

**AGOSTO
2026**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



AGOSTO
2026



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

Revista Maya: Revista Maya de Geociencias que (RMG) nace del entusiasmo de profesionistas con la inquietud de difundir conocimientos relacionados con la academia, investigación, la exploración petrolera y Ciencias de la Tierra en general.

El objetivo principal de la revista es proporcionar un espacio a todos aquellos jóvenes profesionistas que deseen dar a conocer sus publicaciones. los fundadores de la revista son *Luis Angel Valencia Flores, Bernardo García Amador y Claudio Bartolini.*

Otro de los objetivos de la Revista Maya de Geociencias es incentivar a profesionales, académicos, e investigadores, a participar activamente en beneficio de nuestra comunidad joven de geociencias.

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si desear participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comuníquese con cualquiera de los editores.

Las notas geológicas tienen como objetivo el presentar síntesis de trabajos realizados en México y en diferentes partes del mundo por jóvenes profesionales y prestigiosos geocientíficos. Son notas esencialmente de divulgación, con resultados y conocimientos nuevos, en beneficio de nuestra comunidad de geociencias. Estas notas no están sujetas a arbitraje.

**Es importante aclarar, que las opiniones científicas, comerciales, culturales, sociales etc., no son responsabilidad, ni son compartidas o rechazadas, por los editores de la revista.*

Portada de la revista: La **Torre de San Sadurniño** está ubicada en una bahía cerca de las aguas del Océano Atlántico, en la histórica villa de Cambados, Galicia, España. La Torre de San Sadurniño fue construida por los fenicios durante el siglo VIII o IX dC, y es testigo de Incontables batallas con los vikingos, bárbaros, y normandos, pero también fue utilizada como faro de luz para ayudar a los buques a llegar con seguridad al puerto. Foto de **Claudio Bartolini**, 2024.

Revista Maya: The Revista Maya de Geociencias (RMG) springs from the enthusiasm of professionals with a desire to distribute knowledge related to academic research, exploration for resources and geoscience in general.

The main objective of the RMG is to provide a place for young professionals who wish to distribute their publications. The founders of the Revista are Luis Ángel Valencia Flores, Bernardo García and Claudio Bartolini.

A further objective of the RMG is to encourage professionals, academicians and researchers to actively participate for the benefit of our community of young geoscientists.

The RMG is published monthly as a PDF file distributed by email and shared through social media. This digital magazine has no commercial aim. It is international and bilingual (Spanish and English). If one wishes to participate or contribute a manuscript, please contact any of the editors.

The geological notes aim to synthesize work carried out in Mexico and other parts of the world both by young professionals and prestigious geoscientists. These notes are produced principally to reveal new understandings for the benefit of our geoscientific community and are not subjected to peer review.

Revista de difusión y
divulgación geocientífica.

EDITORES



Luis Ángel Valencia Flores (M.C.). Ingeniero Geólogo y Maestro en Ciencias en Geología, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán, Ciencias de la Tierra, del Instituto Politécnico Nacional. Cuenta con 25 años de experiencia. Ha trabajado en el Instituto Mexicano del Petróleo, Petróleos Mexicanos, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos, Aspect Energy Holdings LLC, Facultad de Ingeniería de la

UNAM, actualmente es académico del Instituto Politécnico Nacional (posgrado y licenciatura) donde imparte asignaturas especializadas en la caracterización de yacimientos petroleros. Es estudiante del Doctorado en Energía en el IPN, especializándose en la exploración de Hidrógeno Natural y fuentes alternas de energías.

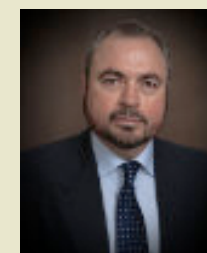
luis.valencia.11@outlook.com
lvalenciaf@ipn.mx



Josh Rosenfeld (Ph.D.). He obtained an M.A. from the University of Miami in 1978, and a Ph.D. from Binghamton University in 1981. Josh joined Amoco Production Company as a petroleum geologist working from 1980 to 1999 in Houston, Mexico and Colombia. Upon retiring from Amoco, Josh was employed by Veritas DGC until 2002 on

exploration projects in Mexico. He has been a member of HGS since 1980 and AAPG since 1981, and currently does geology from his home in Granbury, Texas.

jhrosenfeld@gmail.com



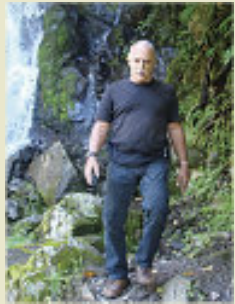
Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio was an associate editor for the AAPG Bulletin and he has edited several books on the petroleum geology of

the Americas. He is a Correspondent member of the Academy of Engineering of Mexico.

Claudio was made an Honorary Member of the AAPG in 2022 in recognition of his service to the Association, and his devotion to the science and profession of petroleum geology.

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



Ing. Humberto Álvarez Sánchez. Más de 5 décadas dedicadas a la geología de Cuba occidental y central. Cartógrafo en los macizos metamórficos y ofiolíticos de Cuba central y editor cubano de la Expedición checoslovaca Escambray II. Autor/coautor de 23 unidades del Léxico Estratigráfico de Cuba y miembro de las subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno de la Comisión del Léxico. Es el descubridor del mayor depósito cubano de fosforitas marinas. Gerente de Operaciones de Geotec, S.A.; dirigió exploraciones de Cu y Au en la Cordillera Central de Panamá y Perú para Juniors canadienses. Country Manager de Big Pony Gold de Utah y Geólogo Senior de Gold Standard Brasil, exploró prospectos de oro en el basamento cristalino de Uruguay y en los Estados de Santa Catarina y Mato

Grosso del Norte. El Ministro de Comercio e Industrias lo nombró Miembro de la Comisión “Ad Honorem” del Plan Maestro de Minería de Panamá. El Banco Interamericano de Desarrollo le encargó de redactar el Proyecto de Geología y Minería y parte de su Misión Especial para su entrega al Gobierno panameño. Anterior Miembro del Consejo Científico de GWL de la Federación Rusa y Representante del BGS en América central. Director de Miramar Mining Panamá y Minera Santeña, S. A., reside en Panamá y redacta obras sobre geología de Cuba y Panamá. En el repositorio Academia edu, se encuentran 22 artículos suyos.

geodoxo@gmail.com



Ramón López Jiménez (Ph.D) es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

Metalogenia, Ecuador y Geomática Aplicada a la Zonificación de Riesgos en Colombia. Tiene en su haber como autor y coautor, tres libros dedicados a la catalogación sismológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sismológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

rodriguez.arteaga@gmail.com



José Antonio Rodríguez Arteaga es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela. Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en



Natalia Silva (MSc): Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Postgrado en Petroleum Geoscience de la Heriot-Watt University y Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universitat de Barcelona. Su carrera empieza en la minería de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Oriental de Colombia y en proyectos mineros de Níquel colombianos. Tiene más de 10 años de experiencia en el sector de hidrocarburos en desarrollo de

yacimientos y geomodelado en cuencas petrolíferas de los Estados Unidos, Colombia, Ecuador y Brasil. Más recientemente, su carrera está enfocada en el aprovechamiento de energías renovables, principalmente de energía solar, ha elaborado proyectos de generación eléctrica a partir de instalaciones fotovoltaicas en Europa y los Estados Unidos.

ensilvacruz@gmail.com



Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniera), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

diegogabriel807@gmail.com



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidorreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx



Rafael Tenreyro Pérez, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la Universidad de Petróleo Gubkin de Moscú, Rusia, en 1987.

Tiene cuarenta y ocho años de experiencia en la Industria petrolera en Cuba y en otros países fundamentalmente en la especialidad de exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo transitó desde ingeniero geofísico de adquisición hasta

Jefe de Exploración de la empresa petrolera nacional de Cuba - Cupet, cargo que ocupó por 16 años hasta su retiro en 2016. Investigador científico también recorre desde Aspirante a Investigador a Investigador Titular. Fue Jefe técnico del programa de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México. Director Técnico del Comisión para la Plataforma Extendida de Cuba. Tiene más de doscientas publicaciones que incluyen artículos científicos, presentaciones en eventos, conferencias, mapas, monografías y libros de texto. Premio de Geología Antonio Calvache Dorado de la Sociedad Cubana de Geología en 1992. En estos momentos trabaja en la empresa australiana Melbana Energy Limited.

tenreyro2015@gmail.com

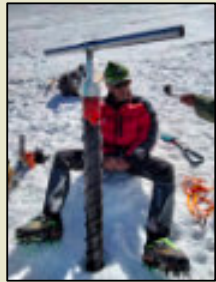


Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

Profesionista inclinada a la Geología aplicada a obras de ingeniería civil y a riesgos geológicos desencadenados por fenómenos antrópicos y naturales. Experiencia en

levantamientos geológico-estructurales, logueo geológico, instrumentación geotécnica, cartografía de riesgos, supervisión de perforaciones y difusión de geopatrimonio.

gleon.laura@gmail.com



Dr. Alejandro Carrillo-Chávez. Ingeniero Geólogo del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en La Universidad de Cincinnati, y Doctorado en la Universidad de Wyoming. Inició su trabajo en el Instituto Mexicano del Petróleo y después inició vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingresó a la Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inició dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

Actualmente es Tutor del Posgrado en Ciencias de la Tierra UNAM. Su maestría fue sobre yacimientos minerales metálicos y su doctorado sobre geoquímica ambiental. Actualmente sus líneas de investigación son: Metales Pesados en Medio Ambiente, Hidrogeoquímica, Geoquímica Isotópica de Metales Pesados e Hidrogeoquímica de Salmueras Petroleras. A la fecha es responsable de un Proyecto UNAM y CONAHCYT sobre Concentraciones de metales e isotopía estable de Zn y Hg en agua de lluvia, nieve y núcleos de hielo en glaciares mexicanos. ambiente@geociencias.unam.mx



La **Dra. Norma E. Olvera Fuentes**, estudió la carrera de Física en la Facultad de Ciencias, su Maestría en el Instituto de Física y su Doctorado en Ciencias de la Tierra, en el ICAyCC, UNAM. Sus líneas de investigación tanto en licenciatura como en maestría versaron sobre el problema cuántico de difracción espacio-temporal de Moshinsky para diversas geometrías.

Bajo la dirección del Dr. Carlos Gay, su investigación doctoral analizó por medio del uso de mapas cognitivos difusos los posibles impactos que el cambio climático puede tener sobre la vulnerabilidad hídrica de la ZMVM. Su tesis doctoral fue galardonada con el Primer Lugar del Primer Premio a la Investigación en Cambio Climático PINCC-UNAM, 2023.

Con casi 20 años de labor docente, ha impartido clases en la Facultad de Ciencias y en la Facultad

de Ingeniería de la UNAM, así como en la División de Ingeniería del Tecnológico de Monterrey, Campus Santa Fe. Institución que le otorgó la Presea por Excelencia Académica como profesora de Cátedra. Como escritora tiene publicados tres libros como única autora y 5 como coautora. El número de Impluvium Gestión Integral de Sequías, en el que el Dr. Gay y la Dra. Olvera son coautores de artículo, es referencia de consulta que el CENAPRED presenta para su curso "Sequías: un reto en la reducción del riesgo", marzo del 2024.

Actualmente la Dra. Olvera es Investigadora Posdoctoral del Instituto de Ingeniería de la UNAM, miembro del Sistema Nacional de Investigadores e invitada como líder de opinión del periódico Excelsior.

norma.olvera@atmosfera.unam.mx



Tertiary mylonites, Catalinas metamorphic core complex, Tucson, Arizona. Photo by Claudio Bartolini.

Estimados Colegas

Ahora que hemos llamado su atención, aprovechamos la oportunidad para invitarlos cordialmente a participar en nuestra Revista Maya de Geociencias, con diversos Temas de Interés y Manuscritos Cortos relacionados a cualquier tema de las Ciencias de la Tierra y similares. Todos los trabajos son bienvenidos, puesto que la función primordial de la revista es la difusión de las geociencias.

Si los manuscritos son relativamente largos, también pueden ser publicados, pero en nuestras Ediciones Especiales de la revista, las cuales no tienen las limitaciones de tamaño, como los números mensuales de la revista.

*Nuestro agradecimiento a **Manuel Arribas Andrés**, un gran fotógrafo y excelente diseñador gráfico Español, por la creación del nuevo logotipo de la Revista Maya de Geociencias y sus indicaciones para la compaginación de la misma.*

Manuel Arribas Andrés. Fotógrafo de España: <https://www.instagram.com/manuel.arribas.andres/>

Normas editoriales de la Revista Maya de Geociencias:

Semblanzas: un máximo de 3 cuartillas.

Notas de pioneros en las geociencias: un máximo de 4 cuartillas.

Temas de interés para la comunidad: un máximo de 6 cuartillas.

Notas Geocientíficas: un máximo de 12 cuartillas.

Nota #1: el máximo de cuartillas es incluyendo figuras. Asimismo, recomendamos que la fuente sea Calibri, No. 11, párrafos justificados, e interlineado de 1,0-1,5.

Nota #2: el manuscrito lo pedimos tanto en WORD como en PDF. Las figuras, junto con sus pies de figuras, se agregan dentro del texto, en el orden que aparecerán (i.e., entre párrafos). Los pies de figura pueden tener un tamaño menor, p.ej., No. 10, eso se los dejamos a su consideración.

Editorial norms for the Revista Maya de Geociencias:

Biographical sketches: A maximum of 3 pages.

Geoscience pioneer notes: A maximum of 4 pages.

Community themes of interest: A maximum of 6 pages.

Geoscience notes: A maximum of 12 pages.

Note #1: Page maxima include figures. We also recommend that the font be Calibri size number 11, with justified paragraphs and line spacings of 1.0 or 1.5.

Note #2: We ask that the manuscript be in WORD as a PDF. The figures, together with their captions, should be added within the text in their order of appearance (i.e. between paragraphs). The figure captions may be in smaller size font; e.g. number 10, at your discretion.

Reglamento de la Revista Maya de Geociencias (RMG)

Los siguientes puntos se fundamentan en la experiencia editorial de más de cinco años (más de 60 números mensuales regulares) de la RMG:

- No se aceptarán temas relacionados a la política de ningún país.
- No se permitirá el manejo de temas religiosos, ni se publicarán materiales relacionados a estos, a menos que sea de carácter cultural.
- Se invita a la comunidad a construir temas que respeten en todo momento la equidad de género.
- Queda estrictamente prohibido cualquier tipo de insulto, comentarios soeces o ataques a individuos, asociaciones, instituciones, gobiernos, o cualquier clase de grupo.
- Es importante aclarar, como se menciona al inicio de cada número de la RMG que, las opiniones científicas, comerciales, culturales, sociales, etc., no son responsabilidad, ni son compartidas o rechazadas, por los editores y colaboradores de la RMG.



In Bloom Editing

In Bloom Editing launched in early 2026. The founder and editor has always had a passion for the written word. She carried that interest to the University of Tampa, where she earned a Bachelor of Arts in English.

Following graduation, she obtained more than 18 years of experience in editing. Of that time, 14 years were spent in geoscience scholarly publishing. She edited books for the American Association of Petroleum Geologists. Then, she edited *The Leading Edge*, a journal of the Society of Exploration Geophysicists.

In both roles, she had the honor of helping geoscientists around the world. While earning a Publication Certificate from the Council of Science Editors, she performed a study on the most commonly requested revisions in the peer-review process to help authors with their submissions.

Through In Bloom Editing, she is happy to continue to help authors with their articles, books, conference papers, and more. There are three main offerings that can be tailored to fit the needs of individual projects.

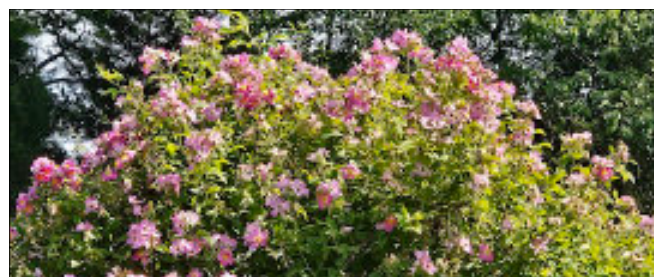
The first is combined Line and Copyediting, which dives into the details of the writing. It improves clarity, consistency, grammar, punctuation, readability, repetition, sentence structure, spelling, and style.

In the second offering, Proofreading, the writing is carefully read again, with attention to remaining refinements. It ensures the previous suggestions have been implemented correctly.

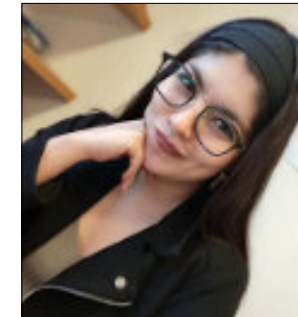
In the third offering, all citations and references are reviewed for accuracy, consistency, and proper formatting. Each is checked against original materials when available.

Each offering is designed to be an uplifting experience. In addition, she is available to help organizations with related tasks. Topics of interest include, but are not limited to, archaeology, natural-hazard mitigation, humanitarian projects, and sustainability.

For more information, visit www.inbloomediting.com or email hello@inbloomediting.com.



Estimados colegas, démosle la bienvenida a Karla Rubio Sandoval y a José Alonso Fernández López, nuevos miembros de nuestro grupo de colaboradores de Revista Maya de Geociencias.



La Dra. Karla Rubio Sandoval es investigadora del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Es doctora en Geociencias por el Centro de Ciencias Marinas Ambientales (MARUM) de la Universidad de Bremen, Alemania. Su investigación se centra en reconstruir la variabilidad espacio-temporal del nivel relativo del mar y comprender la evolución de los sistemas costeros mediante un enfoque interdisciplinario que integra la geomorfología, la sedimentología, indicadores biológicos y datos climáticos. Fue durante sus estudios doctorales cuando consolidó su trayectoria en el estudio de la dinámica costera, analizando depósitos del Plioceno al Holoceno en las costas argentinas y a lo largo del Atlántico suroccidental. Ha participado en diversos proyectos nacionales e internacionales y sus investigaciones han dado lugar a diversas publicaciones científicas. Es una apasionada de la divulgación de las ciencias de la Tierra, participa activamente en charlas, talleres y foros dirigidos a niñas, niños y jóvenes, convencida de que acercar la ciencia a la sociedad es fundamental para comprender y enfrentar los retos ambientales del presente. Actualmente desarrolla investigaciones sobre la evolución de las costas del Golfo de México para comprender la respuesta de estos ecosistemas frente al cambio climático.



José Alonso Fernández López es Doctor en Gestión Tecnológica e Innovación y Maestro en Educación. Con casi dos décadas de experiencia en educación superior, ha trabajado en innovación educativa, diseño de programas académicos y formación en tecnologías emergentes, inteligencia artificial y analítica de datos. En 2016 recibió el Premio Nacional del Trabajo por sus aportaciones a la innovación aplicada a la educación. Es un apasionado de la historia, la tecnología y la divulgación de la ciencia, temas sobre los que escribe con el propósito de acercar el conocimiento a un público amplio.



Revista Maya de Geociencias

Carta de agradecimiento

Reconocimiento por su colaboración en la Revista Maya de Geociencias

La Revista Maya de Geociencias expresa su más sincero agradecimiento al **M. en C. Rodolfo Rafael Avalos Alejandre** por la valiosa colaboración brindada durante el tiempo en que formó parte de nuestro equipo.

Su profesionalismo, compromiso y entusiasmo por la divulgación de las Ciencias de la Tierra contribuyeron de manera significativa al fortalecimiento de nuestra labor editorial y al cumplimiento de la misión de difundir el conocimiento geocientífico entre estudiantes, académicos e investigadores.

Con motivo de la conclusión de su colaboración, el Comité Editorial hace patente su reconocimiento por las aportaciones realizadas y le desea el mayor de los éxitos en sus futuros proyectos académicos y profesionales, con la certeza de que continuará contribuyendo al desarrollo de las geociencias.

Atentamente

Comité Editorial

Revista Maya de Geociencias

Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

Es un gran placer informarles que hemos establecido un Canal Youtube de nuestra Revista Maya para la difusión de videos de temas de Ciencias de la Tierra. Ya iniciamos nuestras actividades en: <https://www.youtube.com/channel/UCYJ94EyLj4LqnVbbTXh5vpA>

Estimados colegas,

Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras comunidades de geociencias.

<http://www.revistamaya.com/>



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

<https://www.facebook.com/groups/430159417618680>



Semblanzas.....	17
Obituarios.....	23
Miscelanea de imágenes.....	25
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	28
Los libros recomendados.....	39

Temas de interés

Sostenibilidad en la transición energética. El cobre, el metal de la revolución por antonomasia	
Natalia Silva Cruz.....	45
Can sea waves produce energy?	
Claudio Bartolini.....	47
Bioplásticos elaborados con residuos de mango: principios, composición y potencial ambiental	
Rojo Cortes Ismari Johari, et al.....	55
Microplásticos y el costo ambiental de la era del plástico	
Nicasio Perea María Guadalupe, et al.....	63
El plástico invisible que comemos y bebemos	
Martínez Sierra María Fernanda, et al.....	70
Plaza de los geólogos en Macuro, Estado Sucre, Venezuela	
Mariato Castro Mora.....	75
La geología en billetes y monedas del mundo	
Jesús s. porras M.....	78
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	89

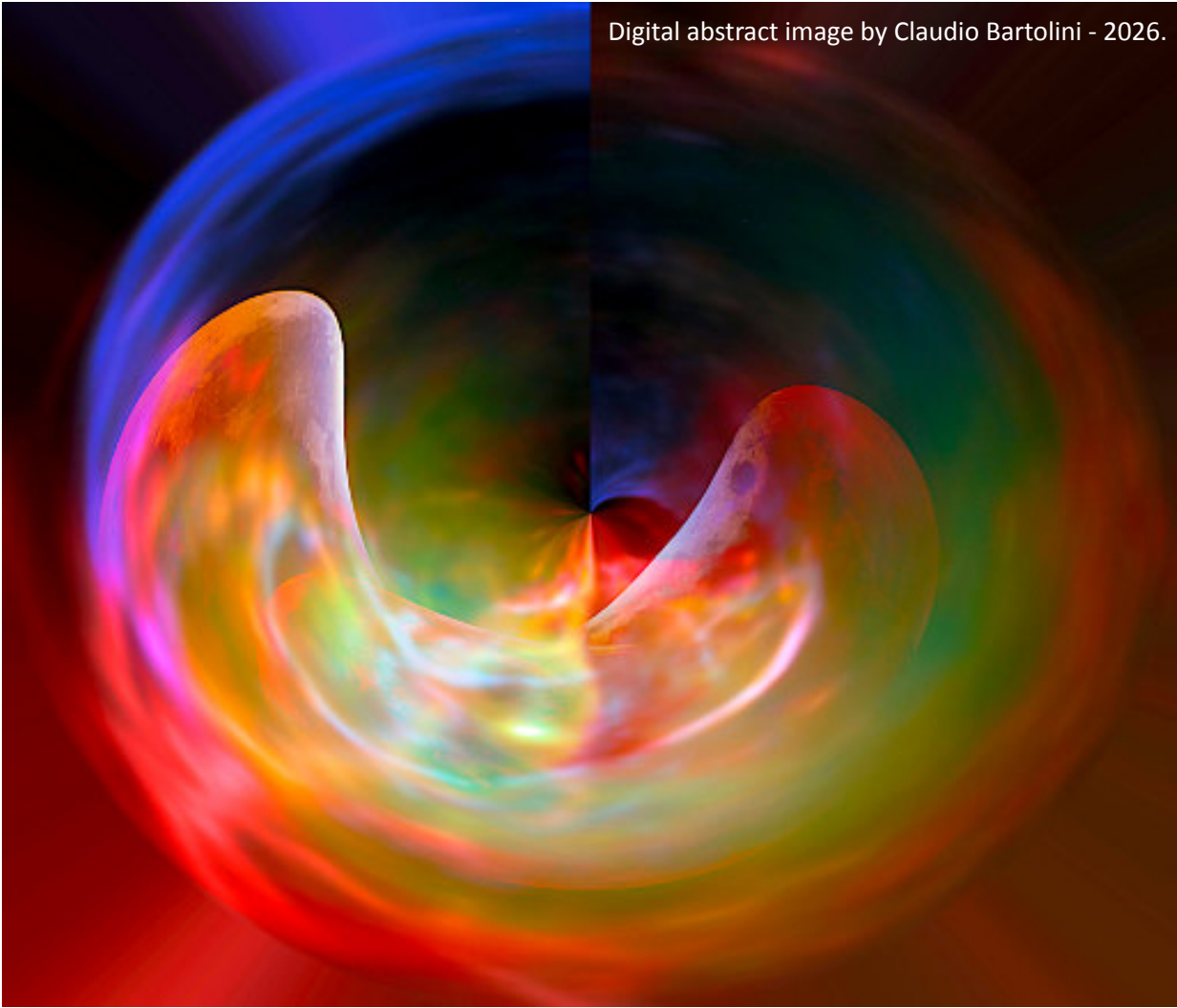
Notas Geocientíficas

Lessons from the Seismic Events in Western Cuba and Northern Venezuela	
Manuel A. Iturralde-Vinent & Enrique Arango Árias.....	98
La digitalización de afloramientos de rocas sedimentarias	
Ramón López Jiménez.....	106
Mapping the Early Eocene Acatepec Paleocanyon, Hidalgo and Veracruz states, E. Mexico	
Stephen P.J. Cossey and Mark Bitter.....	109
Coincidencias geológicas: los dos hermanos	
Armando García Reynoso.....	121
Importancia de tener la estrategia correcta	
Alfredo E. Guzmán.....	126
Ernst Florenz Chladni (1756-1827) y las rocas que cayeron del cielo	
Jhonny E. Casas.....	138
Fundamentos de tectónica global y sismología moderna: un enfoque especial en la dinámica del cinturón de fuego del Pacífico	
Luis Ángel Valencia Flores.....	148
Campo volcánico “El Pinacate”: Una historia contada por rocas	
Martínez-Valencia, D., Enríquez-Navarro, J. A., Velderrain-Rojas, L. A.....	155

Misceláneos

Museos de historia natural.....	165
GeoLatinas - GeoSeminarios.....	166
Venezuelan American Petroleum Association.....	167

Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.....	168
Seminario Institucional de Geofísica.....	169
Quantum Physics Theory.....	170
Caverna del Arte.....	178
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	190
La casa de la energía solar.....	191
Cueva de cristales gigantes, Chihuahua, Mexico.....	192
Asociaciones geológicas hermanas.....	193



Digital abstract image by Claudio Bartolini - 2026.

The best way to predict the future is to invent it.

Alan Kay

SEMBLANZAS

Florence Bascom: 1862 – 1945

Calvo-Ramos Daniela K.
Colaboradora de la Revista

Universidad Tecnológica de Corregidora. Carretera Estatal
413, Km 11.2, Santa Bárbara, C. P. 76924, Corregidora,
Querétaro, México.

*daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

La historia de muchas mujeres que buscan un lugar en la ciencia lamentablemente siempre está marcada por un contexto social donde tenían un mínimo o nulo apoyo por parte de sus familias y amigos. Pero me complace mucho decirles que esta historia es diferente.

Me hizo muy feliz leer la historia de esta gran mujer que tuvo la fortuna de crecer en una familia que la apoyó y motivó siempre. Claro que llegó el punto donde tuvo que enfrentarse a la vida profesional y lamentablemente se dio cuenta lo que muchas mujeres aún pasamos hoy en día... Eres mujer y no puedes hacer lo mismo que un hombre.

Obviamente eso nunca la detuvo y es por lo que tienen que leer esta semblanza, porque si la vida fuera color de rosa, estas grandes historias no existirían y yo no estuviera aquí escribiendo para ustedes jejeje.

La Dra. Florence Bascom (1862–1945) fue una mujer que desafió una de las barreras más sólidas de su tiempo, la idea de que la ciencia, y en particular la geología, era un espacio exclusivo para los hombres. Su historia demuestra que el verdadero avance científico no solo consiste en descubrir nuevas respuestas sobre el mundo, sino también en derribar los prejuicios que impiden que otros puedan formular preguntas.



Florence nació el 14 de julio de 1862 en Williams town, Massachusetts, dentro de una familia que creía profundamente en la educación de las mujeres. Su padre, John Bascom, fue un destacado profesor universitario y posteriormente presidente de la Universidad de Wisconsin. Una de sus primeras decisiones al asumir ese cargo fue permitir el ingreso de mujeres a las aulas universitarias, una medida realmente revolucionaria para la época. Gracias al apoyo incondicional de sus padres, Florence obtuvo dos licenciaturas y una maestría en Geología en dicha universidad, desarrollando una fascinación por el estudio de las rocas y la historia de la Tierra.

Sin embargo, al intentar continuar su formación doctoral, descubrió que el talento no era suficiente cuando se era mujer. La Universidad Johns Hopkins no admitía oficialmente alumnas en sus programas de posgrado y, después de varios meses de insistencia, aceptó que

Florence asistiera a clases bajo condiciones humillantes. No podía matricularse como estudiante regular y debía permanecer sentada detrás de un biombo para evitar que su presencia "distrajera" a los estudiantes hombres. Resulta difícil imaginar que una de las científicas más importantes de la geología estadounidense tuviera que escuchar las clases escondida y rezagada, como si su deseo de aprender fuera un pecado.

Lejos de rendirse, Florence convirtió aquella discriminación en una motivación para demostrar que el conocimiento no tiene género. Mientras muchos dudaban de su capacidad, ella realizó extensos trabajos de campo en condiciones difíciles y aplicó técnicas microscópicas innovadoras para demostrar que numerosas formaciones rocosas, consideradas durante décadas como rocas sedimentarias, eran en realidad antiguas rocas volcánicas transformadas por procesos metamórficos. Su tesis doctoral, presentada en 1893, no solo la convirtió en la primera mujer en obtener un doctorado en la Universidad Johns Hopkins y en la segunda mujer en lograr un doctorado en Geología en los Estados Unidos, sino que también transformó la forma en que los geólogos interpretaban la evolución de los Apalaches y otras regiones montañosas de Norteamérica.

Su carrera científica continuó rompiendo barreras. En 1894 fue la primera mujer elegida miembro de la Geological Society of America y, dos años más tarde, se convirtió en la primera mujer contratada por el United States Geological Survey (USGS), una institución donde hasta entonces el trabajo geológico había sido considerado exclusivamente masculino. Allí realizó importantes levantamientos geológicos en Pensilvania, Maryland y Delaware, convirtiéndose en una autoridad internacional en petrografía, cristalografía, geología estructural y el estudio de las montañas Apalaches. Sus investigaciones permitieron comprender con mayor precisión el origen de diversas rocas metamórficas y establecieron nuevos criterios para su clasificación, aportaciones que continúan siendo referencia dentro de la geología moderna.

Tal vez el mayor legado de la Dra. Bascom no fue únicamente el conocimiento que produjo, sino las oportunidades que creó para otras mujeres. En 1895 fundó el Departamento de Geología del Bryn Mawr College, institución desde formó durante más de tres décadas a la mayor parte de las geólogas estadounidenses de principios del siglo XX. En una época en la que la presencia femenina en la investigación era casi nula, ella construyó un espacio donde las mujeres podían recibir una formación científica del mismo nivel que cualquier hombre. Sus alumnas se convirtieron posteriormente en investigadoras, profesoras y especialistas reconocidas internacionalmente, multiplicando el impacto de su trabajo mucho más allá de sus propias publicaciones.

Con enorme orgullo por sus estudiantes mujeres, Florence escribió en 1931.

"Siempre he dicho que no hay mérito en ser la única de su tipo... Estoy bastante orgullosa del hecho de que parte del mejor trabajo que hoy realizan las mujeres en geología, a la par con el de los hombres, ha sido hecho por mis estudiantes... estas son todas jóvenes notables que serán un crédito para la ciencia de la geología."

Esa filosofía resume perfectamente su vida, no luchó para ser una excepción, sino para que algún día dejara de ser necesario hablar de excepciones.

La Dra. Florence Bascom falleció el 18 de junio de 1945, pero nos dejó el principio de una transformación profunda tanto en la geología como en la educación científica de las mujeres. Hoy es recordada como una de las fundadoras de la geología moderna en Estados Unidos, pero también como una pionera que comprendió que el conocimiento solo alcanza su máximo valor cuando abre caminos para quienes vienen detrás.

Gracias a mujeres como ella, innumerables científicas pudieron ocupar laboratorios, aulas y expediciones geológicas sin tener que permanecer ocultas detrás de un biombo para demostrar que también pertenecían al mundo de la ciencia.



Florence Bascom (centro, mirando a la cámara) con un grupo de mujeres estudiantes en el campo en 1917.

Referencias

- Aldrich, M. L., 1990, Women in geology, in Kass-Simon, G., and Farnes, P., eds., Women of science: Righting the record: Bloomington, Indiana University Press, p. 42–71.
- Arnold, L. B., 1983, The Wissahickon controversy: Florence Bascom vs. her students: Earth Sciences History, v. 2, p. 130–144.
- Bascom, F., 1893, The structures, origin, and nomenclature of the acid volcanic rocks of South Mountain: Journal of Geology, v. 1, p. 813–832.

Ogilvie, Ida H., 1945, Florence Bascom 1862–1945: Science, v. 102, p. 320–321.

Rossiter, M.W., 1981, Geology in nineteenth-century women's education in the United States: Journal of Geological Education, v. 29, p. 228–232.

Smith, I.F., 1981, The stone lady: A memoir of Florence Bascom: Bryn Mawr, Pennsylvania, Bryn Mawr College, 49 p.



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidorreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

Rafael Socorro Trujillo: 1948 – 2026

Por Rafael Tenreiro -Pérez

En 1964, Rafael Socorro concluye sus estudios de Escuela Básica para Profesores de Idioma Ruso “Máximo Gorki”. Ese mismo año comienza a trabajar como profesor de ese idioma en el Instituto Preuniversitario Raul Cepero Bonilla. Toda su vida se mantuvo cercano a sus alumnos del preuniversitario, muchos de ellos contemporáneos con él, fue una de las facetas importantes de su vida: pedagogo. En 1965, matriculó en el Instituto Pre-Universitario para trabajadores “V.I. Lenin”, de La Habana. Graduado en 1968. Viaja a la Union Soviética, ingresando en el Instituto Azerbaidjano de Química y Petróleo en Bakú, donde se gradúa de ingeniero geólogo especializado en la exploración de yacimientos de petróleo.

Comienza a trabajar en 1973, en la Dirección General de Geología y Geofísica integrando el grupo de síntesis de toda la información geológica, geoquímica y geofísica petrolera existente. Bajo la dirección de Konstantin Alexandrovich Kleshchev y Vasily Stepanovich Shein, integra al numeroso grupo de científicos soviéticos y cubanos que evaluó el potencial exploratorio de Cuba y su plataforma continental sobre bases científicas. Como resultado de este trabajo, se planificaron las áreas donde se concentraran los trabajos exploratorios. Los desarrollos científicos de aquel grupo fueron la base tanto para los trabajos geofísicos, como la perforación exploratoria. En 1979 fue nombrado subdirector de petróleo del Centro de Investigaciones Geológicas y desde 1982, Investigador Titular.

Comienza sus estudios de doctorado en 1979 y en 1983 defiende su tesis: “Constitución geológica, características de ubicación de las acumulaciones de petróleo y gas. Complejo racional de trabajos de exploración” en el Instituto de la Industria Química del petróleo y del gas de



Moscú. “I. M. Gubkin”. Por un corto periodo de tiempo, desde 1982 hasta 1988, pasa a trabajar a la Comisión de Energía Nuclear de Cuba. Regresa al petróleo como investigador en el Centro de Investigaciones del Petróleo, desde entonces y hasta el 2026, trabaja al frente de varios proyectos de investigación científica.

Trabajo en la evaluación de dominios geológicos para exploración petrolera, sobre los sistemas petroleros en el cinturón de cabalgamientos cubano, tanto de la región occidental como oriental y en la geología estructural y regional de la isla de Cuba y su plataforma continental. En la década de los años noventa, Rafael Socorro formó parte del grupo de científicos que participo en las negociaciones con empresas extranjeras para contratos de producción compartida, lo que llevó a la firma del primero en diciembre de 1990. Los científicos petroleros cubanos se vieron involucrados en la confección de una serie de informes de evaluación de las diferentes áreas y bloques exploratorios. Tuvo una participación muy destacada en la confección del primer informe no exclusivo de evaluación del potencial de hidrocarburos de la República de Cuba y su paquete de datos en cooperación. En este sentido, tuvo una alta repercusión internacional el artículo publicado en el Journal of Petroleum Geology en marzo de 1991¹. Fue

líder de varios proyectos de investigación científica y de exploración, así como experto consultante para la exploración de petróleo para organizaciones de la URSS, Francia, Canada, Brasil, Rusia y otros. Miembro de varios grupos de expertos y comisiones consultivas de Cuba.

Socorro tenía especial atracción hacia la enseñanza. Fue Profesor Auxiliar de la Universidad de Pinar del Rio en asignaturas como Geología del Petróleo, Interpretación Integral de datos geofísicos y Geología Estructural tanto de pregrado como de posgrado. Fue tutor de varias tesis de grado, maestría y doctorado.

Premios

- Medalla “René Ramos Latour”. 1998

-Premio Nacional “Antonio Calvache Dorado” otorgado por la Sociedad Cubana de Geología en el año 2000.

- Premio Nacional de Ingeniería 2003 de la Union Nacional de Arquitectos e Ingenieros de Cuba (UNAIC)

Participa de forma sistemática en Congresos Científicos Nacionales e Internacionales. Miembro Fundador de la Sociedad Cubana de Geología (SCG), miembro de la UNAICC y de la Sociedad Económica Amigos del País.

Rafael Socorro trabajó virtualmente hasta el último aliento, una repentina enfermedad le arrebató la vida a este trabajador incansable, siempre dispuesto a compartir sus experiencias con los más jóvenes. Fue explorador de pura sangre y fino olfato, referencia obligada en muchas especialidades de la geología cubana.

Le sobreviven sus hijos Amílcar y Ariel Socorro Quillarón.

Publicaciones

Echevarria-Rodríguez, G., Hernández-Pérez, G., López-Quintero, J., López-Rivera, J., Rodríguez-Hernández, R., Sánchez-Arango, J., Socorro-Trujillo, R., Tenreiro-Pérez, R. Iparraguirre-Pena, J., 1991, Oil and gas exploration in Cuba: Journal of Petroleum Geology, 14(3), 259-274

Hernández-Perez Guillermo; Malovitsky Y.; Socorro Rafael. 1990 Informe Sobre La Generalización De Los Datos Geológico - Geofísicos En La Region Varadero-Cárdenas-

Martí-Corralillo En relación con sus perspectivas gasopetrolíferas (Segunda Parte) Ceinpet Archives Man. No. 1283

López-Acosta, S., Juara-Zulueta, M., Socorro-Trujillo R. “Adquisición sísmica y procesamiento de los datos en la ZEE de Cuba. Imagen sísmica e interpretación del sector oriental y estructuras detectadas”. II Congreso Cubano de Geofísica, 2002, Cuba

López-Acosta, S., Socorro Trujillo, R., Juara-Zulueta, M., 2001. Delimitación de nuevas estructuras en el cinturón de crudos pesados por la impetración sísmica geológica computarizada y manual. En: IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001, La Habana, marzo 19-23.

López-Acosta, S., Socorro Trujillo, R., Sánchez-Arango, J.R., y Juara-Zulueta, M., 2003. Característica de la imagen sísmica de la ZEE de Cuba en la región occidental del Golfo de México. Memorias Geomin 2003, La Habana.

Lopez-Rivera J.G., Otero R., Socorro R., Rodriguez R., Tenreiro R., Rodriguez L. Contribución A La Tectónica Regional De Cuba. Aspectos Relacionados Con El Potencial Y La Exploración De Hidrocarburos. Manuscrito. Año: 1996

López-Rivera, J. G.; G. Echevarría; R. Tenreiro; J. R. Sánchez; R. Socorro; J. O. López-Quintero; J. Álvarez; S. Valladares y R. Segura, 1995, La geología de los sistemas petrolíferos de Cuba, Centro de Investigaciones del Petróleo, Ciudad de La Habana (Informe Interno), 256 p.

Rodriguez-Hernández Rodobaldo, Tenreiro Pérez Rafael, Lopez Acosta Sofia, Socorro Trujillo Rafael, Domínguez Garcés René, Álvarez Castro José, Juara Zulueta Margarita, Domínguez Alberto, Sosa Blanca Resultados principales de la exploración petrolera en tierra firme y aguas someras en el periodo 2002 – 2004. Convención de 2005. VI Congreso de Geología. Geología 2005 I Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. Abril 5 – 8, 2005.

Sánchez-Arango, J.R., Socorro Trujillo, R., López, S., Sorá, A., Domínguez, R., y Toucet, S., 2003. Estratigrafía integrativa aplicada en la zona económica exclusiva (ZEE) de Cuba en el sureste del Golfo de México. En: V Congreso

Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2003, La Habana, marzo 24-28.

Sánchez-Arango, J.R., Tenreyro-Pérez, R., Socorro, R., Blanco-Bustamante, S., y Brey, D., 1998. Relaciones cuenca-plataforma en el paleo margen continental Bahamas-Cuba: estratigrafía, sedimentogénesis y paleogeografía. Tercer Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias, Geología y Minería - Memorias 98 Tomo II, pág. 312-315, La Habana.

Shein V. S., Kleshev K.A., Arzhewski G. A., Socorro R., Rodríguez R., Sánchez J., Furrázola G., Segura R., García R., Tenreyro R. Perspectivas gas petrolíferas de la República de Cuba - 1981 x En el libro: Cuencas gas petrolíferas de los países socialistas de Europa y la República de Cuba. Ed. CAME (en ruso) Moscú. Pág. 348-376

Shein, V.S., Kleschov, K.A., Iparraguirre, J.L., García, E., López-Rivera, J.G., Socorro, R., y Lopez, J.O., 1985. Mapa tectónico de Cuba: Escala 1: 500 000. Tecnológica, 15 (1): 37-40.

Socorro-Trujillo R., Rodríguez Hernández, R., Juara-Zulueta, M., "Zonación estructuro-facial del cinturón plegado y del sistema del antepaís en el Sector Oriental de

la ZEE de Cuba basada en los datos geofísicos" II Congreso Cubano de Geofísica, 2002, Cuba

Socorro-Trujillo, R., López, S., Juara, M., Sorá, A., Sánchez-Arango, J.R., y Prol Betancourt, J.L., 2001. Geología de los yacimientos con crudos pesados en la costa norte. IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001, La Habana, marzo 19-23.

Socorro-Trujillo, R., Rodríguez Hernández, R., y Domínguez Garcés, R., 2003. Estructura geológica de la zona económica exclusiva de Cuba en el Golfo de México. En: V Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2003, La Habana, marzo 24-28.

Socorro-Trujillo, R., Sánchez, J., 1989. Particularidades de la formación de las estructuras locales en la región gasopetrolífera norte-cubana. Publicación técnica del Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo, No.2: 3-16.

Socorro-Trujillo, R., Sánchez-Arango, J.R., y Kuznetsov, V., 1986. La búsqueda de arrecifes en Cuba. Serie Geológica, Centro de Investigaciones del Petróleo, 3: 64-73.

Socorro-Trujillo, R., y Sánchez-Arango, J.R., 1989. Las zonas de acumulación gasopetrolíferas en la cuenca norte cubana. Serie Geológica, Centro de Investigaciones del Petróleo, Número Especial, 1: 30-45.

¹Echevarria-Rodríguez, G., Hernández-Pérez, G., López-Quintero, J., López-Rivera, J., Rodríguez-Hernández, R., Sánchez-Arango, J., Socorro-Trujillo, R., Tenreyro-Pérez, Yparraguirre-Pena, J., 1991, Oil and gas exploration in Cuba: Journal of Petroleum Geology, 14(3), 259-274



Rafael Tenreyro Pérez, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la Universidad de Petróleo Gubkin de Moscú, Rusia, en 1987.

