo demuestra el “experimento natural” del efecto de fin de semana de la reducción de emisiones de NOx. La disminución de las emisiones de los vehículos conlleva a una reducción significativa de NOx pero no de COV, lo cual no es suficiente para abatir la concentración de ozono en la CdMx, aunque sí tiene algunos efectos regionales benéficos. Por lo anterior, se deben considerar medidas de control que induzcan reducciones de emisiones de COV en la CdMx. Entre estas medidas se encuentra el reducir el uso de solventes, disminuir las emisiones fugitivas de COV durante la carga y almacenamiento de combustible, reducir el uso de productos de cuidado personal que contengan COV, como los de cuidado personal y de limpieza en los hogares. Una acción con la que podemos contribuir significativamente para reducir las emisiones de COV, es el dar mantenimiento a los equipos de quema de gas LP, principalmente a los calentadores de agua que se usan en los hogares.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Unidad de Cómputo y supercómputo del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático por el apoyo en la instalación y operación de la infraestructura empleada para el desarrollo de este trabajo. También se agradece a Mónica Ramírez Calderón y a Jorge García Franco por sus arbitrajes y revisiones.

REFERENCIAS

- Bouley, M. D. (1992). Guide for using the Empirical Kinetics Modeling Approach Interface (EKMAI) (No. PB-92-196005/XAB; EPA-450/4-92/009). Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC (United States). Office of Air Quality Planning and Standards.
- Chameides, W., Fehsenfeld, F., Rodgers, M., Cardelino, C., Martinez, J., Parrish, D., Lonneman, W., Lawson, D., Rasmussen, R., y Zimmerman, P. (1992). Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D5), 6037-6055.
- Finlayson-Pitts, B. J., y Pitts Jr, J. N. (1986). *Atmospheric chemistry. Fundamentals and experimental techniques*, USA.
- García-Reynoso, A., Jazcilevich, A., Ruiz-Suárez, L. G., Torres-Jardón, R., Suárez Lastra, M., y Reséndiz Juárez, N. A. (2009). Ozone weekend effect analysis in México City [Article]. *Atmosfera*, 22(3), 281-297. <https://www.scielo.org.mx/pdf/atm/v22n3/v22n3a4.pdf>
- Haagen-Smit, A. J. (1972). Abatement strategy for photochemical smog. *Advances in Chemistry Series*, 113, 169-190. <https://doi.org/10.1021/ba-1972-0113.ch005>
- Haagen-Smit, A. J., y Fox, M. M. (1956). Ozone Formation in Photochemical Oxidation of Organic Substances. *Industrial and Engineering Chemistry*, 48(9), 1484-1487. <https://doi.org/10.1021/ie51400a033>
- Jacobson, M. Z. (1999). *Fundamentals of atmospheric modeling*. Cambridge university press. USA.
- Leighton, P. (2012). *Photochemistry of air pollution*. Elsevier. USA

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), (2014). <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- Lin, X., Trainer, M., y Liu, S. (1988). On the nonlinearity of the tropospheric ozone production. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 93(D12), 15879-15888.
- Molina, L., y Molina, M. J. (2002). *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment (Vol. 2)*. Springer Science and Business Media, Cambridge, USA.
- Ruiz-Suárez, L. G., Mar-Morales, B. E., García-Reynoso, J. A., Andraca-Ayala, G. L., Torres-Jardón, R., García-Yee, J. S., Barrera-Huertas, H. A., Gavilán-García, A., y Cruz, R. B. (2018). Estimation of the impact of ozone on four economically important crops in the city belt of Central Mexico [Article]. *Atmosphere*, 9(6), Article 223. <https://doi.org/10.3390/atmos9060223>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). (2021). Página WEB aire. Retrieved 7/11/2021 from <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) (2021). Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2018 (D. n. d. P. d. C. d. A. Dirección General de Calidad del Aire Ed. 1 ed., Vol. 1). Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCA/InventarioDeEmisionesZMVM2018.pdf>
- SEMA. (2017). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Coahuila de Zaragoza 2017-2026 [Report]. https://www.torreon.gob.mx/medioambiente/pdf/Pro_Aire_Coahuila_2017.pdf
- Song, J., Lei, W., Bei, N., Zavala, M., de Foy, B., Volkamer, R., Cardenas, B., Zheng, J., Zhang, R., y Molina, L. T. (2010). Ozone response to emission changes: a modeling study during the MCMA-2006/MILAGRO Campaign. *Atmos. Chem. Phys.*, 10(8), 3827-3846. <https://doi.org/10.5194/acp-10-3827-2010>
- Secretaría de Salud (SSA), (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-Secretaría de Salud. In *Diario Oficial de la Federación* (2014 ed., Vol. NOM-020-SSA1-2014, pp. 5).
- Torres-Jardón, R., García-Reynoso, J. A., Jazcilevich, A., Ruiz-Suárez, G., y Keener, T. C. (2009). Assessment of the ozone-nitrogen oxide-volatile organic compound sensitivity of Mexico City through an indicator-based approach: Measurements and numerical simulations comparison [Article]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 59(10), 1155-1172. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.59.10.1155>
- Wallace, J. M., y Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: an introductory survey (Vol. 92)*. Elsevier.

Manuscrito recibido: 11 de agosto de 2023

Manuscrito corregido recibido: 29 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 4 de diciembre de 2023

PRÁCTICAS DE LABORATORIO QUE FORTALECEN LA COMPRENSIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Felipe de Jesús López-Saucedo^{1*}, José Alberto Batista-Rodríguez¹, Yuri Almaguer-Carmenates¹, Juan Martín Gómez-González², Ramón Yosvanis Batista-Cruz¹

¹ Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos" Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Adolfo López Mateos S/N, Independencia, 26830 Nueva Rosita, Coahuila, México.

² Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla La Mesa, C.P. 76230, Querétaro, México.

*felipe.lopez@uadec.edu.mx (autor para correspondencia)

RESUMEN

Este trabajo propone la aplicación de un ejercicio experimental para ayudar a los estudiantes de ingeniería en Ciencias de la Tierra a comprender los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia y resistividad eléctrica. La metodología utilizada incluye el desarrollo de clases prácticas en el laboratorio y la aplicación de cuestionarios. El análisis de los resultados mostró que la mayoría de los estudiantes identifican la presencia del campo eléctrico en un material conductor o dieléctrico. Los estudiantes también reconocen que los ejercicios experimentales son didácticos y fortalecen su comprensión del campo eléctrico.

Palabras clave: Campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia, resistencia.

ABSTRACT

This work proposes the application of an experimental exercise to help Earth Sciences engineering students understand the concept of electric field, electric potential, capacitance and electrical resistivity. The methodology used includes the development of practical classes in the laboratory and the application of questionnaires. The analysis of the results showed that the majority of students identify the presence of the electric field in a conductive or dielectric material. Students also recognize that the experimental exercises are didactic and strengthen their understanding of the electric field.

Keywords: Electric field, electric potential, capacitance, resistor.

INTRODUCCIÓN

Estudios fundamentales revelan que las características abstractas, difíciles y complejas involucradas en el estudio de la electricidad y el magnetismo presentan serios desafíos a los estudiantes para comprender estos conceptos (Demirci y Cirkinoglu, 2004; Narjaikaw *et al.*, 2006; Dega *et al.*, 2013; Hau *et al.*, 2018). Investigaciones recientes indican que una de las razones es que los estudiantes memorizan las fórmulas como ecuaciones matemáticas sin considerar el significado físico de la fórmula en cuestión (Mansyur, 2015; Hau *et al.*, 2018). En cambio, cuando un estudiante puede simbolizar y representar los conceptos físicos gana claridad en cuanto a dicho significado, muestra comprensión y luego propone una solución al problema. En este sentido, Hau *et al.* (2018) clasificaron tres patrones generales que presentan los estudiantes al momento de resolver un problema de electricidad y magnetismo. En el primer patrón, los estudiantes con un alto grado de comprensión de los fenómenos físicos utilizan símbolos correctamente, representan ecuaciones y cantidades vectoriales correctamente y llegan a una respuesta final. En el segundo y tercer patrones los estudiantes presentan dificultades para comprender adecuadamente los fenómenos físicos y para representar cantidades vectoriales adecuadamente y confunden símbolos, problemas que son más intensos en el caso del último patrón.

Kesonen *et al.* (2011) diseñaron una prueba para evaluar la comprensión de los conceptos de partícula cargada, capacitores, inducción electromagnética y ondas electromagnéticas planas, la cual fue aplicada a 33 estudiantes que ya habían aprobado el curso Electricidad y Magnetismo. Los resultados mostraron que los estudiantes presentan dificultades para expresar cantidades vectoriales y reconocer la simetría entre los campos eléctrico y magnético, por lo que concluyen que es importante enfatizar que deben esforzarse por estudiar estos conceptos en otras áreas relevantes.

Para mejorar la comprensión de los conceptos fundamentales de electricidad y magnetismo, se ha propuesto el uso de aplicaciones y software libres como por ejemplo, el software *Tracker* se utiliza en mecánica para analizar movimientos y otras situaciones reales en una y dos dimensiones, para realizar experimentos y simular señales eléctricas. Aguilar-Marín *et al.* (2018) utilizaron *Tracker* para ilustrar la carga y descarga de un capacitor en un circuito RC (un circuito RC está compuesto de resistencias y capacitores) y la inducción electromagnética de Faraday. La estrecha coincidencia entre los resultados experimentales y la simulación en *Tracker* demuestran el uso potencial del software en áreas distintas a la mecánica. Otra ventaja de este enfoque es que los experimentos son económicos y fáciles de realizar. Aguilar-Marín *et al.* (2018) proponen el uso de *Tracker* combinado con dispositivos de medición analógicos para fortalecer el conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos fundamentales de la electricidad y el magnetismo en otras ciencias experimentales que involucren el análisis de señales eléctricas.

Otros enfoques de investigación indican que las dificultades que experimentan los estudiantes para comprender los conceptos de electricidad y magnetismo están relacionadas con la falta de participación activa de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Sa'adah y Ariati, 2018; Liani *et al.*, 2020). Estudios recientes han abordado este problema mediante el uso de instrumentos que miden el nivel de compromiso de los estudiantes y la influencia de las redes sociales. Liani *et al.* (2020) realizaron un estudio en la Facultad de Física de la Universidad Syiah Kuala en Darussalam, Banda Aceh, Indonesia. Se aplicó una prueba a 72 estudiantes que habían estudiado los conceptos de electricidad y magnetismo utilizando recursos de *e-learning*. Los resultados revelaron que el indicador que muestra el mayor nivel de compromiso de los estudiantes es el cognitivo, el cual se evaluó mediante SES-4D. En cambio, otros dos indicadores, el compromiso afectivo y el compromiso conductual, presentaron resultados con un nivel aceptable. Finalmente, Liani *et al.* (2020) concluyen que el uso de las redes sociales no tiene un efecto significativo en el compromiso de los estudiantes y que es razonable esperar que las plataformas de comunicación como *WhatsApp*, *Facebook*, *Twitter* puedan aumentar la motivación de los estudiantes como su participación en el proceso de aprendizaje (De Almeida *et al.*, 2016; Kolluru y Varughese, 2017).