Tiene cuarenta y ocho años de experiencia en la Industria petrolera en Cuba y en otros países fundamentalmente en la especialidad de exploración de yacimientos de petróleo y gas. Durante este tiempo transitó desde ingeniero geofísico de adquisición hasta

Jefe de Exploración de la empresa petrolera nacional de Cuba - Cupet, cargo que ocupó por 16 años hasta su retiro en 2016. Investigador científico también recorre desde Aspirante a Investigador a Investigador Titular. Fue Jefe técnico del programa de exploración en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México. Director Técnico del Comisión para la Plataforma Extendida de Cuba. Tiene más de doscientas publicaciones que incluyen artículos científicos, presentaciones en eventos, conferencias, mapas, monografías y libros de texto. Premio de Geología Antonio Calvache Dorado de la Sociedad Cubana de Geología en 1992. En estos momentos trabaja en la empresa australiana Melbana Energy Limited.

tenreyro2015@gmail.com

OBITUARIOS

Massimiliano Masini: 1976 - 2026



Massimiliano Masini en los Alpes Suizos, September, 2014. Foto de Gonzalo Abeger.

Massimiliano fue un excelente geólogo, un gran ser humano, y buen amigo, lo echaremos de menos.

Colegas y amigos.

Massimiliano Masini fue un geólogo estructural italiano cuya trayectoria profesional y científica se desarrolló entre la industria energética internacional y la investigación académica, siempre guiada por una profunda pasión por la Geología.

Licenciado en Geología por la Universidad La Sapienza de Roma, tras finalizar sus estudios obtuvo una beca de introducción a la investigación que le permitió incorporarse a la Universidad de Oviedo, un acontecimiento que marcaría su trayectoria profesional y su vida personal. Durante su estancia en Oviedo obtuvo el Diploma de Estudios Avanzados y estableció una estrecha vinculación con el grupo

de Geología Estructural, con el que mantuvo una colaboración científica y una amistad que perduraron durante toda su vida. Fue también en Oviedo donde conoció a quien sería su esposa. Posteriormente, amplió su formación cursando un Máster en el Royal Holloway, University of London, y desarrolló una destacada carrera profesional en Repsol-YPF y Repsol, acumulando una dilatada experiencia internacional en exploración y producción de hidrocarburos. En 2018 retomó su actividad académica incorporándose como estudiante de doctorado a tiempo parcial en la Universidad de Oviedo. Su actividad profesional e investigadora se tradujo en publicaciones en el ámbito de la geología estructural y la tectónica. Fue un firme defensor de la colaboración entre la universidad y la empresa, compartiendo, generosamente, su experiencia con estudiantes y jóvenes investigadores.

Quienes tuvimos la fortuna de conocerle le recordaremos, sobre todo, como una persona buena y cercana, siempre dispuesta a ayudar y a colaborar. Su fallecimiento supone una enorme pérdida para su familia, para sus compañeros de la Universidad, para sus colegas de Repsol y para la comunidad internacional de amigos y colaboradores con quienes compartió proyectos, investigaciones y trabajo de campo. Colegas y amigos de la Universidad de Oviedo y de Repsol.

Agradecemos profundamente a Josep Poblet y a Mayte Bulnes, profesores de la Universidad de Oviedo, España, por la preparación del obituario, y a Joan Flinch y Gonzalo Abeger por la fotografías.

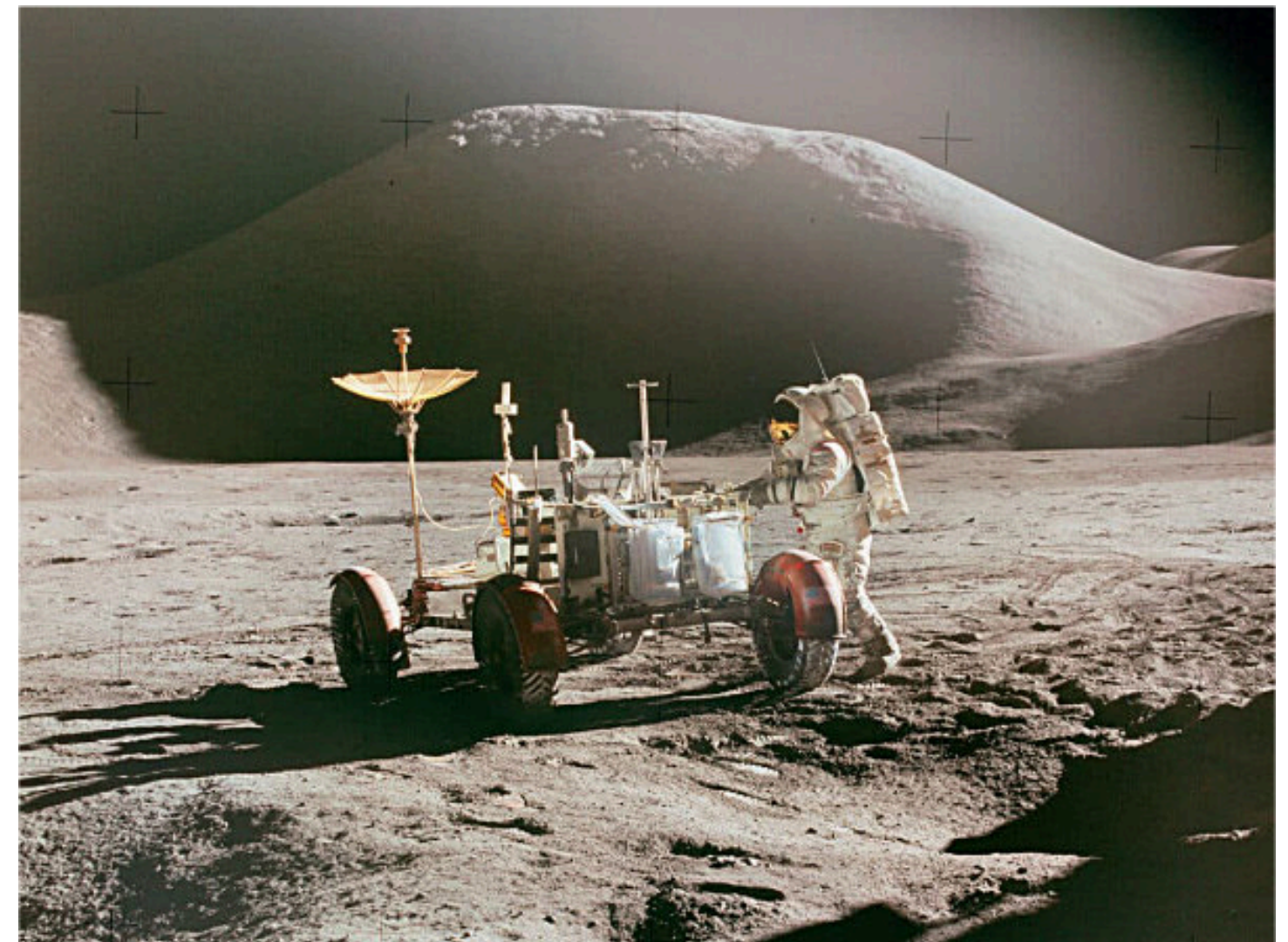


Reunión para el viaje de campo en La Cordillera Bética, 2016. Fotografía de Joan Flinch.

Miscelanea de Imágenes

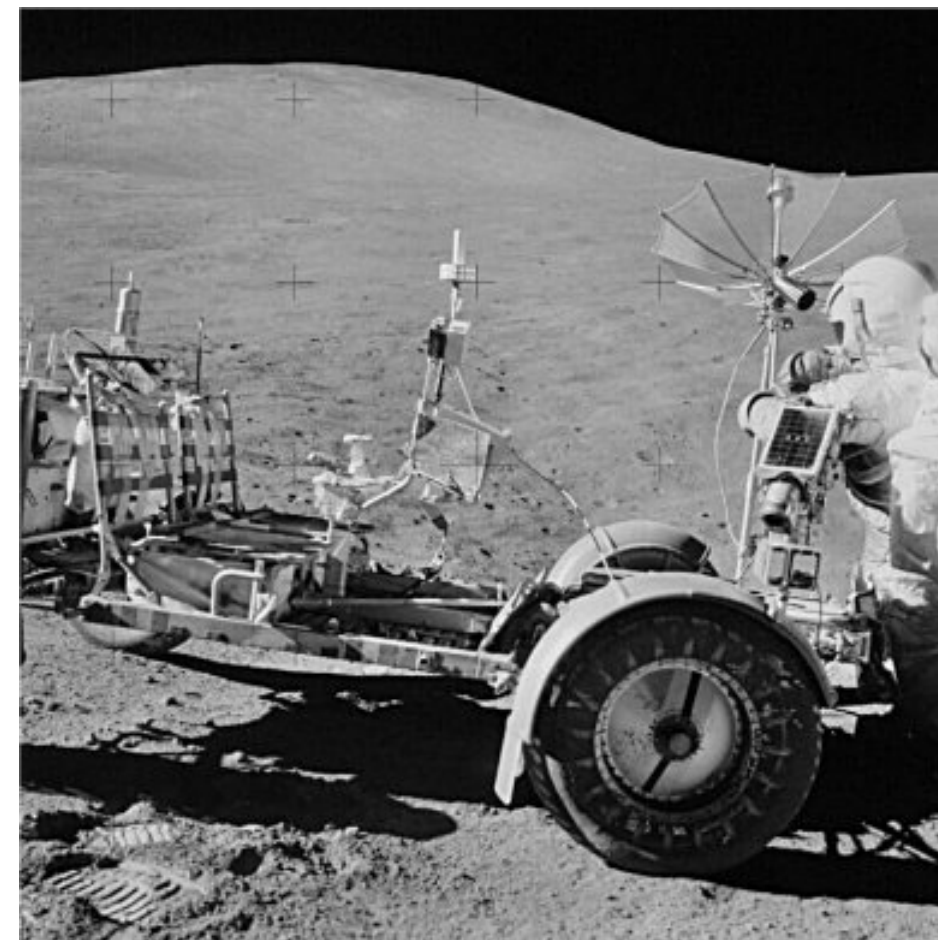
Publicación masiva de imágenes impresionantes del hombre en la Luna tomadas por las misiones Apolo de la NASA

<https://astroaventura.net/mundocurioso/publicacion-masiva-de-imagenes-impresionantes-del-hombre-en-la-luna-tomadas-por-las-misiones-apollo-de-la-nasa/>





El astronauta Charles Duke, piloto del módulo lunar de la misión Apolo 16, explora la región de Descartes en la Luna. En el fondo se observa el Lunar Roving Vehicle (LRV), utilizado para la exploración del terreno. Imagen capturada con una cámara Hasselblad de formato medio el 23 de abril de 1972." Crédito: NASA



El astronauta James B. Irwin, piloto del módulo lunar de la misión Apolo 15, inspecciona el Lunar Roving Vehicle (LRV) en la región de Hadley-Apennine. Apolo 15 fue la primera misión en utilizar el rover para explorar la superficie lunar. Imagen capturada con una cámara Hasselblad en julio de 1971." Crédito: NASA



El astronauta y geólogo Harrison H. Schmitt, de la misión Apolo 17, examina un gran bloque de roca en el valle de Taurus-Littrow. La imagen ilustra la escala del terreno lunar y la importancia del estudio geológico en la última misión tripulada a la Luna. Imagen capturada con una cámara Hasselblad en diciembre de 1972." Crédito: NASA

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Gonzalo José Luna Rodríguez

Dependencia espacial del azufre y nitrógeno mineralizable del suelo como fundamento al manejo de fertilización sitio específico.

Universidad de Concepción, Chile. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agronómicas con Mención en Ciencias del Suelo y Recursos Naturales. 2017.

Sustentante: **Gonzalo José Luna Rodríguez.**

Director de Tesis: Carolin Córdova Sáez.

Resumen

El nitrógeno (N) y el azufre (S), son determinantes en la productividad de un cultivo, y son deficientes a nivel mundial. El suministro natural de estos nutrientes proviene de la mineralización de la materia orgánica, pero este proceso varía específicamente según el sitio de producción, lo que generalmente es ignorado. El objetivo de esta investigación fue evaluar la dependencia espacial del S y N mineralizable a escala de campo en dos sitios contrastantes, de manera de optimizar el muestreo para análisis de procesos biológicos que se encuentren autocorrelacionados espacialmente y definir áreas de manejo para la aplicación diferenciada de fertilización combinada N-S. Se aplicó un diseño espacial anidado (n=96), utilizando distancias de 121,5m, 40,5m, 13,5m, 4,5m y 1,5m, en dos suelos, Inceptisol (34° S, 71° O, 153 msnm, 6-ha) y Andisol (37° S, 72° O, 268 msnm, 36-ha) respectivamente. La mineralización de N y S se midió a través de incubación abierta por 56 días, usando CaCl₂ (0,01 M), y posterior determinación por cromatografía iónica. La dependencia espacial fue a través de la aproximación al variograma usando probabilidad máxima residual y acumulación de varianza. La dependencia espacial de la mineralización de S fue de 40 m en ambos suelos, igual que la de N medida en el Andisol. Esto indicaría que un muestreo espacial 2 que pretenda autocorrelacionar espacialmente el suministro de S y N debería considerar un espaciamiento entre muestras de 40 m.

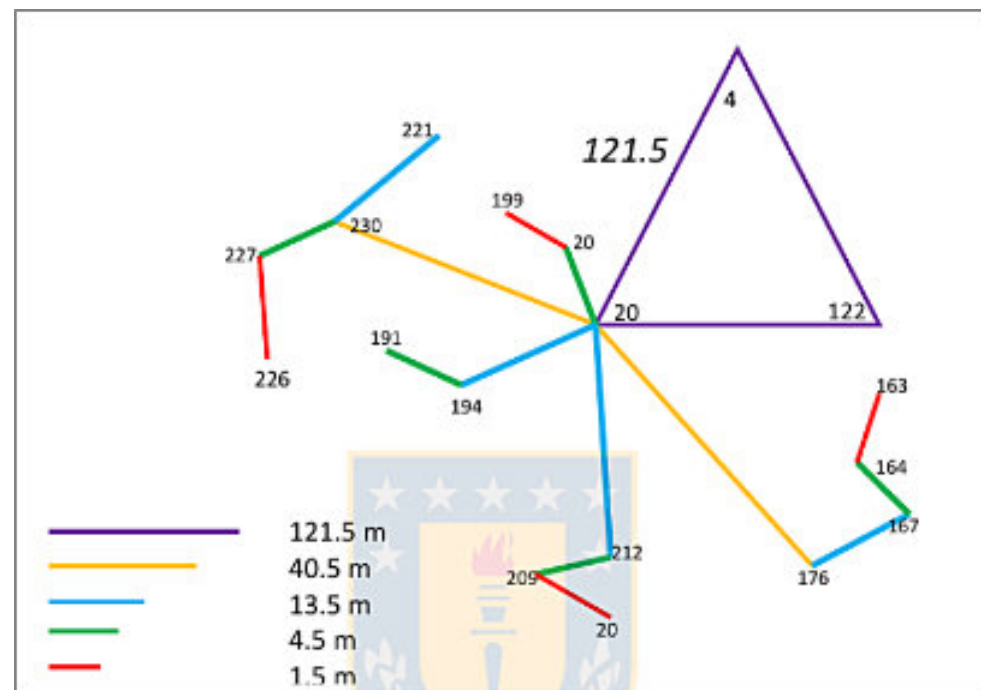


Figura 1.1. Diseño de muestreo anidado optimizado utilizado en terreno. Las distancias consideradas como fuentes de variación involucradas en la dependencia espacial de la mineralización de S y N, fueron las distancias de 121,5 m, 40,5 m, 13,5 m, 4,5 m y 1,5 m, respectivamente.

<https://doi.org/10.1016/j.marger.2026.207845>



Structural evolution and salt tectonics of the western onshore Sureste Basin, Southern Gulf of México

Oscar Vázquez-García ^{a,*}, Mark G. Rowan ^b, Luis E. Salomón-Mora ^a, Rolando H. Peterson-Rodríguez ^a, Irasema S. Olvera-Barroso ^a, María L. Gutiérrez-Galicia ^a, Cesar A. Cuapio-Peréz ^a, Ricardo Sandoval-Silva ^a, Mireya Osorio-Rosales ^a, Rubén D. Gómez-Rodríguez ^a, Josep Anton Muñoz ^c

^a PEMEX E&P, Gerencia de Estudios Regionales, Sitio Grande 3000, Villahermosa, Tabasco, 86035, México

^b Rowan Consulting, Inc., 850 8th St., Boulder, CO, 80302, USA

^c Institut de Recerca Geomodels, Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Universitat de Barcelona, Barcelona, 08028, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:
Salt tectonics
Thick-skinned inversion
Salt diapirs
Sureste Basin
Gulf of México

ABSTRACT

The Sureste Basin, southern Gulf of México, is unusual in that it has a long history of non-coaxial deformation, both gravity-driven and orogenic, both thin-skinned and thick-skinned, and both salt- and shale-detached. Advanced 3-D seismic reprocessing tied to well data and surface exposures enabled development of an updated tectonic framework. Three structural domains are identified: proximal, distal, and marginal at the junction with the Chiapas fold-and-thrust belt. Mesozoic extensional rollovers, expulsion rollovers, and counterregional diapirs are common in the proximal domain. Structures in the distal domain include elliptical Mesozoic primary basins, a polygonal array of thin-skinned Paleogene-Neogene contractional structures, and late extensional faults rooted mostly in diapirs and canopies. The marginal domain is characterized by Neogene thick-skinned basement inversion later affected by left-lateral strike-slip faulting at the Cerro Pelón uplift. Regionally, the initial trigger for Late Jurassic salt movement was convergent gravity gliding, but locally, differential loading and post-salt thick-skinned extension acted in the proximal and marginal domains, respectively. Vertical loading gradually became more important in contributing to further salt-related deformation. In the Paleogene, differential loading and orogenic contraction were the main drivers, while for the Neogene both thin- and thick-skinned shortening became dominant. Late thin-skinned extensional systems were mainly driven by gravity-spreading. Key applications to subsalt exploration at both regional and prospect scales include updated structural models as analogs for underexplored onshore areas, identification of local zones of non-deposition of both source and reservoir rocks, detailed mapping of three-way closure traps against salt, and predictive models for fracture development along squeezed diapirs.

1. Introduction

The Sureste Basin, located in the Southern Gulf of México, is the conjugate margin to the Louann Salt Basin in the Northern Gulf, with both provinces having shared a common tectonic evolution prior to the onset of breakup in the earliest Late Jurassic. (Fig. 1; Marton and Buffler, 1994; Cruz-Mercado et al., 2011; Hudec et al., 2013; Hudec and Norton, 2019; Shann et al., 2020; Davison, 2020; Hassan and Mann, 2021; Rowan, 2022; Dooley & Hudec, 2024).

The Sureste Basin name was originally coined in the late 1940s to refer to a set of onshore and shallow-water sub-basins extending from the northern limit of the Chiapas fold-and-thrust belt to the continental shelf (Padilla y Sánchez, 2007; Clara-Valdés et al., 2009; PEMEX, 2010; CNH, 2014). However, recently published works (Davison, 2020; Shann, 2020) have expanded the Sureste Basin area to cover the full extent of the salt basin in the onshore, shallow and deepwater areas the southern Gulf of México basin. In this work we favor the latter definition as it reduces the confusion with previous divisions into smaller sub-basins.

* Corresponding author. PEMEX E&P, Gerencia de Estudios Regionales, Sitio Grande 3000, Villahermosa, Tabasco, 86035, México
E-mail addresses: ovazquezg17@alumnes.ub.edu, oscar.vazquezg@pemex.com (O. Vázquez-García).

<https://doi.org/10.1016/j.marger.2026.207845>

Received 27 February 2026; Received in revised form 24 May 2026; Accepted 25 May 2026

Available online 4 July 2026

3117-5775/© 2026 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

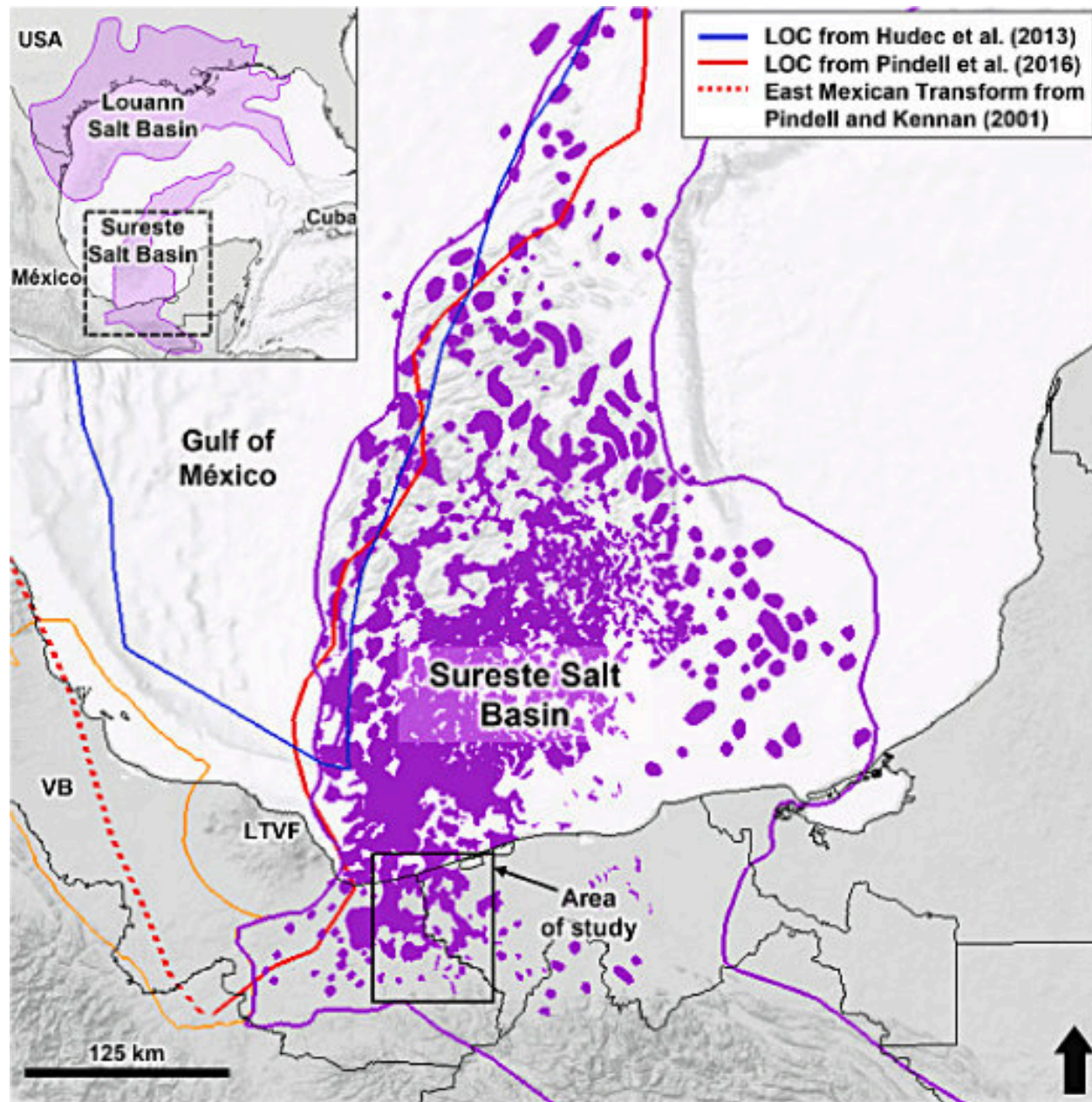
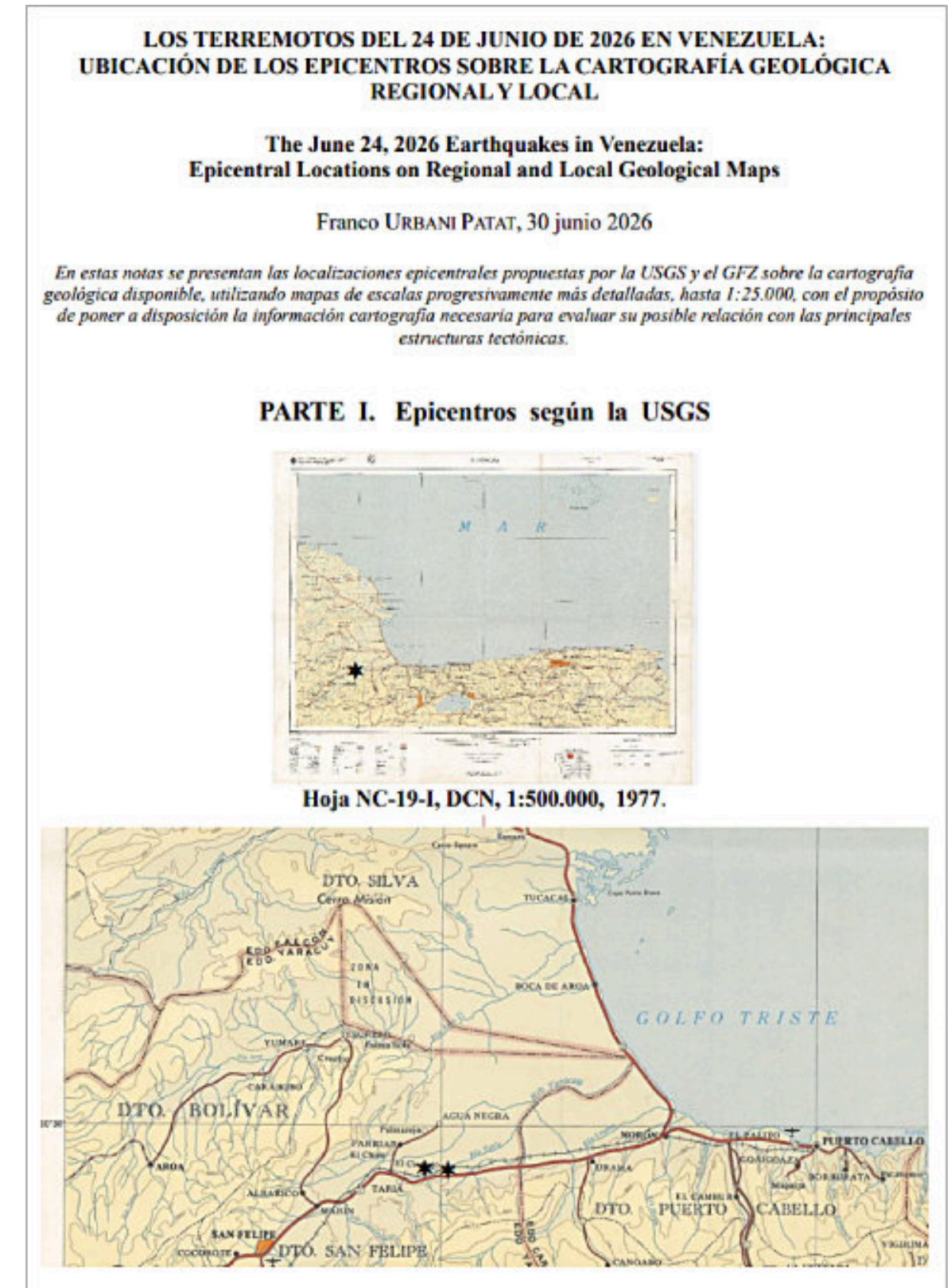


Fig. 1. Bathymetric and topographic map of Southern Gulf of México area from ASTER model (NASA, 2019) , showing the Sureste Basin and area of study. Filled purple polygons are diapirs and canopies from unpublished PEMEX 3-D seismic mapping (2024-2025), Davison (2020), and Dooley & Hudec (2024). Selected Limits of Oceanic Crust (LOC) in dashed blue and red lines. The inset map shows the distribution of salt on the conjugate margins of the Gulf of México from Hudec et al. (2013) and Davison (2020). VB: Veracruz Basin, LTVF: Los Tuxtlas Volcanic Field.

<file:///Users/claudiobartolini/Downloads/Terremoto-Venezuela-26-6-2026-epicentros-enmapas-geologicos.pdf>



Caracterización e interpretación de estructuras primarias de deformación en jales mineros de Guanajuato, México.

Universidad de Guanajuato, México. Tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Agosto 2019.

Sustentante: **Suri Elena Hernández Mancilla.**

Resumen

Este trabajo de investigación documenta las estructuras primarias de deformación en sedimentos blandos en los depósitos de jales mineros originados por la actividad antropogénica desarrollada a principios del siglo XX en el distrito minero de Guanajuato. El distrito minero de Guanajuato se encuentra entre dos grandes provincias volcánicas de México: Sierra Madre Occidental (SMO) (Oligoceno) y el Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB) (Oligoceno-Mioceno), su origen se debe al descubrimiento de depósitos de plata y oro durante 1552. La producción minera generó grandes cantidades de jales mineros que se depositaron en los canales de ríos, lagunas, barrancos y valles. Cuando en las cercanías de algunos sitios mineros no había lugares naturales (para depositar el material del beneficio) los empresarios mineros solían acumular jales en áreas de contención construidas con terraplenes erigidos con los mismos jales y una vez que los depósitos se agotaron, estos fueron abandonados. Este estudio se centra en tres depósitos de jales mineros (La Cooperativa, Cerro del Cuarto y Nieto Piña) ubicados alrededor de la ciudad de Guanajuato, que constan de facies sedimentarias (deformación de los sedimentos blandos constituidos por pliegues a pequeña escala, estructuras de flama, canales, ondulación y convolutas) que incluyen gravas no consolidadas, areniscas estratificadas, limolitas y lodolitas. Estas características de deformación son atribuidas a cambios de presión de poro, principalmente causados por el escape de fluido durante los procesos de fluidización y licuefacción estática los cuales no están asociados a eventos sísmicos.

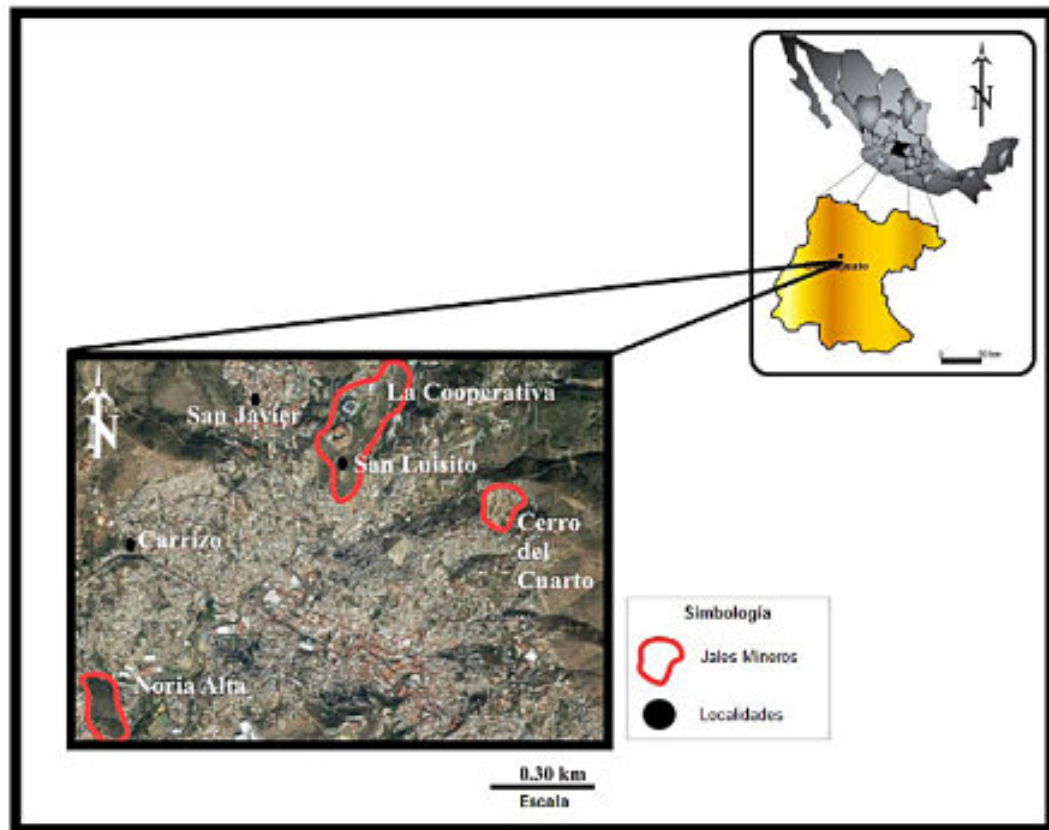
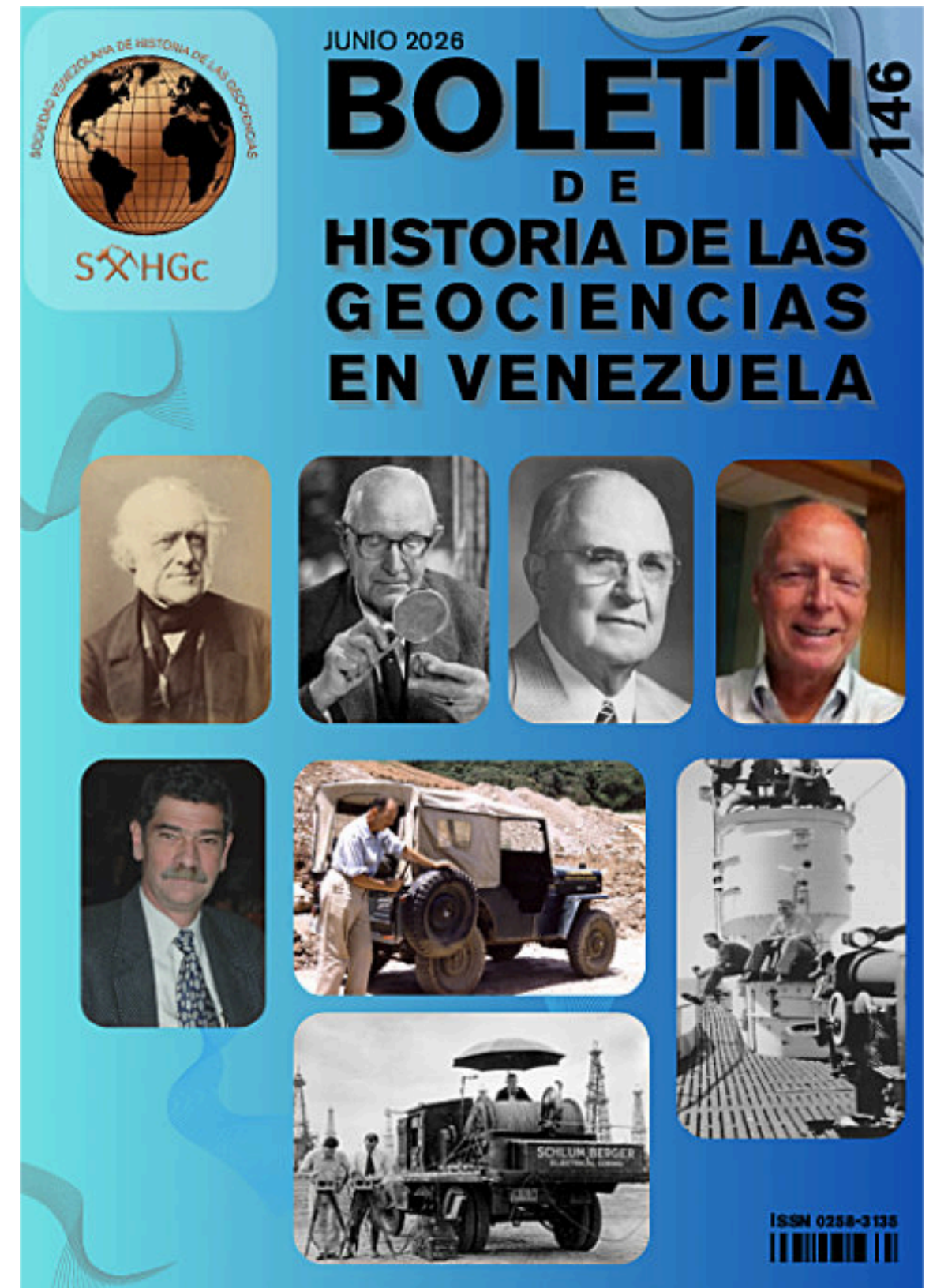


Figura 1.1. Ubicación del área de estudio.

<https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:51d47db5-1d9e-47e1-847e-03150301be91>



Simulaciones MHD de la interacción de viento estelar con la magnetósfera de TRAPPIST-1E.

Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis que para obtener el título de Licenciada en Geociencias. Enero 2026.

Sustentante: **Natalia Baltazar Pérez Negrón.**

Directores de Tesis: Dr. José Juan González Avilés y Dra. Antígona Segura Peralta.

Resumen

El estudio de magnetósferas exoplanetarias es una vía clave para entender los mecanismos de protección atmosférica y la posible emisión en radio producida por la inestabilidad máser electrón-ciclotrón (ECMI). Este análisis adquiere relevancia en sistemas de estrellas enanas M activas con exoplanetas en la zona habitable, tal como el sistema TRAPPIST-1-TRAPPIST-1e. Mediante simulaciones magnetohidrodinámicas (MHD) en tres dimensiones con el código PLUTO, se busca evaluar la respuesta magnetosférica de TRAPPIST-1e (T-1e) y su potencial emisión en radio frente a diferentes configuraciones de viento estelar y campo magnético planetario intrínseco (B_p), incluyendo condiciones extremas frente a una eyección de masa coronal (EMC).

Los resultados muestran que la presión dinámica estelar, la orientación del campo magnético interplanetario (CMI) y la intensidad del B_p , determinan las regiones de apilamiento y reconexión magnética de la magnetósfera de T-1e, a su vez modulando su emisión en radio. En conjunto, los valores de potencia disponible abarcan un rango de 1.88×10^{19} - 2.11×10^{22} erg/s, equivalentes a 0.12 - 34 mJy en frecuencias de 1.79 MHz - 3.5 MHz, donde se alcanzaron mayor emisión fuera de los EMC, mayor B_p , menor densidad y dirección Z del CMI. Adicionalmente, se calculó que la distancia de la magnetopausa a la superficie planetaria varía de 4.8 - 5.6 R_p , con media de 2.7 R_p , por lo que se espera que las variaciones en el viento estelar y el campo magnético interplanetario sean una base teórica para la detección de emisión en radio del campo magnético de TRAPPIST-1e con radiotelescopios de generaciones futuras.

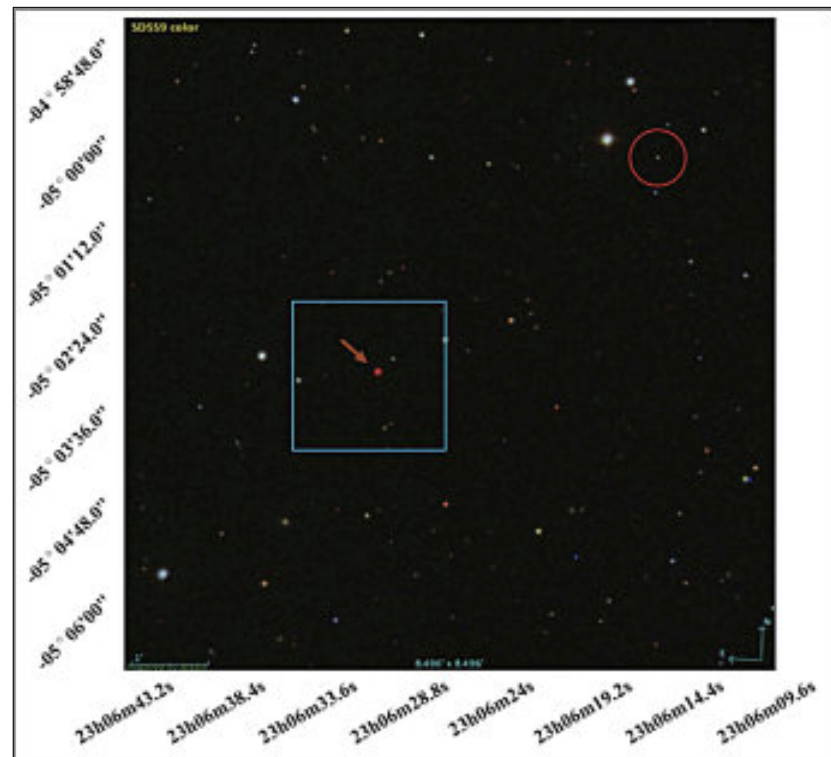


Figura 1.1. Figura 2.5: Imagen óptica multicolor de TRAPPIST-1 usando fotometría SDSS DR9 con Aladin. La flecha roja señala la posición de TRAPPIST-1 y el círculo rojo señala la localización de un cuásar cercano. Editada de Pineda y Hallinan (2018).

Procesos oceanográficos que modifican la clorofila, caso de estudio: costa de Oaxaca en abril del 2022.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestra en Ciencias. 2026.

Sustentante: **Leonela Rosales Catalán.**

Director de Tesis: Dr. Armando Trasviña Castro.

Resumen

En los ambientes marinos, la clorofila-a ha sido considerada como indicador de la biomasa del fitoplancton. Esta se mide mediante sensores de fluorescencia y también mediante percepción remota del color del mar con los que se construyen mapas de clorofila. Estos nos han permitido identificar patrones espaciales y temporales de diferentes escalas, que nos ayudan a relacionar la dinámica del océano con la biología de los ecosistemas. Aunque el uso de la clorofila con teledetección satelital del color del mar no identifica los grupos taxonómicos y funcionales, si nos permite observar áreas extensas de alta concentraciones superficiales y así podemos conocer mejor los procesos físicos que las originan. En el caso del Golfo de Tehuantepec los intensos vientos invernales del norte no solo generan mezcla que fertiliza el golfo central, también alteran la dinámica costera y generan una respuesta muy importante en las concentraciones de clorofila de las imágenes de color. En este trabajo describimos un evento de intenso incremento de clorofila en abril de 2022. Usamos mediciones in situ realizadas a bordo del BO Jorge Carranza Fraser (IMIPAS), imágenes satelitales de clorofila y datos de un reanálisis global. En la columna de agua encontramos dos masas de agua con características diferentes que convergen la costa de Oaxaca, generando una zona frontal donde el máximo subsuperficial de clorofila se eleva hacia la superficie, particularmente frente a Playa La Escobilla. Del 8 al 10 de abril un evento de viento del norte indujo corrientes intensas con dirección oeste, a lo largo de la costa. Como resultado, las máximas concentraciones de clorofila se encontraron en la costa occidental del golfo. Este patrón se explica por la interacción entre un remolino anticiclónico que favorece la acumulación costera y un remolino de submesoescala al sur de Puerto Ángel, que contribuye a la retención de clorofila. Estos resultados exhiben intensa interacción físico-biológica, que genera aumentos en la concentración de clorofila cerca de la costa, de importancia para especies comerciales.

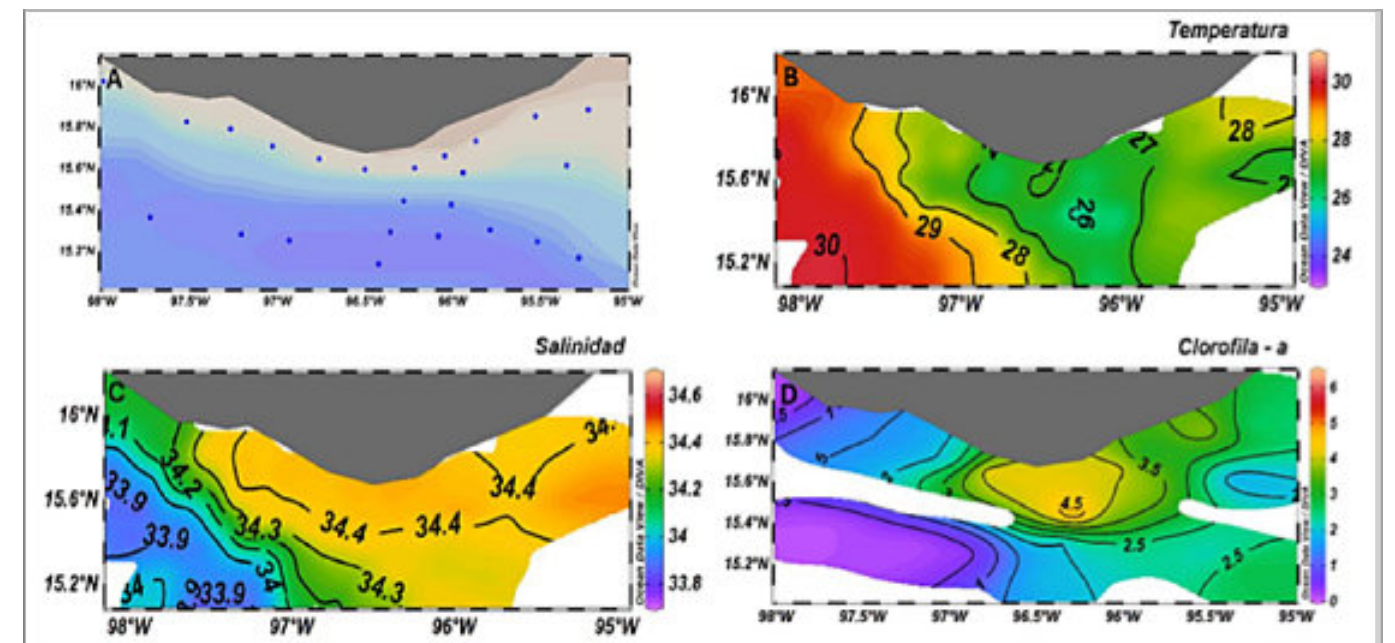
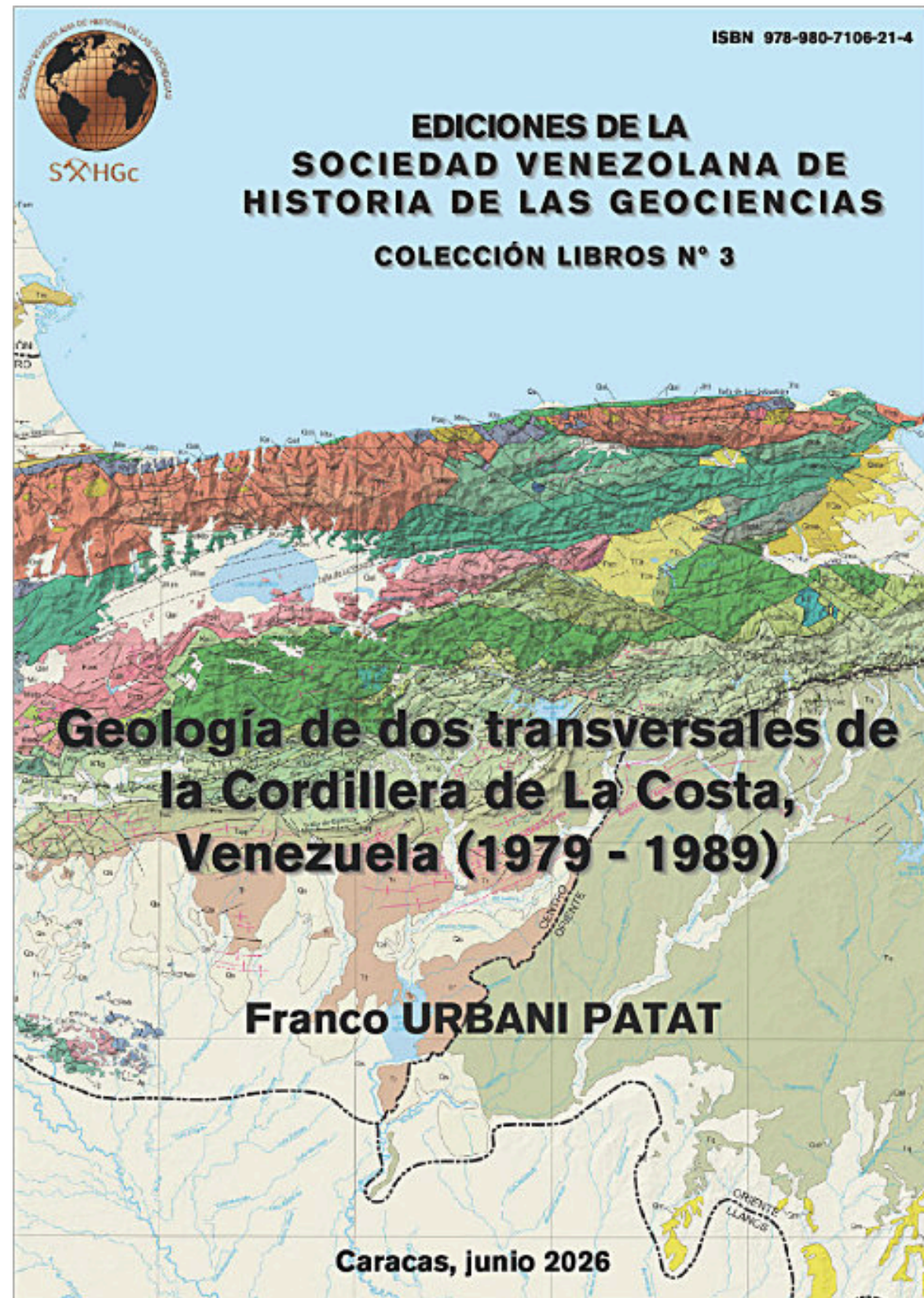


Figura 1.1. Mapas del área de estudio: A) Ubicación de las estaciones de CTD, B) Temperatura superficial y C) Salinidad superficial obtenidas mediante termosalinómetro (~3 m de profundidad), y D) concentración de clorofila-a promedio a 20 m de profundidad.

<https://acrobat.adobe.com/id/urn:aaid:sc:VA6C2:45675abf-0dae-4d3b-98a0-abf6cc4f3bd9>



Evaluación estadística y geológica de la delimitación de campos volcánicos en el Cinturón Volcánico Transversal, México.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestra en Ciencias. 2026.

Sustentante: Joel Aguilar Tomasini.

Director de Tesis: Dr. Edgardo Cañón Tapia.

Resumen

Los campos volcánicos (C.V.) son agrupaciones de estructuras volcánicas en un área delimitada mediante criterios diversos, sin que exista consenso sobre los métodos utilizados, ni sobre la forma final del campo. Estas delimitaciones pueden verse influenciadas por factores geológicos, estadísticos, administrativos, delimitaciones políticas o incluso por decisiones implícitas de cada autor. La ausencia de criterios homogéneos representa un problema relevante, ya que la extensión del área y la densidad de estructuras constituyen parámetros fundamentales en la definición de un campo volcánico y en la elaboración de modelos y mapas de riesgo volcánico. Con el objetivo de evaluar la validez geológica de estas divisiones, este trabajo analiza si la separación de estructuras volcánicas en campos discretos refleja procesos geológicos reales o responde principalmente a criterios de clasificación operativa, es decir, que no refleja una división natural. Para ello, se aplicaron distintos métodos de estadística espacial (KDE, HDBSCAN, K-means, OPTICS) sobre la distribución de centros eruptivos del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM), sin imponer fronteras previas de campos volcánicos. Además de analizar las hipótesis, procesos y resultados de estos métodos. Asimismo, se realizó una revisión bibliográfica sobre la geoquímica, geofísica y geología estructural del CVTM y los C.V. actualmente propuestos. Posteriormente, la información geológica recopilada se comparó con los agrupamientos obtenidos mediante los análisis estadísticos, identificando los procesos geológicos con mayor influencia sobre la distribución espacial observada y evaluando la utilidad de definir grupos con fronteras cerradas y discretas. Los resultados no muestran evidencia geológica suficiente para subdividir el CVTM en campos volcánicos claramente diferenciados, debido a que las estructuras no presentan características exclusivas que permitan separarlas de otros campos propuestos. No obstante, en términos prácticos, estas divisiones continúan siendo útiles para fines descriptivos y de estudio regional. Entre los métodos analizados, KDE y HDBSCAN mostraron los resultados más consistentes con algunos C.V. actualmente definidos.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/07/Claudio-Bartolini-AAPG-Memoir-123.pdf>

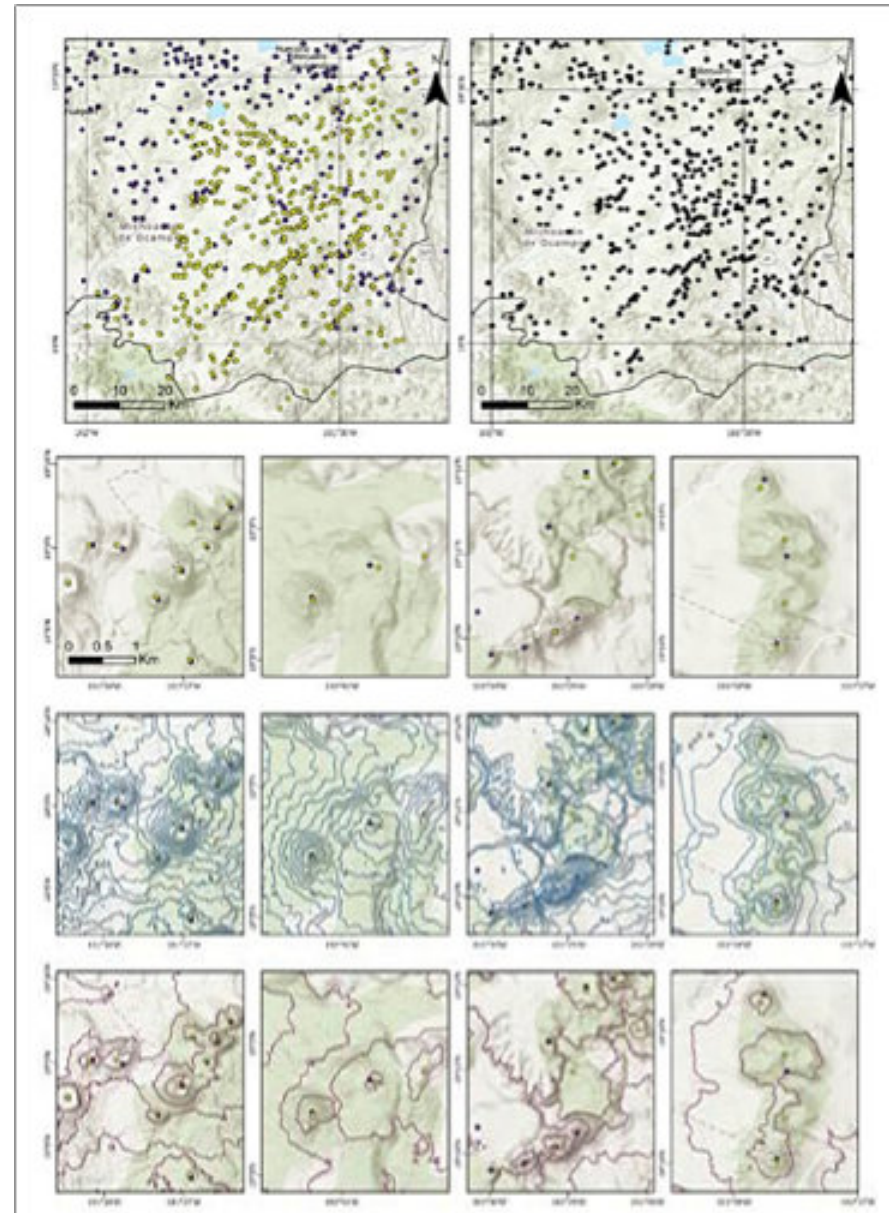


Figura 1.1. Comparación en topografía (parte superior) y con curvas de nivel a 30 y 100 metros (parte inferior) de las estructuras de este trabajo (morado) y las reportadas por Gómez-Calderón (2021) (amarillo).

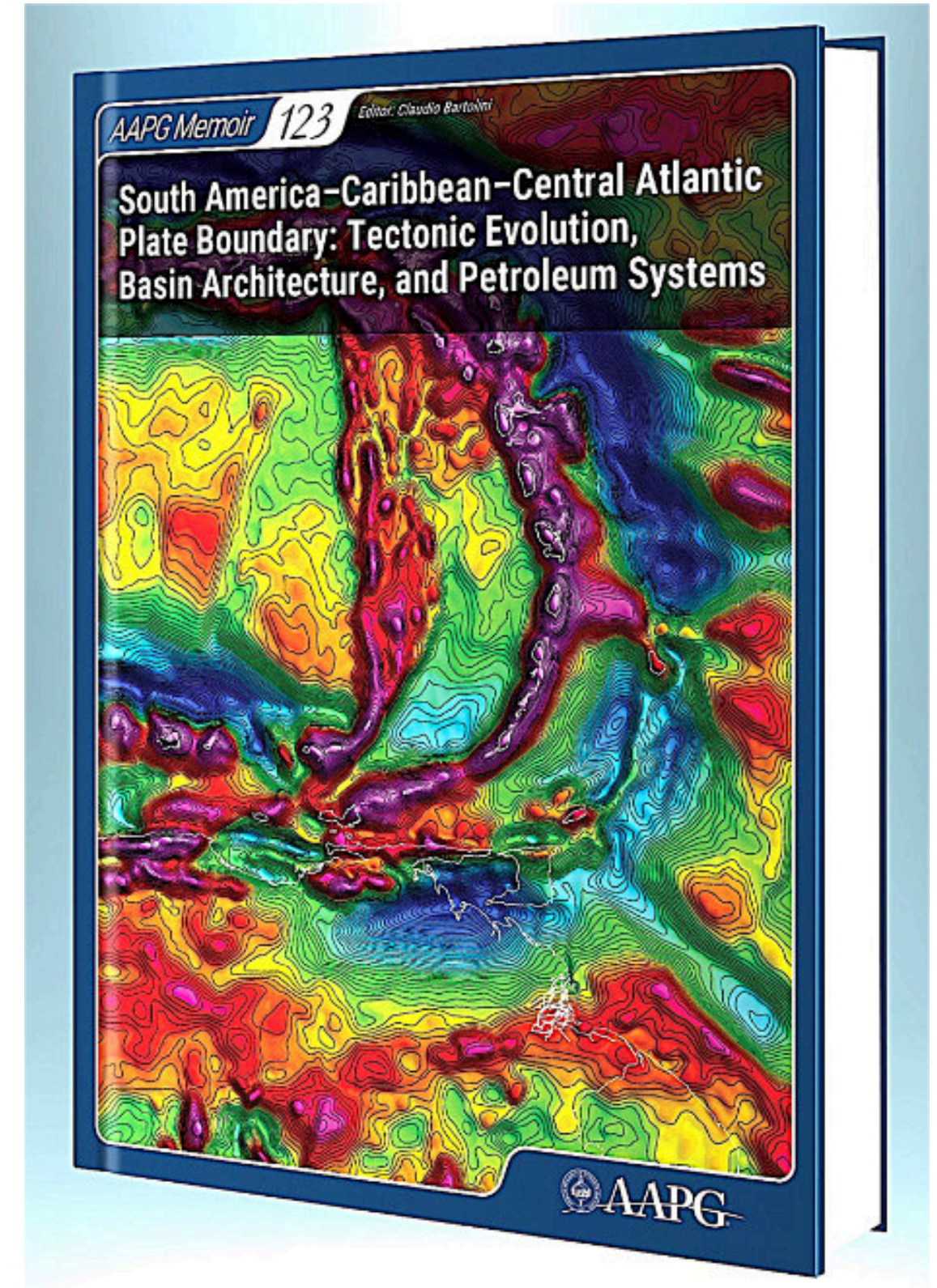
Si deseas que publiquemos tu tesis o resumen de algún artículo, por favor envíalo a **Miguel Vazquez Diego Gabriel**.



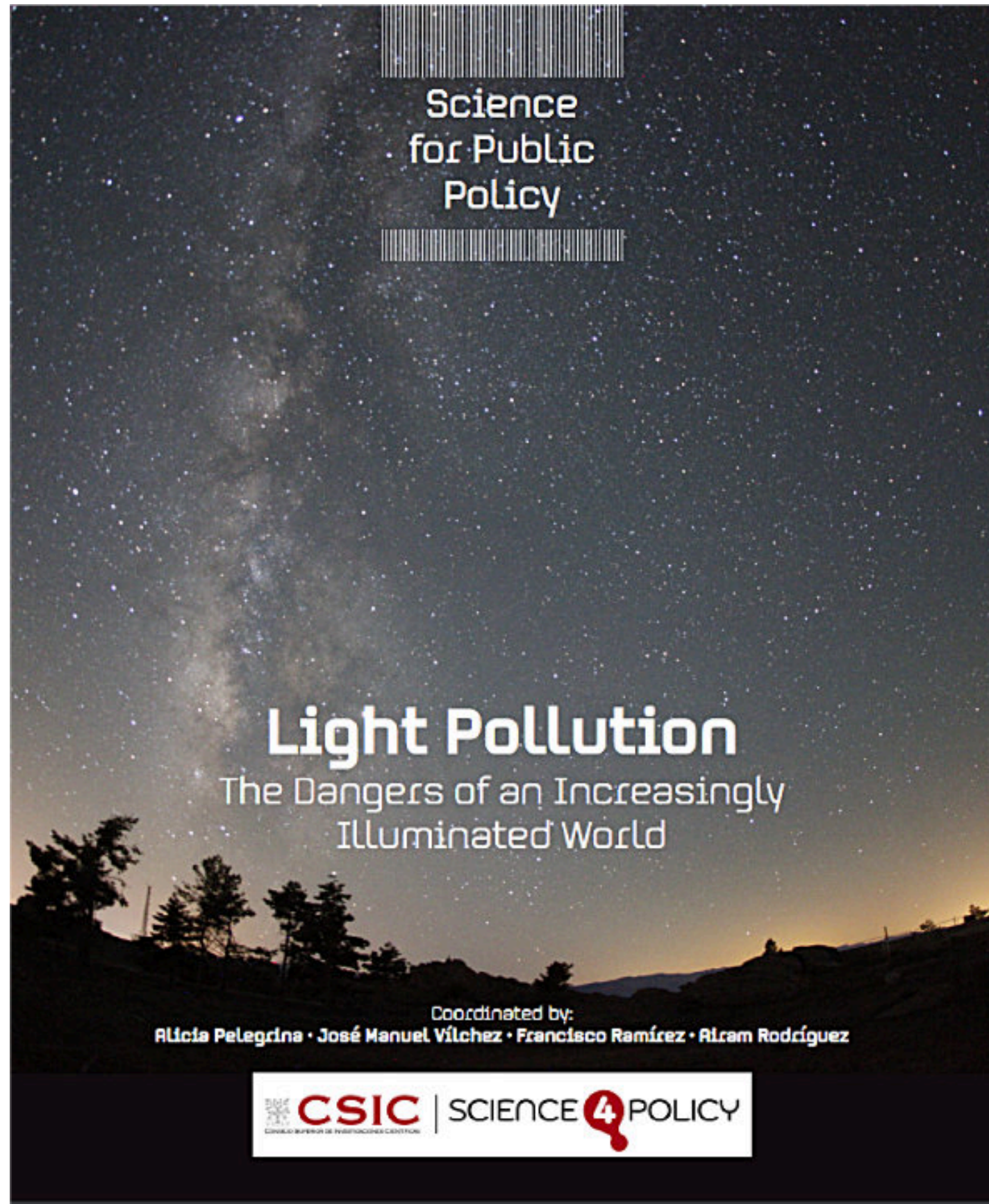
Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

entusiasta de la divulgación científica, sobre todo en el área de las Ciencias de la Tierra.

diegogabriel807@gmail.com



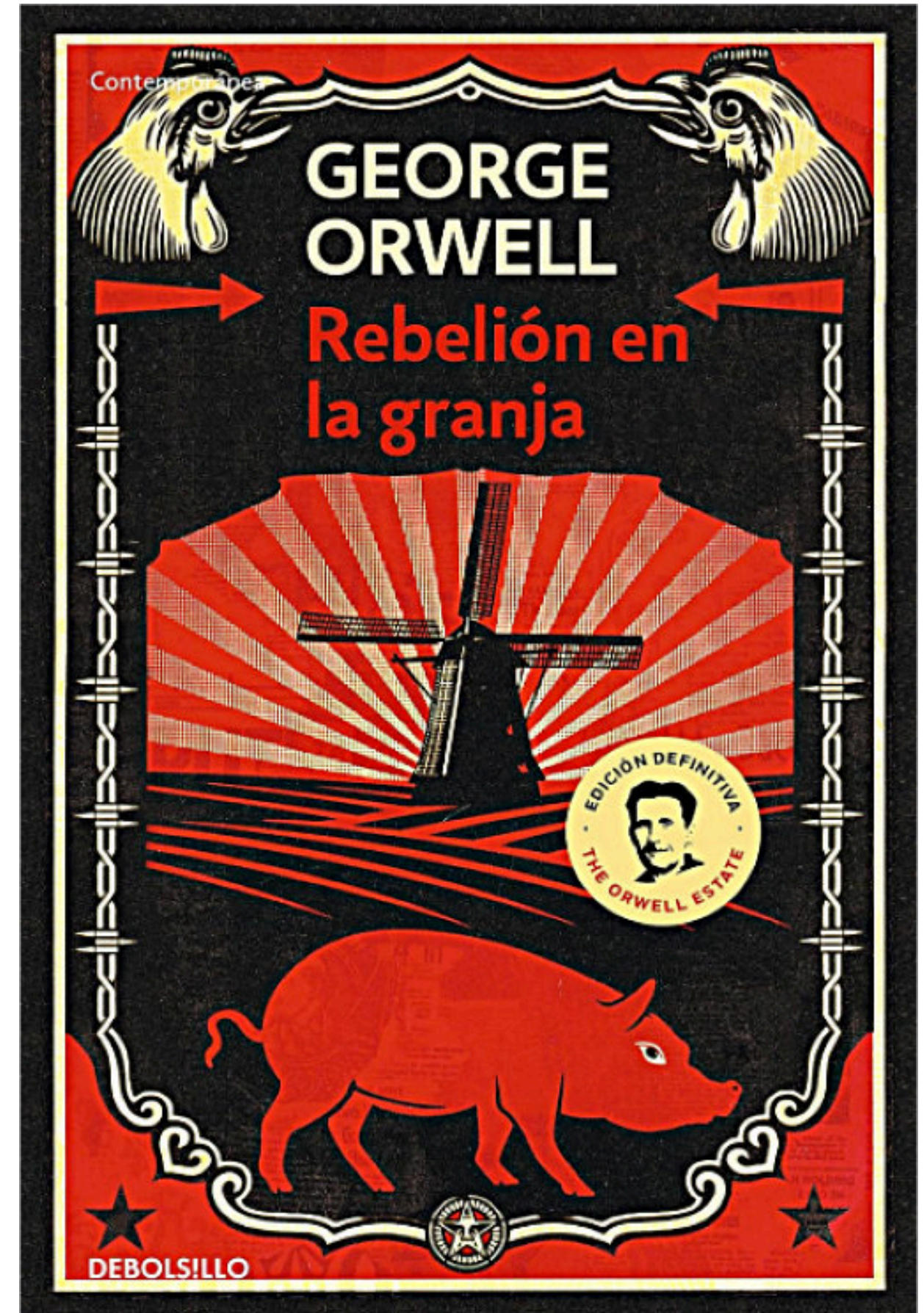
file:///Users/claudiobartolini/Downloads/book_1965_com.pdf



file:///Users/claudiobartolini/Downloads/book_1824_com.pdf



file:///Users/claudiobartolini/Downloads/book_1856_com.pdf



Rebelión en la Granja

George Orwell

En la Granja Manor, hay un Cerdo bien conocido por los demás animales como Viejo Cerdo Mayor. Es quien se encarga de hacer que sus colegas vean el muy mal trato que tiene su dueño, el granjero Jones, hacia ellos: *“Por el hecho de ser animales, ¿merecemos un trato de esta calaña? Los humanos se benefician de nosotros obteniendo alimento y dinero, ¿acaso no puede el borracho granjero Jones, aunque sea, alimentarnos debidamente todos los días?, ¿trasquilar a las ovejas, sacar a pastar a las vacas? ¡YA NO MÁS!”*.

Todos los animales siguen el ideal del Cerdo Mayor, que es hacerse reconocer y valer por sí mismos, si es que nadie más lo hace. Crean su propia sociedad, y elaboran LOS SIETE MANDAMIENTOS, los cuales forman las bases e ideales que deben aspirar para que su cometido funcione. Todo indicaba ir por un buen camino, pues los animales serían tratados por iguales entre ellos mismos.

Tras el fallecimiento del Viejo Cerdo Mayor, Napoleón y Bola de Nieve (dos cerdos, los más inteligentes), toman el mando ahora que no hay quien dirija su causa. Con el paso del tiempo, los trapos sucios salen a la luz. La traición es la piedra angular para estos nuevos gobernantes: ahora los animales son segmentados por especies. Claro que, los gobernantes tienen especial consideración para con los suyos (los cerdos), provocando que de nueva cuenta surjan desigualdad y descontento entre los demás animales.

Los días pasan. Los cerdos comienzan a comportarse como humanos: ya caminan en dos patas y visten sus ropas. Aquí, es donde el primer mandamiento de los siete estipulados comienza a resonar en la granja: *“Todo lo que camina sobre dos patas es un enemigo”*.

George Orwell es un gran escritor. La manera en la que fabula los problemas políticos que sucedieron en su época es maravillosa. De nueva cuenta, podemos reconocer que varias cosas no han cambiado en los regímenes actuales. El cambio de gobernante no sólo representa un cambio de líder, sino también un cambio en la forma en que se gobierna a los demás: el pueblo.

En la actualidad, y desde siempre, podemos darnos cuenta que cuando se otorga un poco de poder a las personas equivocadas, nacen nuevas problemáticas. ¿No les ha pasado algo similar en el trabajo? Hay nuevo personal que apareció como encargado de la noche a la mañana, y resulta que no puede resolver un problema tan pequeño. Hasta parece que sortean los puestos. Incluso cuando ibas a la escuela y se asignaba un jefe de grupo por primera vez: ¿No te llevaste algún descontento porque no pudieron llegar a un buen acuerdo para realizar algún convivio en el salón de clases?, ¿O no se llegaron a enterar a destiempo de algún recado importante, porque se le olvidó al encargado avisar con anticipación?

Rebelión en la Granja hace que nos preguntemos: *El poder absoluto, ¿de verdad corrompe?*

“Todos los animales son iguales”, dice el séptimo mandamiento. Pero, al final de la historia, *“... algunos animales son más iguales que otros”*.

Cesar Alberto Arriaga Bautista. Soy estudiante de Ingeniería En Tecnologías de la Información e Innovación Digital en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Tengo un gusto enorme por la lectura, indicando gran preferencia por el género de terror. Mundos distópicos e historia son otros géneros de mi agrado. Mis libros favoritos son “Misery” de Stephen King, la saga completa de “Los Juegos del Hambre” por Suzanne Collins, “Un Mundo Feliz” de Aldous Huxley. Actualmente, Milan Kundera es uno de mis escritores favoritos.

Correo: arriaga.bautista.cesar@gmail.com

TEMAS DE INTERÉS

Sostenibilidad en la transición energética. El cobre, el metal de la revolución por autonomía.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

Así como la vida depende de seis elementos esenciales: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre (CHONPS), el desarrollo de la civilización y su futuro dependen enormemente de un metal: el cobre. Este elemento acompañó a los humanos de las civilizaciones tempranas de cerca de 9.000 a. C. constituyendo herramientas simples gracias a su **maleabilidad** y **ductilidad**. Posteriormente aprendimos a fundirlo y su uso se expandió tanto que esa época de nuestra historia se conoce como la Edad del Cobre (3.300 a. C.). Como si fuera poco, lo hicimos más fuerte y resistente al alearlo con estaño, dando lugar a la Edad del Bronce (3.300 a 1.200 a. C.). Lo utilizaron los sumerios, los egipcios, los aqueménidas, los griegos, los romanos, los chinos, los mexicas, los mayas, los muiscas, los timoto-cuicas y los incas, entre muchos otros, para construir imperios y hasta sus sistemas económicos en forma de moneda. A finales del siglo 18 y principios del 19, su excelente **conductividad térmica** hizo que fuera fundamental para la construcción de máquinas de vapor y calderas de la Revolución Industrial. El cobre es el elemento primordial de la electrificación en masa que se emprendió a finales del siglo 19 debido a la propiedad que más valoramos, su excelente **conductividad eléctrica**. Desde el siglo 20 se encuentra en prácticamente todas las instalaciones de telecomunicaciones. Hoy, es uno de los protagonistas de la transición energética, está en los vehículos eléctricos (VE), aeroturbinas, sistemas de almacenamiento eléctrico, infraestructuras de recarga, en la expansión de la red eléctrica. El cobre es un elemento estratégico que ha acompañado nuestra civilización en algunos de sus hitos más importantes, y seguramente ayudará a darle forma a la siguiente revolución tecnológica.

El cobre posee propiedades excepcionales que muy difícilmente se pueden reemplazar. Tiene una excelente conductividad eléctrica, superada únicamente por la plata en un 5% al 6%, pero ésta es muchísimo más costosa y bastante más escasa en la corteza (el cobre tiene una

abundancia de 50 a 65 partes por millón y la plata unas 75 partes por mil millones). La plata se usa casi exclusivamente en casos puntuales donde se requieren contactos eléctricos de alto desempeño, en los que se usa cubriendo la superficie, mientras que el cobre aparece conformando el alambrado. El aluminio es más barato y liviano que el cobre, y podría ser utilizado en líneas de transmisión, pero a cambio, tiene menor conductividad eléctrica, por lo que, si bien puede ser una buena alternativa, no lo es para todos los casos. El cobre, además, tiene una excelente conductividad térmica, por lo que se aprovecha en motores y sistemas eléctricos tanto para conducir electricidad como para disipar calor. Veamos nuestro panorama actual así: si bien el litio es hoy una de las principales tecnologías para almacenar energía, el cobre es el metal que la transporta.

La demanda de cobre en el futuro cercano no tiene un pronóstico de desaceleración. La flota de VEs, que requieren 2,5 veces el cobre que los de gasolina, está aumentando. Cada turbina eólica usa entre 3 y 5 toneladas de cobre, lo que implica que cada parque eólico utiliza cantidades inmensas de cobre. La generación eléctrica proveniente de fuentes renovables no siempre se encuentra cerca de los centros residenciales o industriales, de manera que debe ser transmitida largas distancias para llegar a los consumidores, lo que necesita cantidades muy altas de cobre para el alambrado. Centros de datos de inteligencia artificial, IA, están en implementación y expansión, proyectos en los que se utilizan enormes cantidades de cobre para subestaciones, transformadores, interruptores, cableado, entre otros.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés), estima que para 2035 la demanda de cobre llegará a los 35 ó 40 millones de toneladas anuales, frente a los 25 millones que se consumen hoy¹. Es normal cuestionarnos si podremos LLEGAR a producir semejantes cantidades, en un sentido puramente técnico, no tenemos descubrimientos recientes, las menas de cobre de las minas activas están cada día reduciendo su calidad, la proporción elemental por cantidad de roca es menor, lo que se traduce en costos elevados y mayor cantidad de energía y agua para su extracción. En el aspecto normativo la cosa no tiene mejor pronóstico, los estudios ambientales son más extensos y complejos, acceder a permisos de extracción requiere de un periodo largo de

evaluación. El reciclaje podría suplir una parte importante de la demanda, pudiendo cubrir entre un 20 y 25%, sin embargo, todavía seguiríamos siendo dependientes de la minería y el descubrimiento de nuevas acumulaciones de cobre, que, en el mejor escenario, presentarían la producción más temprana 15 años después del hallazgo.

Nuestra historia ha estado enmarcada por nuestra relación con el cobre, nuestros antepasados utilizaron el cobre nativo que se encontraba de manera solitaria, listo para ser moldeado directamente para con él, construir herramientas que no se oxidaban como el hierro, sino que formaban una pátina protectora y que podían ser

reparadas con relativa facilidad, al contrario de las de piedra. Fue el metal de las civilizaciones tempranas, de los grandes imperios, de la revolución industrial, de la electrificación, y ahora, de la descarbonización. Nuestra responsabilidad es administrar este recurso con inteligencia, la corteza terrestre cuenta con una cantidad enorme de cobre, debemos aprender a obtenerlo de manera viable, mediante mejores prácticas, a través del reciclaje, y con alternativas cuando sea factible. Nosotros, los geocientíficos, estaremos ahí, contribuyendo desde una minería sostenible y responsable, poniendo nuestro conocimiento al servicio del aprovechamiento de los recursos de este extraordinario planeta.

¹IEA. IEA (2025), Global Critical Minerals Outlook 2025, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>, Licence: CC BY 4.0



Natalia Silva (MSc): Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Postgrado en Petroleum Geoscience de la Heriot-Watt University y Máster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universitat de Barcelona. Su carrera empieza en la minería de esmeraldas en el Cinturón Esmeraldífero Oriental de Colombia y en proyectos mineros de Níquel colombianos. Tiene más de 10 años de experiencia en el sector de hidrocarburos en desarrollo de

yacimientos y geomodelado en cuencas petrolíferas de los Estados Unidos, Colombia, Ecuador y Brasil. Más recientemente, su carrera está enfocada en el aprovechamiento de energías renovables, principalmente de energía solar, ha elaborado proyectos de generación eléctrica a partir de instalaciones fotovoltaicas en Europa y los Estados Unidos.

ensilvacruz@gmail.com

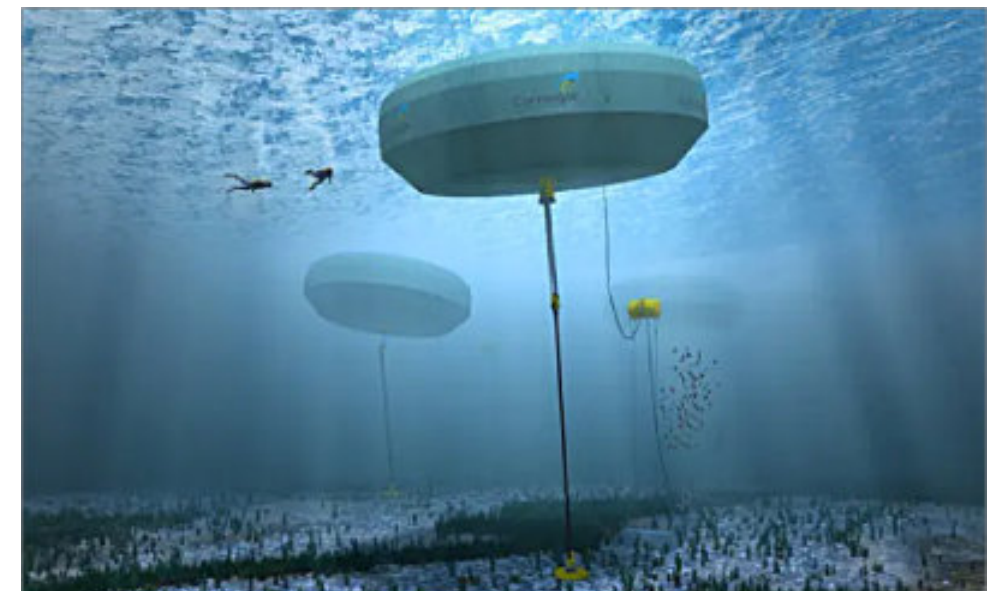
Can sea waves produce energy?

Sea waves can produce energy. Wave energy converters (WECs) capture the kinetic and potential energy of ocean waves and convert it into usable electricity. This clean, renewable resource has a tremendous theoretical potential to contribute significantly to global power grids. How it Works Different technologies are used to harness wave power, but most rely on the continuous up-and-down motion of the water: Point Absorbers: Floating buoys bobbing on the surface use their movement to drive internal generators or pump pressurized fluid, which turns a turbine to create electricity. Oscillating Water Columns (OWC): Waves force water into a partially submerged, hollow concrete chamber on the shoreline or a breakwater. As the wave rises, it compresses the air trapped inside, pushing it through a turbine to generate power. Overtopping Devices: These structures capture incoming waves in a reservoir, elevating the water above sea level. The water is then released back into the ocean, passing through a hydroelectric turbine.

Benefits of Wave Energy: High Energy Density: Waves have a much higher energy density than wind or solar power, meaning they can theoretically produce more power in a smaller footprint. Predictability: Unlike solar power, wave patterns can be accurately predicted days in advance, and they typically peak during winter when energy demands are higher.

Current Challenges: Despite its potential, wave energy is lagging behind other renewables. The ocean is a notoriously harsh environment. Devices face extreme mechanical stress from rough storms, salt-water corrosion, and marine biofouling, which makes building cost-effective, long-lasting infrastructure highly difficult. As a result, the industry is largely still in the prototype or small pilot stage, such as the 100 kW demonstration project by Eco Wave Power at the Port of Los Angeles

<https://www.google.com/search?q=can+sea+waves+oroduce+energy%3F&ie=UTF-8&oe=UTF-8&hl=es-mx&client=safari#lfd=ChxjMe>



Hydropower explained

Wave power

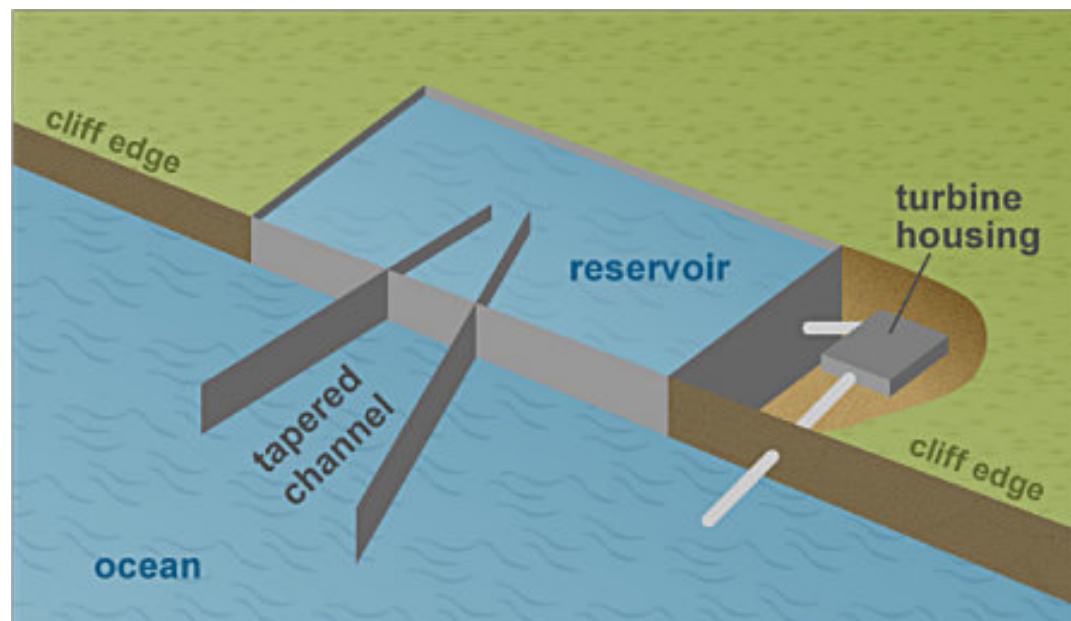
Waves have a lot of energy

Waves form as wind blows over the surface of open water in oceans and lakes. Ocean waves contain tremendous energy. The theoretical annual energy potential of waves off the coasts of the United States was estimated to be as much as 2.64 trillion kilowatthours, which is equal to about 63% of total U.S. utility-scale electricity generation, in 2023. (Utility-scale generation is from electric generators with at least one megawatt of generation capacity.) The west coasts of the United States and Europe and the coasts of Japan and New Zealand have potential sites for harnessing wave energy. Many different methods and technologies for capturing and converting wave energy to electricity are under development. These methods include placing devices on or just below the surface of the water and anchoring devices to the ocean floor.

Different ways to channel the power of waves

One way to harness wave energy is to bend or focus waves into a narrow channel to increase their size and power and to spin the turbines that generate electricity. Waves can also be channeled into a catch basin or reservoir where the water flows to a turbine at a lower elevation, similar to the way a hydropower dam operates.

<https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/wave-power.php>



These Floaters Turns Ocean Waves Into Renewable Energy

Eco Wave Power uses wave data to determine the size of their floaters that can harvest renewable energy.

On the coastline of Gibraltar, blue metal floaters attached to a former World War II ammunition jetty bob up and down, turning the gentle rise and fall of waves into renewable energy. The floaters were invented by Eco Wave Power, a company that seeks to transform human-made structures like piers and breakwaters into sources of clean energy.

Each batch of these floaters, per the development team, is carefully designed to suit the specific wave conditions where they're installed. For instance, smaller waves call for a larger number of small floaters, so they're easier to move up and down, but larger waves can handle larger floaters – thus, less of them are necessary.

Here's how they work.

The movement of the floaters creates fluid pressure inside accumulators, which are land-based and built into big blue shipping containers. That fluid pressure, created by the rising waves, turns a hydraulic motor. In turn, that activates a generator, which then sends electricity to the power grid via an inverter.

<https://www.cnet.com/science/climate/these-floaters-turns-ocean-waves-into-renewable-energy/>



Making waves: Turning ocean power into electricity

Ocean waves have vast energy potential. The Electric Power Research Institute estimates the total wave energy resource along the United States coastline at 2,640 terawatt-hours per year (TWh/yr). One TWh/yr can supply more than 93,000 typical U.S. homes with power annually.

That potential hasn't escaped the notice of ocean engineers, especially Reza Alam, an assistant professor of mechanical engineering at Berkeley since 2011. His research into how muddy seabeds absorb wave energy led him to explore how a mechanical device might convert that energy into electricity.

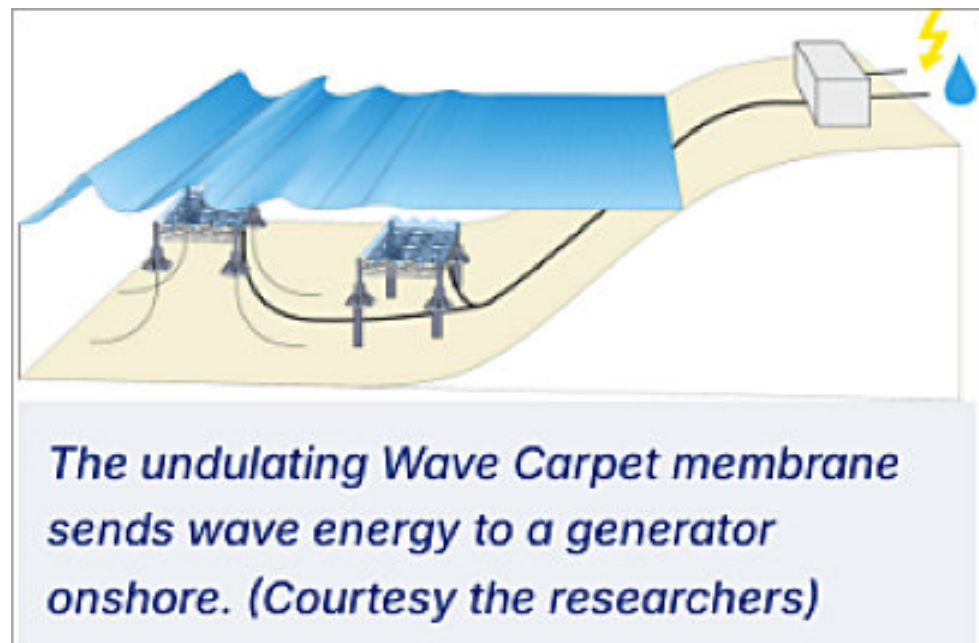
Visiting graduate student Marcus Lehmann joined Alam's Theoretical and Applied Fluid Dynamics Laboratory in 2012. Based on Alam's research, Lehmann began designing a wave energy conversion device, now called the Wave Carpet. Four years later, the Wave Carpet team is moving from theory to practice.

Problem

Harnessing wave power is more complex than the process of converting other renewable energy sources like wind or sun into electricity. Wave heights and frequencies can vary wildly over time and from one shoreline to another. Seawater is highly corrosive. And storms can turn reliable and predictable waves into machinery-destroying battering rams.

The energy market is an equally extreme environment. To survive it, commercial wave energy converters, which the Wave Carpet is on track to become, must produce electricity at a cost equal to, or lower than, that of fossil fuels or more established renewables like solar and wind.

<https://engineering.berkeley.edu/news/2016/03/making-waves-turning-ocean-power-into-electricity/>



What is Wave Energy?

Wave energy generates electricity by capturing the movement of ocean waves, which form as wind blows across the water's surface. Wave energy devices can produce power from the up-and-down motion of waves at the surface or from pressure changes below the water. Waves hold enormous energy potential, and in many regions, consistent winds create steady wave conditions that can provide nearly continuous electricity.

While wave energy output can vary, it can be forecast in advance, making it a reliable and predictable energy source. A wave's energy depends on factors such as its height, length, speed, and the density and movement of the water. As with tidal energy, faster-moving water contains more energy and can generate more power.

Wave energy also offers a seasonal advantage. Wave conditions are often strongest during winter months, when electricity demand in Canada is highest. By harnessing this powerful and predictable resource, wave energy can help reduce reliance on fossil fuels, lower carbon emissions, and support a cleaner, more resilient energy system.