Como consecuencia de las dificultades para transmitir adecuadamente los conceptos de electricidad y magnetismo el presente estudio propone un ejercicio teórico-experimental que tiene como objetivo ayudar a los estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Tierra a fortalecer la comprensión de los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia y resistividad eléctrica.

MÉTODO

En el ejercicio participaron 32 estudiantes de los programas de estudio de Ingeniero en Recursos Minerales y Energéticos e Ingeniero Geólogo de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila, México. El curso de Electricidad y Magnetismo se imparte en el tercer semestre. Se conformaron ocho equipos de trabajo, cada equipo de cuatro integrantes. Los alumnos recibieron tres clases teóricas por semana en formato de conferencia y dos horas de clase práctica en el laboratorio. Al final

de cada sesión de laboratorio, los estudiantes fueron evaluados. Se compilaron tres cuestionarios, uno para cada sesión de laboratorio que constaban de siete preguntas/problemas de los libros de texto de Electricidad y Magnetismo; Bueche y Jerde, 1996; Serway y Beichner, 2002.

Para fortalecer el aprendizaje de los conceptos teóricos, el presente estudio propone el desarrollo de tres clases prácticas en el laboratorio, en las cuales los estudiantes observarán la importancia del concepto de campo eléctrico:

- Sesión 1: Potencial eléctrico
- Sesión 2: Capacitancia
- Sesión 3: Resistividad eléctrica

Para que los estudiantes puedan familiarizarse con los experimentos, deben tener presente que los conductores son materiales en los cuales las cargas eléctricas se mueven con bastante libertad, es decir, cuando estos materiales se cargan eléctricamente en alguna pequeña región, la carga rápidamente se distribuye por toda la superficie del conductor. Así mismo, hay que recordar que un dieléctrico es un material no-conductor que se caracteriza por ser resistente al paso de las cargas eléctricas (Serway y Beichner, 2002). Los profesores seleccionaron dos muestras de agua de composición química conocida, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de las muestras de agua						
Muestra	Cationes (mg/L)				Aniones (mg/L)	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	(SO ₄) ⁻²
1	100	1.0	165	30	284	252
2	20	5.73	51	5.7	13.5	48.6

Sesión 1: Potencial eléctrico

La sesión 1 se llevó a cabo utilizando un instrumento de polipropileno, representado en la Figura 1a, en el que se depositó la muestra de agua en turno.

El instrumento de medición tiene un volumen de 1.5 L de geometría rectangular, y está orientado al modelo de las placas paralelas (Serway y Beichner, 2002). También se utilizaron dos electrodos de acero que se energizaron a través de una fuente de

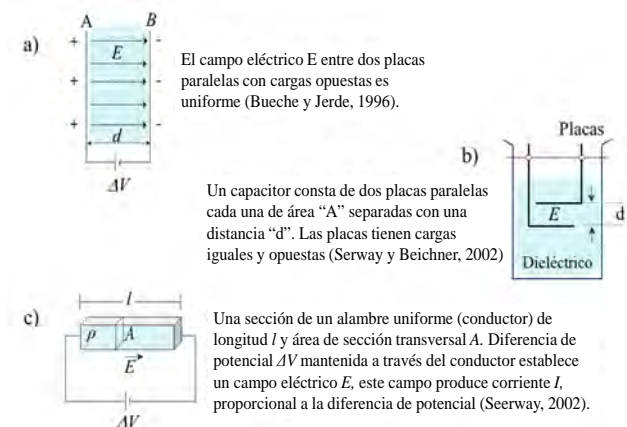


Figura 1. Esquema de la instrumentación para desarrollar las prácticas; (a) potencial eléctrico, (b) capacitancia y (c) resistividad eléctrica.

12 VCC (voltaje de corriente continua). La placa A se define con el potencial alto (+) y la placa B se define con el potencial bajo (-). Posteriormente, la terminal negativa de un voltímetro se conecta a la placa B, mientras que la terminal positiva del mismo voltímetro se deja libre para hacer contacto con la muestra de agua. El ejercicio consiste en desplazar sistemáticamente la terminal positiva del voltímetro en forma horizontal de la placa A a la placa B en la dirección del campo eléctrico (E), como se define en la Ecuación 1.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = -\int_A^B E \cdot dx \quad \text{Ec. 1}$$

donde ΔV es la diferencia de potencial, ΔU es la energía potencial y q_0 es la carga de prueba (Bueche y Jerde, 1996).

Este ejercicio permite al alumno comprender cómo una carga positiva pierde energía potencial eléctrica cuando la carga pasa de un potencial alto a uno bajo. La metodología propuesta requiere que se tomen 21 mediciones de ΔV en puntos predeterminados.

Sesión 2: Capacitancia

Las mediciones de capacitancia (C) se llevaron a cabo usando un capacitor experimental de placas paralelas definido por la Ecuación 2 y comprende dos placas de aluminio de 10 cm \times 10 cm separadas 1 cm entre sí. El dispositivo presenta dos terminales, las cuales se conectan a un medidor de capacitancia (capacitor tester YF-7115 DMM, rango de operación de 100 pF-20mF). El ejercicio implicó colocar las placas en un recipiente con la muestra de agua y medir la capacitancia directamente, como se muestra en la Figura 1b,

$$C = \kappa \left(\frac{\epsilon_0 A}{d} \right) \quad \text{Ec. 2}$$

donde C es la capacitancia, κ es la constante dieléctrica del material, ϵ_0 es la permitividad eléctrica del vacío ($8.8541878176 \times 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$), A y d son el área y la separación entre las placas, respectivamente (Serway, 1993).

El ejercicio tiene la finalidad de ayudar a los estudiantes a comprender cómo aumenta la capacitancia en un material dieléctrico, así como conducirlo a calcular la constante dieléctrica en condiciones estándar de temperatura y presión. La metodología propuesta estipula tres medidas de capacitancia para cada muestra de estudio. El objetivo de las réplicas es calcular una respuesta más precisa de la medición.

Sesión 3: Resistividad eléctrica

La medición de resistividad eléctrica (ρ) se realizó como se muestra en la Figura 1c. El dispositivo es de acrílico basado en la ley de Ohm (Serway y Beichner, 2002), y representa un alambre recto de área transversal A y longitud l . De geometría rectangular, el dispositivo es de 450 cm³, sus electrodos son de aluminio y se energizaron a través de una fuente de 12 V CC.

El ejercicio consistió en medir la diferencia de potencial ΔV (conectando un voltímetro en paralelo) y la corriente I (conectando un amperímetro en serie) que pasa por la sección correspondiente del dispositivo. Con los datos obtenidos se calcula la resistencia eléctrica ($R = \Delta V/I$) mediante la ley de Ohm (Serway y Beichner, 2002). Para determinar la resistividad eléctrica, la metodología requiere los valores de ΔV y I mencionados anteriormente, así como los parámetros geométricos (A y l) del dispositivo, los cuales se sustituyen en la Ecuación 3. Este proceso se realizó por triplicado para cada muestra. El objetivo de las réplicas es obtener una respuesta más precisa de la medición.

$$\rho = R (A/l) \quad \text{Ec. 3}$$

donde ρ es la resistividad eléctrica, R es la resistencia eléctrica y A y l son el área de la sección transversal y la longitud de la sonda, respectivamente (Serway, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial eléctrico

La Figura 2 presenta los resultados de la Sesión 1: Potencial eléctrico, en la que los estudiantes pudieron representar adecuadamente las líneas de campo eléctrico, las mediciones de potencial eléctrico sobre los desplazamientos horizontales y las líneas equipotenciales.

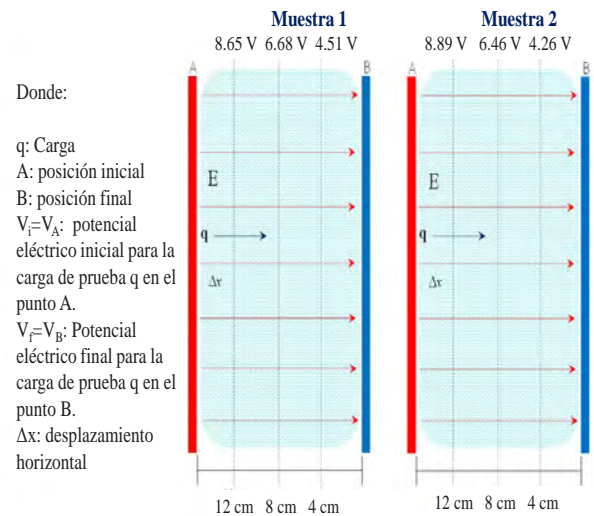


Figura 2. Resultados de la Práctica 1: el comportamiento del potencial eléctrico en las Muestras de agua 1 y 2.

Los estudiantes expresaron correctamente la diferencia de potencial en un campo eléctrico constante (E). Asimismo, explicaron adecuadamente el cambio de energía potencial cuando la carga q se mueve en la dirección del campo eléctrico. También pudieron identificar la relación entre la diferencia de potencial y el campo eléctrico utilizando el siguiente análisis:

$$\Delta V = V_B - V_A = -E \int_A^B dx = -E(B - A) = -Ed \quad \text{Ec. 4}$$

$$\Delta V = V_B - V_A = -Ed \quad \text{Ec. 5}$$

Además, utilizaron la Ecuación 5 para cuantificar el campo eléctrico. Al mismo tiempo, la medida de $\Delta V = 12.31 \text{ V}$ y $d = 0.14 \text{ m}$ reveló que la magnitud del campo eléctrico es $E = 87.92 \text{ V/m}$.

El puntaje general obtenido del cuestionario (Q1) es relativamente bajo, como se muestra en la Tabla 2. La revisión del cuestionario reveló errores relacionados con símbolos, magnitudes en notación científica y conversión de unidades (p. ej., J a eV). Sin embargo, el 62.5 % de los alumnos presentó una calificación notablemente aceptable superior a 80.

Tabla 2. Puntuación de los cuestionarios			
	Q1	Q2	Q3
Media	68.68	70.39	87.67
Mínimo	0.0	0.0	0.0
Máximo	100	100	100
N	32	32	32

Las respuestas de los estudiantes son suficientemente detalladas y breves. Al concluir la Sesión 1 se reconoce que los estudiantes lograron describir el campo eléctrico como un campo vectorial, lo que les permite fortalecer la asimilación de conceptos relevantes, como los principios de superposición y potencial eléctrico.

Capacitancia

La Figura 3 presenta los resultados de la Sesión 2: Capacitancia, en la que los estudiantes lograron comprobar que varía dependiendo del material dieléctrico, mientras que el resto de las variables se mantienen constantes. Los estudiantes identificaron la Muestra 2 como un material dieléctrico más significativo que la Muestra 1, debido a su capacitancia notablemente mayor. La Figura 3 muestra que la capacitancia de la Muestra 1 es de 743 pF, mientras que la capacitancia de la Muestra 2 es de 1101 pF (1.101 nF). El nivel de comprensión mostrado durante la clase práctica mejoró notablemente. En esta sesión, pocos estudiantes experimentaron problemas para identificar el campo eléctrico constante que se presenta entre las placas del capacitor. Se destacó que los estudiantes lograron aplicar la Ecuación 2 y presentar el valor κ para cada material, 84 para la Muestra 1 y 124 para la Muestra 2.

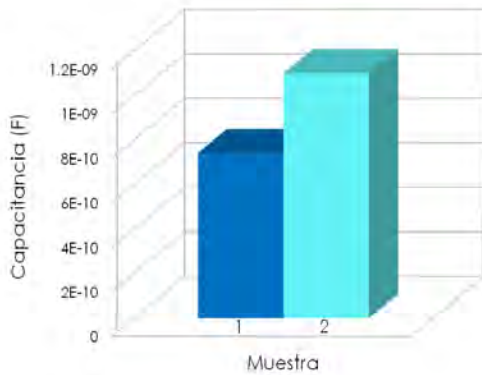


Figura 3. Resultados de la Práctica 2: comportamiento de la capacitancia en función del material dieléctrico.

Los estudiantes asimilaron el análisis de un circuito RC, como se observa en la Figura 4, y modelaron la carga y descarga del capacitor. Además, identificaron el campo eléctrico presente entre las placas del capacitor a través de la diferencia de potencial medida y la distancia d ($E = 1231 \text{ V/m}$).

La puntuación promedio del cuestionario (Q2) es de 70.39, como se muestra en la Tabla 2. La revisión del cuestionario reveló que los alumnos pueden identificar las diversas configuraciones de capacitores (en serie, paralelo y combinaciones) y que tienen muy en cuenta la relación entre carga, voltaje y la capacitancia.

En general, el 71.87 % de los alumnos obtuvo una nota aceptable, superior a 80. Esto revela que el nivel de comprensión de los estudiantes aumentó. Por lo tanto, las sesiones de laboratorio tienen un impacto positivo en el proceso enseñanza-aprendizaje de los estudiantes.

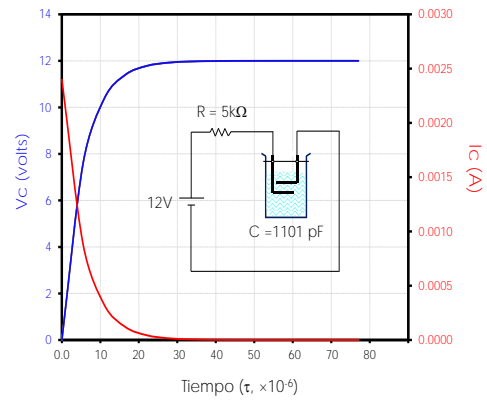


Figura 4. Análisis de un circuito RC.

Resistividad eléctrica

En la Figura 5 se presentan los resultados de la Sesión 3: resistividad eléctrica. Durante esta clase práctica los estudiantes pudieron identificar que la resistividad varía en función de la composición del material, mientras que el resto de las variables se mantienen constantes. Los estudiantes identificaron que la Muestra 2 es un material más resistivo que la Muestra 1, debido a su resistividad notablemente más alta. La Figura 5 muestra que la resistividad de la Muestra 1 es $8.29 \Omega\cdot\text{m}$, mientras que la resistividad de la Muestra 2 es $15.81 \Omega\cdot\text{m}$, una observación consistente con los resultados mostrados en la Figura 3, lo que confirma que la Muestra 2 es un material más aislante que la Muestra 1.

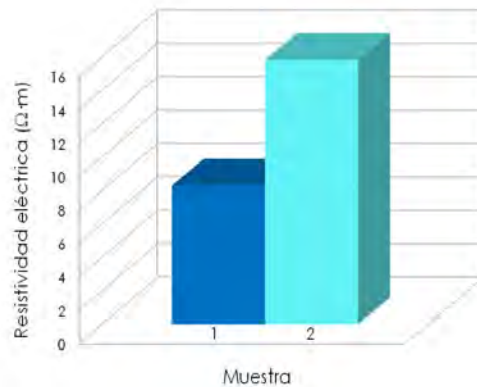


Figura 5. Resultados de la Práctica 3: resistividad eléctrica de la Muestra 1 y 2.

En esta sesión, la mayoría de los estudiantes explicaron adecuadamente cómo fluye la corriente en un material conductor a través de la ley de Ohm ($V = RI$). Se destacó que los estudiantes mejoraron la comprensión de la densidad de corriente (J) y la conductividad eléctrica (σ) e identificaron el campo eléctrico que se crea a través de la diferencia de potencial. Para las muestras A y B, el campo eléctrico es de 47.95 V/m y 51.28 V/m , respectivamente.

El puntaje general obtenido del cuestionario (Q3) fue de 87.67, como se muestra en la Tabla 2. En términos generales, se observa que el 78.12 % del alumnado obtuvo una calificación notablemente aceptable, superior a 80. El análisis de los resultados conduce a la observación de que los estudiantes desarrollaron un mejor nivel de interpretación de las variables físicas. Para finalizar, se observó que las sesiones de laboratorio brindan elementos que estimulan la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje de los conceptos de campo eléctrico, potencial eléctrico, capacitancia

y resistividad eléctrica. El análisis de los resultados mostró que la mayoría de los estudiantes identifican la presencia del campo eléctrico en un material conductor o dieléctrico. Los alumnos lograron asimilar al campo eléctrico como una región que es generada y se distribuye a través de una fuente (VCC) y que, al entrar en contacto con un material (ya sea conductor o dieléctrico), altera el campo eléctrico.

Muchos estudiantes desarrollaron habilidades para resolver problemas y para trabajar en el laboratorio. Sin embargo, se requiere de la tutoría de los profesores para brindarles apoyo, orientación y retroalimentación, en las clases teóricas, prácticas y en la resolución de problemas. Como consecuencia positiva de la presente investigación, los autores identifican una serie de elementos que permitirán mejorar la estructura de las clases prácticas, la selección de problemas y los ejercicios de retroalimentación.

CONCLUSIONES

Se llevó a cabo un ejercicio experimental para ayudar a los estudiantes a comprender el concepto de campo eléctrico, guiándolos en la identificación de que el campo eléctrico: (i) es un campo vectorial; (ii) forma dipolos en un material dieléctrico; y (iii) genera una fuerza que da movimiento a las cargas en un material conductor. También se concluyó que las prácticas de laboratorio son indispensables para comprender la relación entre el campo eléctrico, el potencial, la capacitancia y la resistividad. La metodología descrita en el presente estudio favorece el desarrollo de capacidades cognitivas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Oscar Avila Vargas y Francisco Fernández Escobar por su valiosa revisión constructiva y objetiva que condujo a mejorar el manuscrito. Asimismo, nuestro agradecimiento a Susana A. Alaniz Álvarez y al equipo editorial por sus atenciones durante el proceso de edición y publicación. Finalmente, se extiende un agradecimiento a la Escuela Superior de Ingeniería Universidad Autónoma de Coahuila por brindar las condiciones para el desarrollo del presente trabajo.

REFERENCIAS

Aguilar-Marín, P., Chávez-Bacilio, M., y Jáuregui-Rosas, S. (2018). Using analog instruments in Tracker video-based experiments to understand the phenomena of electricity and magnetism in physics education. *European Journal of Physics*, 39 (3).

Bueche, F.J. y Jerde, D.A., (1996). *Fundamentos de Física*. Tomo II, Sexta Edición. Mc Graw-Hill Interamericana de México.

De Almeida, L. R, da Costa, J. P. C., de Sousa, R. T., de Freitas, E. P., Canedo, E. D., Pretz, J., and Del Galdo, G. (2016). *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* 15.

Dega, B. G., Kriek, J., y Mogese, T. F. (2013). Students' conceptual change in electricity and magnetism using simulations: a comparison of cognitive perturbation and cognitive conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 677–698.

Demirci, N. y Cirkinoglu, A. (2004). Determining students' preconception/misconceptions in electricity and magnetism. *Journal of Turkish Science Education*, 1 (2), pp; 51-54.

Hau, R. R. H., Marwoto, P., y Putra, N.M.D. (2018). Pattern of mathematic representation ability in magnetic electricity problem. *Journal of Physics: Conf. Series* 983, 012015, 1-6.

Kesonen, M. H. P., Asikainen, M. A., y Hirvonen, P.E. (2011). University students' conceptions of the electric and magnetic fields and their interrelationships. *European Journal of Physics*, 32 (2).

Liani, N.S., Nur, S., y Huda, I. (2020). The influence of communication platform on the students' engagement in the magnetic electricity e-learning class. *Journal of Physics: Conf. Series* 1460, 012123.

Mansyur, J. (2015). Teachers and students preliminary stages in physics problem solving. *International Education Studies*, 8 (9), 1-13.

Narjaikaew P., Emarat N., Soankwan C., y Cowie, B. (2006). Year-1 Thai University Students' Conceptions of Electricity and Magnetism (Physics Educational Network of Thailand (PENThai) and The Centre for science and Technology Education Research (CSTER)).

Sa'adah, U., y Ariati, J. (2018). Hubungan antara student engagement (keterlibatan siswa) dengan prestasi akademik mata pelajaran matematika pada siswa kelas. XI SMA Negeri 9 Semarang Empati 7 (69).

Serway, R.A (1993). *Electricidad y magnetismo*. Tercera Edición. Mc Graw-Hill, México.

Serway, R.A y Beichner, R.J., (2002). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Tomo II. Quinta Edición. Mc Graw-Hill, México.

Kolluru, S., y Varughese, J.T. (2017). Structured academic discussions through an online education-specific platform to improve Pharm.D. students learning outcomes. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 9 (2), 230-236.

Manuscrito recibido: 6 de junio de 2023

Manuscrito corregido recibido: 9 de octubre de 2023

Manuscrito aceptado: 16 de octubre de 2023

EL HÁBITAT DE LOS HONGOS Y SU VULNERABILIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Fernanda Giovanna Villegas-Gómez^{1*}, Iriliana López-Caballero² y Rita Fonseca-Alvarez²

¹Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

²Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

*fer.giovg_1026@ciencias.unam.mx (autora para correspondencia)

RESUMEN

Los hongos son organismos con características únicas, las cuales no se presentan ni en plantas ni en animales, lo que los clasifica en un reino propio. Estos organismos tienen una alta distribución en la naturaleza tanto en el agua, el aire y el suelo. En este trabajo nos enfocaremos en la interacción que existe entre los hongos y el suelo, ya que son clave en el buen funcionamiento de los ecosistemas. Específicamente, abordamos la relación simbiótica entre las micorrizas y las raíces de las plantas a través del suelo que contribuyen activamente en los ciclos biogeoquímicos. Por su parte el cambio climático altera las condiciones atmosféricas y también las del suelo, lo que a su vez irrumpe el dinamismo ecológico y permite que se lleven a cabo estos procesos. De igual manera, la perturbación del suelo debido a agentes erosivos y actividades humanas ocasionan la pérdida del hábitat de millones de organismos que viven en esta capa superficial y que son esenciales para el funcionamiento óptimo de los ecosistemas terrestres.