Wave energy devices can be installed near shore or farther offshore, depending on local conditions and project goals. In practice, nearshore locations are often the most cost-effective, as they reduce the cost of connecting to the grid or delivering power directly to remote coastal communities.

<https://marinerenewables.ca/facts/wave-energy/>



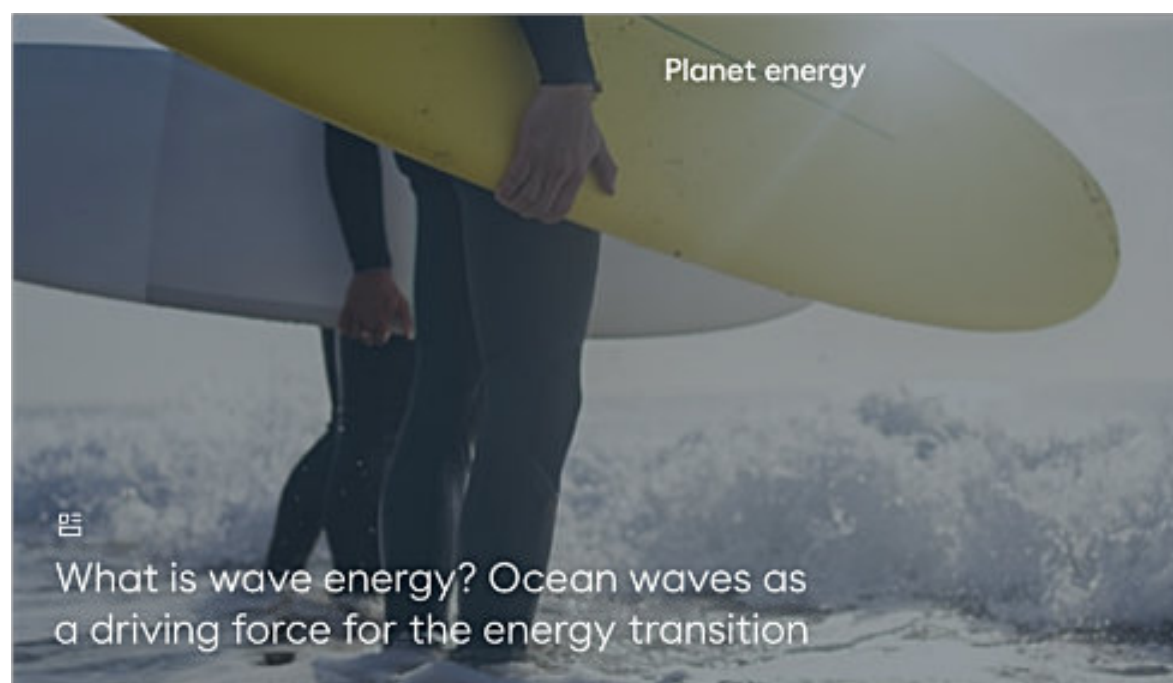
Ocean waves as driving force for the energy transition

In 2018, a measurement buoy off the coast of New Zealand recorded a wave nearly 24 meters high—equivalent to the height of an eight-story building. It was the largest wave documented in the Southern Hemisphere. But what if we could harness the power of these waves to generate energy?

The rhythmic movement of the ocean's waves may seem poetic, but it contains a largely untapped energy potential. Wave energy harnesses the motion of ocean waves to generate electricity through mechanical devices installed in the sea. These devices can float on the surface, be submerged underwater, or be integrated into coastal structures. The most common systems include floating buoys, oscillating water columns, and articulated platforms that convert the water's motion into kinetic energy, which is then transformed into electricity through hydraulic or electromagnetic generators. One of the main advantages of wave energy is its consistency—waves are present 24/7, year-round, which makes energy generation stable and reliable. This stability positions wave energy as an inexhaustible and renewable resource with enormous potential.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) estimates that wave energy could generate up to 29,500 TWh annually. This figure is nearly ten times the total electricity consumption of Europe, and more than the total global electricity production in 2018. According to the International Energy Agency (IEA), the global potential for wave and tidal energy could reach 300 GW by 2050. The European Union has set a target of 40 GW of installed marine energy capacity by that year.

<https://www.moeveglobal.com/en/planet-energy/green-energy/wave-energy-ocean-waves>



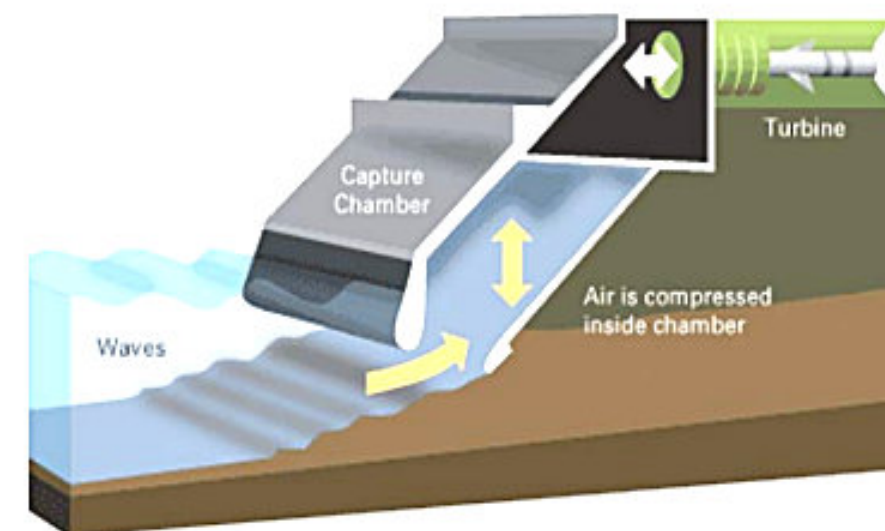
Capturing the energy in ocean waves

MIT researchers are working with Portuguese colleagues to design a pilot-scale device that will capture significantly more of the energy in ocean waves than existing systems do and will use it to power an electricity-generating turbine. Wave energy is a large, widespread renewable resource that is environmentally benign and readily scalable. In some locations—the northwestern coasts of the United States, the western coast of Scotland, and the southern tips of South America, Africa, and Australia, for example—a wave-absorbing device could theoretically generate 100 to 200 megawatts of electricity per kilometer of coastline. But designing a wave-capture system that can deal with the harsh, corrosive seawater environment, handle hourly, daily, and seasonal variations in wave intensity, and continue to operate safely in stormy weather is difficult.

To help engineers design such devices, Mei and his colleagues developed numerical simulations that can predict wave forces on a given device and the motion of the device that will result. The simulations guide design decisions that will maximize energy capture and provide data to experts looking for efficient ways to convert the captured mechanical energy to electrical energy.

One country with a good deal of expertise in wave energy research and development is Portugal. For the past three years, Mei has been working with Professors Antonio Falcao, Antonio Sarmiento, and Luis Gato of Insitituto Superior Tecnico, Technical University of Lisbon, as they plan a pilot-scale version of a facility called an oscillating water column, or OWC. Situated on or near the shore, an OWC consists of a chamber with a subsurface opening. As waves come in and out, the water level inside the chamber goes up and down. The moving surface of the water forces air trapped above it to flow into and out of an opening that leads to an electricity-generating turbine. The turbine is a design by A.A. Wells in which the blades always rotate in the same direction, despite the changing direction of the air stream as the waves come in and out.

<https://energy.mit.edu/news/capturing-the-energy-in-ocean-waves/>



Schematic of an oscillating water column. Waves enter through a subsurface opening into the chamber with air trapped above. The wave action causes the captured water column to move up and down, pushing the trapped air into an electricity-generating turbine. The turbine turns continuously, despite the changing direction of the air stream as the waves come in and out.

GUIDE FOR MIDDLE SCHOOLERS

If you are an educator and want to join the EARTHDAY.ORG network, consider supporting our mission to put climate education into every single classroom around the world and please utilize these free resources on climate education and why it matters here.

If you are a teacher in the K – 12 grades please consider utilizing our free guide, The School Guide to Teaching Climate Education, because you can never start teaching students about climate change early enough!

Now let's talk about wave power! What is Tidal Energy?

Tidal energy is like magic from the ocean! It's a special type of energy that comes from the movement of water in the seas. There are four cool ways to capture this energy:

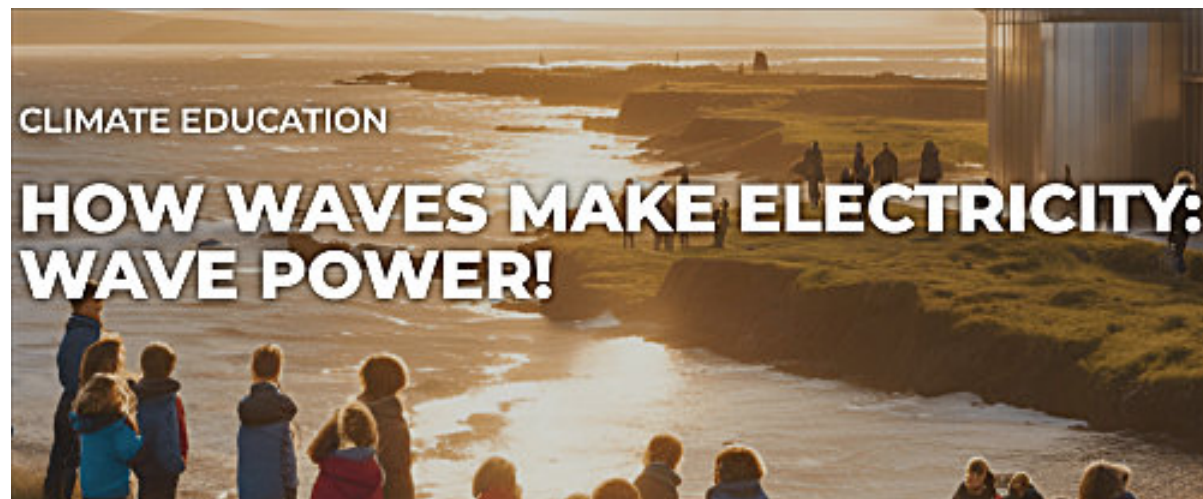
Tidal Barrage: A big dam in the ocean with gates. It holds water when the tide comes in and lets it out when the tide goes out, spinning turbines to make electricity.

Tidal Stream: Underwater turbines that work like fans. They spin with the ocean currents created by tides, generating electricity.

Wave: Machines that move up and down with ocean waves. This movement turns gears to create electricity, like bouncing on a trampoline!

Ocean thermal: Uses warm water on the surface and cold water below. The temperature difference makes a gas spin a turbine to generate electricity.

<https://www.earthday.org/how-waves-make-electricity-wave-power/>



“Bioplásticos elaborados con residuos de mango: principios, composición y potencial ambiental”

Rojo Cortes Ismari Johari, Medina Piña Alondra, Jimena Natalia Cruz Chávez, Escobar-Sánchez Monserrat y Calvo-Ramos Daniela K*.

Universidad Tecnológica de Corregidora. Carretera Estatal 413, Km 11.2, Santa Bárbara, C. P. 76924, Corregidora, Querétaro, México.

*daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

¿Qué son los bioplásticos?

Cada día utilizamos envases, bolsas y recipientes de plástico casi sin pensarlo. Sin embargo, muchos de estos productos permanecen en el ambiente durante décadas o incluso siglos después de ser desechados, convirtiéndose en una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Frente a este panorama, científicos de todo el mundo buscan alternativas que permitan disminuir la dependencia de los plásticos convencionales. Una de las más prometedoras son los **bioplásticos**, materiales que pueden elaborarse a partir de recursos renovables e incluso de residuos agrícolas, ofreciendo una opción más sostenible para diversas aplicaciones.



Figura 1. Clasificación de los bioplásticos según su origen y capacidad de degradación. Boicot al Plástico (2021).

Los bioplásticos pueden fabricarse a partir de una amplia variedad de materias primas, entre ellas el almidón, la celulosa, las proteínas vegetales y diversos residuos

agroindustriales. Esto permite aprovechar recursos renovables y dar un nuevo uso a materiales que normalmente serían considerados desechos. Entre estos residuos destacan los derivados del mango (*Mangifera indica*), cuya cáscara y restos de pulpa contienen fibras, polisacáridos y pectinas que pueden incorporarse al desarrollo de biomateriales biodegradables (Hernández Fandiño y Gallego Sánchez, 2014).

Aunque los bioplásticos representan una alternativa prometedora, es importante aclarar que no todos son iguales ni todos se degradan de la misma manera. Su comportamiento ambiental depende tanto del tipo de material con el que fueron fabricados como de las condiciones en las que son desechados. Diversas investigaciones han demostrado que algunos bioplásticos requieren condiciones específicas de compostaje para degradarse eficientemente y que, cuando estas condiciones no existen, su descomposición puede ser considerablemente más lenta de lo esperado (Sernaqué Auccahuasi et al., 2020).

Por ello, además de desarrollar nuevos biomateriales, también resulta indispensable fortalecer las estrategias de reciclaje, compostaje y economía circular que permitan aprovechar realmente sus beneficios ambientales. De esta manera, los bioplásticos no solo representan una innovación tecnológica, sino también una oportunidad para reducir el impacto ambiental y dar un mayor valor a residuos agroindustriales que antes eran considerados únicamente desechos.

Para comprender por qué los bioplásticos pueden comportarse de formas tan diferentes, primero es necesario conocer cómo se clasifican y cuáles son los materiales que los conforman.

¿Todos los bioplásticos son iguales? Conociendo su clasificación y composición

Cuando se escucha la palabra bioplástico, muchas personas imaginan un material elaborado a partir de plantas que, además, desaparece rápidamente después de ser desechado. Sin embargo, la realidad es mucho más compleja. No todos los bioplásticos tienen el mismo origen ni todos presentan la misma capacidad de degradarse en el ambiente (Rodríguez, 2012).

Para entender estas diferencias es necesario conocer cómo se clasifican. Generalmente, los bioplásticos se agrupan considerando dos aspectos principales: el origen de la materia prima con la que fueron fabricados y su capacidad para biodegradarse. Aunque pudiera parecer que ambas características siempre están relacionadas, no es así. Un material puede provenir de recursos renovables

sin ser biodegradable, mientras que otro puede fabricarse a partir de derivados del petróleo y, aun así, degradarse biológicamente (Laborda Blanc, 2022).

Clasificación según su origen

Bioplásticos biobasados

Los materiales biobasados son aquellos cuya materia prima proviene total o parcialmente de recursos renovables, como plantas, residuos agrícolas o biomasa vegetal. Entre las materias primas más utilizadas se encuentran el almidón de maíz, papa o yuca, la celulosa, las proteínas vegetales y diversos azúcares fermentables (Álvarez da Silva, 2016).

Su principal ventaja es que reducen la dependencia de los combustibles fósiles al emplear fuentes de carbono que pueden renovarse en periodos relativamente cortos. Sin embargo, es importante recordar que ser biobasado no significa automáticamente ser biodegradable, ya que esta propiedad depende principalmente de la estructura química del polímero y no únicamente del origen de la materia prima (Rodríguez, 2012).

Entre los ejemplos más conocidos se encuentran el ácido poliláctico (PLA), obtenido mediante la fermentación de azúcares; los polihidroxialcanoatos (PHA), sintetizados por diversos microorganismos; y los bioplásticos elaborados a partir de almidón, uno de los materiales más estudiados debido a su bajo costo, amplia disponibilidad y facilidad para biodegradarse (Álvarez da Silva, 2016; Ruiloba et al., 2018). Muchos productos elaborados con ácido poliláctico (PLA) requieren condiciones controladas de compostaje industrial, como temperaturas elevadas, humedad y actividad microbiana adecuadas, para biodegradarse de forma eficiente. En ambientes naturales o en rellenos sanitarios, este proceso puede ser considerablemente más lento.

Además, el uso de residuos agroindustriales como materia prima ha despertado gran interés debido a que permite valorizar desechos orgánicos que normalmente serían descartados. Este enfoque favorece estrategias de economía circular al reincorporar materiales residuales dentro de nuevos procesos productivos (Hernández Fandiño y Gallego Sánchez, 2014).

Bioplásticos biodegradables de origen fósil

Aunque pueda parecer contradictorio, también existen bioplásticos elaborados a partir de derivados del petróleo que poseen capacidad de biodegradarse. Esto ocurre porque la biodegradabilidad depende principalmente de

la estructura química del material y no exclusivamente del origen de la materia prima (Rodríguez, 2012).

Entre los materiales más representativos se encuentran la policaprolactona (PCL), el polibutileno adipato tereftalato (PBAT) y el succinato de polibutileno (PBS), utilizados en aplicaciones donde se busca una degradación controlada (Álvarez da Silva, 2016).

Clasificación según su biodegradabilidad

Además del origen de la materia prima, los bioplásticos también pueden clasificarse por su capacidad para ser degradados por microorganismos.

La biodegradabilidad es el proceso mediante el cual bacterias, hongos y otros microorganismos transforman un material en sustancias más simples, como agua, dióxido de carbono, biomasa y sales minerales. Sin embargo, este proceso solo ocurre cuando existen condiciones adecuadas de temperatura, humedad y actividad microbiana (Rodríguez, 2012).

Sin embargo, la velocidad y eficiencia de este proceso pueden variar considerablemente dependiendo del ambiente donde se encuentre el material. Algunos bioplásticos requieren condiciones específicas de compostaje industrial para completar su degradación en tiempos relativamente cortos, mientras que en ambientes naturales o vertederos la degradación puede ser mucho más lenta (Laborda Blanc, 2022).

Por esta razón, actualmente los bioplásticos suelen agruparse en cuatro categorías principales.

1. Biobasados y biodegradables

Son materiales obtenidos a partir de recursos renovables que, además, pueden degradarse biológicamente bajo condiciones adecuadas. Dentro de este grupo se encuentran materiales como el almidón termoplástico (TPS), la celulosa modificada, algunos tipos de PLA y diversos polisacáridos naturales. Debido a estas características, son considerados una de las alternativas con mayor potencial para integrarse en sistemas de compostaje y economía circular (Rodríguez, 2012).

2. Biobasados y no biodegradables

Estos materiales también provienen de biomasa vegetal, pero su estructura química les proporciona una elevada estabilidad. Entre los ejemplos más conocidos se encuentran el Bio-PE

(polietileno de origen biológico) y el Bio-PET. Aunque no son biodegradables, contribuyen a disminuir el uso de petróleo debido a que utilizan materias primas renovables durante su fabricación (Laborda Blanc, 2022). **Derivados de fuentes fósiles pero biodegradables**

En esta categoría se incluyen materiales obtenidos a partir de recursos no renovables que, gracias a su estructura química, pueden degradarse biológicamente. Entre los ejemplos más conocidos se encuentran la policaprolactona (PCL) y el succinato de polibutileno (PBS). Su importancia radica en que demuestran que el origen de un material no determina necesariamente su capacidad de biodegradabilidad (Álvarez da Silva, 2016).

3. Plásticos convencionales

Finalmente, se encuentran los plásticos derivados del petróleo que dominan actualmente el mercado, como el polietileno (PE), polipropileno (PP) y policloruro de vinilo (PVC). Estos materiales presentan gran resistencia y durabilidad, pero generalmente muestran una degradación extremadamente lenta en condiciones naturales, favoreciendo la acumulación de residuos y micro plásticos en el ambiente (Rodríguez, 2012).

La Tabla 1 resume estas categorías y muestra que el origen de un material y su capacidad para biodegradarse no siempre están relacionados. Comprender esta diferencia es fundamental para evitar la idea errónea de que todos los

Tabla 1. Clasificación general de los bioplásticos.

Categoría	Origen	Biodegradable
TPS (almidón termoplástico)	Renovable	Sí
PLA	Renovable	Sí
PHA	Renovable	Sí
Bio-PE	Renovable	No
Bio-PET	Renovable	No
PCL	Fósil	Sí
PBS	Fósil	Sí
PE convencional	Fósil	No
PP convencional	Fósil	No

bioplásticos son iguales o de que todos desaparecen rápidamente una vez desechados.

Composición de los bioplásticos

Una vez comprendida su clasificación, surge otra pregunta: ¿de qué están hechos los bioplásticos? La respuesta depende del tipo de material que se desea fabricar, ya que su composición puede variar para obtener

diferentes propiedades como resistencia, flexibilidad o capacidad de degradación.

La mayoría de los bioplásticos está formada por una matriz polimérica, es decir, el componente principal que da estructura al material. Uno de los biopolímeros más utilizados es el almidón, debido a su bajo costo, amplia disponibilidad y facilidad para formar películas biodegradables. Este polisacárido está compuesto

principalmente por amilosa y amilopectina, moléculas que, al calentarse en presencia de agua, forman una estructura continua capaz de convertirse en un material sólido (Ruiloba et al., 2018).

Para mejorar sus propiedades también se incorporan sustancias conocidas como plastificantes, entre las que destaca la glicerina. Su función es aumentar la flexibilidad del material y disminuir su fragilidad, permitiendo obtener bioplásticos menos quebradizos y con mejores propiedades mecánicas (Herráez et al., 2019).

Asimismo, pueden añadirse fibras naturales, residuos agrícolas o subproductos agroindustriales con el objetivo de modificar propiedades como resistencia mecánica, absorción de agua, textura y estabilidad estructural. Entre estos materiales destacan los residuos de mango (*Mangifera indica*), particularmente la cáscara y restos de pulpa adherida, debido a su contenido de fibra dietética, pectinas y polisacáridos capaces de interactuar con la matriz de almidón y contribuir a mejorar las propiedades del biomaterial (Hernández Fandiño y Gallego Sánchez, 2014).

El aprovechamiento de estos residuos no solo permite obtener nuevos biomateriales, sino que también contribuye a disminuir la cantidad de desechos orgánicos generados por el consumo y procesamiento del mango, promoviendo un uso más eficiente de los recursos y fortaleciendo las estrategias de sostenibilidad y economía circular.

¿Todos los bioplásticos son realmente biodegradables?

Una de las ideas más comunes sobre los bioplásticos es pensar que, por el simple hecho de llevar el prefijo "bio", desaparecen rápidamente después de ser desechados. Sin embargo, esta creencia no siempre es correcta. Aunque muchos de estos materiales son biodegradables, su comportamiento depende en gran medida de las condiciones en las que terminan una vez que cumplen su vida útil.

Diversas investigaciones han demostrado que algunos bioplásticos requieren condiciones específicas de compostaje industrial para alcanzar una degradación eficiente. Cuando estas condiciones no se cumplen, como ocurre en vertederos, cuerpos de agua o espacios naturales, su descomposición puede ser mucho más lenta de lo esperado (Sernaqué Auccahuasi et al., 2020. Laborda Blanc, 2022).

Esto significa que los bioplásticos no deben considerarse una solución automática al problema de la contaminación.

Su verdadero beneficio ambiental depende tanto de su diseño como de la manera en que son gestionados después de ser utilizados. Por ello, además del desarrollo de nuevos biomateriales, resulta indispensable fortalecer los sistemas de compostaje, reciclaje y gestión adecuada de residuos.

Bioplásticos y plásticos convencionales: ¿en qué se parecen y en qué se diferencian?

Aunque suelen presentarse como materiales completamente distintos, los plásticos convencionales y los bioplásticos tienen algo importante en común: ambos pertenecen a la familia de los polímeros, es decir, materiales formados por largas cadenas de moléculas llamadas monómeros. Esta estructura es la responsable de propiedades como la resistencia, la flexibilidad y la facilidad para moldearlos en una gran variedad de productos (Rodríguez, 2012).

La principal diferencia radica en el origen de las materias primas utilizadas para fabricarlos y en su comportamiento al final de su vida útil. Mientras que los plásticos convencionales se producen principalmente a partir de derivados del petróleo, muchos bioplásticos pueden obtenerse de recursos renovables o incluso de residuos agroindustriales. Además, algunos poseen la capacidad de biodegradarse bajo condiciones adecuadas, lo que representa una ventaja ambiental frente a numerosos plásticos tradicionales.

No obstante, es importante recordar que no todos los bioplásticos son biodegradables y no todos los plásticos derivados del petróleo permanecen indefinidamente en el ambiente. Por ello, conocer las características de cada material resulta fundamental para evitar ideas equivocadas y tomar decisiones más informadas sobre su uso y disposición final.

Las principales diferencias entre ambos tipos de materiales se resumen en la Tabla 2, donde se comparan aspectos como el origen de la materia prima, la biodegradabilidad, el tiempo de degradación y su contribución a la economía circular.

Como puede observarse, los bioplásticos ofrecen ventajas importantes al utilizar materias primas renovables y favorecer el aprovechamiento de residuos agroindustriales. Sin embargo, estas ventajas solo pueden aprovecharse plenamente cuando el material seleccionado y su disposición final son adecuados para cada aplicación. Por ello, más que reemplazar por completo a los plásticos convencionales, los bioplásticos

Tabla 2. Comparación entre plásticos convencionales y bioplásticos.

Característica	Plásticos convencionales	Bioplásticos
Materia prima	Petróleo y gas natural	Biomasa o residuos orgánicos
Renovabilidad	No renovable	Renovable total o parcialmente
Biodegradabilidad	Generalmente muy baja	Variable según el material
Generación de microplásticos	Alta	Menor, aunque puede ocurrir
Tiempo de degradación	Décadas o siglos	Semanas a años dependiendo de condiciones
Economía circular	Limitada	Mayor potencial
Uso de residuos agrícolas	No	Sí

representan una alternativa que debe integrarse dentro de estrategias más amplias de sostenibilidad.

Economía circular: cuando los residuos se convierten en un recurso

El modelo económico tradicional sigue una secuencia sencilla: extraer, producir, consumir y desechar. Este sistema, conocido como economía lineal, ha favorecido durante décadas el uso intensivo de recursos no renovables y el incremento constante de residuos sólidos, entre ellos los plásticos derivados del petróleo (Rodríguez, 2012).

Como alternativa surge la economía circular, un modelo que busca mantener los materiales en uso durante el mayor tiempo posible mediante estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y valorización de residuos. En este sistema, los desechos de un proceso pueden convertirse en materia prima para otro, disminuyendo el impacto ambiental y el consumo de recursos naturales (Laborda Blanc, 2022).

En este contexto, los residuos agroindustriales representan una fuente importante de biomasa para el desarrollo de nuevos biomateriales. Subproductos como cáscaras, semillas y restos de frutas contienen fibras, polisacáridos y otros compuestos que pueden

incorporarse en la elaboración de bioplásticos, aportando valor a materiales que normalmente serían desechados (Hernández Fandiño y Gallego Sánchez, 2014).

Uno de los ejemplos más interesantes es la cáscara de mango (*Mangifera indica*), rica en fibra, pectinas y polisacáridos. Estas características la convierten en una materia prima con potencial para modificar las propiedades de bioplásticos elaborados a base de almidón. Además de reducir la cantidad de residuos orgánicos, su aprovechamiento contribuye a impulsar estrategias de sostenibilidad y economía circular (Hernández Fandiño y Gallego Sánchez, 2014).

No obstante, para que los beneficios ambientales de estos materiales sean reales, es necesario que su disposición final sea adecuada. Diversos estudios indican que algunos bioplásticos requieren condiciones específicas de compostaje para degradarse completamente, por lo que su desarrollo debe ir acompañado de sistemas adecuados de gestión de residuos (Laborda Blanc, 2022; Sernaqué Auccahuasi et al., 2020).

Oportunidades y retos para los bioplásticos elaborados con residuos de mango.

Después de conocer qué son los bioplásticos, cómo se clasifican y cuáles son sus ventajas y limitaciones, surge

una pregunta importante: ¿cómo puede contribuir el mango al desarrollo de materiales más sostenibles?

Cada año, la producción y el procesamiento del mango generan grandes cantidades de residuos, principalmente cáscaras y semillas, que en muchos casos son desechados. Sin embargo, estos subproductos contienen compuestos como fibras, pectinas y polisacáridos que pueden aprovecharse para desarrollar nuevos biomateriales, transformando un residuo en una materia prima con valor agregado.

El aprovechamiento de estos residuos ofrece diversas ventajas ambientales y económicas, entre las que destacan:

- **Valorización de residuos agroindustriales:** Permite dar un nuevo uso a subproductos que normalmente serían desechados.
- **Reducción de contaminación ambiental:** Reduce tanto la acumulación de residuos orgánicos como la dependencia de plásticos convencionales derivados del petróleo.
- **Uso de recursos renovables:** Los residuos de mango representan una materia prima abundante que puede aprovecharse de forma más sostenible.
- **Impulsa a la economía circular:** Favorece que los residuos se reincorporen al sistema productivo como nuevos materiales con valor agregado.

No obstante, el desarrollo de bioplásticos elaborados con residuos de mango también enfrenta desafíos importantes. Para que estos materiales puedan utilizarse de forma más amplia es necesario seguir investigando aspectos como su resistencia mecánica, estabilidad, costo de producción y comportamiento durante su degradación. Además, resulta indispensable fortalecer la infraestructura para el compostaje y la gestión adecuada de residuos, ya que muchos bioplásticos requieren condiciones específicas para degradarse eficientemente.

Estos retos representan también una oportunidad para la investigación científica y el desarrollo tecnológico. Cada avance en este campo acerca la posibilidad de fabricar materiales más funcionales y sostenibles que contribuyan a reducir el impacto ambiental generado por los plásticos convencionales.

Conclusión

La creciente contaminación causada por los residuos plásticos ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles para satisfacer las necesidades de la sociedad sin comprometer el medio ambiente. En este contexto, los bioplásticos representan una

opción prometedora al aprovechar recursos renovables y, en algunos casos, residuos agroindustriales como materia prima para su elaboración.

Sin embargo, a lo largo de este artículo quedó claro que los bioplásticos no constituyen una solución única al problema de la contaminación plástica. Su impacto ambiental depende del tipo de material con el que fueron fabricados, de sus propiedades y, sobre todo, de la forma en que son utilizados y gestionados al finalizar su vida útil.

El aprovechamiento de residuos de mango demuestra que es posible transformar materiales considerados desechos en recursos con potencial para generar productos de mayor valor agregado. Además de contribuir a disminuir la cantidad de residuos orgánicos, esta estrategia favorece la economía circular y promueve un uso más eficiente de los recursos naturales.

En definitiva, el futuro de los materiales sostenibles no dependerá únicamente del desarrollo de nuevas tecnologías, sino también de la participación conjunta de investigadores, empresas, instituciones y consumidores. La innovación científica, acompañada de hábitos de consumo responsable y una adecuada gestión de residuos, permitirá avanzar hacia modelos de producción y consumo más sostenibles.

Quizá la solución al problema del plástico no consista en encontrar un material perfecto, sino en aprender a aprovechar mejor los recursos que ya tenemos. Cada cáscara de mango que hoy consideramos un desecho podría convertirse mañana en parte de un nuevo material biodegradable. Ese es precisamente el principio de la economía circular: transformar los residuos en oportunidades mediante la ciencia y la innovación.

Referencias

Álvarez da Silva, L. (2016). *Bioplásticos: obtención y aplicaciones de polihidroxialcanoatos* [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla, Facultad de Farmacia]. Repositorio de la Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/146b3bd4-6f3c-40b2-ad51-ff028be4e6ed/content>

Hernández Fandiño, C. H., & Gallego Sánchez, C. A. (2014). *Evaluación de diferentes tratamientos de*

compostaje solarizado de los subproductos cáscara y semilla de mango de azúcar (Mangifera indica L.) que genera la agroindustria Productora de Jugos S.A.S. de Tuluá, Valle del Cauca [Trabajo de grado de licenciatura, Unidad Central del Valle del Cauca]. Repositorio Institucional UCEVA. <https://repositorio.uceva.edu.co/bitstream/handle/20.500.12993/98/T0026198.pdf?sequence=1>

Herráez, B., González, O., & Cabrera, B. (2019, 05 21). *Bioplástico de mango*. IngeniaMateriales. Retrieved 06 23, 26, from https://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/3945/4042

Laborda Blanc, M. Á. (2022). *Envases biodegradables en la industria agroalimentaria: Materiales, tendencias y aplicaciones* [Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Zaragoza]. Repositorio Institucional ZAGUAN. <https://zaguan.unizar.es/record/111720/files/TAZ-TFG-2022-396.pdf>

Rodríguez, A. (2012, 11). *BIODEGRADABILIDAD DE MATERIALES BIOPLÁSTICOS*. ResearchGate. Retrieved 06 23, 2026, from https://www.researchgate.net/profile/Ariel-Rodriguez-Cuesta/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos/links/5bdb4e3492851c6b279f6d93/Biodegradabilidad-de-materiales-bioplasticos.pdf?tp=eyJjb250ZXh0lp7lmZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0a

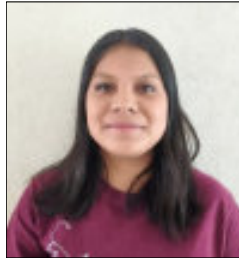
asticos/links/5bdb4e3492851c6b279f6d93/Biodegradabilidad-de-materiales-bioplasticos.pdf?tp=eyJjb250ZXh0lp7lmZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0a

Ruiloba, I., Li, M., Quintero, R., & Correa, J. (2018, 06 23). *Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango Bioplastic production from mango seed starch*. Portal de revistas academicas UTP. Retrieved 06 23, 2026, from <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1815/2625>

Sernaqué Auccahuasi, F. A., Huamán Mogollón, L. d. C., Pecho Chipa, H., & Chacón Chacón, M. E. (2020, 09 04). *Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de Mangifera indica y Musa paradisiaca*. Centro Agrícola. Retrieved 06 23, 2026, from https://www.researchgate.net/publication/351481002_Biodegradabilidad_de_los_bioplasticos_elaborados_a_partir_de_cascaras_de_Mangifera_indica_y_Musa_paradisiaca/fulltext/6425da7692cfd54f843dbe90/Biodegradabilidad-de-los-bioplasticos-elaborados-a-partir-de-c



Mi nombre es **Alondra Medina Piña**, soy estudiante en la Universidad Tecnológica de Corregidora cursando la ingeniería en biotecnología. Me gusta mucho ver series y películas de géneros como la acción, comedia y musicales, también me gusta cuidar de mis plantas, verlas crecer, ver sus diferentes colores y formas. Me gusta escuchar música siempre que puedo y busco establecer un emprendimiento después de graduarme.



Soy **Ismari Johari Rojo Cortés** estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC). Me apasiona el área de la salud, especialmente los análisis clínicos, y aspiro a especializarme en genética ya que me interés el estudio del ADN y sus aplicaciones en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. En mi tiempo libre disfruto de caminar en la naturaleza y leer libros de superación personal y novelas, actividades que contribuyen a mi desarrollo personal y académico.

2310415019@utcorregidora.edu.mx



Monserrat Escobar-Sánchez es Doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y realizó una estancia posdoctoral en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN). Actualmente se desempeña como Asesora Académica en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC), donde participa en actividades de docencia y vinculación con el sector productivo. Su investigación se centra en bacterias con potencial probiótico y aplicaciones biotecnológicas para la salud y la industria alimentaria. Es autora y coautora de publicaciones científicas, capítulos de libro y artículos de divulgación, y forma parte del Consejo Directivo Nacional de la Asociación Mexicana de Ciencia y Tecnología de la Carne (AMEXITEC), promoviendo la transferencia de conocimiento entre la academia, la industria y la sociedad.

monserrat.escobar@utcorregidora.edu.mx



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidorreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

MICROPLÁSTICOS Y EL COSTO AMBIENTAL DE LA ERA DEL PLÁSTICO

**Nicasio Perea María Guadalupe, Serrano Salinas
Melanie, Valdez Ríos Jessica, García Salgado Antonio
Arnulfo, Escobar-Sánchez Monserrat y Calvo-Ramos
Daniela K*.**

Universidad Tecnológica de Corregidora. Carretera Estatal 413, Km 11.2, Santa Bárbara, C. P. 76924, Corregidora, Querétaro, México.

*daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

En las últimas décadas, la humanidad rediseñó por completo su entorno gracias a un material revolucionario: el plástico. Su bajo costo, versatilidad y extrema durabilidad lo convirtieron rápidamente en un elemento indispensable de la vida moderna, estando presente desde los envases de nuestra comida diaria hasta en la tecnología médica que salva vidas; sin embargo, este éxito rotundo es también su mayor condena ambiental, ya que la colosal generación de sus desechos ha comenzado a desbordar y asfixiar de forma silenciosa a los ecosistemas terrestres y acuáticos de nuestro planeta (Coreño-Alonso & Méndez-Bautista, 2010).

Lejos de desaparecer o disolverse, el verdadero dolor de cabeza comienza cuando toda esta basura queda expuesta a la intemperie, donde el sol, el viento y el oleaje actúan como una lija invisible que erosiona los materiales hasta volverlos diminutos. Esta constante fragmentación ha esparcido billones de partículas imperceptibles por los rincones más inesperados de la biosfera, transformando un problema macroscópico y visible en una amenaza oculta que despierta una tremenda preocupación en la comunidad científica por su impacto a largo plazo (Andrady, 2011; Thompson et al., 2004).

Para comprender cómo un objeto tan común puede fragmentarse masivamente y volverse tan persistente en la naturaleza, el secreto no está en su tamaño final, sino en su fascinante arquitectura molecular; es decir, en la naturaleza de los polímeros que lo construyen (González, 2021).

¿Qué es un polímero ?

La palabra polímero proviene del griego "poly", que significa muchos, y "meros", que significa partes. Un polímero es una sustancia formada por moléculas muy grandes llamadas macromoléculas, las cuales están

compuestas por muchas unidades pequeñas que se repiten y que están enlazadas químicamente una tras otra. Cada una de esas "partes" que forman al polímero se denomina monómero (una parte) (González, 2021; Coreño-Alonso & Méndez-Bautista, 2010).

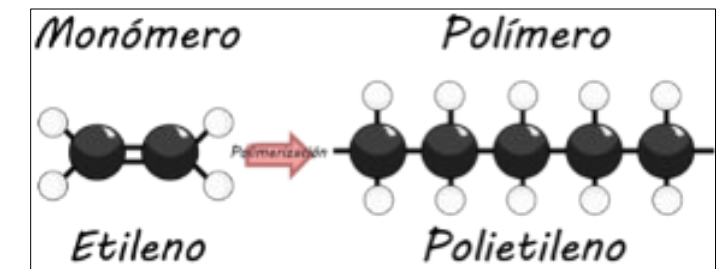


Figura 1. Representación esquemática de la formación de un polímero a partir de la unión repetitiva de monómeros. Fuente: Chacón Argáez (2017).

Los polímeros pueden estar formados por monómeros iguales o diferentes, lo que da lugar a una gran diversidad de materiales con propiedades específicas. Por esta razón, pueden imaginarse como moléculas constituidas por numerosos monómeros enlazados entre sí, de manera similar a pequeños bloques de construcción. Dependiendo de la naturaleza de estos monómeros y del tipo de enlace químico que los une, los polímeros presentan diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas, lo que explica la amplia variedad de materiales poliméricos utilizados en la actualidad. (González, 2021).

¿Qué son los microplásticos?

El incremento descontrolado en la producción, el consumo masivo y la gestión deficiente de los residuos plásticos ha terminado por generar una problemática ambiental de gran magnitud en todo el planeta, debido a que una inmensa parte de estos desechos terminan acumulándose sin control en los ecosistemas terrestres y acuáticos más diversos (Barnes et al., 2009; Geyer et al., 2017). Con el inevitable paso del tiempo, estos residuos plásticos no desaparecen del entorno de forma mágica, sino que sufren lentos pero continuos procesos de degradación física, química y biológica causados por factores como la radiación solar ultravioleta, el oleaje marino, los cambios drásticos de temperatura y la fricción mecánica (Andrady, 2011; Gewert et al., 2015). Estos fenómenos combinados fragmentan los objetos plásticos originales en partículas cada vez más pequeñas, dando origen a las entidades conocidas formalmente como microplásticos (Thompson et al., 2004).

Desde una perspectiva estrictamente científica y de consenso internacional, los microplásticos se definen formalmente como cualquier partícula sólida de material plástico sintético que posea un tamaño inferior a los 5

milímetros en su dimensión más larga (Arthur et al., 2009; Hartmann et al., 2019). No obstante, este límite superior es solo el comienzo de una escala decreciente que se extiende hacia dimensiones microscópicas y submicroscópicas, llegando hasta el rango de los nanoplásticos, partículas tan diminutas que miden menos de una micra y resultan completamente invisibles para el ojo humano desarmado (Alimi et al., 2018; Gigault et al., 2018).

Es vital comprender que, a pesar de su tamaño diminuto, estas partículas han sido detectadas con éxito en los rincones más remotos y variados de la Tierra, incluyendo los océanos profundos, los ríos de agua dulce, los suelos agrícolas productores de alimentos, e incluso de manera directa dentro del propio organismo de los seres humanos (Jamieson et al., 2019; Schwabl et al., 2019; Wright & Kelly, 2017). Este alarmante hallazgo a escala global ha despertado una creciente y legítima preocupación en la comunidad científica internacional por sus posibles efectos nocivos a largo plazo sobre el equilibrio del medio ambiente y la salud de las poblaciones vivas (De Souza Machado et al., 2018; Eerkes-Medrano et al., 2015).

El peligro intrínseco de los microplásticos radica precisamente en su persistencia en el tiempo y en la aparente desconexión que existe entre su tamaño físico y su estabilidad química (Andrady, 2011). Un trozo microscópico de plástico ya no cumple la función útil de una botella o una red de pesca, pero conserva en gran medida la misma composición macromolecular y los mismos enlaces químicos covalentes fuertes que otorgan una alta estabilidad al polímero original (Cole et al., 2011).

Si bien es cierto que la mayoría de los microorganismos nativos en suelos y cuerpos de agua carecen de las vías metabólicas optimizadas para romper eficientemente estas cadenas de carbono sintéticas (Thompson et al., 2004), esta resistencia no es absoluta. En los últimos años, la investigación biotecnológica ha demostrado la existencia de diversas bacterias y hongos con la capacidad metabólica latente o adaptativa para colonizar la "plastisfera" y degradar ciertos polímeros mediante la secreción de enzimas específicas, como las cutinasas, lipasas y esterases (Zheng et al., 2005). Un ejemplo emblemático es el aislamiento de la bacteria *Ideonella sakaiensis*, la cual produce enzimas capaces de despolimerizar el tereftalato de polietileno (PET) (Yoshida et al., 2016), así como consorcios de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* que muestran actividad degradativa frente al polietileno y poliestireno bajo ciertas condiciones experimentales (Auta et al., 2017; Yang et al., 2015). No obstante, a pesar de este potencial biológico, las tasas de biodegradación natural en el medio ambiente

siguen siendo sumamente lentas e insuficientes para contrarrestar el ritmo de acumulación antropogénica, por lo que los microplásticos continúan comportándose como contaminantes de alta persistencia que alteran de forma invisible las propiedades físicas y biológicas del entorno (MacLeod et al., 2021).

Causantes de los microplásticos

Para diseñar estrategias efectivas de mitigación, la ciencia ha clasificado rigurosamente las fuentes de origen de estas partículas en dos grandes categorías conceptuales, dependiendo de si fueron introducidas al medio ambiente directamente con su tamaño reducido o si se generaron a partir de la destrucción de objetos de mayor volumen (Cole et al., 2011). Estas categorías se conocen como microplásticos primarios y microplásticos secundarios, y cada una posee dinámicas de dispersión totalmente distintas (Boucher & Friot, 2017).

- *Microplásticos Primarios*: Son aquellas partículas que se fabrican deliberadamente con un tamaño inferior a los 5 milímetros para cumplir funciones industriales o comerciales específicas (Boucher & Friot, 2017). El ejemplo más común e histórico de este grupo son las microesferas de plástico que se añadían masivamente a productos de cuidado personal y cosméticos, tales como geles exfoliantes, pastas de dientes y cremas de limpieza facial, diseñadas para proporcionar un efecto abrasivo suave (Rochman et al., 2015). Al usarse en el baño, estas microesferas viajan directamente por el desagüe hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales muchas veces carecen de filtros con la capacidad de retener partículas tan pequeñas, permitiendo que ingresen directamente a los ríos y mares (Eerkes-Medrano et al., 2015). Otra fuente primaria crítica son los pellets o "lágrimas de sirena", que consisten en pequeñas esferas de resina plástica que sirven como materia prima industrial; estos pellets se transportan por miles de millones en barcos y camiones a nivel mundial, sufriendo accidentes y derrames crónicos que contaminan directamente los suelos y las costas (Boucher & Friot, 2017).