Palabras clave: Cambio climático, suelo, micorrizas.

ABSTRACT

Fungi are organisms that have unique characteristics, which are not observed in plants or animals, which allows them to be classified in their own kingdom. These organisms have a high distribution in nature in water, air, and soil; however, in this work, we will focus on the interaction that exists between fungi and the soil since both factors are key to the proper functioning of ecosystems. Specifically, we address the symbiotic relationship between mycorrhizae and plant roots that occurs through the soil and that actively contribute to biogeochemical cycles; however, Climate Change alters atmospheric conditions and also those of the soil, which in turn disrupts ecological dynamism -which allows these processes to take place-. Likewise, the disturbance of the soil by erosive agents and human activities causes the loss of habitat for millions of organisms that live in its surface layer, and that are essential for the optimal functioning of terrestrial ecosystems.

Keywords: Climate change, soil, mycorrhizae.

INTRODUCCIÓN

Constantemente escuchamos que el cambio climático es una realidad que nos aqueja hoy en día, pero ¿qué es el cambio climático? Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, inciso 2, define el cambio climático como: “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (p. 3). La CMNUCC diferencia entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas, alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática que se asocia a causas naturales (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

Arneth *et al.*, (2019) mencionan que las variaciones de los patrones climáticos han sido muy alterados, tan sólo en el periodo de 2006-2015, la temperatura media de la Tierra aumentó en 1.53 °C; por consiguiente: la sequía se intensifica y las precipitaciones disminuyen, lo cual altera intrínsecamente a los ecosistemas y las interacciones que en ella se llevan a cabo. Es de nuestro interés enfocarnos en cómo estas alteraciones repercuten en el desarrollo de los hongos, y para poder comprender esto, es necesario conocer el espacio físico donde se desarrollan algunos de estos organismos: el suelo.

¿Qué es el suelo?

Según la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, s. f.) “la definición de suelo está en función del área de interés. Desde el punto de vista agrícola, el suelo es la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y es utilizada por las raíces de las plantas, les da nutrientes y agua. Desde una perspectiva ambiental existen varias definiciones que incorporan el papel fundamental del suelo en los procesos ecosistémicos, debido a las funciones y servicios que realiza tales como la regulación y la distribución del flujo de agua o como un amortiguador de los efectos de diversos contaminantes (Astier *et al.*, 2002; SEMARNAT, s.f.). A partir de su origen y de los factores ambientales, la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA, por sus siglas en inglés), lo define como la capa superficial de material mineral y orgánico, no consolidado, que sirve de medio natural para el crecimiento de las plantas y hábitat para los hongos, bacterias y animales terrestres (SSSA, s. f., SEMARNAT, s. f.).

El suelo es un recurso natural no renovable que se forma a lo largo de cientos o miles de años por la interacción de los factores que le dan origen: material parental o roca madre, clima, topografía, tiempo y biota (hongos, bacterias, flora y fauna). Debido a la interacción de todos estos factores y actores, difiere en sus propiedades físicas, químicas, morfológicas y biológicas del sustrato rocoso del que se originó. Por ello, el suelo no es roca ni sedimento geológico, es el producto de las alteraciones físicas y químicas así como de las interacciones que experimentan estos materiales” (SEMARNAT s.f., p. 121).

Conjuntando las definiciones anteriores, podemos formular una sola explicación acerca de la capacidad del suelo desde una base ecológica, ya que es una parte fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas. El suelo es sumamente dinámico y heterogéneo, proporciona servicios de sostén que abarcan aquello que no es perceptible a simple vista y también provee de una gran variedad de microambientes habitados por bacterias, protistas, hongos, animales invertebrados (lombrices, insectos y arácnidos), quienes en conjunto conforman los ciclos biogeoquímicos y reciclan la materia orgánica (SEMARNAT, s.f.; Tickell y Tickell-Harrel, 2020).

De igual manera el suelo es un reservorio de carbono (C) para los ecosistemas terrestres ya que tienen más C que el que se encuentra en la vegetación y cerca del doble de C de lo que hay en la atmósfera, esto parece lógico pues todo funciona con C. Este elemento es la base de la vida, los microorganismos que habitan en el suelo viven de él por lo que se le puede considerar el motor que hace funcionar al sistema Tierra (Tickell y Tickell-Harrel, 2020).

Tal parece que la importancia del C es contradictoria cuando pensamos en el dióxido de carbono (CO₂) como uno de los principales

gases que provocan el efecto invernadero, que es la forma en que el calor queda atrapado en la superficie de la Tierra, siendo una de las principales causas del calentamiento global; no obstante es aquí donde nuevamente aparece el suelo, pues gracias a que captura el C se reduce la liberación de CO₂ a la atmósfera (Biferno *et al.*, 2023; SEMARNAT, s.f.)

Notoriamente necesitamos del suelo para sobrevivir, ya que es un recurso sumamente dinámico debido a su interacción tanto con factores bióticos como abióticos. Su importancia radica en ser la base de la red trófica y el principal proveedor de alimentos porque una tercera parte de la superficie terrestre es utilizada para la agricultura y también es el lugar donde se desarrollan servicios ecosistémicos (Aguirre *et al.*, 2022).

Todo lo anterior funciona de manera eficiente siempre y cuando el suelo sea saludable, con alto contenido de materia orgánica, que sea rico en minerales y microorganismos, así mismo, que tenga suficiente agua y buena ventilación. Aunque con las alteraciones climáticas como el calentamiento global y las actividades humanas, como el cambio del uso del suelo (p. ej., de forestal a agrícola, el incremento de nitrógeno, producto del empleo de fertilizantes), no sólo se altera la composición atmosférica, sino también la terrestre. El suelo se degrada cada vez más rápido, pierde su salud y por lo tanto disminuye su capacidad para producir bienes y prestar servicios en pro del equilibrio ecosistémico (FAO, 2017; FAO, 2023; Moreno *et al.*, s.f.).

Es así como las alteraciones de este recurso desequilibran los procesos y las interacciones que en él se llevan a cabo. Partiendo de ello hablaremos cómo es que los hongos se relacionan con el suelo.

Hábitat y características de los hongos

Los hongos son un grupo de organismos con características propias de nutrición, fisiología, reproducción y organización, por lo que forman un reino aparte de las plantas y los animales, denominado reino *fungi*. Las células de los hongos tienen una forma filamentosacilindrica, llamadas hifas, que se ramifican y en conjunto forman un micelio; poseen núcleo y tienen una pared celular formada de quitina o celulosa, se reproducen asexual y sexualmente por medio de esporas. Algunos hongos presentan estructuras macroscópicas para su reproducción lo que se les denomina cuerpos fructíferos (Figura 1), los cuales se identifican muy bien, ya que los champiñones y las setas son un ejemplo (Aguirre-Acosta, 2021; Cepero de García *et al.*, 2012).

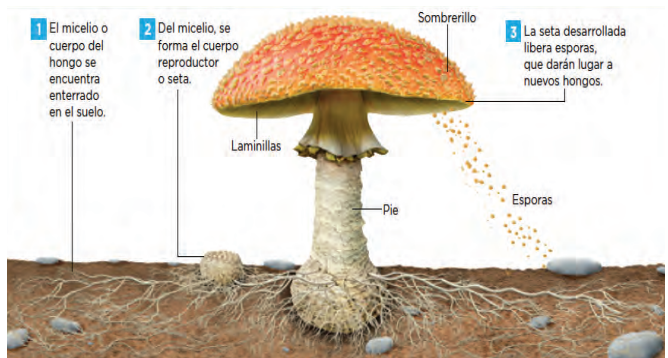


Figura 1. Cuerpo fructífero del hongo (Imagen tomada de BlinkLearning, s.f.)

La principal característica que los distingue de otras especies es su forma de nutrición por absorción, ya que no tienen clorofila como las plantas y tampoco realizan fotosíntesis, ni fijan C, por lo que requieren de compuestos orgánicos preformados para obtener energía. La forma en que obtienen sus nutrientes consiste en una digestión extracelular: en donde los hongos liberan enzimas al medio, las cuales se encargan de degradar otros compuestos en moléculas pequeñas y que ellos u otros organismos los puedan absorber (Cepero de García *et al.*, 2012; Unidad de Exhibición Biológica, 2012).

Los hongos equilibran los ecosistemas de diferentes maneras, por ejemplo, actúan como controladores biológicos y regulan las plagas que causan enfermedades en las plantas; modifican hábitats y cambian la estructura del suelo en los ecosistemas en los que viven, mitigando el impacto de los procesos ecológicos; como descomponedores de materia orgánica, reciclan nutrientes como nitrógeno y fósforo y liberan CO₂ a la atmósfera. En el caso de estos últimos, los nutrientes liberados son aprovechados por otros organismos, como las plantas, y así contribuyen al reciclado de nutrientes en el ecosistema (Alarcón-Gutiérrez y Ramírez-Guillén, 2022).

Por lo tanto, dado el dinamismo que representan en el ecosistema: estos organismos no sólo se hacen presentes en épocas de lluvias cuando surge el cuerpo fructífero, sino que, durante todo el año su micelio se encuentra presente por debajo del suelo y para que puedan subsistir requieren de ambientes muy húmedos, desarrollándose en sitios que presentan material orgánico, agua y temperatura con un rango entre 4 y 60 °C (Unidad de Exhibición Biológica, 2012). Sobre esta misma línea, un estudio realizado por Toledo *et al.* (2014) acerca de las variables ambientales en la fructificación de los hongos, demuestra que hay mayor abundancia de cuerpos fructíferos en suelos que guardan mayor humedad, a pesar de que la precipitación sea baja. No obstante las alteraciones climáticas afectan las condiciones del suelo y a su vez los ciclos biológicos de los hongos; de tal manera que la fructificación de setas se retrasa en respuesta al estrés hídrico (Marcos-Martínez, 2019).

Micorrizas

Más allá de lo que se ve: hay hongos que no originan cuerpo fructífero, pero su micelio se encuentra presente en el sustrato y a su vez se asocian de manera muy estrecha con las raíces de las plantas, a estas comunidades fúngicas subterráneas se les denomina micorrizas. La palabra micorriza fue propuesta por el patólogo forestal alemán A. B. Frank, a principios de la década de 1880, para referirse a la relación “entre una especie de hongo y la raíz de un árbol”, qué en griego significa “hongo-raíz”.

Por otro lado, Andrade-Torres (2010) la define como: un proceso ecológico resultado de una historia evolutiva caracterizado por una interacción en la que las hifas de al menos una especie de hongo y las raíces secundarias de una o más plantas conforman una estructura a través de la cual se realiza un intercambio de agua, nutrientes y reguladores del crecimiento. Durante este proceso, las hifas del hongo actúan como una extensión de la raíz, aumentando su superficie de exploración en el sustrato, lo que concede a la planta mayor oportunidad de absorber agua y minerales esenciales (Figura 2).



Figura 2. Asociación e interacción de las hifas micorrícicas (líneas blancas) con el suelo y las raíces de los árboles (Imagen tomada de Estrada C., s.f.)

Por su parte la planta proporciona al hongo carbohidratos o nutrientes, resultado de su actividad fotosintética, y un ambiente estable para las hifas” (p. 86).

Los hongos micorrícicos son saprobios, es decir que se alimentan de materia orgánica en descomposición, y por lo tanto enriquecen el sustrato con compuestos orgánicos formados de carbono, como nutrientes que le otorgan fertilidad al suelo. Por su parte el micelio participa en el mecanismo de atrapar y enlazar las partículas primarias para el desarrollo de agregados (que son partículas de suelo enlazadas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas o sílice) para proporcionar estabilidad al terreno. Esto sucede porque las hifas de los hongos secretan polisacáridos y compuestos orgánicos que forman una malla pegajosa, la cual une el sistema hifal con las partículas individuales del suelo (González *et al.*, 2004).

Estos organismos fúngicos se asocian con el terreno y a su vez con el sistema radicular de las plantas formando las llamadas “micorrizas arbusculares”, de tal forma que fungen como un puente que facilita el suministro de nutrientes que pueden ser limitantes para la planta, así como la absorción de agua que les confiere tolerancia a la sequía (Altieri y Nicholls, 2013).

Por todo lo anterior, se afirma que la interacción de las micorrizas con el suelo indica una importante participación de los hongos en los procesos biogeoquímicos, de tal manera que le otorgan un alto enriquecimiento ecosistémico debido a la asociación que forman con las plantas, ya que se encuentran en más del 85 % de las especies que influyen en la diversidad vegetal. Esto sucede porque las hifas micorrícicas se extienden en grandes longitudes de terreno formando micelio y claramente abarcan más área en comparación con la raíz de la planta (Figura 2). La extensión del sistema hifal varía en los diferentes ecosistemas, pero el promedio va de 0.5 a 5 m de hifa por gramo de suelo y hasta 20 m en suelos saludables (González-Chávez *et al.*, 2004).

La interacción entre el suelo y los hongos se puede resumir de la siguiente manera: hay un enlazamiento físico por medio de la adherencia entre las hifas y las partículas del suelo, a su vez se enlazan químicamente tanto al sustrato, como a las raíces por medio de la secreción de un mucílago. Estos agregados confieren humedad y por lo tanto protección ante sequías, proporcionando las condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantas y otros microorganismos (González *et al.*, 2004; Altieri y Nicholls, 2013).

Beneficios y repercusiones mutuas

Ahora bien, así como el suelo da alojamiento a los hongos, estos también le otorgan ciertos beneficios y protección, incluso se pueden llegar a considerar un importante componente para su conservación, porque en conjunto forman agregados que son un reservorio de nutrientes y al mismo tiempo ejercen control ante la erosión (González-Chávez *et al.*, 2004). Sobre esta misma idea, al estar tan relacionados, no sólo comparten los beneficios, sino también las repercusiones que sufre el suelo e incide en los hongos.

Agentes naturales como el agua y el viento incrementan la erosión del suelo y causan alteraciones en las condiciones del sustrato. Las propiedades de este recurso se modifican de tal manera que hay mayor acumulación de sustancias tóxicas, acidez, salinidad y contaminación en general. De igual forma las variaciones climáticas como el aumento de temperatura hace que disminuyan los niveles de humedad. Por lo que no solo hay una alteración del suelo como recurso, sino también como hábitat para los hongos.

Es así como la relación planta-hongo que resulta ser muy idónea, puede verse afectada por las alteraciones en las condiciones físicas y químicas del suelo causadas por los cambios ambientales. Si las condiciones de humedad aumentan o disminuyen con el tiempo, causan ciertas repercusiones entre los organismos, como debilitamiento del huésped (planta), parasitismo y proliferación o disminución de ciertas poblaciones tanto de hongos como de plantas (Moreno *et al.*, s.f.).

Como se mencionó con anterioridad, los hongos son organismos altamente sensibles al estrés hídrico causado por la perturbación del terreno debido a la alteración de las condiciones climáticas. Por lo tanto estos organismos están perdiendo el lugar donde se alojan y a su vez la extensión del micelio se va reduciendo poco a poco; de tal forma que tanto las comunidades de hongos, como la vegetación asociada principalmente a climas húmedos se puede ver reducida de manera significativa.

CONCLUSIONES

Como podemos leer, los hongos tienen un papel sumamente importante para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que actúan como descomponedores de la materia orgánica y reciclan los nutrientes en el suelo. Su presencia y desempeño es fundamental en los procesos biogeoquímicos de los cuales dependen las plantas, ejemplo de ello es la presencia de las micorrizas, ya que se relacionan con el sistema radicular de las plantas simbiotas, contribuyendo con la disponibilidad de agua y nutrientes. Sin embargo, está estrecha relación se está viendo afectada por la alteración de las condiciones climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen los comentarios de los revisores anónimos, los cuales contribuyeron sustancialmente a la mejora del escrito, así como al M. en C. Rodrigo Gutiérrez Navarro (Editor en Jefe de la Revista ECG) por su orientación y buena disposición y al Arq. Psj. Ángel Israel Hernández Martínez quién nos apoyó con la edición de las imágenes que ilustran este trabajo.

Así mismo, agradezco al Colegio Anáhuac, institución sede donde se llevó a cabo la estrategia didáctica y al grupo 501.

REFERENCIAS

- Aguirre-Acosta, C. E., (2021). El de los hongos, un mundo aparte. Gaceta, UNAM (en línea). Recuperado el 16 de Noviembre de 2023. <https://www.gaceta.unam.mx/el-de-los-hongos-un-mundo-aparte/>
- Aguirre, S., Piraneque, N. y Mercado, T., (2022). Suelo y cambio climático. Colombia: Editorial Unimagdalena (en línea). Recuperado el 5 de octubre de 2023.
- Alarcón-Gutiérrez, E., Ramírez-Guillén, F. (2022). Los hongos en los ecosistemas. Crónica y Portal Comunicación Veracruzana (en línea). Recuperado el 23 de Noviembre de 2023. <https://www.inacol.mx/inacol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1835-los-hongos-en-los-ecosistemas>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. Agroecología, 8 (1): 7-20.
- Andrade-Torre, A. (2010). Micorrizas: antigua interacción entre plantas y hongos. Ciencia. Octubre-Diciembre, 84-90 (en línea). Recuperado el 23 de Noviembre de 2023. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_4/PDF/11_MICORRIZAS.pdf
- Arneith, A., Denton, F., Agus, F., Elbehri, A., Erb, K., Osman-Elasha, B., Rahimi, M., Rounsevell, M., Spence, A., Valentini, R., (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. Framing and Context (pp. 77-129). <https://doi.org/10.1017/9781009157988.003>
- Astier, Astier-Calderón, Maass-Moreno, M., Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. Agrociencia 36: 605-620. 2002. Recuperado 07 de diciembre de 2023.
- Biferno, A., Shaftel, H., Callery, S., Jackson, R., Bailey, D. (2023). ¿Qué es el efecto invernadero? Global climate change. Vital signs of the planet (en línea).
- BlinkLearning. (s.f.). 2. Moneras protoctistas y hongos. Los seres vivos que no son animales (en línea). Recuperado el 05 de octubre de 2023. <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?idclase=15835709&idcurso=390849>
- Cepero de García, C., Restrepo-Restrepo, S., Franco-Molano, A. E., Cárdenas-Toquica, M., Vargas-Estupiñán, N., (2012). Biología de hongos. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Biológicas; Ediciones Uniandes, Bogotá, Colombia (en línea).
- Estrada C. (s.f.). Micorrizas: herramienta biológica para mejorar la eficiencia del agua. BiologicalsLatam by Redafricola (en línea). Recuperado el 29 de septiembre de 2023. <https://biologicalslatam.com/micorrizas-herramienta-biologica-para-mejorar-la-eficiencia-del-agua/>
- González-Chávez, M. C. A., Gutiérrez-Castorena, M. C., Wright, S. (2004). Hongos micorrízicos arbusculares en la agregación del suelo y su estabilidad. Terra Latinoamericana, 22(4), 507-514.
- Guzmán-Duchen, D. y Montero-Torres, J. (2021). Interacción de bacterias y plantas en la fijación del nitrógeno. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 8(2), 87-101. <https://doi.org/10.53287/uayf4027gf99e>

- Marcos-Martínez, J. (2019). ¿Cómo afectará el cambio climático a los hongos en España? Cesta y setas. Agosto. Recuperado el 23 de mayo de 2023. <https://www.cestaysetas.com/como-afectara-el-cambio-climatico-a-los-hongos-en-espana/>
- Moneras prototistas y hongos. (s.f.). BlinkLearning. Recuperado el 23 de mayo de 2023. <https://www.blinklearning.com/coursePlayer/clases2.php?idclase=15835709&idcurso=390849>
- Moreno, G., Manjón, J., Álvarez, J., (s. f.). Los hongos y el cambio climático. Impactos y vulnerabilidad. Capítulo 6. Sociedad Micológica de Madrid, (pc. 129-135). Recuperado el 05 de octubre de 2023. http://www.socmicolmadrid.org/docs/cap6-loshongosyelcambioclimatico_tcm7-403982.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado el 05 de octubre de 2023 <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Apreciar el suelo sobre el que caminamos. Recuperado el 20 de noviembre de 2023. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1071075/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2023. Portal de Suelo. Degradación del suelo. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (s. f.). Suelos, capítulo 3 (en línea).
- Soil Science Society of America (SSSA). (s. f.). Glossary of Soil Science Term. Recuperado el 07 de diciembre de 2023. <https://www.soils.org/publications/soils-glossary/browse/s>
- Tickell, J. Tickell-Harrel, R. (2020). Kiss the ground [Documental]. Netflix.
- Toledo, C., Barroetaveña, C., Rajchenberg, M. (2014). Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(4), 1093-1103. <https://doi.org/10.7550/rmb.40010>
- Unidad de Exhibición Biológica. (2012). Introducción a los hongos. Hoja Técnica de Divulgación Científica, No. 2, Agosto-Diciembre, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Ciencias Biomédicas, Programa de Biología.
- Zúñiga-Castro, K., Quirós-Cedeño, G. (2021). Los hongos como elementos clave en la productividad del suelo, la agricultura y el bienestar social. *Biocenosis*, 32(1), 46–58. <https://doi.org/10.22458/rb.v32i1.3548>

Manuscrito recibido: 5 de octubre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 30 de noviembre de 2023

Manuscrito aceptado: 5 de diciembre de 2023

RELATO DEL MAYOR SISMO REGISTRADO INSTRUMENTALMENTE. EL MEGATERREMOTO DE CHILE DE 1960 Y SU RELACIÓN CON LA ESCALA DE MERCALLI

Miguel Antonio Pavez-Román¹, Susana Alicia Alaniz-Álvarez^{2*},
Carlos Mendoza² y Dante J. Morán-Zenteno³

¹Empresa WSP Ambiental, Av. Las Condes 11.700, Vitacura, 7650002, Santiago de Chile, Chile.