- *Microplásticos Secundarios*: Representan la inmensa mayoría de las partículas que inundan los ecosistemas actuales (Andrady, 2011). Se originan a partir del desprendimiento, desgaste y fragmentación progresiva de productos plásticos de gran tamaño debido a la radiación solar y la erosión ambiental (Thompson et al., 2004). Sin embargo, existen fuentes secundarias masivas e invisibles asociadas directamente al estilo de vida urbano moderno que la mayoría de las personas no asocia con la basura plástica tradicional (Boucher & Friot, 2017).

La primera de estas fuentes es el lavado doméstico de ropa confeccionada con textiles sintéticos como el poliéster, el nailon o el acrílico (Browne et al., 2011). En cada ciclo de lavado, la fricción mecánica del agua provoca que las prendas desprendan cientos de miles de microfibras plásticas microscópicas que escapan por las cañerías. La segunda fuente gigantesca es el desgaste diario de los neumáticos de los vehículos en las carreteras. Las llantas modernas están compuestas por una mezcla compleja de caucho sintético y polímeros elastómeros; la fricción constante contra el pavimento genera un polvo fino de microplásticos que el viento y la lluvia arrastran hacia los cuerpos de agua adyacentes, convirtiendo a las vialidades en una de las mayores fuentes de contaminación por microplásticos del planeta (Browne et al., 2011).

Impacto ambiental, social y de salud

Las consecuencias de la acumulación descontrolada de microplásticos se manifiestan de manera simultánea en tres dimensiones críticas para la estabilidad planetaria: el equilibrio de la biosfera, la economía de las comunidades humanas y la integridad fisiológica de los seres vivos (Rochman et al., 2013).

• Impacto Ambiental

El impacto sobre la naturaleza es generalizado y afecta a todos los niveles de la cadena trófica (Cole et al., 2013). En los ambientes acuáticos, los microplásticos flotan en las columnas de agua o se depositan en los sedimentos bentónicos, interactuando con una infinidad de especies (Wright et al., 2013). Organismos filtradores basales, como el zooplancton, los mejillones y las larvas de peces, confunden de forma sistemática estas partículas con su alimento natural (como las algas) (Cole et al., 2013).

Al ingerirlos, experimentan un fenómeno conocido como saciedad física falsa: sus estómagos se llenan de plástico inerte que no les aporta ningún nutriente, provocando desnutrición crónica, bloqueos intestinales físicos, disminución en sus tasas de reproducción y, en casos severos, la muerte por inanición (Wright et al., 2013). Al ascender en la cadena alimentaria, los depredadores mayores consumen a las presas que ya contienen plástico en sus tejidos, desencadenando un proceso de bioacumulación que afecta a aves marinas, tortugas y grandes mamíferos cetáceos, alterando de manera irreversible las redes ecológicas globales (Rochman et al., 2013).

• Impacto Social y Económico

A nivel social, la crisis de los microplásticos golpea directamente el bienestar humano, la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las poblaciones vulnerables (Vethaak & Legler, 2021). Las industrias de la pesca comercial y la acuicultura se ven gravemente amenazadas, ya que la presencia visible o invisible de contaminantes en los productos del mar devalúa el valor comercial de las capturas y genera desconfianza legítima en los consumidores de alimentos (Barboza et al., 2018).

Asimismo, las comunidades costeras que dependen económicamente del turismo sufren la pérdida de sus atractivos naturales; las playas y arrecifes de coral pierden su valor estético debido a la acumulación de residuos plásticos fragmentados, lo que reduce las tasas de empleo local y eleva de forma drástica los costos municipales destinados a la limpieza y remediación ambiental de los espacios públicos (Barnes et al., 2009).

• Impacto en la Salud Humana

El impacto en la salud de las personas ha transitado de ser una preocupación teórica para convertirse en una realidad médica alarmante corroborada por investigaciones de vanguardia (Wright & Kelly, 2017). Los seres humanos ingieren microplásticos de forma diaria e inevitable a través del consumo de agua potable (tanto embotellada como de grifo), mariscos, pescado, sal marina e incluso mediante la inhalación directa del polvo suspendido en el aire dentro de nuestros hogares (Vethaak & Legler, 2021).

Una vez que ingresan al cuerpo, las partículas más diminutas poseen la capacidad física de atravesar las barreras epiteliales del sistema digestivo y migrar hacia el torrente sanguíneo (Wright & Kelly, 2017). Estudios clínicos recientes han detectado con éxito microplásticos en sangre humana, tejidos pulmonares, muestras de orina e incluso dentro de la estructura de la placenta de mujeres embarazadas (Schwabl et al., 2019).

El peligro para la salud es doble: por un lado, la presencia física de la partícula puede inducir respuestas inflamatorias crónicas, estrés oxidativo a nivel celular y daño tisular en los órganos donde se alojan (Wright & Kelly, 2017). Por otro lado, los plásticos actúan como vectores químicos peligrosos; durante su manufactura, se les añaden aditivos químicos potencialmente tóxicos (como los ftalatos y el bisfenol A, conocidos disruptores endocrinos) que se liberan dentro del cuerpo (Rochman et al., 2013). Además, debido a sus propiedades químicas superficiales, los microplásticos actúan en el medio ambiente como verdaderas "esponjas" moleculares, absorbiendo y concentrando contaminantes orgánicos persistentes (COP) y metales pesados presentes en el agua

contaminada, introduciéndolos directamente en nuestros sistemas biológicos (Cole et al., 2011).

El Camino Hacia Adelante: Concientización

La resolución del problema de la contaminación por microplásticos no radica en la eliminación absoluta o la satanización utópica de todos los polímeros sintéticos, ya que, como se ha expuesto, estos materiales son pilares tecnológicos insustituibles que salvan vidas a diario en la medicina moderna, optimizan la distribución de agua potable y reducen el consumo de energía en el transporte global debido a su ligereza (Geyer et al., 2017). El verdadero núcleo de la solución se encuentra en una transformación radical y colectiva de nuestra relación cultural, económica e industrial con estos materiales, fundamentada en una profunda concientización (Rochman et al., 2016).

La transición hacia un futuro sostenible exige la adopción urgente del paradigma de la Economía Circular, un modelo económico diseñado para eliminar el concepto mismo de residuo desde la fase de diseño de los productos (MacArthur, 2013). Esto implica obligar a las industrias manufactureras a implementar el ecodiseño, fabricando objetos que no solo sean reciclables en teoría, sino que posean una durabilidad real, que faciliten su reparación y que utilicen polímeros monomateriales fáciles de separar en las plantas de reciclaje mecánico y químico, dejando atrás para siempre la irresponsable cultura de los plásticos de un solo uso (Geyer et al., 2017).

A nivel individual y doméstico, las acciones cotidianas de los ciudadanos poseen un impacto acumulativo directo sobre las corrientes de contaminación (Boucher & Friot, 2017). Decisiones conscientes como rechazar de manera sistemática los empaques plásticos innecesarios, preferir prendas de vestir confeccionadas con fibras naturales y biodegradables (como el algodón orgánico, el lino o la lana) en lugar de textiles puramente sintéticos, e instalar filtros especializados de alta eficiencia en los desagües de nuestras lavadoras domésticas pueden evitar de manera directa que miles de millones de microfibras plásticas microscópicas ingresen cada año a las redes de drenaje y a los ríos de nuestras localidades (Browne et al., 2011).

Finalmente, la concientización colectiva debe evolucionar hacia una participación civil activa que impulse y exija a los gobiernos la creación de marcos regulatorios y políticas públicas estrictas (Rochman et al., 2016). Es imperativo legislar la prohibición global de microplásticos añadidos intencionalmente en productos de consumo, incentivar fiscalmente la investigación científica orientada al desarrollo de biopolímeros genuinamente compostables en condiciones naturales, y mejorar de forma drástica la

infraestructura pública de recolección y tratamiento de aguas residuales (Vethaak & Legler, 2021).

El primer paso indispensable para limpiar nuestro planeta de esta amenaza invisible es aprender a mirarla de frente, comprendiendo que cada pequeña partícula plástica que hoy contamina el rincón más remoto de la Tierra fue alguna vez una decisión de consumo humano que pudimos haber evitado (Thompson et al., 2004).

REFERENCIAS

1. Libros

• Allcock, H. R., Lampe, F. W., & Mark, J. E. (2003). *Contemporary polymer chemistry* (3rd ed.). Pearson Education.

• Brydson, J. A. (1999). *Plastics materials* (7th ed.). Butterworth-Heinemann.

• Carraher, C. E. (2017). *Carraher's polymer chemistry* (10th ed.). CRC Press.

• Meikle, J. L. (1995). *American plastic: A cultural history*. Rutgers University Press.

• Morris, P. J. (2005). *Polymer pioneers: A popular history of the science and technology of large molecules*. Chemical Heritage Foundation.

• Odian, G. (2004). *Principles of polymerization* (4th ed.). Wiley-Interscience.

• Young, R. J., & Lovell, P. A. (2011). *Introduction to polymers* (3rd ed.). CRC Press.

2. Artículos Científicos (Revistas Indexadas)

• Andrad, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

• Barboza, L. G. A., Dick Vethaak, A., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336–348. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047>

• Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the*

Royal Society B: Biological Sciences, 364(1526), 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

• Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, J., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>

• Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

• Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12), 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>

• Coreño-Alonso, J., & Méndez-Bautista, M. T. (2010). Relación estructura-propiedades de polímeros. *Educación Química*, 21(4), 291–299. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X201000040006

• Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research. *Water Research*, 75, 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>

• Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

• Gigault, J., ter Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P. Y., Gauffre, F., Phi, T. L., El Hadri, H., Grassl, B., & Reynaud, S. (2018). Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution*, 235, 1030–1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>

• Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>

• Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G., & Ragas, A. M. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>

• MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23–44.

• Mulder, K. L. (1999). Strategic technology development in the plastics industry: How to steer a innovations network. *Technology Analysis & Strategic Management*, 11(2), 245–262. <https://doi.org/10.1080/095373299107483>

• Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Semon, E., Amaral-Zettler, L. A., Hankins, R. A., Teh, S. J., & Thompson, R. C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169–171. <https://doi.org/10.1038/494169a>

• Rochman, C. M., Kross, S. M., Armstrong, J. B., Bogan, M. T., Darling, E. S., Green, S. J., Smyth, A. R., & Verissimo, D. (2015). Scientific evidence supports a ban on microbeads. *Environmental Science & Technology*, 49(18), 10759–10761. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03909>

• Rochman, C. M., Cook, A.-M., & Koelmans, A. A. (2016). Plastic debris and policy: Using science to drive management of macro-and microplastics. *Current Pollution Reports*, 2, 245–253. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0043-0>

• Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453–457. <https://doi.org/10.7326/M19-0607>

• Shim, W. J., Hong, S. H., & Seo, S. I. (2017). Identification methods in microplastic analysis: A review. *Analytical Methods*, 9(9), 1384–1391. <https://doi.org/10.1039/C6AY02558G>

• Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>

• Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), 672–674. <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>

• Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>

- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: An ecosystem problem. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00427>

3. Informes Técnicos, Capítulos de Libros y Memorias de Congresos

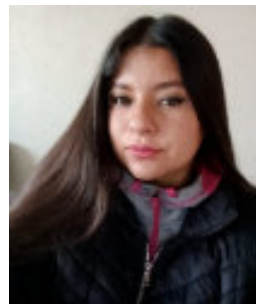
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (Eds.). (2009). *Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris* (NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30). National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Boucher, J., & Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. *IUCN Global Marine and Polar Programme*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>

- Löder, M. G., & Gerdt, G. (2015). Methodology used for the detection and identification of microplastics—A critical appraisal. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine anthropogenic litter* (pp. 201–227). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_8

- PlasticsEurope. (2021). *Plastics – the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. PlasticsEurope Market Research Group.

4. Sitios Web y Blogs

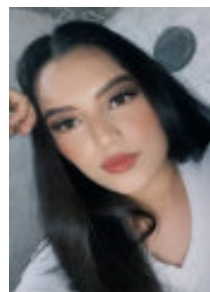
- Chacón Argáez, U. (2017, 21 de noviembre). Polimerización RAFT del mircenio en masa: Protocolo de investigación. Polymyceno. <https://poliuriel.blogspot.com/2017/11/la-palabra-polimero-puede-definirse.html>
- González, A. (2021, 17 de mayo). Polímeros. Lifeder. <https://www.lifeder.com/polimeros/>



María Guadalupe Nicasio Perea, soy estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC). Tengo un gran interés por la microbiología y por adquirir nuevas habilidades en técnicas de laboratorio y aplicaciones de la biotecnología. Me caracterizo por ser una persona curiosa, autodidacta y comprometida con su desarrollo profesional y personal.

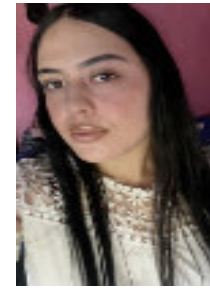
Además disfruto aprender distintos oficios relacionados con el emprendimiento, desarrollar proyectos de remodelación y fabricación de muebles, así como viajar, conocer nuevas culturas y conducir motocicleta, actividades que fortalezcan mi creatividad, independencia y gusto por enfrentar nuevos retos.

gnicasio962@gmail.com



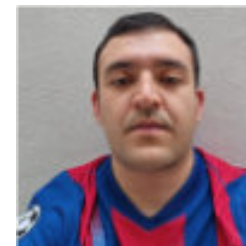
Soy **Melanie Serrano Salinas**, estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC), con interés en la microbiología, la biotecnología ambiental, los procesos biotecnológicos y la investigación aplicada, especialmente en proyectos orientados al cuidado del medio ambiente y la innovación científica. En mi tiempo libre disfruto viajar, convivir con los animales y participar en el rescate de perros en situación de abandono junto con mi familia. También me gusta conocer nuevos lugares, escuchar música y seguir desarrollando habilidades que contribuyan a mi crecimiento personal y profesional.

2310415033@utcorregidora.edu.mx



Mi nombre es **Jessica Valdez Ríos** y soy estudiante de Ingeniería en Biotecnología. Me considero una persona sumamente creativa, apasionada por la innovación y con una mente ocurrente que siempre busca ir más allá en cada aprendizaje. En lugar de seguir caminos convencionales, me entusiasma diseñar soluciones originales, crear nuevos productos con base científica y aplicar el rigor experimental de una forma dinámica y disruptiva. Mi meta es transformar el conocimiento técnico en propuestas con un impacto real, demostrando que la ciencia y la creatividad van de la mano para transformar nuestro entorno.

2310415049@utcorregidora.edu.mx



Soy **Antonio Arnulfo García Salgado**, estudiante de Ingeniería Química área biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC). Soy un apasionado de ver y practicar deportes de equipo como es el fútbol, fútbol americano y voleibol así como mantenerme en buen estado físico practicando regularmente gimnasio, senderismo y salir a correr principalmente con mis amigos.

trony2004@gmail.com



Monserrat Escobar-Sánchez es Doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y realizó una estancia posdoctoral en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN). Actualmente se desempeña como Asesora Académica en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC), donde participa en actividades de docencia y vinculación con el sector productivo. Su investigación se centra en bacterias con potencial probiótico y aplicaciones biotecnológicas para la salud y la industria alimentaria. Es autora y coautora de publicaciones científicas, capítulos de libro y artículos de divulgación, y forma parte del Consejo Directivo Nacional de la Asociación Mexicana de Ciencia y Tecnología de la Carne (AMEXITEC), promoviendo la transferencia de conocimiento entre la academia, la industria y la sociedad.

monserrat.escobar@utcorregidora.edu.mx



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidorreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

EL PLÁSTICO INVISIBLE QUE COMEMOS Y BEBEMOS

Martínez Sierra María Fernanda, Plancarte Velasco Sharon Massiel, Regalado Arreola Fátima Montserrat, Escobar-Sánchez Monserrat y Calvo-Ramos Daniela K*.

Universidad Tecnológica de Corregidora. Carretera Estatal 413, Km 11.2, Santa Bárbara, C. P. 76924, Corregidora, Querétaro, México.

*daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

Imagina ingerir una tarjeta de crédito de plástico cada semana, parece difícil de creer ¿cierto? Sin embargo, no está muy lejos de nuestra realidad, diminutas partículas invisibles al ojo humano llamadas “microplásticos” forman parte de nuestra vida diaria, están en el agua que bebemos, en los alimentos que consumimos e incluso en el aire que respiramos. Por lo tanto, estas partículas ya están dentro de nuestro cuerpo, acumulándose día con día en nuestro sistema digestivo.

Estas pequeñas partículas de plástico inferiores a 5 milímetros, provenientes principalmente de la degradación de plásticos más grandes, como bolsas, botellas, fibras sintéticas, así como la fabricación de micropartículas para ciertos productos pueden ser ingeridas por organismos marinos y acumularse en la cadena alimentaria llegando eventualmente al ser humano (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2024).

La Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, conocida como **PNUMA**, ha estado abordando la problemática de los microplásticos y, en general, la contaminación por plásticos desde hace varios años, reconociendo su creciente amenaza para el medio ambiente y la salud humana. PNUMA, 2024. Su principal propósito es fomentar y apoyar la cooperación internacional en materia ambiental, promoviendo la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible, con el fin de garantizar la calidad de vida del presente sin comprometer la de las generaciones futuras.

Es una organización especializada de la ONU encargada de promover la protección ambiental y el desarrollo sostenible a escala global (PNUMA), 2024).

Como organismo líder ambiental, presta asesoramiento normativo, facilita información oportuna sobre amenazas ambientales y promueve la cooperación internacional basada en los mejores conocimientos científicos y técnicos. Fomenta el desarrollo del derecho ambiental internacional orientado al desarrollo sostenible, fortalece los vínculos entre convenios ambientales y promueve la aplicación y el cumplimiento de las normas y acuerdos internacionales. Además, coordina las actividades ambientales del sistema de las Naciones Unidas, actúa como organismo ejecutor del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, impulsa la conciencia pública y facilita la colaboración multisectorial. Sirve también como puente entre la comunidad científica y los tomadores de decisiones, y ofrece asesoramiento y apoyo en la elaboración de políticas ambientales a gobiernos e instituciones (**PNUMA, 2015**).

¿Qué son los microplásticos?

El mundo se está ahogando bajo el peso de la contaminación por plásticos, con más de 430 millones de toneladas de plástico producidas anualmente. Dos tercios son productos de corta duración que pronto se convierten en residuos, llenando el océano y, a menudo, entrando en la cadena alimentaria humana. Uno de los legados más dañinos y duraderos de la crisis de la contaminación por plásticos son los microplásticos, una amenaza creciente para la salud humana y planetaria (UNEP, 2023).

Los microplásticos son partículas de plástico muy pequeñas de menos de 5 milímetros que pueden representar un riesgo potencial para la salud dependiendo de sus características fisicoquímicas y del nivel de exposición. Tras la degradación de residuos plásticos mayores, se vuelven casi invisibles al ojo humano, su presencia en los diversos ecosistemas representa un riesgo tanto para los seres humanos como para las múltiples especies. Por su potencial tóxico, la Organización Panamericana de Salud ha incluido a los microplásticos en la lista de determinantes ambientales de la salud, lo que busca impulsar estudios sobre sus efectos en la salud humana y

ambiental, así como mejorar la gestión de residuos plásticos.

Los microplásticos que se encuentran en la ropa y en objetos como redes de pesca y cuerdas (entre muchos otros) se convierten en residuos que tienen un impacto significativo en los hábitats marinos. Este tipo de plástico diminuto ya está presente en casi todo el planeta (National Geographic, 2024).

Según investigaciones recientes, se generan unos 360 millones de toneladas de plástico cada año en todo el mundo y solo el 7 % de este material se recicla, lo que significa que la mayor parte acaba en el medio ambiente, donde supone un riesgo significativo como microplásticos (UNEP, 2023).

Clasificación de los microplásticos

El PNUMA que es el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, divide a los microplásticos en dos categorías principales:

- **Microplásticos primarios:** son aquellos que se fabrican intencionalmente para desempeñar una función específica. Incluyen cosméticos, limpiadores de manos y microesferas de plástico fabricadas específicamente para este fin (por ejemplo, partículas abrasivas o polvos para moldeo por inyección).
- **Microplásticos secundarios:** surgen de la descomposición de objetos plásticos mayores, tanto como durante su uso como tras su pérdida en el medio ambiente (por ejemplo, fibras textiles y de cuerdas, desgaste y fragmentación de objetos de basura más grandes, desgaste de neumáticos de vehículos, escamas de pintura) (National Geographic, 2024).

Tipos de polímeros.

En sus investigaciones sobre contaminación, Richard Thompson destaca que los microplásticos encontrados en el medio ambiente provienen de una amplia variedad de polímeros. Los principales tipos de plástico identificados son:

□ **Polietileno (PE):** El plástico más común, presente

en bolsas y envases.

□ **Polipropileno (PP):** Utilizado en tapas de botellas, envases de alimentos y textiles.

□ **Tereftalato de polietileno (PET):** Material principal de las botellas de bebidas.

□ **Poliestireno (PS):** Común en envases de unicel y embalajes.

□ **Cloruro de polivinilo (PVC):** Encontrado en tuberías, plásticos duros y recubrimientos.

□ **Poliamidas (Nailon y Poliéster):** Fibras sintéticas provenientes del desgaste de ropa y redes de pesca (Thompson et al., 2024).

Microplásticos en alimentos y bebidas.

Los microplásticos están ganando gran atención debido a su amplia difusión y efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente, también desde la pandemia de infección por coronavirus en 2019, ha habido un aumento considerable en la exposición a microplásticos además del mal uso de artículos desechables de equipos de protección individual (Kumar et al., 2025). No hay otro material que cumpla con las mismas cualidades que el plástico. Por eso los alimentos altamente perecederos y con mucha facilidad para contaminarse, como la carne o el pescado, siguen llegando a los mercados y supermercados en envases de plástico corriente y moliente (García et al., 2022).

A pesar de la creciente conciencia sobre los plásticos a pequeña escala en el agua potable, las bebidas y los productos alimenticios, se sabe poco sobre los posibles efectos posteriores en la salud humana. Además, existen muy pocos estudios que se centren en MP de menor tamaño, lo que puede ser más significativo para la exposición humana dada la mayor probabilidad de que partículas de menor escala crucen el tracto intestinal (Mortensen et al., 2021).

¿Cómo ingresan los microplásticos al cuerpo humano?

Los microplásticos pueden entrar al cuerpo humano principalmente mediante ingestión (la vía más frecuente), inhalación y, en menor medida, contacto cutáneo. La ingestión se produce a través de agua potable, mariscos, alimentos y envases plásticos, permitiendo que se acumulen en el tracto digestivo y

otros órganos, además de transportar contaminantes orgánicos persistentes (POP), los cuales son sustancias orgánicas tóxicas que permanecen en el ambiente por largos periodos y al no degradarse con facilidad, se acumulan y causan daños (Challenge Validation, 2016).

La inhalación ocurre al respirar partículas en el aire, especialmente en zonas urbanas o industrias plásticas (con una estimación de 26 a 130 partículas diarias), mientras que el contacto cutáneo proviene principalmente de cosméticos con microperlas y fibras sintéticas de la ropa (Kumar et al., 2025).

Estudios recientes han demostrado la presencia de microplásticos en productos alimenticios, agua potable e incluso en el aire que respiramos, lo que sugiere una exposición humana generalizada. Si bien los efectos exactos en la salud humana aún se están investigando, se han planteado preocupaciones sobre su potencial para causar inflamación, efectos tóxicos y alteraciones en el sistema endocrino e inmunológico. Además, los aditivos químicos y contaminantes adheridos a los microplásticos pueden representar un riesgo adicional. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2024).

Como se muestra en la Imagen 1, los microplásticos pueden ingresar al organismo por diferentes vías de exposición y ocasionar diversos efectos tóxicos en el cuerpo humano.

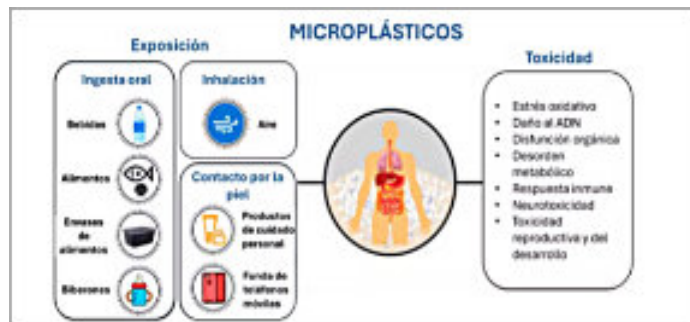


Imagen1. Principales vías de exposición humana a los microplásticos y posibles efectos en la salud. (Luciferasa, 2024).

¿Realmente es una amenaza para nuestra salud?

En humanos, los microplásticos pueden acumularse en el hígado, bazo, corazón, pulmones, timo, órganos reproductores, riñones e incluso en el cerebro. De acuerdo con su composición química (como tipo de polímero o aditivos), pueden interferir con procesos

biológicos del cuerpo humano y causar alteraciones del sistema endocrino e inmunológico; además, podrían tener un impacto negativo en la movilidad, la reproducción y el desarrollo, y causar carcinogénesis (Luciferasa, 2024). También se ha reportado la presencia de microplásticos en las muestras de sangre y la placenta. Las investigaciones han indicado que los microplásticos se transportan a los diferentes órganos y tejidos humanos en todo el cuerpo a través del sistema circulatorio. Además, los microplásticos también pueden acumularse en las arterias que distribuyen la sangre por todo el cuerpo (Kumar et al., 2025).

Existe una creciente preocupación de que los 'microplásticos' puedan entrar en la base de las redes tróficas marinas a través de organismos que se alimentan de sedimentos o filtros. Estas preocupaciones se ven agravadas por la evidencia de que los plásticos, además de tener muchos productos químicos incrustados, también adsorben contaminantes tóxicos del agua circundante, aumentando así potencialmente la bioacumulación de contaminantes peligrosos en la red alimentaria mediante la ingestión. El peligro tóxico potencial de la ingestión de plástico afecta así los niveles más altos de la red trófica no solo directamente, sino también indirectamente mediante el consumo de presas contaminadas (Van Franeker et al., 2011).

Estos micro contaminantes pueden ser ingeridos por una amplia variedad de organismos, desde plancton hasta peces, aves y mamíferos marinos, causando efectos nocivos como obstrucciones digestivas, disminución del apetito y exposición a compuestos tóxicos adheridos a las partículas. Además, los microplásticos pueden bioacumularse y biomagnificarse a medida que ascienden en la cadena alimenticia, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria humana. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2024).

¿Cómo podemos reducir nuestra exposición a los microplásticos?

Algunas medidas clave incluyen reducir la producción y uso de plásticos de un solo uso, mejorar los sistemas de gestión de residuos, promover la economía circular y el reciclaje, desarrollar

alternativas sostenibles al plástico, fortalecer las regulaciones y los acuerdos internacionales, e invertir en investigación y monitoreo para comprender mejor los impactos de los microplásticos. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2024).

Aunque la crisis de la contaminación por plásticos requiere una reforma sistémica, las decisiones individuales sí pueden marcar la diferencia. Por ejemplo, la ciudadanía puede cambiar sus hábitos de consumo para evitar los productos de plástico de un solo uso siempre que sea posible. Si los productos de plástico son inevitables, deben reutilizarse hasta que ya no puedan usarse, momento en el que deben reciclarse o eliminarse adecuadamente. Llevar bolsas al supermercado y, si es posible, esforzarse por comprar alimentos de origen local y de temporada que requieran menos envoltorios o empaquetado plástico y transporte (UNEP, 2023).

Los microplásticos son partículas que forman parte de nuestra realidad y que están con nosotros día con día. Realmente no hay manera de eliminarlos por completo, pero sí podemos contribuir a reducir un poco nuestra exposición. Esto no va solamente de dejar de consumir productos con empaques de plástico, sino de empezar desde el punto del problema: ser más conscientes de las consecuencias de tirar basura a mares, ríos y calles, y comenzar a cuidar el medio ambiente y a nuestras especies.

Aunque todavía existen interrogantes sobre los efectos de los microplásticos en la salud humana, la evidencia disponible justifica fortalecer las estrategias de reducción del uso de plásticos, mejorar la gestión de residuos y promover hábitos de consumo más sostenibles. Recordemos que cuidar al planeta es cuidar de nosotros.

REFERENCIAS:

- García, S., García, S., & García, S. (2022, 17 junio). Microplásticos en la comida: su efecto en la salud y cómo reducirlos. El País. https://elpais.com/gastronomia/el-comidista/2022/06/14/articulo/1655205092_000815.html
- GUÍA COMISIÓN: Los micro plásticos y su impacto en los ecosistemas y la salud humana. (2024). En COYMUN (Modelo ONU interno-IE. José

María Córdoba). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) / COYMUN. Recuperado 18 de junio de 2026, de https://coymun.weebly.com/uploads/1/0/8/8/10886535/pnuma_guia_2024.pdf

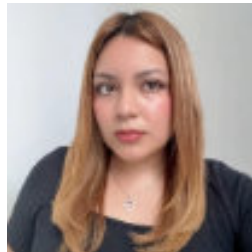
- Kumar, M., Chaudhary, V., Kumar, R., Chaudhary, V., & Srivastav, A. L. (2025). Microplastics, their effects on ecosystems, and General Strategies for Mitigation of microplastics: A review of recent developments, challenges, and future prospects. Environmental Pollution And Management, 2.
- Los microplásticos han llegado a lugares impensados y tienen graves consecuencias. Contaminan el entorno, afectan a la salud humana y perjudican a los ecosistemas. (2024, 17 diciembre). National Geographic. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/12/que-son-los-microplasticos-y-que-tipos-existen>
- Luciferasa. (2024, 8 diciembre). Los omnipresentes microplásticos. La BioZona. <https://www.labiozona.com/blog/microplasticos/>
- Mortensen, N. P., Fennell, T. R., & Johnson, L. M. (2021). Unintended human ingestion of nanoplastics and small microplastics through drinking water, beverages, and food sources. NanoImpact, 21, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100302>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2015, 24 noviembre). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado 27 de junio de 2026, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programa-de-naciones-unidas-para-el-medio-ambiente-pnuma>
- Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., & Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? Science, 386(6720), ead12746. <https://doi.org/10.1126/science.ad12746>
- UNEP. (2023). Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos. En UNEP. Recuperado 27 de junio de 2026, de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos>
- Van Franeker, J. A., Blaize, C., & Danielsen, J. (2011). Monitoring plastic ingestion by the northern Fulmar Fulmarus glacialis in the North Sea. Environmental Pollution, 159(10), 2609-2615.
- Challenge validation. (2016). <https://www.gob.mx/sre/articulos/que-son-los-contaminantes-organicos-persistentes>



María Fernanda Martínez Sierra, soy estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC).

Me gusta ir descubriendo las cosas increíbles que puedo desarrollar con mi carrera y aprender cosas nuevas. Amo la naturaleza y los atardeceres; disfruto mucho pasar tiempo al aire libre, visitar lugares con naturaleza y conocer nuevos lugares.

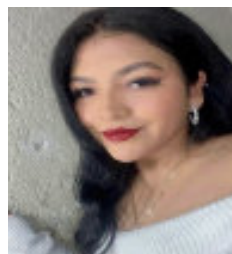
mf845011@gmail.com



Sharon Massiel Plancarte Velasco, soy estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora.

Me interesa especialmente el área de alimentos y microbiología. Disfruto aprendiendo cosas nuevas y en mi tiempo libre me gusta leer libros de superación personal, además de disfrutar de la naturaleza.

sharon.plancarte11@gmail.com



Fátima Monserrat Regalado Arreola, soy estudiante de Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora.

Me interesa la biotecnología aplicada a los alimentos, el impacto que tiene en el área de la industria. En mi tiempo libre me gusta crear contenido para redes sociales, leer libros de superación personal. Disfruto aprender sobre investigación y experimentación en laboratorio.

regaladoarreolaf@gmail.com



Monserrat Escobar-Sánchez es Doctora en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y realizó una estancia posdoctoral en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN). Actualmente se desempeña como Asesora Académica en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC), donde participa en actividades de docencia y vinculación con el sector productivo. Su investigación se centra en bacterias con potencial probiótico y aplicaciones biotecnológicas para la salud y la industria alimentaria. Es autora y coautora de publicaciones científicas, capítulos de libro y artículos de divulgación, y forma parte del Consejo Directivo Nacional de la Asociación Mexicana de Ciencia y Tecnología de la Carne (AMEXITEC), promoviendo la transferencia de conocimiento entre la academia, la industria y la sociedad.

monserrat.escobar@utcorregidora.edu.mx



Daniela Kristell Calvo-Ramos es Ing. Ambiental de la Univ. Politécnica de Chiapas, Maestría y Doctorado en Ciencias de la Energía en la Univ. Autónoma de Querétaro. Actualmente es Profesora en la Universidad Tecnológica de Corregidora. Sus líneas prioritarias de investigación son: (1) síntesis de materiales fotocatalíticos, (2) síntesis de materiales grafénicos, (3) fotodegradación de colorantes en aguas, (4) foto-oxidoreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). (6) Análisis de caracterización de microplásticos en el medio ambiente.

daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

PLAZA DE LOS GEOLOGOS EN MACURO, ESTADO SUCRE, VENEZUELA.

Plaza didáctica donada a la población de Macuro por la Promoción de Geólogos Víctor Petzall de la Universidad Central de Venezuela con el apoyo institucional de la Sociedad Venezolana de Geólogos.

Marianto Castro Mora

notasgeologiavenezuela@gmail.com

Macuro es un histórico pueblo costero ubicado en la península de Paria, en el estado Sucre, oriente de Venezuela. Macuro, situado frente a las costas del mar Caribe, es un aislado pero fascinante rincón de Venezuela que destaca por sus hermosas playas, su rica historia, sus rutas naturales y sus haciendas de cacao. Debido a su geografía, la principal forma de abastecerse y trasladarse internamente es en lancha desde la costa o caminando por senderos como la Ruta Río Macuro. A finales del año 2000 se construyó un tramo de tierra de 65 kilómetros desde Güiria. El terreno montañoso, las lluvias y la falta de mantenimiento hicieron que la vía quedara intransitable. La única vía de acceso confiable es por mar desde el puerto de Güiria, una travesía en lancha que suele tomar entre 1 y 2 horas (Figura 1).



Figura 1: Localización de Macuro, estado Sucre, Venezuela. Fotos tomadas de Google Earth y Pinterest <https://www.pinterest.com/pin/18858892166618696/>

Macuro es conocido como la puerta oriental de Venezuela, fue el primer lugar del continente donde arribó Cristóbal Colón durante su tercer viaje, el 1 de Agosto de 1498. Cabe a destacar que Macuro es un vocablo de la etnia kariña que significa “*hombre malo*”. Cuando los indígenas vieron por primera vez a los españoles empezaron a decir varias veces “*macuro*”.

Con motivo de la celebración del V Centenario de la aproximación del Almirante Cristóbal Colón a la “Tierra Firme en Macuro, estado Sucre”, la Sociedad Venezolana de Geólogos dio apoyo institucional a la Promoción de Geólogos, Víctor Petzall, de 1965 para la construcción de una plaza didáctica, denominada “*Plaza de los Geólogos*”.

Es así, como los integrantes de la Promoción de 1965, que realizaron sus trabajos de campo en la Península de Paria, desde la Punta de Dragón hasta la población de Güiria, se avocaron a lograr los recursos para donar una plaza al pueblo de Macuro.

El piso de la plaza esta representado por la Rosa de Los Vientos en la cual los puntos cardinales norte, sur, este y oeste quedan anclados sobre rocas que proceden de esas direcciones, es decir de rocas provenientes de Canadá, Argentina, Guinea y Filipinas, respectivamente. También se incluyó la dirección noreste, representada por España, punto de partida del tercer viaje del Almirante Cristóbal Colón.

Se escogió un tetraedro, por ser la figura geométrica más simple: cuatro caras, cuatro vértices y seis aristas para un cuerpo que tiene menos volumen para más superficie. La placa principal describe la obra y menciona a los geólogos integrantes de la promoción: Vladimir Gamboa, Ovidio Suarez, Hely Bravo, Roland Glaentzlin, Simón Rodríguez, Wolfgang Scherer, Ramón Sifontes, Pablo Stredell, Humberto Calderón Berti, Manuel Luzardo, Luis Masroua, Carlos González Cabrera, Enrique Vásquez, Aura Neuman, Nelly Pimentel, Mariela Sanz, Freddy Chiquito, Edgar Guevara, Luis García Falcó, Duilio Matheus, Alberto Soucy, Orestes Bujosa, Peter Moticska y Almilcar Salazar (Figura 2).



Figura 2: Placa donde se describe la obra. Foto cedida gentilmente por el Dr. Enzo Caraballo del viaje realizado a Macuro, Boca de Dragón y Carúpano en 2009.

La cara norte del tetraedro hace alusión a la geología de la Península de Paria; la cara sur se refiere al estudio de la geología y al Dr. Clemente González de Juana, distinguido profesor y decano de la geología venezolana, reconocido por su trascendental contribución a la enseñanza, la investigación y la consolidación de las ciencias de la Tierra en el país (Figura 3); la cara este se refiere al tercer viaje del Almirante Cristóbal Colón (Figura 4) y la cuarta, al oeste, destaca las instituciones superiores en la enseñanza de la geología: Universidad Central de Venezuela, Universidad de Los Andes, Universidad de Oriente y sus respectivas Escuelas de Geología. Adicionalmente, se menciona al Colegio de Ingenieros de Venezuela y la Sociedad Venezolana de Geólogos (Figura 5).

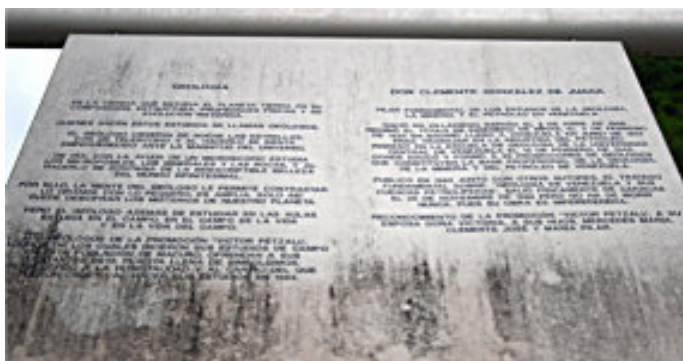


Figura 3: Homenaje al Dr. Clemente González de Juana. Foto cedida gentilmente por el Dr. Enzo Caraballo del viaje realizado a Macuro, Boca de Dragón y Carúpano en 2009.



Figura 4: V Centenario de la aproximación del Almirante Cristóbal Colón a la tierra firme en Macuro, estado Sucre, Venezuela. Foto cedida gentilmente por el Dr. Enzo Caraballo del viaje realizado a Macuro, Boca de Dragón y Carúpano en 2009.



Figura 5: Homenaje a las instituciones superiores en la enseñanza de la geología, incluyendo al Colegio de Ingenieros de Venezuela y la Sociedad Venezolana de Geólogos. Foto cedida gentilmente por el Dr. Enzo Caraballo del viaje realizado a Macuro, Boca de Dragón y Carúpano en 2009.



Figura 6: Vista del tetraedro en la Plaza de los Geólogos en Macuro, estado Sucre, Venezuela. Foto cedida gentilmente por el Dr. Enzo Caraballo del viaje realizado a Macuro, Boca de Dragón y Carúpano en 2009.

La plaza fue entregada formalmente por parte de la Sociedad Venezolana de Geólogos al Presidente de la República, Dr. Rafael Caldera y a la población de Macuro el día 5 de Agosto de 1998, en un acto institucional celebrado en esta población.

La idea de donar esta plaza en la población de Macuro fue tener un punto educativo y turístico, resaltando el papel de Macuro en la historia de Venezuela y de las geociencias:



Marianto Castro es graduada en la Universidad Central de Venezuela en el año 1980; Master en Geología Sedimentaria en la misma universidad en 1983; Especialización en nannoplancton calcáreo en el programa Lagoven – Total CFP Burdeos, Francia - Centro Nacional de Investigación Científica, Orleans, Francia en 1989; Especialización en Proyectos de Gerencia de Ingeniería en el año 1997 en la Universidad Católica Andrés Bello.

Veintidós años de experiencia en la industria petrolera venezolana trabajando para Lagoven S.A. en el laboratorio de geología; Intevp S.A. como estratígrafo y encargada del Código Geológico de Venezuela; y Petróleos de Venezuela S. A. formando parte del equipo de trabajo de la Gerencia del Conocimiento.

Profesora en la Facultad de Ciencias, Escuela de Geoquímica de la Universidad Central de Venezuela.

“Desde el punto más oriental de Venezuela, donde convergen la geología, la historia y el mar, rendimos homenaje a quienes dedican su vida al conocimiento de la Tierra.”

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más profundo y sincero agradecimiento al Dr. Franco Urbani, cuyos valiosos buenos oficios, canalizados a través de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias, hicieron posible la obtención de información gráfica.

Asimismo, manifiesto mi especial reconocimiento al Dr. Enzo Caraballo, quien, con su generosidad y espíritu de colaboración académica, facilitó el material fotográfico que enriquece e ilustra el presente trabajo, fortaleciendo su valor documental e histórico.

BIBLIOGRAFIA

Noticias SVG Primer Semestre 1997. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, Volumen 22, Número 1, pp. 71 – 72, Caracas, Venezuela.

Noticias SVG Primer Semestre 1999. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, Volumen 24, Número 1, pp. 54 – 61, Caracas, Venezuela.

Diecinueve años de experiencia en Canadá en empresas mineras de exploración y en el sector financiero trabajando para Crystallex International Corporation, geólogo asistente del vicepresidente de exploración; U308Corp, gerente técnico de la base de datos y encargada de control de calidad de las muestras y Marrelli Support Services Inc., como oficial para el cumplimiento de pago o devolución de impuestos; revisión de documentación por parte del Gobierno de Canadá y revisión de reportes financieros a ser presentados por pequeñas empresas mineras (exploración) ante las autoridades competentes en Canadá.

Actualmente, consultor independiente; representante por Venezuela ante la Comisión Norteamericana de Estratigrafía y miembro de la Sociedad de Historia de las Geociencias en Venezuela.

notasgeologiavenezuela@gmail.com

LA GEOLOGÍA EN BILLETES Y MONEDAS DEL MUNDO

JESÚS S. PORRAS M.

Consultor Senior Independiente

1. INTRODUCCIÓN

La numismática constituye una valiosa fuente documental para comprender la historia económica, política, cultural y científica de las naciones. Más allá de su función como instrumento de intercambio comercial, las monedas y los billetes han servido tradicionalmente como vehículos para transmitir símbolos nacionales, acontecimientos históricos, personajes ilustres y elementos representativos del patrimonio natural.

A pesar de la diversidad de motivos geológicos presentes en monedas y billetes, esta temática ha recibido escasa atención en la literatura especializada. Recursos minerales, actividades mineras, paisajes montañosos, volcanes, fósiles y destacados geocientíficos, han sido representados en emisiones monetarias de numerosos países, reflejando la estrecha relación entre la sociedad y el entorno geológico. Los motivos geológicos en monedas y billetes llegan a constituir una de las formas más comunes en que los países celebran su identidad nacional, patrimonio natural y riqueza mineral.

El presente trabajo analiza la presencia de elementos geológicos en billetes, monedas de circulación y monedas conmemorativas emitidos en diferentes regiones del mundo, con el propósito de evaluar su distribución temática, significado cultural y potencial como herramienta de divulgación científica.

2. METODOLOGÍA

El estudio fue fundamentado en la revisión de catálogos numismáticos internacionales, blogs y publicaciones especializadas, bases de datos de bancos centrales y casas de moneda y de subastas, así como de colecciones digitales y privadas, con el objetivo de identificar y analizar la presencia de motivos vinculados a las geociencias en monedas y billetes emitidos en diferentes países del mundo.

El análisis se concentró exclusivamente en tres grandes clases de emisiones: billetes de circulación, monedas de circulación corriente y, parcialmente, monedas conmemorativas, aunque estas últimas constituyeron el grupo más numeroso. Otras manifestaciones numismáticas, como fichas (tokens), medallas, billetes privados (banknotes) y diversos tipos de materiales e instrumentos, no fueron incluidas en este estudio debido a que carecen de curso legal y poseen un carácter

fundamentalmente coleccionístico. No obstante, estas piezas, utilizadas como medios de pago restringido, control de acceso, entradas a eventos, identificación institucional o elementos promocionales y conmemorativos, constituyen un campo complementario de gran interés para futuras investigaciones.