² Centro de Geociencias, campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla No. 3001, Querétaro, Querétaro, 76230, México.

³ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 45010, México.

*alaniz@geociencias.unam.mx (autora para correspondencia)

RESUMEN

En Valdivia, Chile, el 22 de mayo de 1960 ocurrió un sismo de magnitud 9.5, el mayor sismo registrado instrumentalmente en la historia. Actualmente hay pocos supervivientes testigos de ese megaterremoto así como del tsunami asociado del sismo. En este trabajo se reproduce el testimonio de Plácido Llarión Díaz, quién tenía 12 años en ese momento y vivía en Los Muermos, una población a menos de 200 km del epicentro del sismo. Se ilustra con fotografías de la época y se ubica su pueblo mediante mapas realizados con el programa de cómputo Arcgis 10.7. Al final del trabajo se describen las características técnicas del sismo y su intensidad en relación con la escala de Mercalli.

Palabras clave: Sismo, megaterremoto, tsunami, escala de Mercalli, Chile.

ABSTRACT

A magnitude 9.5 earthquake occurred in Valdivia, Chile, on May 22, 1960, the largest earthquake instrumentally recorded in history. Currently, there are few surviving witnesses of that megaequake and devastating tsunami. This work reproduces the testimony of Plácido Llarión Díaz, who was 12 years old at the time and lived in Los Muermos, a town less than 200 km from the epicenter. The town is illustrated with photographs from the time and is located using cartographies made in Arcgis 10.7. At the end of the results, the seismological characteristics of the earthquake and its intensity with the Mercalli scale are described.

Keywords: Earthquake, Valdivia megaequake, Tsunami, Mercalli Intensity Scale, Chile.

INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha promovido la transversalidad en la educación como una forma de trascender los saberes adquiridos en el aula con situaciones concretas de la vida y la naturaleza. Uno de los fenómenos más impactantes que estudian las Ciencias de la Tierra son los sismos por la enorme descarga de energía que se libera dentro de la corteza terrestre. El mayor sismo que se ha registrado instrumentalmente ocurrió el 22 de mayo de 1960, en Valdivia, Chile. En este trabajo se presenta el relato de Plácido Llarión Díaz, uno de los sobrevivientes, y se incluye la liga a un video donde se documentan las características técnicas del sismo, también se relata la experiencia platicada por Plácido para ser utilizado en una clase de educación básica.

El propósito de este trabajo es narrar y analizar el testimonio de uno de los sobrevivientes al también conocido como "Gran terremoto de 1960" y ubicar su percepción durante el sismo con la escala modificada de Mercalli¹. Esta escala (Tabla 1) mide la intensidad aparente en grados del sacudimiento en un lugar particular debido a un sismo, considerando la percepción del individuo y la afectación de los muebles e inmuebles. La intensidad depende de la cercanía del foco del sismo, su magnitud, el tipo de terreno y el tipo de construcción. Esta escala fue hecha con el propósito de tratar de inferir el posible nivel de aceleración del terreno, porque tiene implicaciones directas en las normas de construcción que deben seguir las obras civiles.

¹ En 1902 el físico italiano Giuseppe Mercalli creó una escala de diez grados basada en la Escala de Rossi-Forel, publicada en 1883, también de 10 grados de intensidad. Ese mismo año Adolfo Cancani aumentó la escala a 12 grados e indicó la aceleración máxima para cada grado. Posteriormente, en 1923, esta escala fue modificada por Sieberg, quien publicó la elaboración de la escala de Mercalli incluyendo el esquema de Cancani. Luego, en 1931, la escala fue mejorada y actualizada por Wood y Neumann, incluyendo nuevos aspectos que se debían considerar (efectos en estructuras altas, el comportamiento de vehículos motorizados y camiones pesados, el efecto en el sistema de tuberías subterráneas, entre otros), eliminando los rangos de aceleración propuestos por Cancani y proponiendo una versión reducida (Wood y Neumann, 1931). Esta escala fue recortada y divulgada por Richter (1958).

Tabla 1. Escala sísmica modificada de Mercalli. N° 3 de 1961. Ministerio de Obras Públicas (MOP, 1961)

Intensidad	Descripción	
	Escala de intensidad de Mercalli modificada según Charles Richter (1958)	Norma Chilena Oficial N° 3 de 1961 (MOP, 1961)
I	No sentido. Efectos marginales y a largo plazo de terremotos grandes.	No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables.
II	Sentido por personas en estado de reposo, en pisos altos o en posición favorable.	Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios.
III	Sentido dentro de las casas. Objetos colgantes oscilan. Vibración parecida a la que producen los camiones pequeños. Duración estimada. Puede pasar desapercibido.	Se percibe en los interiores de los edificios y casas.
IV	Objetos colgantes oscilan. Vibración parecida a la que producen camiones grandes, o una sensación de sacudimiento, como si un objeto pesado chocara con la pared. Automóviles pesados se mecen. Ventanas, vajillas y puertas teclean. Vasos tintinean. Floreros, etc. chocan. En el límite superior de IV las paredes de madera y las vigas crujen.	Los objetos colgantes oscilan visiblemente. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen.
V	Sentido al aire libre. Dirección estimada. Personas dormidas se despiertan. Los líquidos son perturbados y pueden derramarse. Objetos inestables se desplazan o voltean. las puertas se abren o cierran. Los postigos y los cuadros se mueven. Relojes de péndulo se paran, comienzan a andar o cambian su velocidad.	La mayoría de las personas lo percibe aun en el exterior. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y pueden llegar a derramarse. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico.
VI	Sentido por todos. Muchas personas se asustan y corren al aire libre. Las personas caminan inestablemente. Los vidrios de las ventanas y las vajillas se rompen. Los libros y otros objetos se caen de las repisas. Los cuadros se caen de las paredes. Los muebles ruedan o se voltean. Los frisos débiles se agrietan. Las campanas pequeñas suenan. Los árboles y arbustos son sacudidos visual y acústicamente.	Lo perciben todas las personas. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien se les oye crujir.
VII	Es difícil permanecer en pie. Notado por choferes de automóviles en movimiento. Los objetos colgantes se estremecen. Los muebles se quiebran. Se dañan las paredes débiles (por ejemplo, las de adobe), incluyendo su agrietamiento. Las chimeneas débiles se quiebran a nivel del techo. Caen los frisos, ladrillos sueltos, piedras, cornisas y adornos arquitectónicos no sujetos adecuadamente. Algunas grietas en las paredes de fabricación ordinaria. Se producen olas de espejos de agua. El agua se enturbia. Pequeños derrumbes en bancos de arena y grava. Las campanas grandes repican. Se dañan los canales de irrigación de concreto.	Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o proyectadas. Se dañan los muebles. Caen trozos de mampostería. ladrillos, parapetos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos. Se producen ondas en los lagos.
VIII	La conducción de automóviles se ve afectada. Se dañan y se colapsan parcialmente las paredes de fabricación ordinaria. Algún daño a paredes de alta calidad reforzada y ninguno en paredes diseñadas para resistir esfuerzos laterales. El estuco o friso se cae, así como algunas paredes. Torcimiento y caída de chimeneas, monumentos, torres y tanques elevados. Las casas con armazón se mueven sobre sus fundaciones. Paredes prefabricadas se caen. Las columnas se fracturan. Caen ramas de los árboles. Cambios en el flujo y la temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y en pendientes fuertes.	Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y también el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos.
IX	Pánico general. Paredes débiles destruidas totalmente. Paredes, columnas y vigas ordinarias quedan fuertemente afectadas, algunas veces hasta disgregarse el concreto y colapsar completamente. Las paredes de caliza o muros reforzados se ven afectados seriamente. Daño general en las fundaciones. Las armazones y estructuras metálicas, si no están sujetas firmemente, son removidas de sus bases o sacudidas fuertemente. Daño serio a reservorios, tanques subterráneos de líquidos y sótanos. Las tuberías subterráneas se fracturan, hay fugas de aguas blancas y negras, gases u otros fluidos (oleoductos y gasoductos). Se ven grietas conspicuas en el suelo. En áreas aluviales se forman volcanes de arena y lodo.	Pánico generalizado. Todos los edificios sufren grandes daños. Las casas sin cimentación se desplazan. Se quiebran algunas canalizaciones subterráneas, la tierra se fisura.
X	La mayor parte de las estructuras de ladrillo y con armazón quedan destruidas junto con sus fundaciones. Algunas estructuras de madera bien construidas y algunos puentes son destruidos. Daños severo a los diques, represas, canales y canalizaciones. Derrumbes de taludes de grandes proporciones. El agua es arrojada fuera de los canales, ríos y lagos. La arena y el lodo son transportados lateralmente en playas y terrenos llanos. Los rieles de trenes comienzan a doblarse.	Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. El agua de canales, ríos y lagos sale proyectada a las riberas.
XI	Los rieles de trenes (metro) se doblan. Las tuberías subterráneas quedan totalmente destruidas. Colapso total de túneles.	Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las cañerías subterráneas quedan totalmente fuera de servicio.
XII	Daño casi total. Grandes masas o bloques de roca y tierra desplazados. Hundimiento y afloramiento en visuales topográficas y nivelación. Objetos lanzados al aire.	El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza en la localidad urbana de Los Muermos, en la Comuna de los Muermos, Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos (Figura 1). La elección de este sector se justifica porque es en esta localidad donde Plácido Llarion Díaz Cárcamo se encontraba cuando ocurrió el Megaterremoto de Chile de 1960.

Puerto Montt Ap DMC (CR2, 2023), ubicada a 8.9 km de la localidad de Los Muermos para relacionar cualitativamente si la lluvia previa al evento amplificó la percepción de las ondas superficiales debido a la saturación del suelo.

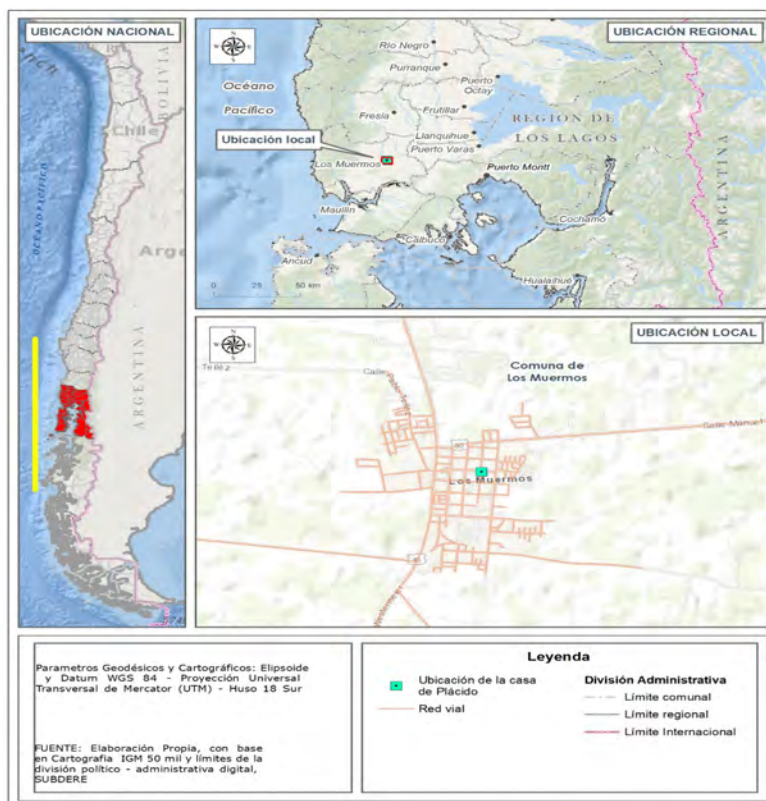


Figura 1. Ubicación del área urbana de Los Muermos (Comuna de los Muermos, Provincia de Llanquihue, Región de los Lagos) y la ciudad de Valdivia (Comuna de Valdivia, Provincia de Los Ríos). La marca de posición sin título en la imagen de Google Earth, es donde se ubicó el epicentro del megaterremoto. La línea amarilla indica la longitud de mil kilómetros calculada para el área de desplazamiento causado por el sismo. Fuente: Google Maps, 2023 y Google Earth, 2023.

Procedimiento

El primer autor contactó a un sobreviviente del Gran terremoto de Valdivia de 1960. Éste le entregó un escrito a mano con su relato y le autorizó publicar su testimonio (Figura 2).

Más adelante se transcribe el escrito del relato revisado y, como complemento, se ofrecen los comentarios verbales de Plácido al entrevistador, mismos que se encuentran en el video que puede consultarse en el siguiente enlace:

<https://www.youtube.com/watch?v=TjZzmlyV-yo>

Posteriormente se presentan los aspectos técnicos del Gran terremoto de 1960 (Talley y Cloud, 1984; Barrientos y Ward, 1990; Lomnitz, 2004; USGS, 2023a; NOAA, 2023; USGS, 2023b) y se compara el relato narrado por Plácido con la escala sísmica de Mercalli modificada según Charles Richter (1958) y la escala sísmica modificada de Mercalli según la Norma Chilena del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 1961).

Pasajes específicos del relato de Plácido vinculados con la descripción del entorno, se relacionaron con los registros meteorológicos mensuales (enero – mayo de 1960) y los registros diarios (1-22 de mayo de 1960) de la estación meteorológica Tepual

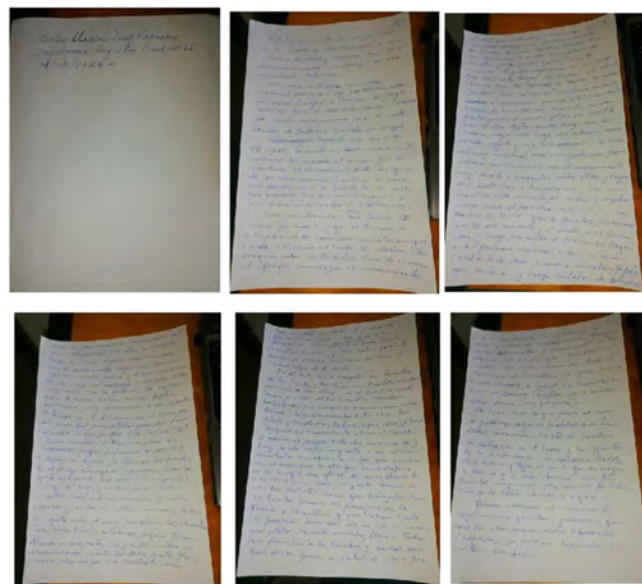


Figura 2. Testimonio escrito a mano por Plácido Llarion Díaz.

RELATO

Por Plácido Llarión Díaz Cárcamo
Inscripción Registro Civil No. 65.
Fecha de nacimiento 14 de marzo de 1948

<< El terremoto ocurrió cuando yo tenía 12 años. Vivía en el pueblo de Los Muermos que se encuentra a 30 km al oeste de Puerto Montt. Todo comenzó a las 14:20 horas.

Mi casa estaba ubicada en la calle Manuel Rodríguez, esquina J. M. Balmaceda (Figura 3). En quel tiempo se hacían los preparativos para introducir el alcantarillado. Habían ya hecho excavaciones para la instalación de tuberías. No había luz ni agua.



Figura 3. Ubicación geográfica de la casa del entrevistado, Comuna de los Muermos.

Cuando eran las 15 horas 30 minutos, aproximadamente, se sintió un leve movimiento, entonces mi mamá miró por la ventana y vio la oscilación de las aguas que se habían acumulado por la lluvia en las excavaciones. Al sentir el movimiento, mi padre también se asomó por la puerta buscando entender lo que pasaba.

Ese día había salido con mi hermano Jaime, que tenía 15 años; íbamos a jugar a dos cuadras de la casa cerca de las acequias en donde estaban instalando algunas tuberías. Como era costumbre se sumó a nosotros un grupo de amigos. Cuando estábamos en medio del juego se comenzaron a sentir unas fuertes sacudidas que no paraban; comenzamos a percibir sonidos fuertes con el movimiento. La señora de Don Agustín Paredes abrió su ventana a unos 30 m de donde nos encontrábamos, y nos gritó: "¡El fin del mundo, hijos, agárrense del cerco que se los puede tragar la tierra!" Continué el movimiento. El gimnasio, que era relativamente nuevo y construido de ladrillos con cemento, se iba destruyendo, el ruido como golpes era terrible, todo se iba desmoronando.

En un momento, mi hermano mayor me apartó de la estaca donde estaba sujeto y me dijo: "Vamos a la casa". Entonces corrimos, pero avanzábamos poco porque nos caíamos por el movimiento muy fuerte e irregular entre altos y bajos del suelo, poco avanzábamos. Era un movimiento ondulado,

subía y bajaba como una alfombra. Se abría la tierra, comenzaron a formarse grandes grietas, teníamos que ir con cuidado.

Al llegar a la primera esquina, o sea a una cuadra de la casa, vimos a nuestros papás que se caían y luego trataban de pararse, pero no eran capaces de permanecer de pie. Llegamos por fin a nuestra casa, que aún seguía desmoronándose con el movimiento. Logramos reunirnos con nuestros padres y el movimiento continuaba. La casa no resistió y se aflojaba cada vez más. Toda la gente estaba en las calles, que eran de tierra; había mucho polvo y el suelo parecía desarmado.



Fotografía 1. Fuente: La Tercera, 2023.

Entonces no dimensioné la duración del movimiento, pero cuando fui mayor pude calcular el tiempo que duró: aproximadamente 10 minutos.

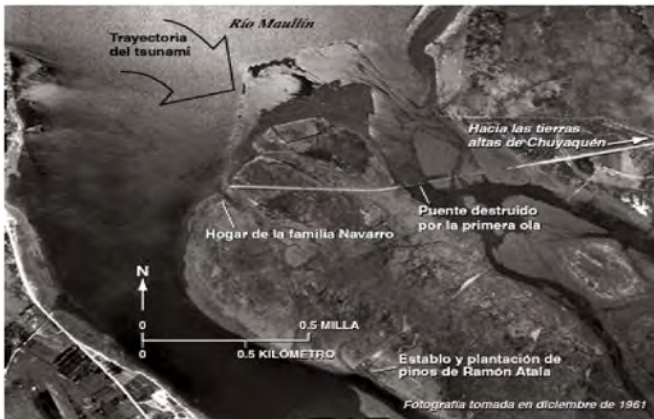
Pasado el movimiento comenzaron los incendios, porque el fuego de la leña en las cocinas se esparció: se abrieron las puertas y el fuego comenzó a aparecer. La mayoría de la gente intentaba apagar sus casas.



Fotografía 2. Fuente: Colección Familia Arias, Ladera Sur (2020).

Llegó la tarde y no teníamos más casa; entonces los mayores comenzaron a rezar y a buscar la manera de sobrevivir a la catástrofe. Entre vecinos juntaban los alimentos, todo para todos. Mientras tanto, por momentos, volvía a temblar, día y noche, cientos de movimientos. Conté hasta 40 días de sacudidas; después ya no conté más.

Para el norte quedaba el rancho de Río Frío, a 10 kilómetros; para el sur, a 27 kilómetros, estaba el paso sobre el Río Maullín. 50 kilómetros al este se ubicaba Puerto Montt. Hacia el oeste y noroeste se encontraba la costa del Océano Pacífico y la cordillera de la costa, aproximadamente a 35 kilómetros.



Fotografía 3. Fuente: USGS (2001).

Por el lado sur se cruzaba en lancha para llegar a Maullín, un pueblo con más de 400 años, a orillas del río; se habían instalado en el pasado muchos palestinos (que siempre se denominaron como turcos), todos comerciantes. Después del movimiento vino el tsunami: el océano se recogió antes del movimiento y luego la ola vino muy alta.

Escuché conversar a viejos que vivían en el mar que la ola que vino después de la recogida era aproximadamente de 4 metros de altura, una ola muy alta. Mi tío Roberto Cárcamo trabajaba con una lancha cruzando a los pasajeros de la posada a Maullín: cabían hasta 70 pasajeros. Ese día, al ver el mar que estaba bajando mucho, llevó a toda su familia a la lancha y todos los que alcanzaron a subir que eran más o menos 100 personas.



Fotografía 4. Fuente: Colección Familia Arias, Ladera Sur (2020).

En el alboroto se acercó la ola y elevó la embarcación, se apagó el motor y se quedó por un tiempo a la deriva. La fuerza del mar arrasó con los comercios de medio Maullín y se formó una barra muy peligrosa en la desembocadura del río.

El mar se llevó todo lo que pudo, se perdieron algunos pueblitos. La gente de Maullín se salvó porque unos se subieron al cerro y otros a la embarcación de



Fotografía 5. Fuente: Colección Familia Arias, Ladera Sur (2020).

mi tío, aunque lograron desembarcar lejos de su lugar de origen.

A los cuatro días apareció mi tío Roberto, muy mal pero con su familia; fue entonces cuando nos enteramos que el agua se había llevado todo en su pueblo.



Fotografía 6. Fuente: Wolfgang Weischer, geógrafo de la Universidad Austral de Chile (USGS, 2001).

Las enormes grietas que se abrieron por el gran terremoto se fueron tapando con las sacudidas posteriores. La corteza había cambiado. >>



Fotografía 7. Fuente: CIGDEN, 2023..

ASPECTOS TÉCNICOS DEL GRAN TERREMOTO DE 1960

El terremoto del 22 de mayo de 1960 en Chile es el sismo más grande que se ha registrado en la época instrumental de la sismología, la cual comprende los últimos 120 años. El evento se generó por un deslizamiento entre las placas tectónicas de Nazca y de Sudamérica y tuvo una magnitud de 9.5. La fractura se extendió por cerca de 1000 km (Figura 4) a lo largo de la costa (Lomnitz, 2004) y cubrió un ancho de 150 km, alcanzando hasta 40 m de deslizamiento a profundidades de 70 km (Barrientos Y Ward, 1990).