La revisión indica que las representaciones vinculadas a las geociencias se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial, con emisiones identificadas en más de un centenar de países cuando se consideran conjuntamente temas geológicos, paleontológicos, mineralógicos, vulcanológicos y mineros.

Dada la diversidad de temas identificados, los motivos geológicos fueron agrupados en distintas categorías temáticas. Esta clasificación permitió ordenar la información recopilada, facilitar su análisis y conocer las principales tendencias en la representación de las geociencias en monedas y billetes alrededor del mundo. Posteriormente, los motivos geológicos identificados fueron agrupados en ocho categorías principales: recursos minerales y minería, petróleo y energía, paisajes y patrimonio geológico, volcanes, paleontología y fósiles, geocientíficos y exploradores notables, herramientas, instrumentos y casos curiosos. Para cada caso se consideró el país emisor, año de emisión, denominación monetaria, tipo de emisión y temática geológica representada.

3. CATEGORÍAS Y CLASIFICACIÓN

3.1 Recursos Minerales y Minería

La minería constituye probablemente la temática geológica más frecuente en la numismática mundial. La explotación de recursos minerales ha sido históricamente uno de los pilares económicos de numerosos países, razón por la cual suele ocupar un lugar prominente en monedas y billetes. Las representaciones más comunes incluyen: lingotes de oro y plata, cristales o minerales, minas históricas, equipos de extracción, fundiciones y complejos metalúrgicos, escenas de faenas mineras.

En países con larga tradición minera, como los africanos, las emisiones monetarias resaltan la importancia económica y social de estos recursos. En muchos casos, las monedas celebran aniversarios de minas emblemáticas, descubrimientos de yacimientos o hitos en la producción mineral. La representación de minerales específicos, como

oro, plata, bauxita, diamantes, esmeraldas o cobre, constituye además un símbolo de riqueza nacional y de identidad territorial.

En África destacan los billetes de los Estados de África Central (500, 1000, 2000 y 5000 francos), que muestran explotaciones mineras a cielo abierto con excavadoras, cintas transportadoras y grandes camiones. El Sudán representa lingotes de oro en su billete de 50 libras, mientras que Guinea ilustra equipos y labores de minería a cielo abierto en sus billetes de 1000 y 2500 francos. El billete de 20 rand de Sudáfrica muestra una mina de oro con su torre de extracción, en homenaje a los yacimientos de Witwatersrand. Djibouti representa la extracción tradicional de sal mediante caravanas de camellos, y Ghana, Congo y Camerún destacan la minería de diamantes mediante trabajadores, equipos mineros y una moneda conmemorativa con incrustación de topacio.

En América sobresalen los billetes del Perú, que muestran labores de minería subterránea y extracción de minerales; Guyana, con escenas de minería de bauxita y un mapa de sus principales recursos minerales; México, con un billete del Banco de Sonora alusivo a la explotación de cobre, plata y oro; y Chile, cuyo billete de 500 escudos conmemora la nacionalización del cobre mediante la representación de un trabajador minero y la mina de Chuquibambilla, una de las mayores minas de cobre a cielo abierto del mundo. También Luxemburgo y Corea del Norte incorporan escenas mineras en sus billetes, resaltando la importancia de los recursos minerales para el desarrollo económico de ambos países.



Figura 1. Emisiones monetarias de países de larga tradición minera. Las representaciones más comunes incluyen: lingotes de oro y plata, cristales o minerales, minas históricas, equipos de extracción, fundiciones y complejos metalúrgicos, escenas de faenas mineras.

España emitió una serie de monedas de plata, de diferente denominación, que presentan la imagen de minerales representativos del país. Entre los minerales están cinabrio, esfalerita, fluorita, aragonito y piromorfita. Estos minerales han tenido una importancia muy diferente dentro de la economía española. Mientras algunos constituyeron recursos mineros estratégicos de relevancia internacional, otros destacan principalmente por su interés científico, coleccionístico o patrimonial. (<https://www.icog.es/TyT/index.php/2015/03/monedas-minerales-espanoles/>)

3.2 Petróleo, Gas y Energía

El desarrollo de la industria petrolera durante los siglos XX y XXI ha generado una rica iconografía en monedas y billetes de numerosos países.

Las representaciones más comunes incluyen torres de perforación, equipos de producción, refinerías, oleoductos, plataformas marinas, complejos petroquímicos y escenas de trabajadores en actividades vinculadas a la exploración y producción de hidrocarburos. Estos motivos son particularmente frecuentes en naciones cuya economía y desarrollo han estado estrechamente ligados al petróleo y al gas natural.

Ejemplos de estas representaciones se encuentran en emisiones monetarias de diversos países de África, Asia y América. Entre ellas destacan los billetes de los Estados de África Central, Sudán, Arabia Saudita, Libia, Kuwait, Trinidad y Tobago, Canadá, Perú, Brasil y Azerbaiyán.

En Argentina, una moneda emitida en 2007 conmemoró el centenario del descubrimiento del petróleo, uno de los acontecimientos más relevantes en la historia energética del país.

Un caso singular es el billete de 500 ZiG de Zimbabue, que muestra la Central Térmica de Hwange, la mayor planta generadora de electricidad a base de carbón del país, reflejando la importancia de los recursos energéticos en el desarrollo económico nacional.

En la mayoría de los casos, estas emisiones celebran descubrimientos de yacimientos, aniversarios de la industria petrolera, procesos de nacionalización de recursos energéticos, la creación de empresas estatales o hitos tecnológicos que marcaron el crecimiento de la exploración, producción y aprovechamiento de los hidrocarburos.



Figura 2. Ejemplos de billetes que representan diferentes aspectos de la industria petrolera. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: 10 dólares de Canadá, con una refinería de petróleo; 50 intis de Perú, con una torre de perforación; 5.000 francos de los Estados de África Central, con un trabajador petrolero; 1.000 manats de Azerbaiyán, con una plataforma de producción marina; 5.000 francos de los Estados de África Central, con un complejo petroquímico; y ¼ de dinar de Kuwait, con una refinería de petróleo.

La Tabla 1 reúne algunos ejemplos representativos de emisiones monetarias que destacan la importancia económica y tecnológica de los recursos energéticos en sus países. Los motivos incluyen infraestructura petrolera, generación eléctrica, operaciones y acontecimientos históricos relacionados con las industrias de los hidrocarburos y térmica.

Tabla 1. Listado de países y regiones con emisiones monetarias relacionadas con el petróleo y la energía

País o región	Denominación	Motivo representado
Estados de África Central	5.000 francos	Tanquero, infraestructura petrolera, operador con casco, operadores aparejando tubería de perforación, torre y llama de venteo de gas
Sudán	20 y 500 libras	Antigua maquinaria de extracción de petróleo, torre de perforación de petróleo e infraestructura
Arabia Saudita	5 y 10 riales	Refinerías y plataforma de perforación
Libia	½ dinar	Refinerías
Kuwait	¼ de dinar	Refinería de petróleo
Trinidad y Tobago	100 dólares	Plataforma de perforación
Canada	100 dólares	Refinería de Sarnia, Ontario
Perú	5 soles y 50 intis	Personal en plataforma de perforación, helicóptero
Brasil	10 reales	Infraestructura relacionada con la energía
Azerbaiyán	1.000 manats	Refinería, equipo de bombeo y de perforación
Argentina	Moneda conmemorativa	Descubrimiento del petróleo en Comodoro Rivadavia
Zimbabue	500 ZIG	Central Térmica de Hwange

3.3 Paisajes y Monumentos Geológicos

Los paisajes geológicos constituyen una de las categorías más abundantes y atractivas de la numismática. Montañas, cordilleras, volcanes, cañones, acantilados, cuevas, glaciares, ríos, cascadas y costas aparecen con frecuencia en monedas y, especialmente, en billetes, donde representan algunos de los principales símbolos naturales de cada país. Muchas de estas emisiones también promueven parques nacionales y geositos de importancia internacional, contribuyendo a la divulgación del patrimonio geológico.

Entre las montañas más representadas destacan el monte Damavand (Irán), Ararat (Turquía), el Everest (Nepal), el K2 (Pakistán), el Kinabalu (Malasia) y el pico Bolívar (Venezuela), todas consideradas emblemas

nacionales. En América del Norte, Canadá ilustra en sus billetes algunos de los paisajes más conocidos de las Montañas Rocosas, como el lago Emerald y el monte Burgess, en el Parque Nacional Yoho, y el lago Moraine con el Valle de los Diez Picos, en el Parque Nacional Banff. Estados Unidos, por su parte, ha dedicado numerosas monedas estatales y conmemorativas a sitios geológicos emblemáticos como el Gran Cañón, Crater Lake, Yellowstone, Chimney Rock, Pictured Rocks y las Apostle Islands.

Los paisajes glaciares también ocupan un lugar destacado. Chile representa el Parque Nacional Alberto de Agostini y las Torres del Paine en sus billetes de 10.000 y 1.000 pesos, respectivamente, mientras que Argentina

emitió una moneda conmemorativa del Bicentenario con la imagen del glaciar Perito Moreno.



Figura 3. Billetes con montañas emblemáticas de los países emisores: Monte Damvand (Irán), Monte Everest (Nepal), Monte Burgess (Canadá) y Pico Bolívar (Venezuela)

Entre las geoformas más singulares sobresalen Los Pináculos de Gunung Api (Malasia), las Chimney Stacks de la Calzada del Gigante (Irlanda del Norte), el Arco de Darwin y el Pináculo de las islas Galápagos (Ecuador), las Chiremba Rocks (Zimbabue), la Sibebe Rock (Esuatini), la Dama de Mali (Guinea) y el Peñón de Gibraltar.

En Asia y Oceanía destacan el tapón volcánico Joske's Thumb (Fiyi), los islotes kársticos de la bahía de Ha Long (Vietnam) y las montañas Jinggang (China).

Finalmente, el billete chileno de 20.000 pesos muestra el Salar de Surire, uno de los mejores ejemplos de ambientes evaporíticos representados en la numismática mundial.



Figura 4. Ejemplos de relieves erosivos y paisajes geológicos representados en billetes. De izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: Monte Kinabalu y formación rocosa del valle de Gunung Api (Malasia), Chimney Stacks de la Calzada del Gigante (Irlanda del Norte), Chiremba Rocks (Zimbabue) y Salar de Surire (Chile).

Otros países, como Indonesia, Fiji, Gibraltar y Argentina, resaltan en sus emisiones monetarias paisajes costeros de gran belleza escénica. Estos diseños incluyen bahías,

penínsulas, acantilados, playas y costas rocosas asociadas a regiones montañosas o volcánicas.

Un paisaje que merece una mención especial es el de las cascadas, cataratas y saltos de agua, representados en billetes de numerosos países de África, Asia, Oceanía y América. Entre los ejemplos más destacados se encuentran las cataratas Victoria en las emisiones de Rodesia, Zambia y Zimbabue; las cataratas Murchison en Uganda; diversos saltos de agua en Ruanda; y las espectaculares cascadas representadas en billetes de Samoa, India, China e Irak. En el continente americano sobresalen las cataratas del Niágara en Canadá, las cataratas del Iguazú en Argentina, Brasil y Paraguay, así como las majestuosas cataratas Kaieteur en Guyana y las cataratas del río Dunn en Jamaica.

3.4 Volcanes

Los volcanes y paisajes volcánicos constituyen uno de los temas geológicos más representados en monedas y billetes, debido a su gran valor paisajístico, simbólico y turístico. Las emisiones conmemoran erupciones históricas, promueven parques nacionales o destacan el patrimonio natural mediante la representación de volcanes activos e inactivos, campos volcánicos, lagos de cráteres y otros paisajes asociados al volcanismo.

Los catálogos digitales consultados reflejan la amplia presencia de esta temática en la numismática mundial. Colnect registra 223 monedas dedicadas a volcanes, mientras que Numista reúne 29 emisiones entre monedas y billetes.

En América, especialmente en Centroamérica, los volcanes forman parte de la identidad nacional y aparecen en emisiones de Nicaragua, México, Guatemala, Honduras, Costa Rica, El Salvador, Chile y Estados Unidos. Destacan el Momotombo (Nicaragua) y el Popocatepetl (México), así como las cadenas volcánicas representadas en antiguas monedas de Guatemala, Honduras y El Salvador.

En Asia, Indonesia, situada en el Anillo de Fuego del Pacífico, presenta el mayor número de volcanes representados, entre ellos Merapi, Anak Krakatoa, Gamalama, Kelimutu y Bromo. También sobresalen los volcanes Mayón (Filipinas), Fuji (Japón), Damavand (Irán) y Ararat (Turquía), todos ellos considerados símbolos nacionales.

En África predominan los volcanes del Rift de África Oriental. Las emisiones de Tanzania, Ruanda, República Democrática del Congo y Djibouti destacan volcanes como el Kilimanjaro, la montaña más alta de África, los Karisimbi y Bisoke, en la región del Parque Nacional Virunga, y el Nyamuragira, considerado el volcán más activo del continente. Hacia el extremo oriental del continente, en la

depresión de Afar, en Djibouti, se encuentra el volcán fisural Ardoukoba, uno de los mejores ejemplos de vulcanismo asociado a la apertura del Rift de África Oriental.



Figura 5. Imágenes de volcanes en billetes de El Salvador, Indonesia y Japón.

Algunos países europeos, como el Reino Unido (Irlanda del Norte) y España, no representan volcanes activos de forma directa en sus monedas o billetes, sino paisajes volcánicos emblemáticos asociados a su patrimonio natural. Entre ellos, la Calzada de los Gigantes, en Irlanda del Norte, y el Teide, en las Islas Canarias. En el caso español, el billete de 1.000 pesetas reproduce un paisaje del Parque Nacional del Teide, con los Roques de García en

primer plano y el pico del Teide dominando al fondo. La imagen muestra el Roque Cinchado, una destacada formación de erosión volcánica que se ha convertido en uno de los símbolos geológicos más reconocibles de Tenerife.



Figura 6. Paisajes volcánicos en billetes. A la izquierda, la Calzada de los Gigantes (Irlanda del Norte), con sus características columnas de basalto; a la derecha, los Roques de García, con el Roque Cinchado y el volcán Teide, en el Parque Nacional del Teide, España.

Por su parte, Islandia ofrece uno de los ejemplos más destacados de Europa. El reverso del billete de 10.000 coronas islandesas muestra una ilustración del volcán Skjaldbreiður, un amplio volcán en escudo situado en el suroeste del país, acompañado por el ave nacional de Islandia.

Tabla 2. Listado de países, agrupados por regiones, con emisiones alusivas a volcanes, procesos y paisajes volcánicos

Región	Países y volcanes representados
América del Norte y Central	México (Popocatepetl e Iztaccíhuatl), Nicaragua (Momotombo), Costa Rica (Arenal y Poás), El Salvador (Izalco), Guatemala y Honduras (cadenas volcánicas), Estados Unidos (Crater Lake—Monte Mazama y Hawái).
América del Sur	Chile (volcán Llaima/Lonquimay*).
Asia	Indonesia (Gamalama, Banda Api, Bromo, Kerinci, Anak Krakatoa), Japón (Monte Fuji), Irán (Monte Damavand), Filipinas (Mayón), Turquía (Monte Ararat).
África	Ruanda (Karisimbi y Bisoke), Djibouti (Ardoukoba y lago Abbé), Tanzania (Kilimanjaro), República Democrática del Congo (Nyiragongo).
Europa	Islandia (Skjaldbreiður), España (Teide), Irlanda del Norte (Calzada de los Gigantes).

3.5 Paleontología y Fósiles

La paleontología es una de las temáticas geológicas de mayor crecimiento en la numismática moderna. Sin embargo, la mayoría de las piezas dedicadas a fósiles corresponden a monedas conmemorativas o de colección dirigidas al mercado numismático. Aunque poseen curso legal, rara vez circulan y su objetivo principal es promover el patrimonio paleontológico, la educación y la divulgación científica. En contraste, actualmente ningún país emite billetes de circulación con dinosaurios; los existentes son emisiones privadas o coleccionables sin valor comercial.

Las monedas dedicadas a fósiles representan una gran diversidad de organismos extintos. Los dinosaurios constituyen el grupo más abundante, seguidos por invertebrados fósiles como trilobites, amonites y nautiloideos, y por la megafauna del Pleistoceno, que incluye mamuts, mastodontes, rinocerontes lanudos y tigres dientes de sable.

Un caso particular es Suiza, cuya nueva familia de billetes incorpora fósiles reales como elementos de seguridad. Entre ellos destacan un saurópodo jurásico, un amonite, conchas fosilizadas, tiburones extintos y pterosaurios, integrados como marcas de agua de alta seguridad. (<https://www.bluewin.ch/en/news/how-fossils-make-banknotes-more-secure-3129265.html>)

Dinosaurios

Entre todos los organismos fósiles, los dinosaurios son los que han inspirado el mayor número de emisiones numismáticas, debido a su importancia científica y atractivo para el público. Muchos países han acuñado monedas dedicadas a especies descubiertas en su propio territorio, contribuyendo a difundir su patrimonio paleontológico. Los catálogos Colnect y Numista registran, respectivamente, 229 monedas emitidas por 37 países y 208 monedas correspondientes a 28 países, cifras que continúan aumentando con nuevas emisiones.

Las especies representadas incluyen algunos de los dinosaurios más conocidos, como Tyrannosaurus rex, Stegosaurus, Triceratops, Velociraptor, Brachiosaurus, Spinosaurus, Iguanodon, Megalosaurus, Carnotaurus y numerosos ceratópsidos y hadrosaurios.

Entre las emisiones más destacadas figuran las del Reino Unido, donde la Royal Mint, en colaboración con el Museo de Historia Natural de Londres, emitió una serie de monedas de 50 peniques dedicadas a Megalosaurus, Iguanodon e Hylaeosaurus, especies fundamentales en la historia de la paleontología.

Canadá es uno de los países más activos en esta temática. La Real Casa de la Moneda Canadiense ha emitido numerosas monedas inspiradas en fósiles de

Alberta, algunas con efectos fotoluminiscentes que permiten visualizar los esqueletos en la oscuridad. Entre las especies representadas se encuentran Albertosaurus, Gorgosaurus, Pachyrhinosaurus, Xenoceratops, Regaliceratops, Tylosaurus y Tiktaalik.

También destacan las series de Australia, dedicadas a dinosaurios autóctonos; las emisiones de Austria, con una moneda de plata sobre el Struthiosaurus austriacus, un dinosaurio acorazado cuyos restos fueron descubiertos en una mina de carbón al sur de Viena en 1855; y las de Islas Salomón y Chad, con representaciones de Triceratops, Stegosaurus y Tyrannosaurus rex.

En México, con motivo del 490º aniversario de la Casa de Moneda, se emitió la serie Dinosaurios de México, dedicada a seis de las catorce especies exclusivas del país: el Coahuilaceratops magnacuerna, Labocania anomala, Latirhinus uitstlani, Tlatolophus galorum, Huehuecanauhtlus tiquichensis y Tototlmimus packardensis, constituyendo un reconocimiento al patrimonio paleontológico nacional y a la investigación científica desarrollada en ese país.



Figura 7. Ejemplos de monedas conmemorativas dedicadas a dinosaurios emitidas por distintos países. Las piezas representan diversas especies de dinosaurios mediante formas variadas, diseños realistas, en color y en alto relieve.

Portugal ha emitido la serie de monedas conmemorativas de 5 euros "Dinosaurios en Portugal", que incluye las especies locales Dinheirosaurus Lourinhanensis, Lourinhanosaurus antunesi y Miragaia longicollum.

Otros Vertebrados Fósiles: peces, aves, mamíferos Aunque los dinosaurios son los protagonistas más frecuentes de las emisiones paleontológicas, numerosos países también han dedicado monedas, y excepcionalmente billetes, a otros grupos de vertebrados

fósiles que desempeñaron un papel importante en la historia de la vida en la Tierra.

Entre los ejemplos más destacados se encuentran los antiguos peces acorazados, como el Dunkleosteus, uno de los mayores depredadores marinos del período Devónico emitido en la serie "Vida Prehistórica" por la República Democrática del Congo y el Megalodon de las Islas Niue del Pacífico Sur. El billete de 1000 francos suizos muestra en su reverso la evolución de un pez a través de su anatomía, su esqueleto y su estructura fosilizada, acompañada también de un amonite.



Figura 8. Monedas conmemorativas dedicadas al Dunkleosteus, pez acorazado devónico (República Democrática del Congo) y el Megalodon (Islas Niue del Pacífico Sur)

Burkina Faso emitió en 2016 una moneda de la serie "World of Evolution" dedicada a los tiburones (Selachii). El reverso incorpora un diente fósil auténtico de tiburón, presentado en un espectacular alto relieve sobre un fondo que evoca una excavación paleontológica.

Figura 9. Reverso de la moneda "World of Evolution" con un auténtico diente de tiburón insertado, en alto relieve, y como fondo un pez y varios dientes fósiles de un aparente yacimiento paleontológico.



Además de los dinosaurios, las monedas paleontológicas representan con frecuencia reptiles marinos como mosasaurios, plesiosaurios e ictiosaurios, así como pterosaurios, los primeros vertebrados capaces de volar. Entre las emisiones más llamativas destacan la moneda de 5 dólares de Niue dedicada al Mosasaurus y la moneda austríaca de 20 euros (2013), que muestra un ictiosaurio capturando un amonite.

La serie de 50 peniques emitida por la Royal Mint en honor a Mary Anning representa tres de los fósiles más importantes descubiertos por la célebre paleontóloga: el ictiosaurio Temnodontosaurus, el plesiosaurio Plesiosaurus y el pterosaurio Dimorphodon, especies fundamentales para el desarrollo de la paleontología.

Alemania dedicó una moneda conmemorativa al Archaeopteryx, fósil descubierto en las calizas de Solnhofen y considerado una pieza clave para comprender el origen de las aves,

Numerosas emisiones están dedicadas a los mamíferos de la Edad de Hielo, como mamuts, mastodontes, megaterios, rinocerontes lanudos, Smilodon, el león de las cavernas Panthera spelaea, el león marsupial Thylacoeo carnifex y el ciervo gigante Megaloceros giganteus.

Canadá sobresale por sus monedas dedicadas a la megafauna pleistocena, entre ellas la emisión de plata Frozen in Ice: Woolly Mammoth (2018), que representa una manada de mamuts durante la última glaciación. Austria emitió en 2019 una moneda de 20 euros dedicada al Cuaternario, con un mamut lanudo (Mammuthus primigenius) y una escena de caza prehistórica. Por su parte, Afganistán incluyó en una moneda de 50 afganis al Deinotherium, un antiguo pariente de los elefantes caracterizado por sus colmillos curvados hacia abajo.

Los gliptodontes también aparecen en la numismática. Un ejemplo es la moneda de 1000 francos de Burkina Faso, que representa este singular mamífero acorazado e incorpora la tecnología de acuñación "Real Eye Effect", diseñada para otorgar un aspecto más realista y expresivo a la figura del animal (<https://es.numista.com/132377>).



Figura 10. Ejemplos de monedas con representaciones de mamíferos prehistóricos. De izquierda a derecha: Smilodon (Smilodon fatalis), mamut lanudo (Mammuthus primigenius) y Gliptodonte.

Invertebrados fósiles

Los invertebrados fósiles, especialmente amonites y trilobites, figuran entre los fósiles más representados en la numismática, aunque en menor proporción que los dinosaurios y otros vertebrados. Su presencia responde principalmente a su importancia científica, ya que son excelentes fósiles guía y símbolos de la evolución de la vida y de los antiguos mares que cubrieron la Tierra.

Algunos países han incorporado estos fósiles en billetes de curso legal para destacar su patrimonio geológico y paleontológico. Uno de los mejores ejemplos es Suiza, cuyo billete de 1.000 francos incluye un pez fósil reconstruido junto a su esqueleto y una amonita, integrados como elementos de seguridad y como homenaje al registro fósil y al conocimiento del pasado geológico (<https://en.numista.com/203310>)



Figura 11. Reverso de billete de 1000 francos de Suiza, mostrando la evolución de un pez a través de su anatomía, su esqueleto y su estructura fosilizada, acompañada, a la derecha por un amonite.

Otros ejemplos de amonites en papel moneda se encuentran en Noruega e Inglaterra. El reverso del actual billete noruego de 500 coronas incorpora un amonite estilizado dentro de un diseño moderno que simboliza el mar y los recursos energéticos del Mar del Norte. (<https://www.norges-bank.no/en/topics/notes-and-coins/legal-tender-notes-coins/500-krone-note/fossils/>). Por su parte, el antiguo billete de 10 libras del Banco de Inglaterra, emitido en homenaje a Charles Darwin, presenta ilustraciones de amonites que complementan la temática científica de la emisión.



Figura 12. Billetes con representaciones de amonites. A la izquierda, reverso del billete de 500 coronas noruegas con una imagen de amonite en su sección inferior derecha. A la derecha, anverso del billete inglés de 10 libras con ilustraciones de amonites hacia su lado inferior izquierdo. En ambos casos se señalan las ilustraciones con flechas.

En las monedas, tanto de circulación como conmemorativas, la diversidad de fósiles es mucho mayor. Predominan los trilobites, presentes en emisiones de Canadá, Nueva Zelanda y Mongolia, y los amonites, representados en monedas de Austria, Hungría, Mongolia, Sahara Occidental, Burkina Faso, Niue y Rusia. Entre las piezas más destacadas figura la moneda canadiense de 20 dólares (2017), dedicada al trilobite Ogygopsis klotzi, fósil emblemático de los yacimientos cámbricos de Mount Stephen.

(https://www.mint.ca/en-us/shopping/archives/2017/1-oz.-pure-silver-coin---ancient-canada-ogygopsis---mintage-5500-2017?utm_source=chatgpt.com).

También sobresalen la moneda rusa de la serie "Animales Extintos", dedicada al amonite Cadoceras (<https://en.numista.com/473756>); la emisión de Burkina Faso "World of Evolution – Ammonoidea" (2016), que muestra un amonite seccionado longitudinalmente; y la moneda austríaca de 20 euros "Triassic Life in the Water" (2013), que representa amonites, peces y reptiles marinos de los antiguos océanos del Triásico.



Figura 13. Monedas conmemorativas de: a) Trilobite Ogygopsis klotzi (Canadá) b) Trilobite (Mongolia 2016) c) Amonite (Mongolia 2015) y d) Amonite (Burkina Faso).

El uso de fósiles específicos, como belemnites, crinoideos, gastrópodos y otros invertebrados, es muy poco frecuente en la numismática. Los escasos ejemplos conocidos corresponden principalmente a monedas conmemorativas de carácter científico o institucional. Entre ellos destaca una emisión de la República Democrática del Congo dedicada al belemnite Megateuthis gigantea, uno de los mayores cefalópodos fósiles conocidos, cuyos restos se han encontrado en Europa y Asia. La moneda forma parte de una serie sobre la evolución de la vida y constituye uno de los pocos casos en que un invertebrado fósil es el motivo principal del diseño. Otras emisiones de esta categoría conmemoran importantes descubrimientos paleontológicos, museos de ciencias naturales, excavaciones e investigadores vinculados al estudio de los fósiles.

3.6 Personajes notables, divulgación de las geociencias e instrumentos científicos

Además de representar paisajes, fósiles o recursos naturales, numerosas monedas y billetes han rendido homenaje a las personas que contribuyeron al conocimiento de la Tierra y a la difusión de las geociencias. Estas emisiones constituyen un reconocimiento al trabajo de científicos, exploradores y naturalistas cuyas investigaciones transformaron nuestra comprensión del planeta.

Geólogos notables

Los personajes representados pueden agruparse en tres categorías. La primera corresponde a geólogos, reconocidos por sus aportes a la estratigrafía, tectónica,

mineralogía y cartografía geológica. Entre ellos destacan el neptunista Abraham Gottlob Werner (Alemania), William Edmond Logan (Canadá), fundador del Servicio Geológico de Canadá, Harry Hess (Ghana), impulsor de la teoría de la expansión del fondo oceánico, y Jerome Remick (Canadá), geólogo y numismático.

La segunda reúne a paleontólogos y naturalistas, homenajeados por sus contribuciones al conocimiento de la evolución y del registro fósil. Sobresalen Charles Darwin, representado en emisiones de numerosos países, Louis Agassiz (Suiza y Estados Unidos) y Mary Anning (Reino Unido), pionera de la paleontología moderna gracias a sus importantes descubrimientos en la Costa Jurásica inglesa.

El tercer grupo incluye exploradores, cartógrafos y divulgadores científicos, como Gerardus Mercator (Bélgica) y el geólogo antártico Sir Douglas Mawson (Australia y Niue). El billete australiano de 100 dólares dedicado a Mawson es especialmente notable porque incorpora, además de su retrato, una sección geológica esquemática del terreno, uno de los pocos ejemplos de este tipo de representación en el papel moneda mundial.



Figura 14. Billetes dedicados a destacados geocientíficos y naturalistas: Sir Douglas Mawson (Australia), Charles Darwin (Ecuador), Louis Agassiz (Suiza) y Gerardus Mercator (Bélgica), en reconocimiento a sus aportes a las geociencias, la evolución y la cartografía.

Colombia ha homenajeado en varias emisiones a Francisco José de Caldas, destacado naturalista, cartógrafo, meteorólogo y director del Observatorio Astronómico de Bogotá. Su imagen apareció en billetes de 1 y 20 pesos. En la emisión de 1983 se le representa realizando mediciones sobre un globo terráqueo, resaltando sus aportes a la cartografía, la geografía y las ciencias de la Tierra.

La Banca d'Italia emitió en 1982 un billete 1000 liras con un diseño que presenta al célebre explorador y mercader Marco Polo.

Divulgación de las geociencias

Un caso poco común es la moneda de San Marino de 1.000 liras "Geología", emitida en 1998. A diferencia de la mayoría de las emisiones geológicas, que representan paisajes, volcanes o recursos minerales, esta pieza rinde homenaje a la propia ciencia de la geología. Su diseño combina una representación esquemática de las capas internas de la Tierra y la palabra "Geología", destacando el estudio de la estructura y evolución del planeta.



Figura 15. Reverso de la moneda de 1.000 liras de San Marino, perteneciente a la serie El Hombre y la Ciencia, que representa la Geología mediante un esquema de la estructura interna de la Tierra.

Constituye uno de los escasos ejemplos de una moneda de circulación dedicada explícitamente a una disciplina científica, lo que le confiere un notable valor educativo y divulgativo.



Figura 16. Monedas conmemorativas dedicadas a pioneros de las geociencias. De izquierda a derecha: Harry Hess (tectónica de placas), Abraham Gottlob Werner (mineralogía), Mary Anning (paleontología) y Jerome H. Remick (geología y numismática).

Instrumentos Científicos

Los instrumentos científicos aparecen con poca frecuencia en monedas y billetes, pero constituyen un valioso recurso para destacar el papel de la ciencia en el conocimiento de la Tierra. Entre los ejemplos más representativos figuran la esfera armilar del billete de 10.000 won de Corea del Sur, símbolo de la astronomía y la cartografía, y el sextante del billete alemán de 10 marcos, instrumento utilizado por Carl Friedrich Gauss en sus trabajos geodésicos. También se representan martillos geológicos, mapas y columnas estratigráficas.

Un caso singular es la medalla dedicada a Charles Hutton, que reúne un telescopio, un péndulo, una balanza y un globo terráqueo, en homenaje a sus aportes a la geodesia y al cálculo de la densidad de la Tierra. Asimismo, la medalla del geólogo y numismático canadiense Jérôme H. Remick combina minerales, un martillo geológico, un

pico y una moneda canadiense, simbolizando la estrecha relación entre las geociencias y la numismática.

3.7 Casos Curiosos y Extravagantes

Un grupo especialmente llamativo lo constituyen las emisiones numismáticas de diseño innovador. Gracias a los avances en las técnicas de acuñación, numerosas casas de moneda producen piezas de colección, conocidas como monedas "bullion", elaboradas en oro o plata de alta pureza y destinadas principalmente a coleccionistas e inversionistas.

Muchas de estas monedas se apartan del formato tradicional y presentan formas tridimensionales, esféricas, cúbicas o piramidales, además de aplicaciones de color e incrustaciones de minerales, fósiles o fragmentos auténticos de meteoritos. Aunque poseen curso legal, su principal atractivo reside en su valor artístico, tecnológico y coleccionístico.

Entre las emisiones relacionadas con las geociencias destacan las acuñadas sobre meteoritos, las que incorporan fósiles o minerales naturales y las que reproducen volcanes, cristales y otros elementos geológicos mediante técnicas de alto relieve y coloración, constituyendo algunos de los diseños más originales de la numismática moderna.

Canadá sobresale por sus innovaciones técnicas. Un ejemplo son las monedas de 500 dólares canadienses, acuñadas en oro puro (99,99 %) con forma tridimensional de diamante tallado e incrustadas con un diamante canadiense auténtico, consideradas una de las realizaciones más notables de la numismática contemporánea.

Figura 17. Moneda conmemorativa canadiense de 500 dólares en oro puro acuñada con forma de diamante tallado e incrustada con un diamante canadiense auténtico.



En este grupo se ubica también la moneda de Burkina Faso que lleva integrado un diente fósil de tiburón, mencionado en el subcapítulo de vertebrados fósiles.

Meteoritos

Los meteoritos constituyen uno de los temas más originales de la numismática moderna. Aunque son poco frecuentes, algunas casas de moneda han emitido piezas que incorporan fragmentos auténticos de meteoritos o han sido acuñadas sobre hierro meteorítico, convirtiéndolas en valiosos objetos de colección.

(<https://numisarchives.blogspot.com/2015/06/nociones-de-numismatica-extraterrestre.html>).

Una de las series más conocidas fue iniciada por Fiji en 2012, dedicada a meteoritos célebres como Brenham (Estados Unidos), Kainsaz (Rusia), Abee (Canadá), Jilin (China), Neuschwanstein (Alemania), y posteriormente Chassigny (Francia), Morasko (Polonia) y Murchison (Australia), esta última con un fragmento auténtico del meteorito (Ibáñez Artica, 2015).

Otras emisiones destacadas están dedicadas a los meteoritos Campo del Cielo (Argentina), NWA 267 (Liberia), La Ciénega (México), Château-Renard (Burkina Faso) y Sikhote-Alin (Niue y Ghana). La moneda de Niue, acuñada sobre un fragmento auténtico del meteorito caído en Siberia en 1947, conserva la textura natural del material extraterrestre y tuvo una tirada limitada de solo 476 ejemplares.

También sobresalen la moneda esférica de Barbados, que representa la Tierra con un meteorito incrustado en el océano Pacífico, y la emisión de Ghana, formada por una base circular sobre la que se inserta un cubo del meteorito Aletai, ejemplos que reflejan el alto grado de innovación alcanzado por la numismática contemporánea.



Figura 18. Monedas conmemorativas con temática de meteoritos: En la fila superior, de izquierda a derecha, meteoritos de La Ciénega; Château-Renard France 1841; NWA 267 y la moneda de un astrónomo observando el reingreso planetario del meteorito Sikhote-Alin. En la fila inferior, de izquierda a derecha: globo terráqueo tridimensional texturizado en azul y plata con un fragmento auténtico de meteorito insertado en la zona del océano Pacífico; meteorito Campo del Cielo Argentina 1576 con relieve metálico; la moneda de cinco cedis de Ghana formada por una base circular con un cubo obtenido del meteorito Aletai; y la moneda conmemorativa también de Ghana, con fragmento en relieve del meteorito Sikhote-Alin.

Astrónomos y Fenómenos Astronómicos

La astronomía también ha sido representada en monedas y billetes mediante homenajes a grandes científicos y acontecimientos históricos. Un ejemplo destacado es el

billete conmemorativo de Rumania (1999), emitido con motivo del eclipse solar total del 11 de agosto, considerado uno de los diseños científicos más originales del papel moneda moderno al representar el Sol, la Luna y la trayectoria del eclipse.

Italia fue uno de los primeros países en incluir a un astrónomo en sus billetes, con Galileo Galilei en las emisiones de 50 liras (1881) y 2.000 liras (1973), esta última ilustrada con un observatorio, un mapa celeste y su célebre telescopio. Polonia rindió homenaje a Nicolás Copérnico en varias emisiones, incorporando junto a su retrato una esfera armilar y representaciones del sistema heliocéntrico. (<https://www.surastronomico.com/not-820-billetes-astronomicos.html>).

También destacan el billete francés de 50 francos dedicado a Urbain Le Verrier, con el Observatorio de París y una alegoría del planeta Neptuno, y el billete australiano de 100 dólares (1984), que recuerda al astrónomo John Tebbutt, descubridor del gran cometa de 1861. Emisiones relacionadas con la astronomía también se conocen en Alemania, Países Bajos, Portugal, Grecia, Israel, Reino Unido, Dinamarca, Irak, Austria, Suiza, España, Croacia, Noruega, Bulgaria, Armenia y Colombia.

4. CONCLUSIONES

La presente revisión demuestra que la geología ha estado presente en la numismática mundial durante más de un siglo, mediante una amplia variedad de motivos, entre los que se incluyen minerales, fósiles, volcanes, montañas, paisajes, recursos energéticos, geocientíficos e instrumentos científicos. Estas representaciones reflejan la estrecha relación entre el patrimonio geológico y la historia, la cultura y la economía de numerosos países.

Más allá de su función decorativa, las monedas y los billetes conmemoran descubrimientos científicos, resaltan recursos naturales y sitios de interés geológico, y rinden homenaje a investigadores que contribuyeron al conocimiento de la Tierra. Al mismo tiempo, constituyen un eficaz medio de divulgación de las geociencias.

Aunque resulta imposible determinar el número exacto de emisiones con motivos geológicos debido a la continua aparición de nuevas piezas y a la gran cantidad de emisiones nacionales, conmemorativas y privadas, la muestra analizada es suficientemente amplia para identificar las principales categorías y tendencias de la geología en la numismática mundial.

En conjunto, este estudio pone de manifiesto que las monedas y los billetes son un valioso recurso educativo, histórico, simbólico y patrimonial, capaz de preservar y difundir el patrimonio geológico y acercar las geociencias a la sociedad de una forma accesible y atractiva.

5. REFERENCIAS y CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS

- Colnect (2025). Colnect: Coins and banknotes catalog. <https://colnect.com>
- Cujhaj G.S. Standard Catalog of World Paper Money, Modern Issues, 1961-Present. Krause Publications.
- Cuhaj G. S. & Michael T. (Eds.). (2021). Standard Catalog of World Coins (1901–2000). Krause Publications
- Ibáñez Artica M. (2015). Nociones de Numismática extraterrestre. [Numisarchives.blogspot.com](https://numisarchives.blogspot.com) (<https://numisarchives.blogspot.com/2015/06/nociones-de-numismatica-extraterrestre.html>) acceso Junio 2026
- London Coin Centre Inc. (<https://www.londoncoincentreinc.com/>)
- Numista (2025). Numista: International numismatic catalog. <https://en.numista.com>
- Tierra y Tecnología (2015).
- Monedas de minerales españoles <https://www.icog.es/TyT/index.php/2015/03/monedas-minerales-espanoles/>
- Royal Canadian Mint. (2025). <https://www.mint.ca>
- The Perth Mint (2025). <https://www.perthmint.com>
- The Royal Mint (2025). <https://www.royalmint.com>
- The Royal Australian Mint (2025). <https://www.ramint.gov.au>
- United States Mint (2025). <https://www.usmint.gov>

SOBRE EL AUTOR:



Jesús S. Porras M. es Ingeniero Geólogo por la Universidad de Oriente y Magíster en Ciencias Geológicas por la Universidad Central de Venezuela.

Cuenta con una amplia trayectoria en la industria petrolera, participando en proyectos de exploración y desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales. Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Senior.

Sus principales áreas de interés incluyen el patrimonio geológico, la geodiversidad, la geoconservación, la comunicación en geociencias, la geología urbana y el geoturismo.

Es autor o coautor de más de 80 publicaciones presentadas en congresos y revistas especializadas.

porrasjs@yahoo.com



Andesita de dos piroxenos parcialmente fundida por la bomba nuclear de Hiroshima (se ve el vidrio en la superficie). Está compuesta por plagioclasa, clinoenstatita/augita y ortopiroxeno. Se usaba para fabricar las tejas tradicionales (kawara) de los tejados y también como bloques en puentes y monumentos. Tomada el 12-09-2003 en el museo de Hiroshima. Foto de **Jordi Tritlla Cambra**.

Se calcula que estas tejas, recuperadas a unos 100 metros del puente Motoyasu, cerca del epicentro, alcanzaron picos calculados de 6287°C en milisegundos (Radvanec, 2009). Ejemplar en exposición en el Memorial de la Paz de Hiroshima.



sección cortada de una pipe de explotación de la central geotérmica de Hatchobaru, en Oita (Kyushu, Japón). La pipe está cementada por sílice precipitada durante la generación de vapor para la planta. Es la central geotérmica más grande del país con 112 MW. Foto de **Jordi Tritlla Cambra**.

El futuro comienza aquí

Salida a campo en la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí

Calvo-Ramos Daniela K.

Universidad Tecnológica de Corregidora. Carretera Estatal 413, Km 11.2, Santa Bárbara, C. P. 76924, Corregidora, Querétaro, México.

*daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

Como parte de las actividades de formación integral de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC), del 20 al 22 de julio se llevó a cabo una Jornada Biotecnológica en la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.

El objetivo principal de esta salida de campo fue fortalecer la formación profesional de los estudiantes mediante experiencias de aprendizaje fuera del aula, integrando la divulgación científica, la educación ambiental y el reconocimiento del patrimonio geológico de la región. Se buscó acercar el conocimiento científico a las comunidades locales a través de actividades prácticas que despertaran el interés por la ciencia en niñas, niños y jóvenes.

Durante esta actividad se impartieron diversos talleres, lombricomposta, biofiltros, los colores de la naturaleza y observación en microscopio promoviendo el aprendizaje participativo. Como complemento a estas actividades, los estudiantes realizaron una visita de campo a las Grutas de la Catedral y el Ángel, donde conocieron la importancia científica de las cuevas como grandes laboratorios naturales para el estudio del clima del pasado. Durante el recorrido, la Dra. Cinthia Nava, investigadora posdoctorante del Instituto de Geociencias de la UNAM, explicó cómo las estalagmitas funcionan como archivos naturales del clima, ya que conservan información geoquímica como los isótopos y elementos traza que permiten reconstruir la historia de las lluvias y las condiciones ambientales de hace miles y millones de años. Esta experiencia permitió a los estudiantes observar en campo la aplicación de conocimientos de geología, geoquímica y ciencias ambientales.

Esta salida contó con la participación de las profesoras Dra. Daniela Calvo y Dra. Monserrat Escobar, de la

Universidad Tecnológica de Corregidora, así como de la Dra. Cinthia Nava, investigadora posdoctorante del Instituto de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Durante las actividades de exploración, el grupo fue acompañado por Carlos Contreras, presidente de la Sociedad Cooperativa de las Grutas de la Catedral y el Ángel, quien compartió con los participantes su experiencia en la conservación y manejo responsable de este importante patrimonio natural.

En esta experiencia académica los principales participantes fueron los alumnos de 8vo. cuatrimestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Emilio Arteaga Pérez, Paola Cesar Orta, Franco Guerrero Matehuala, Luz Elena González Yáñez, Jessica Selene López del Arco, Alondra Morales Rincón, Elisa Areli Sánchez Rivas, Emilio Vázquez Sánchez y Alejandra López del Arco. Ellos estuvieron como facilitadores de los talleres de divulgación científica dirigidos a niñas, niños y habitantes de la comunidad de Alamitos. Su participación permitió aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación profesional, fortalecer habilidades de comunicación científica y contribuir activamente a la educación ambiental y al bienestar de la comunidad.

Para los estudiantes, esta experiencia trascendió el aprendizaje técnico. Les permitió comprender que el conocimiento científico adquiere un verdadero sentido cuando se comparte con la sociedad y se utiliza para mejorar la calidad de vida de las personas. El contacto directo con la comunidad les hizo reflexionar que el acceso a la ciencia y a la educación no es igual para todos, y que, como futuros profesionistas, tienen la responsabilidad de contribuir a reducir esa brecha mediante la divulgación, la educación y el servicio.

Experiencias como esta fortalecen no solo las competencias profesionales de los alumnos, sino también valores como la empatía, el compromiso social y la responsabilidad ambiental. Al llevar la ciencia a comunidades donde el acceso al conocimiento especializado es limitado, los alumnos juegan un papel importante ya que se convierten en un motor de transformación social, inspirando nuevas vocaciones científicas y construyendo una sociedad más informada, participativa y comprometida con el cuidado de su entorno.



Cúpula mayor de la gruta la Catedral dentro de la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.



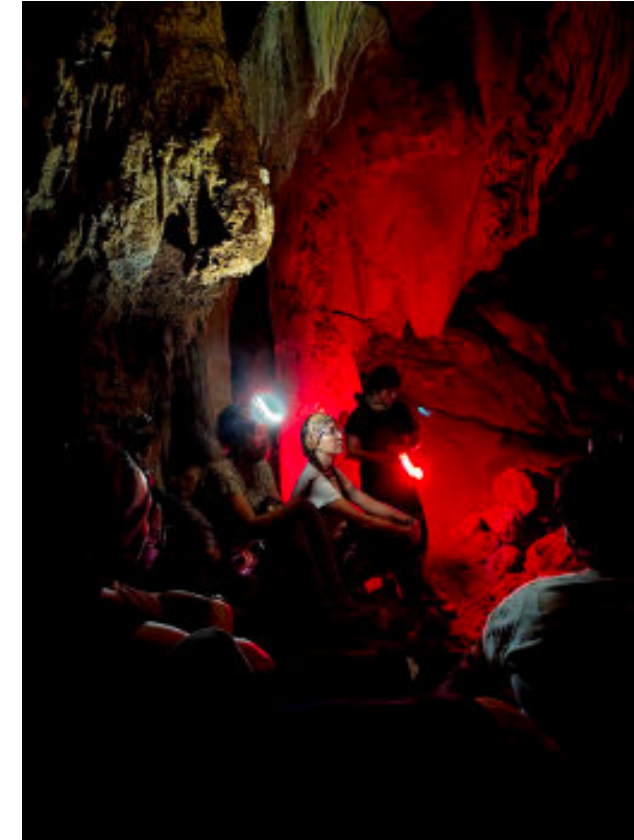
Equipo de trabajo: Emilio Arteaga Pérez, Paola Cesar Orta, Franco Guerrero Matehuala, Luz Elena González Yáñez, Jessica Selene López del Arco, Alondra Morales Rincón, Elisa Areli Sánchez Rivas, Emilio Vázquez Sánchez, Alejandra López del Arco, Sergio Torres, Carlos Contreras, Dra. Cinthya Nava, Dra. Monserrat y Dra. Daniela Calvo.



La Dra. Daniela Calvo pasa a través de un estrechamiento en el sistema de cuevas durante el recorrido de exploración.



Formación de estalactitas dentro de la cueva el Ángel dentro de la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.



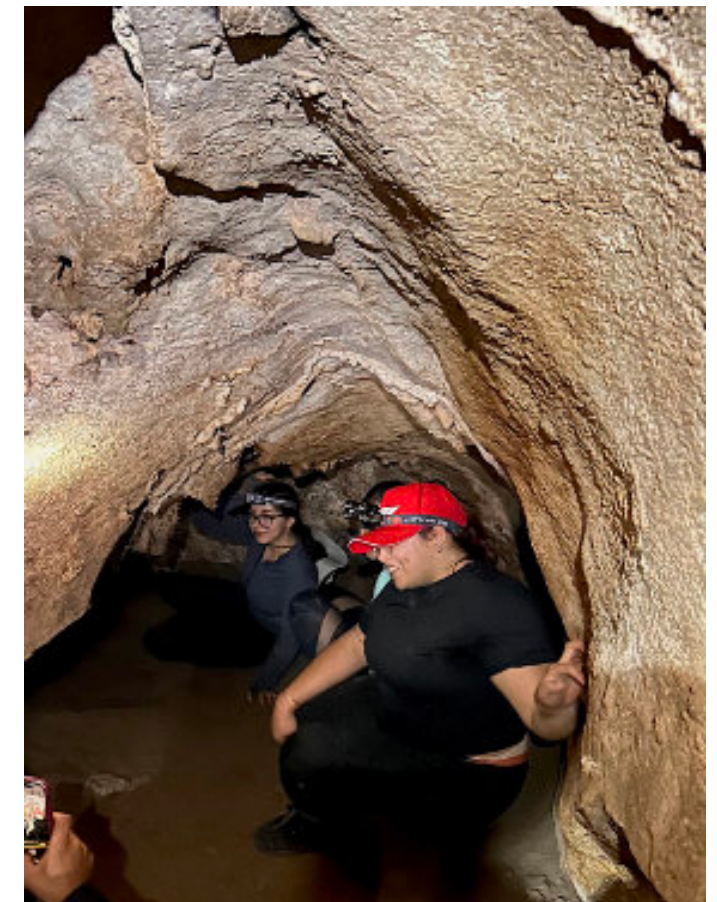
Clase por parte de la Dra. Cinthya Nava dentro de la cúpula de la cueva donde les explicó a los alumnos sobre la formación de las cuevas y que constituyen valiosos archivos naturales del clima del pasado.



Descenso controlado mediante cuerda en una sección vertical del sistema de cuevas.



Integrantes del equipo esperando su turno para atravesar un estrechamiento del conducto de la cueva.



Integrantes del equipo esperando su turno para atravesar un estrechamiento del conducto de la cueva.



Integrantes del equipo esperando su turno para atravesar un estrechamiento del conducto de la cueva.



Equipo de trabajo: Emilio Arteaga Pérez, Paola Cesar Orta, Franco Guerrero Matehuala, Luz Elena González Yáñez, Jessica Selene López del Arco, Alondra Morales Rincón, Elisa Areli Sánchez Rivas, Emilio Vázquez Sánchez, Alejandra López del Arco, Sergio Torres, Carlos Contreras, Dra. Cinthya Nava, Dra. Monserrat y la Dra. Daniela Calvo.



Alumnos de 8vo cuatrimestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Tecnológica de Corregidora impartiendo el taller del mundo a través del microscopio a niños de la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.



Alumnos de 8vo cuatrimestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Tecnológica de Corregidora impartiendo el taller de los colores secretos de la naturaleza a niños de la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.



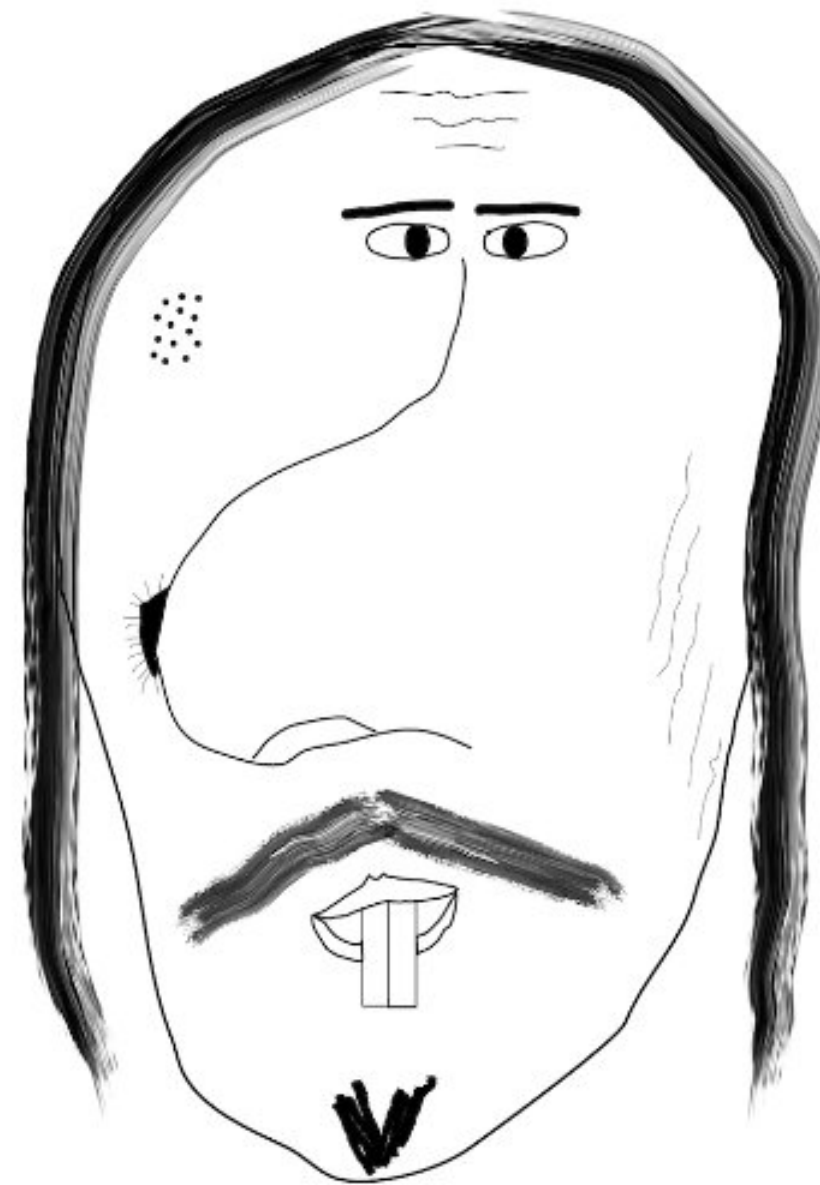
Alumnos de 8vo cuatrimestre de la carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Tecnológica de Corregidora impartiendo el taller de lombricomposta a niños de la comunidad de Alamitos, Río Verde, San Luis Potosí.



Las niñas y niños descubriendo los colores presentes en flores, frutos y hojas a través de un experimento sencillo con extracto de col morada, observaron como un pigmento natural puede cambiar de color al entrar en contacto con diferentes sustancias.



Helicóptero - bombardero de los bomberos de la Generalitat de Catalunya perimetrando el incendio del Parque Natural del Cap de Creus, en Llanca, Girona, Catalunya, Julio 16, 2021. Foto de **Jordi Tritlla Cambra**.



Benioff Siempre

A nosotros los alumnos de geología nos gusta mucho realizar las prácticas de campo, porque tenemos la oportunidad de tomar muchas fotografías de estructuras geológicas, montañas y de afloramientos.

Eres estudiante o maestro de geología y tienes fotografías de afloramientos de tu área de estudio o de viajes de campo?

Comunícate con

Luis Ángel Valencia Flores
luis.valencia.11@outlook.com

quien está a cargo de organizar esta información.

Lessons from the Seismic Events in Western Cuba and Northern Venezuela

Dr. Manuel A. Iturralde-Vinent (1) & Dr. Enrique Arango Árias (2)

(1) Emeritus Academician, ACC + CITMATEL Company
(iturralde@ceniai.inf.cu);

(2) National Center for Seismological Research
(earango@cenaais.cu).

Abstract

Two seismic events occurred last June in Cuba and Venezuela, in different seismo-tectonic settings, which are analyzed in this article. The first occurred at 18:00:34 UTC on June 8, 2026, in an intraplate setting, with Mw 6.2, depth 20.0 km, and epicenter at coordinates 23.660°N and -84.629°W, located in the Yucatán Channel, west of Cuba. Days later, on June 24 at 18:04:33 and 18:05:11 local time, an unusual seismic doublet occurred with Mw 7.2-7.5, with epicenters at depths of 20.3 and 10.0 km, located southwest of Caracas, Venezuela, in a "plate boundary" setting. The Yucatán earthquake, given its distance from surrounding populations, caused practically no damage. In contrast, the unusual seismic doublet occurred in a densely populated area of Venezuela, making it highly destructive and affecting several states.

Various media outlets have disseminated a wide range of opinions on the cause of the damage in Venezuela and the possibility that something similar could occur in Cuba. This article analyzes some lessons we all must learn, now that several days have passed and the first scientific studies on the subject have been released!

INTRODUCTION

Most data published minutes after an earthquake occurs are obtained from automatic processing programs, which are often specific to each institution. This leads to differences in results that depend on many technical factors, as well as magnitude and depth. The most advisable sources for obtaining reliable information on earthquakes occurring in the Caribbean region are the United States Geological Survey (USGS) and EarthScope (Seismological Facility for the Advancement of Geoscience SAGE). Additionally, for Cuba, there is the Center for Seismological Research (CENAI), and for Venezuela, the Venezuelan Foundation for Seismological Research (FUNVISIS), as well as centers located in Jamaica, Santo Domingo, Puerto Rico, and other places around the world. From a scientific-technical point of view, each earthquake is characterized by its Magnitude ⁽¹⁾, Depth, and Epicenter

Coordinates. Regarding depth, when it cannot be calculated with the necessary rigor, it is adopted as h=10 km, or not reported. When the event has a magnitude greater than 4, depending on the number of stations recording it and their location, the Rupture Mechanism is also determined. CENAI has programs that perform automatic calculation of the fundamental parameters of each earthquake.

These earthquakes have received widespread media coverage due to the unusual nature of both events, as well as the enormous devastation in Venezuela. Like all earthquakes, they leave us with a series of lessons that we will share in these notes, aiming to contribute to risk perception, taking into consideration some of the scientific and geotechnical publications that have emerged after those events.

SEISMICITY ASSOCIATED WITH TECTONIC PLATES

The most widely used geotectonic theory among seismologists today is Plate Tectonics, which simply and elegantly explains and integrates modern seismology. On this basis, seismic environments are defined as intraplate (within plates) and interplate, at the boundaries between two or three plates. In the Caribbean and its surroundings, three main tectonic plates stand out: North American, Caribbean, and South American, which exhibit all the aforementioned boundary types (Figure 1). In this global context, the earthquakes that occurred last June in western Cuba and northern Venezuela serve to exemplify the seismo-tectonic conditions of intraplate and strike-slip interplate boundary environments, respectively.

Intraplate Environment

In regions within tectonic plates (*intraplate*), especially far from their edges, the frequency and magnitude of earthquakes are often lower compared to boundaries between different plates (*interplate*), although the occurrence of destructive earthquakes is not uncommon, as they are recorded in various geographic settings, associated with the activation of some fault or volcanic eruption. Saying an earthquake occurred in intraplate conditions does not negate its danger, as every earthquake represents a hazard.

Intraplate seismicity is recorded in western, central, and the northern half of eastern Cuba, as these earthquakes are dispersed within the North American Plate, where a variety of ancient and recent fractures in the Earth's crust are known. These events may be determined by stresses derived from gravity, Earth tides, plate interaction and displacement, and processes developing within the Earth's mantle. The movement of these faults can occur with minimal energy release, in which case they may not be recorded by some seismometers. Earthquakes with a

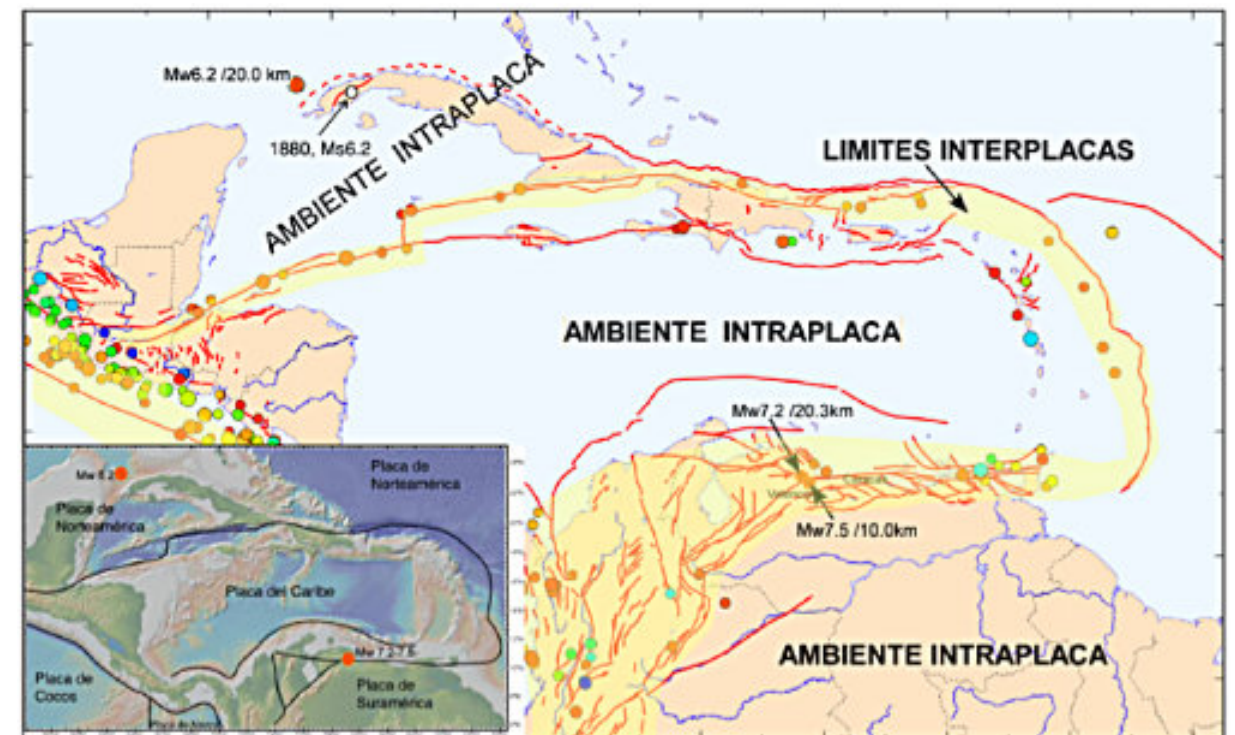


Figure 1. Map of the main faults of the Caribbean and the epicenters of earthquakes of magnitude 6 and greater. Interplate boundaries (yellow) and intraplate zones are highlighted, as well as the position of the epicenters of the June 8 earthquake NW of Cuba and June 24 earthquake N of Venezuela.

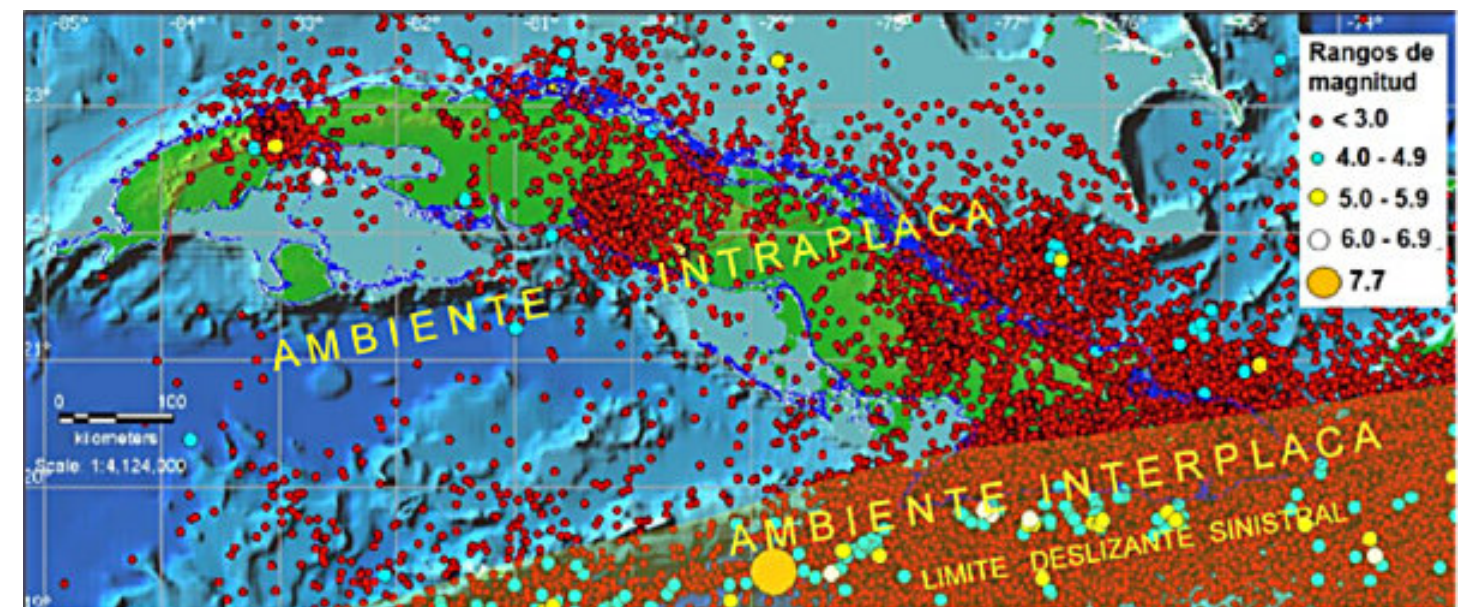


Figure 2. Seismological map of historical epicenters in Cuba, distinguishing areas of intraplate and interplate environments (CENAI).

magnitude greater than 2 can be detected by distant stations, as the larger the magnitude, the greater the number of stations recording the earthquakes.

Interplate Environment

Most of the most active seismogenic faults coincide with interplate boundaries, where earthquakes are very

frequent and can reach great magnitude, especially at convergent boundaries. Interplate boundaries can be divergent, convergent like collision and subduction fronts, and can be strike-slip along transform fault systems. Two examples of very active strike-slip boundaries are found between the Caribbean Plate and the North American and South American plates. These are the "sinistral strike-slip

Oriente fault" extending southeast of Cuba, and the complex of dextral strike-slip faults Boconó-San Sebastián located in northern Venezuela (Figures 1 and 2).

SEISMICITY IN WESTERN CUBA

The June 8, 2026 earthquake was recorded by the stations of the National Center for Seismological Research of Cuba (CENAI www.cenai.gov.cu), which reported Magnitude Mz 6.2; while the USGS reported Mz 6.1. Regarding the fault mechanism, it was determined that it corresponds to a compressional reverse rupture, with NW-SE strike, approximately 45 degrees dip. The focal depth was estimated at 20 km (CENAI) and 26 km (SAGE/USGS). The time of occurrence was determined as 18:00:27 UTC (USGS/SAGE) and 18:00:34 UTC (CENAI). There were also differences in the epicenter location coordinates, calculated at 23.660°N -84.63°W (CENAI), 22.8009N -85.1393W (USGS), and 22.79N -85.15°W (SAGE). However, it should be emphasized that these imprecisions are not significant, although they demonstrate that obtaining precise values requires the participation of specialists to analyze the records and repeat calculations if deemed appropriate, selecting the most suitable seismometers according to the earthquake's location. Likewise, it should

be reiterated that "the absence of seismic activity in this region may mean that energy is accumulating in the subsurface, which could reach the point of causing a large-magnitude earthquake at any future time." That prediction by Arango-Arias and Iturralde-Vinent ⁽³⁾ was partially fulfilled with the past June 8, 2026 earthquake of Mw 6.2, which was followed by several aftershocks: June 8 (M 3.9 and 3.5 depth h=10 km), June 9 (M 4.3 h=16 km), June 15 (M 4.9 h= 15 km). However, the occurrence of so few aftershocks suggests that most of the accumulated energy was released.

In the western Cuba region and the Yucatán Channel or Strait, a significant number of earthquakes have been recorded, even M4 almost in the same location as the June 8 event. When examining the map (Figure 3), it is notable how the epicenters are very dispersed, which is primarily due to the limited number of events recorded and the imprecision of records prior to 1964, when there was no certified seismological station in the national territory. However, it is possible that such dispersion is also determined because events in intraplate regions are often associated with a variety of fractures oriented in different directions.

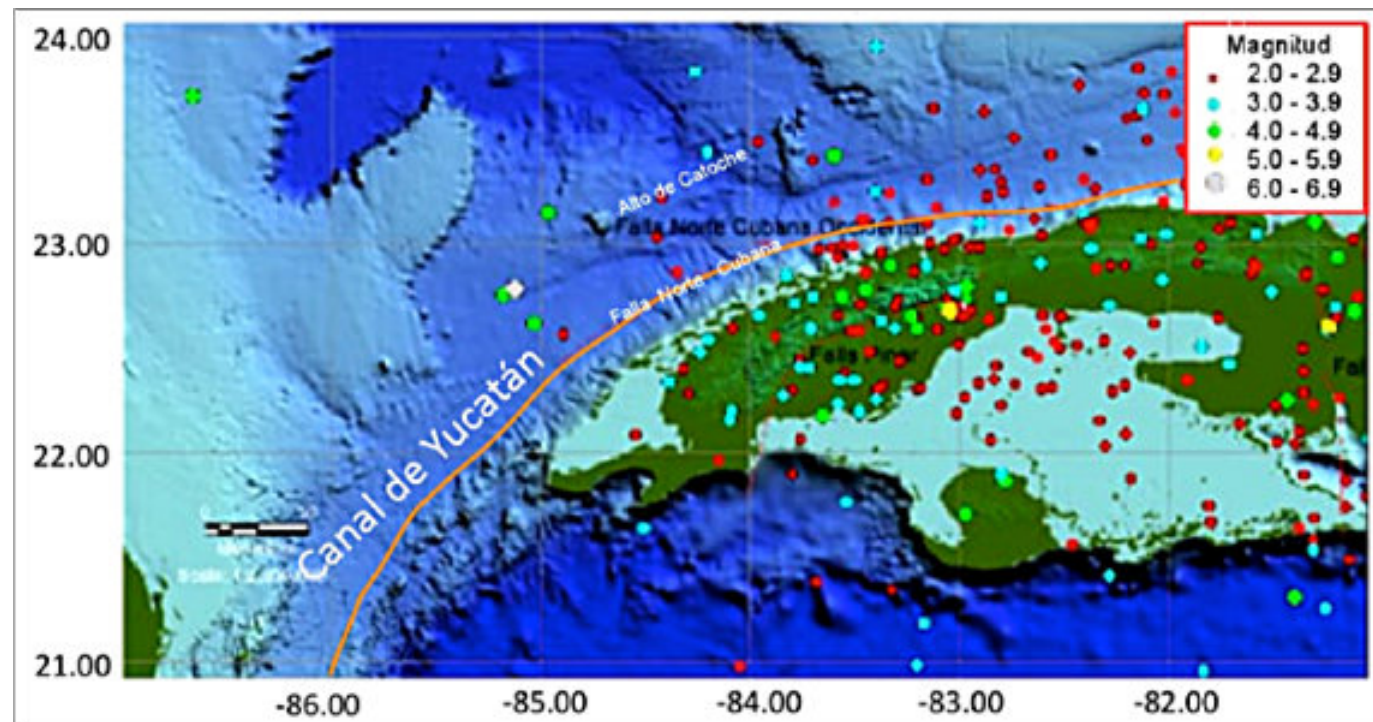


Figure 3. Earthquakes recorded in Western Cuba and adjacent seabeds, according to the CENAI catalog (1502-2026). Note that NW of Cuba, the density of epicenters is low.

Historical records in Cuban territory report the occurrence of some very damaging earthquakes, with magnitudes between 5.0 and 8.0, although their hazard has depended not only on the magnitude and proximity of the focus but, above all, on the vulnerability of the built infrastructure. In this regard, it is important to highlight that the threat from earthquakes includes those whose epicenters may be

located many kilometers from our coasts, especially if they have a magnitude greater than 6. An example of this is the 2010 Haiti earthquake, which caused oscillations in some tall buildings in Santiago de Cuba and Bayamo, and the 2020 Cayman Islands earthquake, which was perceptible throughout the entire Cuban territory. Now we must add the earthquake in question, which occurred more than

100 km NW of the island, and was perceptible throughout the western part of the national territory.

From the point of view of seismic hazard, Cuban territory has been divided into three regions: Eastern, Central, and Western. The Western region (Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Matanzas, and Isla de la Juventud) ⁽³⁾ has much less historical seismic activity than the rest of the country, as it is far from the plate boundary zone located in the southeastern tip of Cuba (Figure 2). But this does not mean that western Cuba is exempt from hazard. In this regard, it is interesting to note that since June 11, 2023, this region has been at rest or seismic calm, as no event has been recorded; a condition that continues, as the June 8 epicenter is not located within the national territory.

The maps in Figure 4 summarize the seismic activity of the intraplate region of western Cuba and nearby seabeds, considering earthquakes of magnitude greater than 3. Map A of the historical record (1502-1965) shows only the earthquakes that occurred within the insular territory, as it is based on press reports, unpublished reports, and accounts collected in government documents from each era. Map B of records between 1964 and 1995 is based on the few analog seismometers installed in those years, whose precision was limited by the magnitude of each event and the distance of the focus from the stations, hence the number of recognized events is limited. Map C (1998-2026) corresponds to the result of the expansion of the station network and the installation of modern digital seismometers, with data transmission via the internet, whose sensitivity allows detecting events of magnitude 2, even those of moderate magnitude occurring far from the national territory. Map D presents the events that

occurred in the Yucatán Channel, followed by three aftershocks. It is interesting to note that in the area close to the June 8, 2026 event, another had occurred on October 10, 2003, with M 4.4 at h=10 km.

It is possible that more aftershocks of lesser magnitude occurred that were not recorded due to the distance from the epicenter. This behavior is normal for any medium to large magnitude earthquake, as aftershocks occur around the main initial event and are proportional to the magnitude of the main event in terms of quantity and duration of occurrence. This is due to the elastic adjustment of the blocks that experienced rupture on both sides of the fault, which will be adjusting until equilibrium is reached again and the aftershocks end. Aftershocks are always of lesser magnitude than the main event. Should an event of greater magnitude occur after the initial one, the initial one is designated as "foreshock." These events caused little damage, only the partial collapse of an abandoned house.

Ultimately, it is evident that Cuban territory constitutes a seismically active zone, with different levels of hazard, so the possibility of earthquake occurrence must be considered when designing constructions, especially tall buildings, schools, and hospitals.

Regarding seismic hazard, the possibility that an earthquake located between Cuba and Florida could lead to a technological disaster in the country or nearby territories cannot be overlooked. A hot spot is the Turkey Point Electro-Nuclear Plant, located south of the city of Miami, from where northerly winds blow, especially during winter, potentially dispersing contamination in the event of a malfunction.

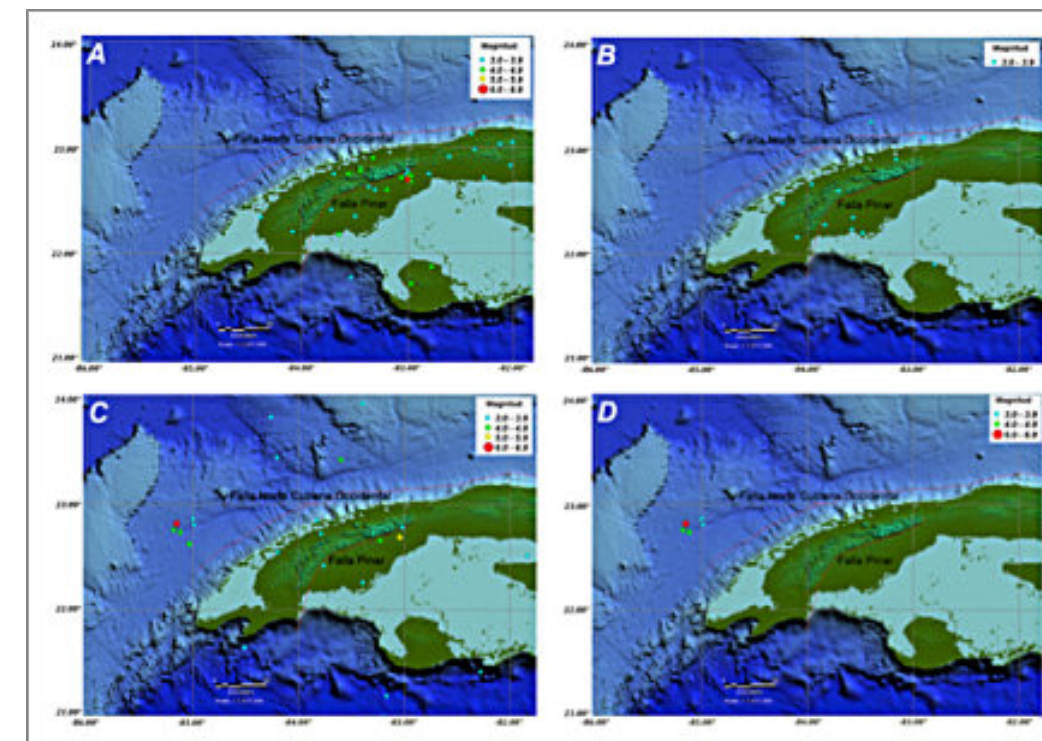


Figure 4. Maps of seismic records grouped into A-historical, B-analog, and C-digital, as well as D-events that occurred in the Yucatán Channel, as of June 8, 2026.

SEISMICITY IN EASTERN CUBA

This is the region of greatest seismic hazard in Cuba, where historical activity occurs in an interplate environment along a sinistral strike-slip boundary concentrated in large swarms, covering hundreds of square kilometers. The strongest earthquakes recorded to date are located in this region, associated with the Oriente fault (Figure 2). Notable among these, in recent years, are the earthquake swarm south of Santiago de Cuba and the Pílon-Uvero earthquakes with Mw6.7 and Mw5.8 on November 10, 2024, which caused considerable material losses in homes and social buildings. Considering the statistics, the cities of Manzanillo, Pílon, Chivirico, Santiago de Cuba, Guantánamo, and Imías have been defined as having seismic hazard, where seismic-resistant construction standards must be strictly followed ⁽³⁾.

SEISMICITY IN VENEZUELA

Venezuelan territory presents two seismotectonic environments: intraplate in the south with sparse and scattered events, and interplate in the N and NW, which is more active, where several strike-slip boundaries between the Caribbean Plate and the South American Plate stand out (Figure 5). In the coastal strip, the density of earthquakes is moderate; however, several highly destructive events have occurred, with damage caused by the location of structures on terrain with landslide and solifluction hazards, and especially by the presence of soils with liquefaction potential and inadequate building designs ⁽⁴⁾.

The tremors of June 24, 2026, initially sparked debate among seismologists regarding location, magnitude, and

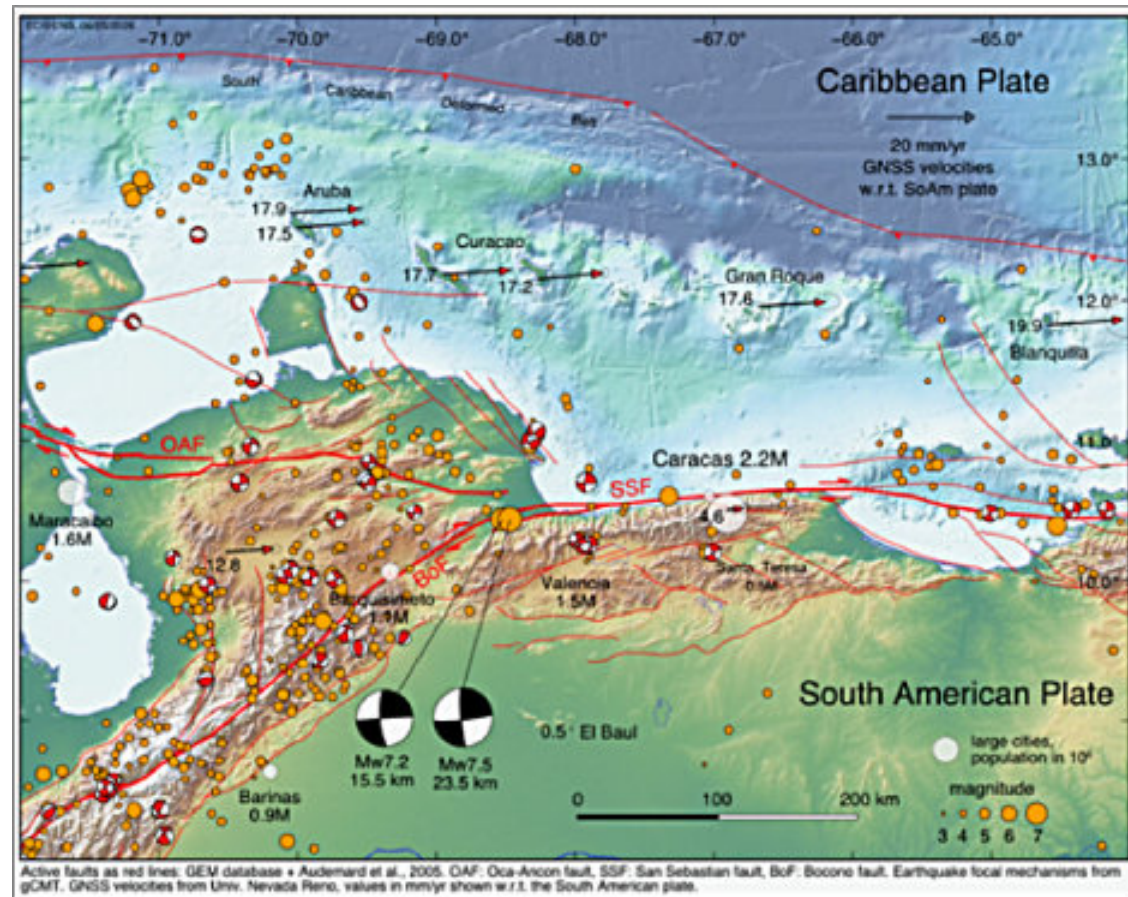


Figure 5. Seismotectonic map of northern Venezuela, including the epicenters of the seismic doublet, courtesy of Eric Calais. Red lines: active faults; OAF Oca-Ancón Fault, SSF San Sebastián Fault, BoF Boconó Fault.

depth, and whether it was one or two events, until it was concluded that it is a seismic doublet ⁽²⁾. The data for this doublet were ultimately calculated with considerable precision, defining that the focal mechanisms of both are almost identical, compatible with nearly pure dextral

strike-slip faults, with an approximate East-West strike (Table 1). The action of the seismic doublet was the primary cause of the devastation that occurred in the cities of Caracas, the localities of Playa Grande, Puerto Viejo, Caraballeda, Catia La Mar, and the states of Miranda, Aragua, Carabobo, Lara,

Table 1. Data for the June 24, 2026 earthquakes in Venezuela compiled by Franco Urbani ⁽²⁾.

Magnitude	Local Time	Latitude N	Longitude W	Uncertainty km	Depth km
M 7.2	18:04:33	10,436	68,528	± 9,2	20,3 ± 3.9
M 7.5	18:05:11	10,435	68,472	± 9,2	10,0 ± 1,8

and Yaracuy. However, the real damage originated much earlier, due to shortcomings in the process of locating, designing, and constructing the works, as some buildings were completely destroyed, while others suffered moderate damage, and some structures withstood the same tremors almost unaffected. A good forensic engineering investigation would allow precise determination of which errors caused the damage and which decisions protected the surviving structures, in the style of the investigation published by specialists ⁽⁴⁾.

THE NATURE OF SEISMIC HAZARD

To understand the level of destruction of buildings in Venezuela, it is important to analyze some details regarding the characteristics of the earthquakes per se. It is evident that the seismic doublet was one of the prominent actors in the debacle, and originated because the first earthquake (precursor) released enough energy to trigger the second, only 39 seconds later, as the points of accumulated energy (potential foci) were located just a few kilometers apart. The elastic wave trains generated by these earthquakes can cause oscillations in tall buildings, vibration of walls, falling and displacement of objects, and, in extreme cases, partial or total collapses. When the precursor wave trains acted on the area where high energy was accumulated, the main event was triggered (Figure 5). From each of these earthquakes, P waves (which travel through any material at high speed, compressing and expanding solid bodies) propagated, followed by S waves (slower, generating vertical oscillations), and later SH waves arrive, which are surface waves (that, as they move, generate lateral oscillations, like shearing). The latter are extremely dangerous, as they cause oscillations in buildings, to the point of causing them to collapse. The worst situation occurred when the P, S, and SH wave trains from both events overlapped, generating a complex up to Mw 4-6, oscillations with high destructive capacity. Likewise, the doublet was followed by more than 1,800 aftershocks, which are smaller earthquakes but have the capacity to destroy already affected structures and cause further damage. This may explain the partial collapses of buildings that occurred days after the main earthquake.

A very important aspect to note regarding this seismic doublet is that, although its epicenter or focus is defined at a point, this only represents the beginning of the rupture, which extends along the seismogenic fault. In the case at hand in Venezuela, the strongest earthquake of

magnitude 7.5 mobilized the rock masses associated with a rupture involving two segments: one smaller to the west of the epicentral zone, and another almost 200 kilometers long to the east, where cities with high urban density are located. It was observed that the maximum displacements did not occur in the epicentral zone where the Boconó fault culminates, but along the San Sebastián fault.

Let us visualize the effect of P, S, and SH wave trains on buildings in a simpler way: The P waves, as they pass through structures, can create conjugate fractures, reducing solidity and weakening the structure; the S waves can then cause displacements along these fractures and could detach some components inside and outside the structure. Finally, the SH waves, which shake buildings seconds later, can cause new detachments and collapses of previously fragmented components, leading to the total collapse of buildings. Similarly, so-called aftershocks, which in practice are smaller earthquakes, can reach dangerous magnitudes of 4 to 6.

Another geotechnical process that predetermines the destruction of buildings is so-called liquefaction (site effect), which occurs when seismic wave trains pass through moist clayey-sandy soils, which lose their structure and flow like a paste. In this state, they are unable to support the loads of structures built upon them. This hazard is strictly of human origin, independent of earthquakes, in the sense that it arises from poor site selection for construction. If one decides to build on soils with this potential hazard, the necessary investigations must be carried out, and appropriate seismic-resistant measures designed for the foundations.

EARTHQUAKES AND THE MEDIA

Shortly after the earthquakes of June 8, 2026, and June 24, 2026, several scientific institutions placed on their websites the information obtained from their automatic records, making it available for consultation. However, in parallel, an avalanche of "rapid" reports began on social media, many of them tainted by exaggeration, mysticism, and information lacking scientific-technical support, which can be grouped into three categories:

1. People who provided important information on how the earthquake was perceived in each locality, with photographic evidence.

2. Others who immediately reproduced news taken from social media and non-specialized digital newspapers, offering reworked versions of the events.

3. Those who take the opportunity to preach the end of the world, or the "seismic war" orchestrated by extraterrestrials or malevolent governments, to attract attention and promote fear and chaos.

Important are those people who provided valuable information on the population's reaction in their locality and the damage that occurred contributed useful information used alongside expert analyses (satellite photos, seismometer and accelerometer records, etc.) to estimate the earthquake's intensity (degree of impact on infrastructure and people). With these data, perceptibility maps and isoseismal maps are constructed, which are very important for developers and builders.

In contrast, individuals belonging to groups 2 and 3 despaired to publish any unverified information, often in an exaggerated tone, with the apparent aim of attracting attention with the "scoop." Of course, everyone can write and replicate what they wish; however, it is advisable to be more selective when consuming and forwarding dispatches with a tone of exaggeration (exaggerated news). This same behavior occurred in the media after the Venezuelan seismic doublet, where many people opined and published information, both serious and well-founded, as well as full of exaggerations and unnecessarily politicized. Needless to say, this behavior is as negative as the earthquake itself.

Journalists should carry out work that is valuable, starting with informing with well-founded data, and subsequently focusing on investigative journalism, seeking answers as to why some buildings collapsed, others suffered moderate damage, and others were hardly affected. The answers to these questions must come from personnel with recognized experience: civil engineers, seismologists, geologists, and hydrogeologists. Often, a few weeks after the disaster, media coverage begins to disappear, when in fact there are still many practical problems to solve, and specialists have begun to publish forensic studies of interest to society. This has been happening at present, as a series of investigations ⁽⁵⁾ have already come to light, which, despite being preliminary, offer highly important data for future development in affected communities. This would be the time to begin preparing publications disseminating the events at a seismological, geotechnical, and social level.

CONCLUSIONS

1. History and the knowledge acquired on seismology and geotechnics demonstrate that an earthquake must be taken very seriously. There is no need to wait for a disaster to occur in order to invest large sums of money in saving lives and reconstructing destroyed buildings. Funding should be available in annual state budgets, and action plans must be drawn up to carry out the essential tasks to reduce vulnerabilities and implement adequate seismic

risk management, which is the only way to avoid loss of life and catastrophes.

2. Southeastern Cuba is a portion of territory with the same seismotectonic conditions as Venezuela, that is, with an equal degree of hazard. The example of the seismic doublet should draw our attention to act before it is too late.

FINAL RECOMMENDATIONS

1. The earthquake of June 8, 2026, in western Cuba, just over 100 kilometers WNW of Mantua, although its epicenter was outside the national territory, was felt from Florida, in Yucatán, and as far as Matanzas, including the Isle of Youth, due to its magnitude. This is an example that earthquakes, wherever they occur, represent a primary hazard, and is a call to emphasize the need to adopt seismic-resistant measures in all buildings in the country, especially in essential facilities such as hospitals, schools, and high-rise buildings. It is recommended that the recommendations of the Cuban Seismic Standard NC 46:2017 be respected in our territory.