Los círculos en la Figura 4 muestran los epicentros de los eventos y las zonas en verde son las áreas de ruptura de sismos de magnitud mayor a 8.3. El color de los círculos representa la profundidad de los eventos, consistente con la geometría del contacto entre la placa subducida de Nazca y la placa continental de Sudamérica (contornos verdes).

La ruptura del terremoto de Valdivia (epicentro: 38.1° sur; 73.4° oeste) se propagó hacia el sur en una extensión de 1000 km, como se muestra también en el recuadro superior derecho de la figura 4. Las flechas blancas indican la dirección y la velocidad de convergencia

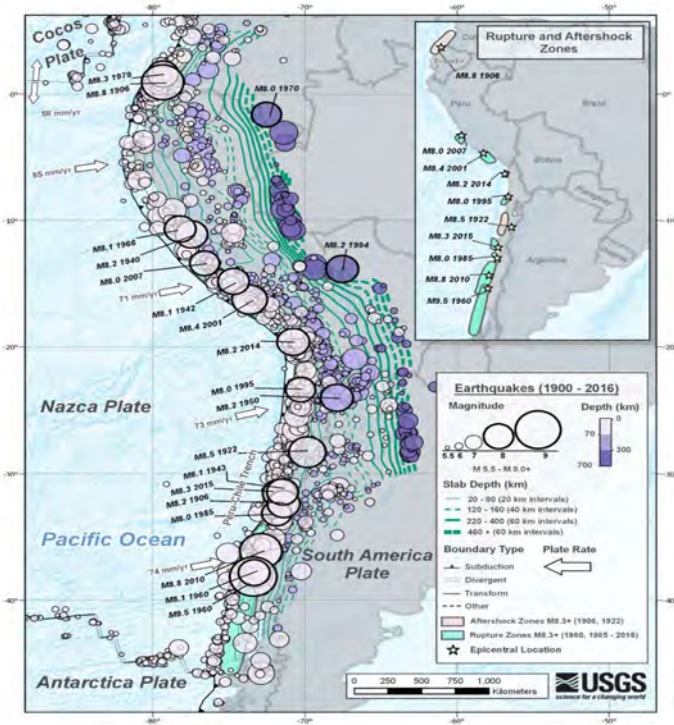


Figura 4. Sismos mayores a magnitud 5.5 ocurridos entre 1900 y 2016 a lo largo de la costa de Sudamérica tomada el 15 de agosto de 2023. Para los detalles ver el texto. Fuente USGS, 2023.

(en mm/año) entre las dos placas a lo largo de la zona de subducción (USGS, 2023b).

El tsunami generado por el sismo impactó no sólo a Chile sino también a gran parte de las costas del océano Pacífico. En Chile, la zona de desastre se extendió desde el norte de Concepción hasta el sur de la isla de Chiloé (Duke, 1960), lo que provocó más de 2000 muertes, 3000 heridos, 2 millones de desaparecidos y \$550 millones de dólares en daños (Talley y Cloud, 1984). El tsunami alcanzó una altura de hasta 11.5 m en Puerto Saavedra, Chile, y arrastró casas hasta 3 km tierra adentro (USGS, 2023b). Además, el oleaje generado por el tsunami que se propagó a lo largo del Océano Pacífico causó destrozos importantes en las costas de Hawái, Alaska, Japón, Filipinas, Tahití, Nueva Zelanda, Samoa y Kamchatka.

Para conocer más detalles se invita a los lectores a ver el siguiente enlace de NOAA (2023).

<https://www.ncei.noaa.gov/news/day-1960-chilean-earthquake-and-tsunami>

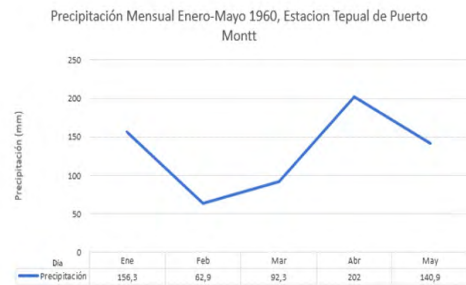
DISCUSIÓN

Comparativa entre la percepción del receptor y la escala modificada de Mercalli

Para el caso puntual de la experiencia vivida por Plácido Díaz del evento de 1960, se le puede asignar una intensidad de grado mínimo de IX en la escala de Mercalli. Sin embargo, la escala no contempla



Figura 5. Pluviometría diaria (1-22 de mayo de 1960) y mensual (enero-mayo de 1960) de la estación Tepual Puerto Montt Ap. DMC (CR2, 2023).



dentro de sus categorías otros fenómenos asociados a los grandes terremotos como los tsunamis o peligros antrópicos (incendios) que en forma indirecta pueden incrementar notablemente las pérdidas humanas y materiales. Eventos de esta naturaleza generan en simultáneo otras particularidades que intervienen en la asignación del grado de intensidad en la escala de Mercalli, como es la saturación del suelo por las intensas lluvias del clima templado lluvioso (CR2, 2023).

Para esa época, en la localidad de Los Muermos la urbanización estaba bastante atrasada en comparación con las grandes urbes del país (Santiago, Valparaíso y Concepción). Recién se estaban construyendo e instalando muchos servicios básicos (agua potable, luminaria y red de alcantarillado); por lo tanto, al momento del Gran terremoto de Valdivia, muchos sectores rurales sufrieron grandes estragos, la fundación de suelo de las casas se rotó y volcó (overtopping) por el paso de las ondas, las cuales eran visibles en el suelo. Se han escuchado historias de que en las casas se generó una condición de atrapamiento donde la gente quedó calcinada por el fuego originado por las chimeneas que estaban encendidas al momento del terremoto. También se ha escuchado entre la gente común que por las lluvias se sintió más fuerte el temblor. En los datos meteorológicos de la Estación Tepual Puerto Montt Ap. (DMC) hay un registro mensual de agua caída de 654.4 mm entre enero y mayo de 1960 (Figura 5) y una media diaria entre el 1ro y el 22 de mayo de 1960 de 109.2 mm (Figura 5), lo cual justificaría la saturación de agua en el suelo y que posiblemente eso aumentó la amplitud de las ondas sísmicas.

De hecho, al inicio de su relato, Plácido señala:

“Cuando eran las 15 horas 30 minutos, aproximadamente, se sintió un leve movimiento, entonces mi mamá miró por la ventana y vio la oscilación de las aguas que se habían acumulado por la lluvia en las excavaciones”

No cabe duda de que, en un terremoto de cualquier magnitud, se puede asignar un valor de intensidad con la escala Mercalli, porque cada evento y lugar tiene particularidades (distancia al foco y magnitud del sismo, tipo de suelo y tipo de construcción) que pueden variar los efectos que se manifiestan.

CONCLUSIÓN

Esta investigación expone un testimonio verídico del más grande terremoto registrado instrumentalmente en la historia de la humanidad, del cual se pueden identificar muchos elementos para asignar un valor de intensidad en el lugar donde se ubicaba un testigo, Plácido Llarín, ese fatídico 22 de mayo. Una parte muy importante de este relato es la afectación del tsunami, pues la mayor parte de la destrucción se debe a la inundación en las cercanías de la costa.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto del Módulo “La Tierra y sus ondas” del Diplomado en Enseñanza de Ciencias de la Tierra cursado en el segundo semestre del año 2021 en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Las fotografías en color sepia fueron tomadas de la exposición virtual que se montó para conmemorar los 60 años del sismo (Ladera sur, 2020). Pertenecen a la colección de la Familia de Nicolás Arias y que fue

heredada a Ediciones Kultrún, como está señalado en las fotografías. Se agradece las revisiones cuidadosas del Dr. Anthony Ramírez Salazar y de la Lic. Sandra Fuentes Vilchis, la cuales, sin duda, ayudaron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Barrientos, S. E., Ward, S. N. (1990). The 1960 Chile earthquake: Inversion for slip distribution from surface deformation, *Geophys. J. Int.* 103, 589-598.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (2023). Pluviometría diaria (1-22 de mayo de 1960) y mensual (enero – mayo de 1960) de la estación Tepual Puerto Montt Ap (DMC).
- Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN) (2023) Se promulga ley que establece el “Día nacional de la memoria y educación sobre desastres socio-naturales”.
- Duke, C. M. (1960). The Chilean earthquakes of May 1960, *Science* 132, 1797-1802.
- Ladera Sur (2020) A 60 años del terremoto en Valdivia: una exposición virtual para su conmemoración, disponible en línea en sitio web: <https://laderasur.com/articulo/60-anos-del-terremoto-de-valdiviauna-exposicion-virtual-para-su-conmemoracion/> [25/09-2023]
- La Tercera (2023) Terremoto de 1960: el megasismo que aún sorprende a los científicos de Chile y el mundo.
- Lomnitz, C. (2004). Major earthquakes of Chile: A historical survey, 1535-1960, *Seism. Res. Lett.* 75, 368-378.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP), 1961 NCh3.Of61, "Escala de intensidad de los fenómenos sísmicos", vigente por Decreto N°1779, de fecha 09 de agosto de 1961.
- Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) (2023) On This Day: 1960 Chilean Earthquake and Tsunami, disponible en línea en sitio web: <https://www.ncei.noaa.gov/news/day-1960-chilean-earthquake-and-tsunami>
- Richter, C. F. (1958). *Elementary Seismology*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, and London, 768 pp.
- Talley, H. C., Cloud, W. K. (1984). United States Earthquakes, 1960, U. S. Geological Survey Open-File Report 84-960, 90 pp.
- United States Geological Survey (USGS) (2001) Sobreviviendo a un tsunami: lecciones de Chile, Hawái y Japón Programa Nacional de Mitigación de Impacto de Tsunami Preparado en cooperación con la Universidad Austral de Chile, Universidad de Tokio, Universidad de Washington, el Servicio Geológico del Japón, el Museo del Tsunami Pacífico, la Administración Oceanográfica y Atmosférica Nacional y el Centro Internacional de Información de Tsunami.
- United States Geological Survey (USGS) (2023a) Mapa del U.S. Geological Survey (1960-2016).
- United States Geological Survey (USGS) (2023b) M 9.5 - 1960 Great Chilean Earthquake (Valdivia Earthquake).
- Wood H. O, Neumann F.: Modified Mercalli Intensity Scale of 1931. *Bulletin of the Seismological Society of America*, December 1931.

Manuscrito recibido: 2 de octubre de 2023

Manuscrito corregido recibido: 1 de diciembre de 2023

Manuscrito aceptado: 4 de diciembre de 2023



<< El terremoto ocurrió cuando yo tenía 12 años. Vivía en el pueblo de Los Muermos que se encuentra a 30 km al oeste de Puerto Montt, Chile. Todo comenzó a las 14:20 horas...



ENSEÑANZA
COMUNICACIÓN
GEOCIENCIAS