2. The Mw 7.2-7.5 seismic doublet that occurred in Venezuela is a rare event but demonstrates that nature has infinite ways to manifest the Earth's internal forces. It also teaches us to respect the possibility of an earthquake's occurrence, which cannot be ignored or overlooked when undertaking urban development and any other type of civil or military construction.

3. Serious vulnerabilities are created when funding for seismogeological research is cut, and the results are not disseminated; when engineering-geological and geotechnical studies prior to construction are cut; when designs and necessary materials to guarantee the seismic resistance of each work object are cut; and when Construction Standards are not respected or subsequently updated. This behavior creates the conditions for disaster. Some specialists have plausibly proposed including in each country's legislation a procedure to hold accountable and prosecute those responsible for non-compliance with existing regulations.

4. Vulnerability reduction should begin by reinforcing schools, hospitals, and multi-family buildings, and progressively, any other building with structural weaknesses.

5. All new construction must comply with seismic-resistant criteria according to building standards.

6. All hospitals, factories, public buildings, and multi-family buildings located in areas of high seismic hazard must have signage with guidelines to follow in the event of a seismic event.

7. The occurrence of strong earthquakes has no predictable dates or seasons, so a regular program of public awareness must be maintained through the media, and training exercises should be developed to enhance the preparedness of the population and managers, to promote an ethic of responsible behavior.

8. Earthquake prediction still has a long way to go, but there is a very simple rule that states: "Where an earthquake of Magnitude X occurred, there is always the possibility that another of equal or greater magnitude will occur in the future."

NOTES

(1) The Richter scale for earthquake magnitudes is currently obsolete. The Moment Magnitude (Mw), which reflects the total energy released, called "seismic moment," is generally used.

(2) Urbani Patat, F. 2026. The earthquakes of June 24, 2026 in Venezuela: Location of the epicenters on regional and local geological cartography. Researchgate, 15 p.

(3) Arango-Arias, E., Iturralde-Vinent, M.A. 2026. Assessment of seismic activity in Cuba up to 2025 (+ Photos). Cubadebate 26/2/26, 08:45h.

(4) López, O. A. y Espinosa, L.F., 2007. The Collapse of the RMC High School in the Cariaco, Venezuela Earthquake, 1997. FUNVISIS Publications. 21 p.

(5) Chaves, E. J., Stein, R. S., y Toda, S., 2026, Venezuela's doublet leaned toward Caracas, Temblor.



Manuel A. Iturralde-Vinent. Academic emeritus and Doctor in Geological Sciences. Has conducted geological and paleontological expeditions to the Greater Antilles, Central and South América. His leading interests are geology, paleontology, paleogeography and risk assessment. Published several contributions to the paleontology, paleogeography and origin of the Antillean biota.

<https://www.academiaciencias.cu/es/membresia/manuel-antonio-iturralde-vinent>



Dr. Enrique D. Arango-Arias, Head of Seismology Department, National Center for Seismological Research. Has a long experience in seismological and geohazard research.

La digitalización de afloramientos de rocas sedimentarias

Ramón López Jiménez

Colaborador de la Revista

El conocimiento en geología, y en particular de sedimentología, ha sido transferido y compartido con éxito durante cientos de años a través de dibujos en papel. De la misma manera que un botanista o zoólogo, un geólogo es capaz de recoger datos del campo con tan solo un papel y un lapicero en forma de dibujos (la Figura 1 muestra uno de los dibujos de un afloramiento geológico más antiguos que existen en los registros bibliográficos). Los dibujos de afloramientos y los mapas geológicos son dos de los más básicos formatos a partir de los que un geólogo representa las observaciones que realiza en el campo. Para un sedimentólogo, uno de los objetivos principales sería reflejar la distribución espacial y la geometría de las unidades sedimentarias (capa, miembro, formación grupo y supergrupo).

La fotografía: una mejor representación de la realidad

La llegada de la fotografía supuso un avance espectacular en la recogida y la compartición de datos obtenidos de afloramientos (La Figura 2 muestra una de las fotografías más antiguas en el registro bibliográfico que se hayan tomado en un afloramiento con el objetivo de realizar un análisis geológico). Cualquier dibujo es una representación artística de la realidad, sin embargo, una fotografía es casi una perfecta representación en dos dimensiones de esa realidad. Cuanto más realista es la representación del afloramiento, mejor cualquier persona podrá observar características cualitativas y cuantitativas de este. Idealmente, los datos que se obtienen de afloramientos deberían poder ser compartidos exactamente tal y como una persona los observa físicamente in situ, de manera que se puedan observar y medir características de las rocas sedimentarias de ese afloramiento. Pero hay barreras que impiden tal representación de un afloramiento, por ejemplo: el amplio rango de escalas de todas esas características relevantes para el análisis geológico que se traducen en un infinito cantidad de datos que se pueden recoger o también el hecho de que algunos de los datos son cualitativos, de forma que su anotación o registro es subjetivo (por ejemplo, el color y la textura de la roca). Incluso usando la fotografía o el video, las imágenes que se obtienen muchas veces no son iguales que las que el ojo humano y el cerebro procesan. De forma que cuando uno regresa a la oficina o casa, y revisa las

fotografías tomadas en el campo, comprueba que la fotografía desfloramiento que fue observado no refleja algunas de las características que in situ fueron observadas por uno mismo. Las innovaciones tecnológicas de las últimas décadas han permitido registrar datos de afloramientos en un rango de escalas que ha mejorado la cantidad y la calidad de características geológicas que pueden ser compartidas con otras personas. En los siguientes párrafos se van a describir brevemente las mejoras que han ocurrido en la obtención de imágenes aéreas, desde drones y desde satélites, así como la llegada de la realidad virtual y aumentada.

Las imágenes aéreas: aeronaves y satélites

Desde muy temprano los militares comprendieron las ventajas de tomar desde el aire imágenes de territorios tanto propios como ajenos. La perspectiva y las diferentes escalas de visualización que proporcionan las imágenes aéreas da una información muy valiosa sobre, por ejemplo, la posición y las rutas de escape de vehículos enemigos. Los geólogos también inmediatamente entendieron el valor de la fotografía aérea para las tareas de cartografía geológica. Geólogos de los Estados Unidos de América fueron pioneros en los años 20 en el uso de la fotografía aérea para diferenciar diferentes tipos de suelos y litologías a partir de los diferentes tonos en fotografías en blanco y negro. Sin embargo, el avance más significativo llegó con el despliegue de satélites que incorporaban lentes de gran resolución óptica y sensores de diferentes tipos. Los sensores, de hecho, fueron la clave para mejorar el análisis geológico a partir de imágenes obtenidas con satélites. Un gran salto cualitativo en este tipo de análisis sucedió gracias a las imágenes de satélite multispectrales, las cuales permitieron una cartografía predictiva de alta precisión para grandes territorios alrededor de la tierra. En 1972 La NASA lanzó el primer satélite multispectral a través de la misión Landsat. los sensores multi espectrales miden la señal electromagnética en rangos específicos del espectro de luz solar haciendo posible la identificación de diferentes grupos de minerales. Hoy día, en 2022, el satélite con los sensores y lentes ópticas más avanzadas es el WorldView 3. Este satélite usa 16 bandas colocadas en longitud de onda visible y corta del infrarrojo. Esto hace posible la identificación de una mayor cantidad de grupos de minerales y de una manera más precisa, así como la mejora de la resolución espacial en la que se analiza el terreno llegando a un rango de entre 1.25 y 3.7 m (Figura 3). Los satélites sin duda alguna ayudan a cartografiar características geológicas del terreno en escala relativamente grandes, así como la identificación de unidades litológicas mentales regiones, pero, ¿qué ocurre

con la recogida y análisis de características geológicas en afloramientos que tienen escalas espaciales mucho más pequeñas? Los drones han revolucionado la adquisición de datos en estas escalas relativamente más pequeñas.

La llegada de los drones: la democratización en la recogida de datos de afloramientos geológicos

Hoy día no es necesario pagar cientos o miles de dólares por el alquiler de un avión o un helicóptero privado para tomar fotos y vídeos desde el aire. Cualquiera puede comprar un dron por unos cuantos cientos de dólares y recoger datos del terreno durante años (¡a no ser que estrelles el dron!). Aún más importante, permite la toma de imágenes de afloramientos que antes eran inaccesibles. Los drones también han facilitado el desarrollo de técnicas como el Lidar o la fotogrametría. Estas técnicas tienen el objetivo de proporcionar modelos topográficos del terreno con gran resolución, y ahora gracias a los drones esto se puede realizar de una forma más barata que antes.

Realidad virtual y aumentada

Las innovaciones actuales en el manejo qué almacenamiento de datos, así como los avances técnicos en hardware están permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas de aprendizaje como las clases virtuales. ¿Pueden las clases virtuales con la ayuda de modelos digitales 3D y realidad aumentada transferir conocimiento

efectivamente de la misma manera que esto sucede con experiencias personales en el campo? Definitivamente no. Como instructor online y de cursos de campo he sometido a decenas de asistentes de cursos al análisis del mismo afloramiento en el campo y también a partir fotografías vídeos y modelos 3D. El resultado es muy claro: los que tienen la oportunidad de observar el afloramiento in situ describen muchos más elementos de la arquitectura sedimentaria que aquellos que han tenido acceso a fotografías vídeos e incluso modelos digitales 3D (puedes ver un ejemplo de las desventajas de los modelos 3D digitales en este video: <https://twitter.com/i/status/1572933147045552128>). En el área de la enseñanza, consultoría o 'training', la observación insuficiente de elementos geológicos de un afloramiento conlleva a una pobre transferencia de conocimientos y habilidades. No existe hoy día un modelo digital capaz de sustituir el grado de observación que permite una presencia personal en un afloramiento; pero tampoco debemos olvidar como drones y modelos digitales están permitiendo mostrar a cualquier persona en cualquier parte del planeta excelentes afloramientos en zonas remotas o antes totalmente inaccesibles. La mejor fórmula para aprender geología, es sin duda combinar las visitas in situ con material digital disponible. La digitalización de los afloramientos está tan solo comenzando.



Figura 1. Este dibujo de un afloramiento está considerado 1 de los más antiguos publicados. El autor, Georgious Agricola, Re quiso mostrar un depósito mineral en forma de una vena mineralizada que había en la Loma de una montaña. From "De re metallica" (1556), Page 45.

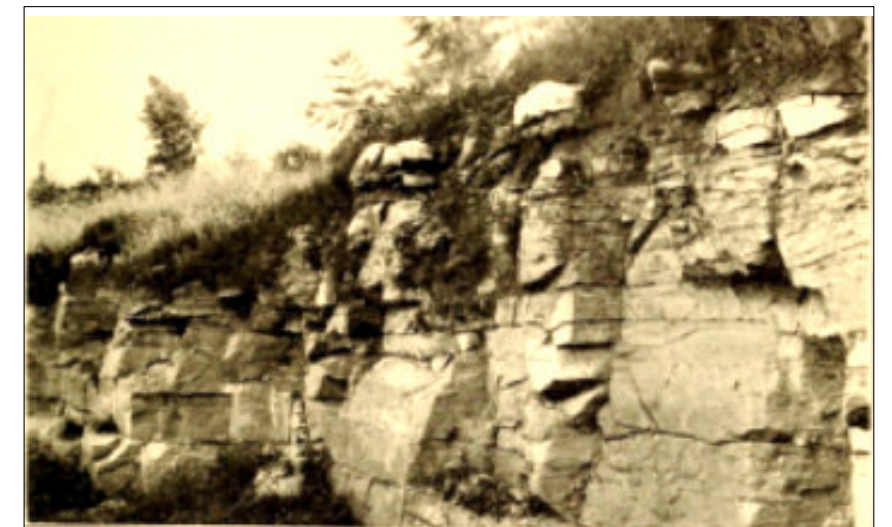


Figura 2. Fotografía obtenida de la página 128 del "Bulletin of the Geological Society of America" (1890). Title: Bulletin of the Geological Society of America. Year: 1890 (1890sa). Está considerada una de las fotografías más antiguas que existen de un afloramiento geológico.

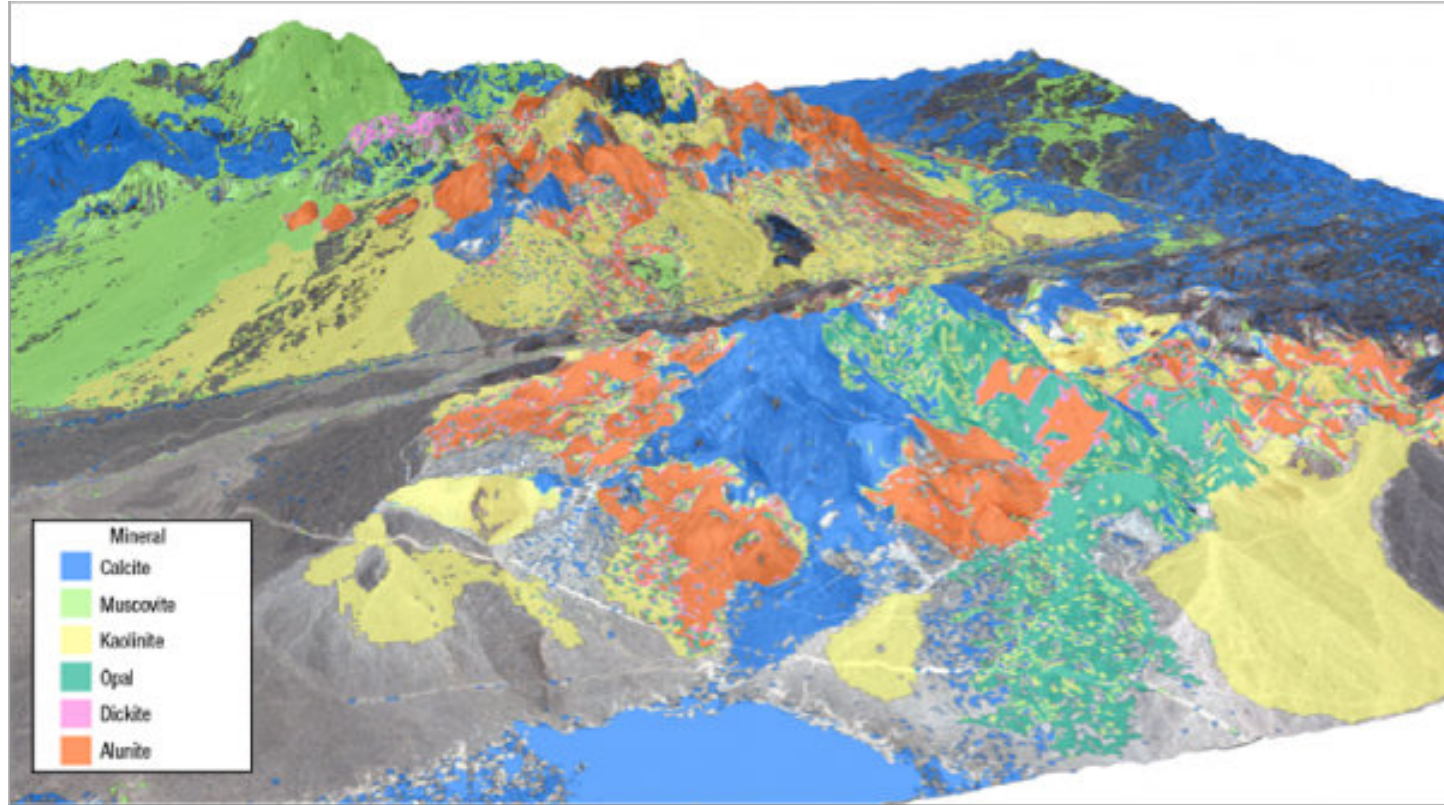


Figura 3. Mapa de minerales derivado del análisis espectral de imágenes de Cuprite Hills, Nevada, obtenidas del satélite WorldView-3 (50-cm resolución). Fuente: www.earthmagazine.org/article/fieldwork-among-pixels-virtual-and-augmented-reality-diversify-geoscience-education.



Ramón López Jiménez (Ph.D) es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

Mapping the Early Eocene Acatepec Paleocanyon, Hidalgo and Veracruz states, E. Mexico

Stephen P.J. Cossey and Mark Bitter

Introduction

One of the more significant and geologically satisfying areas in which the authors have conducted fieldwork during their geological careers is the Tampico-Misantla (T-M) superbasin. Bitter started studying the outcrops in the basin in 1984 for his MSc thesis (Bitter, 1986 and 1993) and Cossey became very interested in the area in 2004. Since 2004 both authors have continued to do fieldwork and publish papers on the area. In particular, we became focused on the Paleocene/Eocene boundary section, mapping the 56 Ma sequence boundary/unconformity (SB56) and trying to understand the strange geological events that took place just before and just after that event. It is our opinion that this field area is the best area to study the Paleocene and Eocene of the Gulf of Mexico margin.

The Acatepec paleocanyon is very important because we believe it was formed by fluvial processes, just before the PETM, during the Gulf of Mexico (GoM) drawdown (Cossey et al., 2021). We have studied it extensively and early maps were published by Cossey et al., (2019). In this current paper we refine the mapping and document the key outcrops so they can be further studied.

In mapping SB56, we found many key outcrops which document the exact location of the surface – places where you can literally put your finger on the erosional surface. The main outcrops of the paleocanyon are mostly preserved as isolated remnants on topographic highs, often protected by the overlying Pliocene basalts. Our main purpose is to document the locations and our outcrop sketches of the locations where we have found the Paleocene/Eocene (P/E) contact (Figure 1) because many are now overgrown.

Background

In November 2004, Cossey and Bitter went on a personal field trip to visit the Chicotepec outcrops in eastern Mexico that Bitter had studied in 1984 for his MSc thesis (See Bitter, 1986). During that trip, we discovered a new roadside outcrop (Atlapexco Road Cut) south of Atlapexco, Hidalgo on the road to Benito Juárez, Veracruz (Figure 2). This outcrop is over 200 m long and shows a very large erosional unconformity between relatively flat lying, medium-bedded turbidites below and several very

thick debrites of a mass-transport complex above. This spectacular outcrop was subsequently documented and published by Cossey (2007). In 2004 we realized that this erosional surface was a large, regional feature but had no idea of the age of the erosion or how it fitted into the regional picture. We did, however, recognize the sequence above the unconformity as a typical submarine canyon fill sequence. This outcrop is now highly vegetated.

In 2006, Cossey worked with GYMSA (Mexico City) in a year-long study on the entire Paleogene Chicotepec Formation in the T-M basin from Tancanhuitz in the north to Martínez de la Torre in the south. During this study, GYMSA collected over 1300 outcrops samples which were analyzed for foraminifera. In 2006, we drove almost every road within the T-M basin looking for and measuring paleocurrents, dip and strike, and collecting samples for paleontological analysis.

The presence of paleocanyons was initially interpreted because of anomalous Eocene age outcrop samples located close to the Cretaceous/Paleogene contact. The Paleocene/Eocene contact (SB56), is best mapped as an erosional feature extending towards the Cretaceous/Paleogene contact. Earlier Pemex depositional models (sketches) of the basin had often shown schematic Eocene paleocanyons trending northeast from the Sierra Madre Oriental, but to our knowledge no geoscientists had ever mapped any paleocanyons in the field. A Pemex measured section over 2 km long at Itzazoquico (Figure 3b), measured in 1978, documents the Paleocene/Eocene contact close to where the GYMSA project interpreted the Acatepec paleocanyon margin. The lithofacies measured in the Paleocene are thin to medium-bedded turbidites but the overlying Eocene consists of thick, and chaotic mass transport complexes (MTCs).

After 2006, Cossey and Bitter continued to conduct self-funded fieldwork in the T-M basin in order to understand the complicated Tertiary geological history of the basin. Then, in 2012, Lumina conducted a subsurface study for Pemex using over 70 wells and 3D seismic and confirmed the existence of four sequence boundaries (unconformities) within the Paleogene dated at 60.4 Ma, 55 Ma, 46 Ma and 38 Ma (Vasquez et al., 2014). These absolute ages corresponded to the unconformities (discordancias) “Z”, “A”, “C” and “E” that Pemex had been mapping in the subsurface for many years, but without knowing their absolute ages. We correlated the subsurface wells to the Atlapexco road cut and discovered that the unconformity we saw in outcrop in 2004 was the SB56 (Discordancia “A” in Pemex nomenclature).

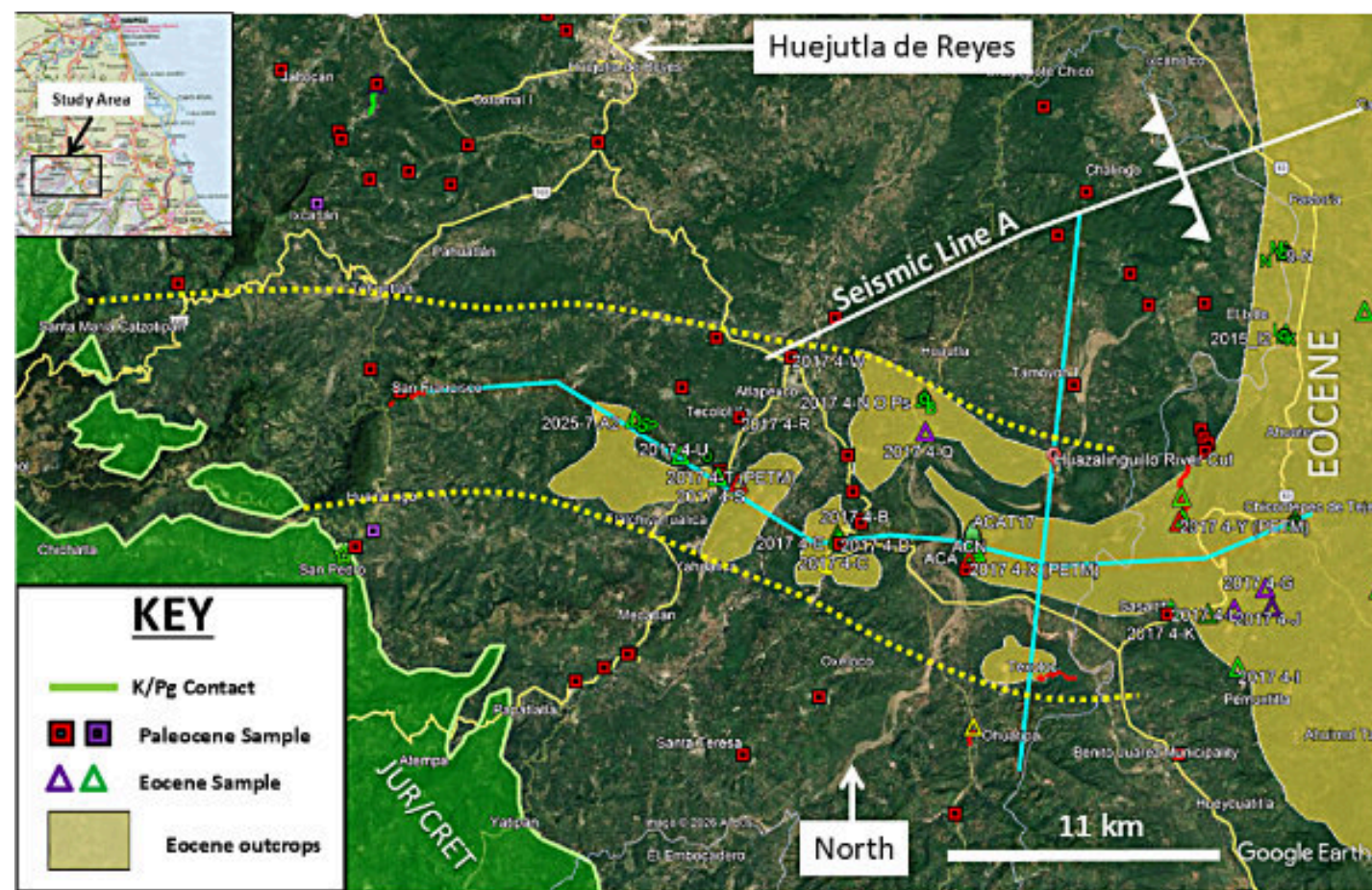


Figure 1. Simplified geologic map of the study area in eastern Mexico showing the mapped extent of the Eocene, sample locations and ages, cross-section locations and K/Pg contact. Blue lines are cross-sections shown in Figure 3. Basalt and other igneous rocks not shown. Unshaded area is Paleocene in age. Original estimated extent of the Acatepec paleocanyon shown by yellow dashed lines. Inset shows location of field area between Tampico and Poza Rica in eastern Mexico.

Field Methods

The T-M basin of eastern Mexico is a difficult area in which to conduct fieldwork, with roads in poor condition, occasional flooding, hot and humid climate, dense vegetation and the limitation of outcrops to road and river cuts. Very little had been published on the field area before the MSc thesis of Bitter (1986). Pemex had measured several sections and conducted regional studies, but none of that work, to our knowledge, was ever published. There are numerous small outcrops and a few larger ones in the basin, but the Paleocene and Eocene turbidites look quite similar and there are no distinctive beds to aid correlation from outcrop to outcrop. We have learned over the years that the slumping and sliding in the Paleocene is of a larger scale than the slumping in the Eocene, syndepositional in nature, and mostly towards the northeast. The direction of slumping in the Eocene can be more variable and chaotic in appearance. When the pervasive slumping is

combined with small scale outcrops, the result is a seemingly random variety of outcrop dips (often vertical) in short lateral distances.

The Eocene section is less deformed in the areas of the six paleocanyons (Cossey et al., 2019). For example, beds within the Acatepec paleocanyon strike northeast-southwest with a dip to the northwest of less than 10° (Figure 3b). Generally, the strike of the Paleocene beds is northwest-southeast. The Nautla paleocanyon in the south of the T-M basin is also relatively undeformed and with a gentle regional dip to the northeast (Figure 4). There is slumping in the Eocene, but it generally occurs at the base of the paleocanyon fill section and at the margins of the paleocanyons.

The main goal of the fieldwork is to determine the extent of the Eocene strata so that the contact (SB56) can be mapped. To do this, samples were collected in the field for age-dating (using nanofossils, palynology and Detrital

Zircon Analysis) of scattered, small outcrops of the Chicontepec Formation turbidites. Reworking of Cretaceous and Paleocene fauna into the Eocene sections is a known problem, further complicating the age dating process.

During fieldwork, we had found two locations where we could sample the shales below and above the SB56 – The **Atlapeco Road Cut** (Figure 2) and the **Sasaltitla River Cut** (Figure 5) (See location coordinates and descriptions in section below). By studying these two outcrops in detail we could test for any characteristics of the nanofossils

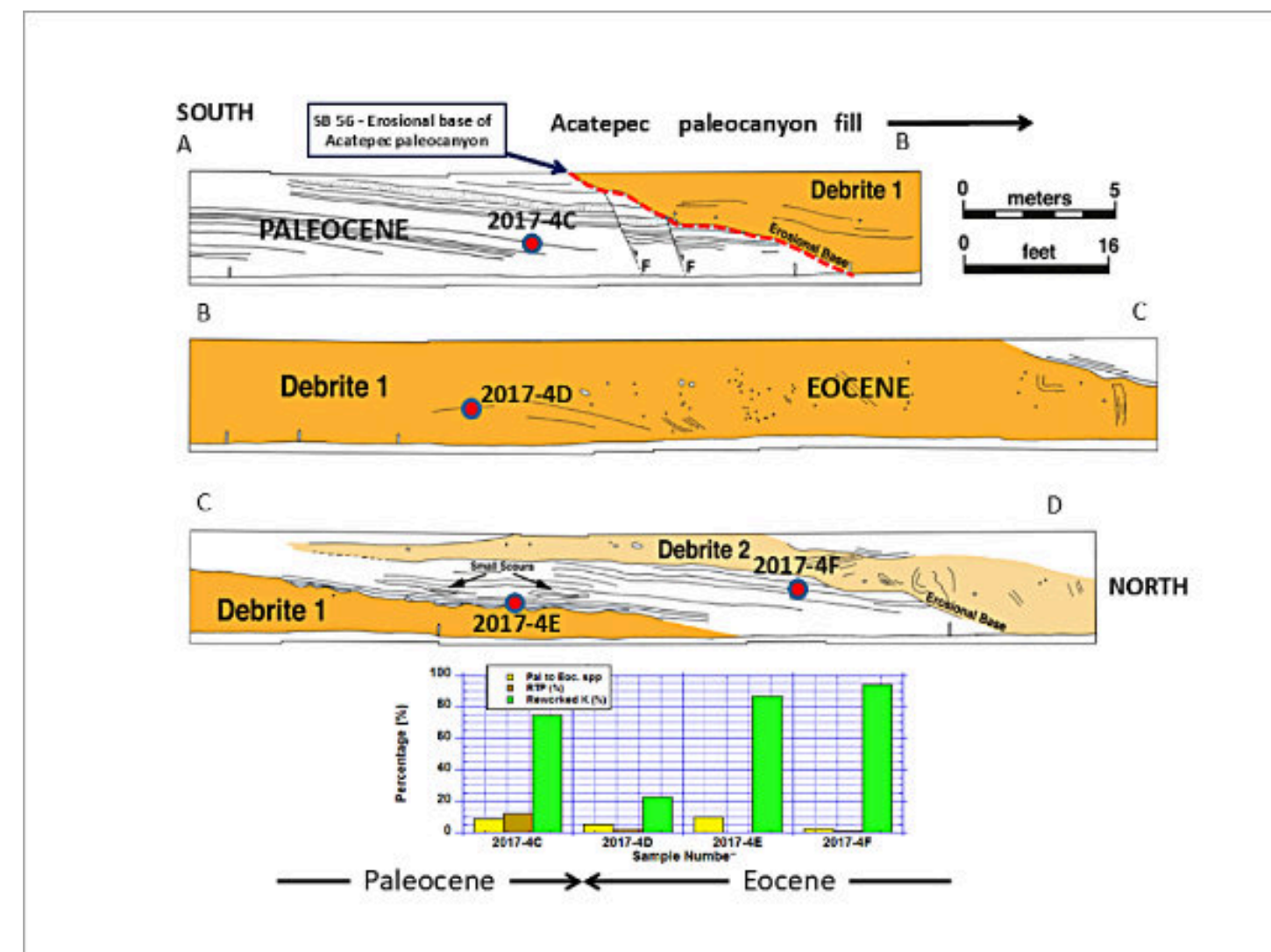
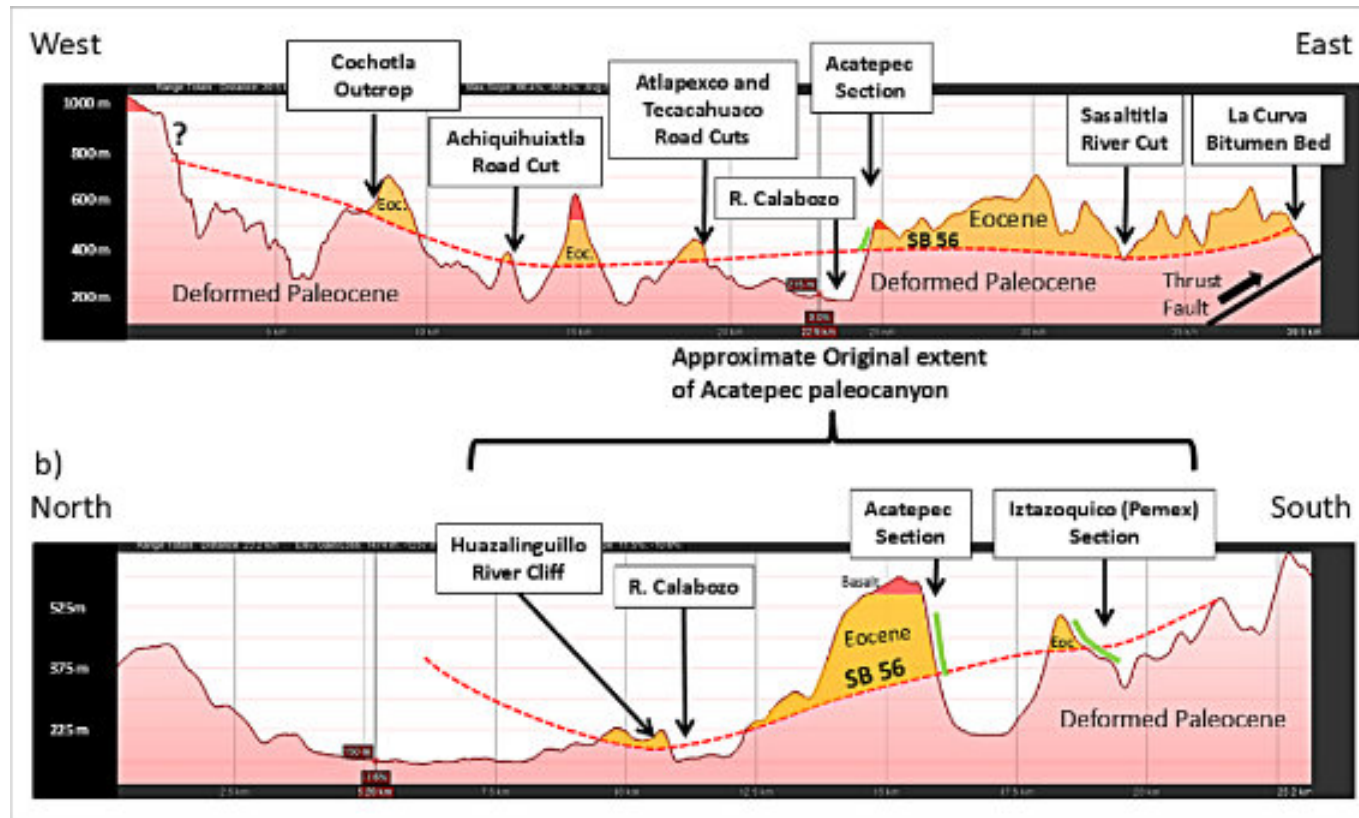


Figure 2. Field sketch (in three parts) along the Atlapeco road-cut section showing the nature of the unconformity at the southern edge of the Acatepec paleo-canyon (modified after Cossey, 2007). Locations and numbers of samples shown by red dots. Sample 2017-4F, in the sediments between the two debrites, is of early to middle Eocene age from the palynology. Sample 2017-4C, below the unconformity, contains 12% “restricted to the Paleocene” (RTP) nanofossils, far more than the three samples above the unconformity. The two small faults (F) in Figure A are interpreted as compaction faults and do not appear above the unconformity.

that would help us interpret if outcrops are Eocene or Paleocene when mapping smaller outcrops from spot samples.

Results

In the analyses, we looked at three percentages in each sample: 1) Nanofossils ranging from Paleocene to



Figures 3a and 3b. East-west and north-south topographic cross-sections showing the gentle dip of the SB56 unconformity. Cross-section locations are shown in Figure 1. The Paleocene below contains a lot of syndimentary slumping and sliding and there is some slumping within the Acatepec paleocanyon, especially at the base of the fill sequence. Note the cross-sections have different vertical scales.



Figure 4. Photograph of the Nautla paleocanyon in the southern part of the T-M basin near Martinez de la Torre, showing gentle dip towards the northeast. Photo taken looking to the NW from Lat. 19.964250° /Long. -97.064750°. Note the typical canyon-fill sequence of MTCs at the base (just above SB56) and conglomerate beds above.

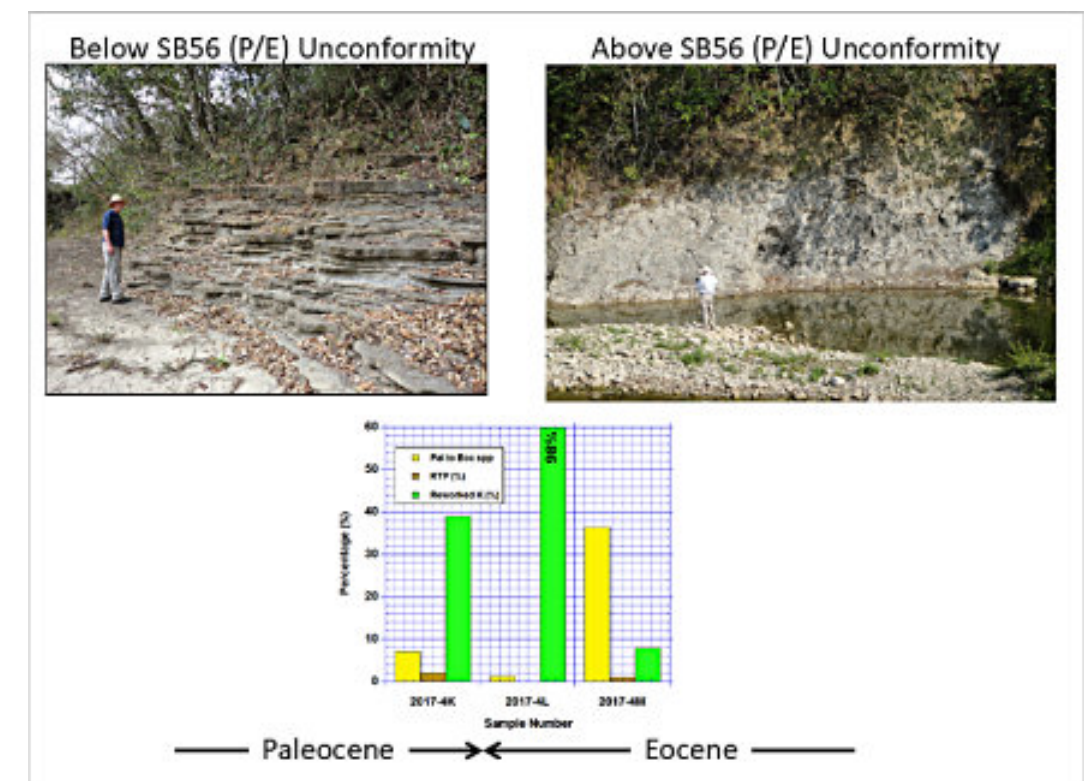


Figure 5. Photographs of the Sasaltitla River Cut outcrop showing the lithological differences below the unconformity and above. One sample was taken below the unconformity (2017-4K) and contains the most (2%) "Restricted to the Paleocene" (RTP) nannofossils. All samples show high reworked Cretaceous nannofossils. 98% reworked Cretaceous nannofossils were found in sample 2017-4L, just a few meters above the unconformity.

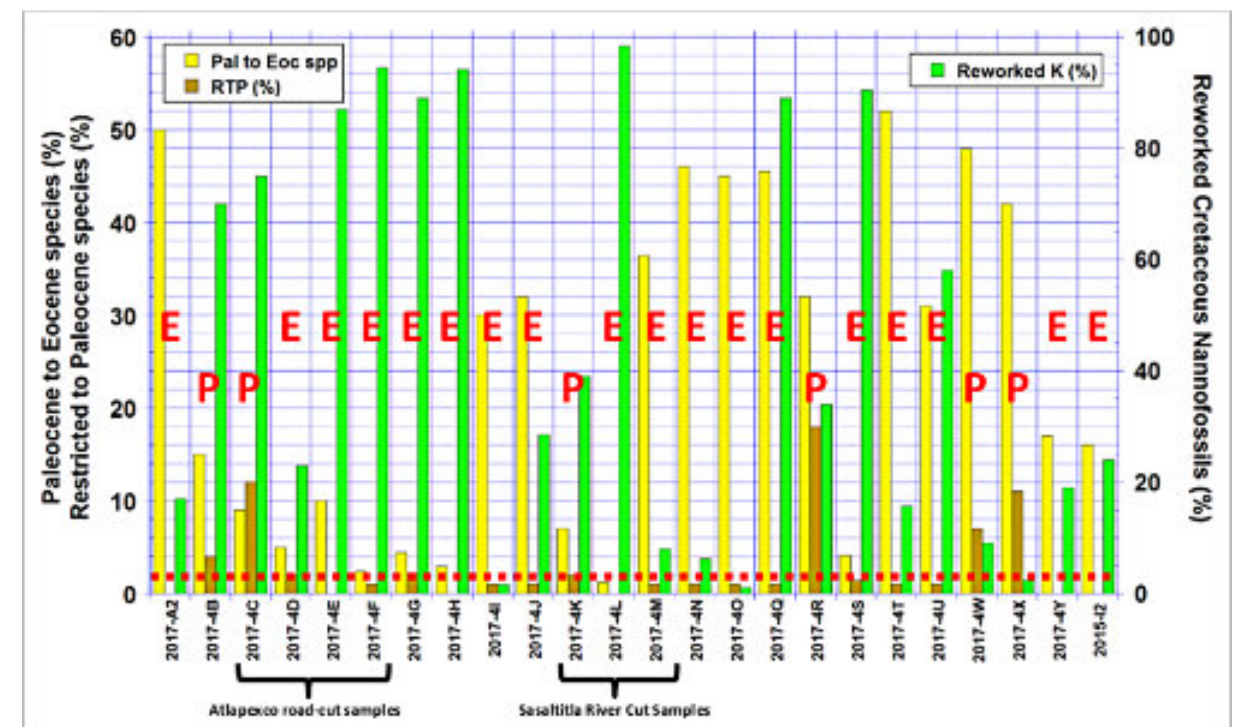


Figure 6. Bar graph showing all the outcrop samples collected in 2017 and how we determined if the samples were Eocene or Paleocene in age, based on the percentage of Restricted To Paleocene (RTP) nannofossils. RTP >2% was interpreted as Paleocene. The percentage of reworked Cretaceous fossils vary tremendously in every sample. E= Eocene, P=Paleocene. Test area samples from the Atlapexco road cut and Sasaltitla river cut are shown.

Eocene, 2) nanofossils restricted to the Paleocene (RTP), and 3) nanofossils reworked from the Cretaceous. We noticed that samples below SB56 contained 2-12% RTP and samples above it always contained fewer (less than 2%) RTP nanofossils. Nanofossils which we consider “Restricted to the Paleocene” are:

Cruciplacolithus tenuis, *Ericsonia robusta*, *Fasciculithus alanii*, *Fasciculithus clinatus*, *Fasciculithus lillianae*, *Fasciculithus schaubii*, *Heliolithus kleinpellii*, *Prinsius bisculcus*, *Prinsius martini*, and *Zygodiscus sheldoniae*.

We then used this methodology on our other samples (Figure 6) to determine if they were Paleocene or Eocene in age and, with additional sampling, were able to create the map shown in Figure 1. In both test areas and all samples obtained, Cretaceous nanofossils were being extensively reworked in both the upper Paleocene and lower Eocene (Figure 6).

From our current mapping we know the Acatepec paleocanyon is 5-10 km wide and at least 60 km long (Figure 1). The amount of erosion is estimated to be at least 300 m but could be as much as 500 m. Measured paleocurrents taken at the Tecacahuaco road cut and Acatepec measured section (within the canyon fill) are towards the east, subtly different from the Paleocene paleocurrents which are almost always towards the southeast (Cossey, 2009). Topographic cross-sections show how SB56 is a gently dipping surface and the Eocene is generally preserved in the higher topographic features (Figure 3).

Key Outcrops

East-West Cross Section (Figure 3a)

Several key outcrops are documented below. These are described briefly and located exactly so that other geologists may visit and study them. Several outcrops are now partially vegetated but are documented here by photographs and field sketches, sometimes drawn 20 years ago.

The east-west cross-section (Figure 3a) shows the SB56 gently dipping to the east in the western part of the cross-section and then fairly flat in the east, near the easternmost thrust fault of the Sierra Madre Oriental (Figure 7). The Acatepec paleocanyon fill is up to at least 300 m thick, is preserved on the topographic highs and is often capped by thin sequences of Pliocene basalts (Figure 3a). The P/E unconformity (SB56) can be seen at several outcrops in the field area and are identified on this cross-section.

1). Cochotla Road Cut – This outcrop (Figures 8, 9 and 10) is one of the more westerly P/E contacts we have documented and is located on a curve of the road less than 1.5 km east of Cochotla at Lat. 21.007122° /Long. -98.408237°. Elevation of SB56 is 557m.

2). Achiqhuixtla Road Cut – This road cut is located about 2.5 km southwest of Atlapexco, on the road to Calnali. It shows the northern erosional margin of the paleocanyon with large-scale slumps within the canyon (Figure 10). It is located at Lat. 20.98700° /Long. -98.374500°. Elevation of SB56 is 195m.

3). Atlapexco Road Cut – This road cut showed a complete section through the SB56 horizon (Figure 2). It was documented by Cossey (2007) but is now very overgrown and partially covered by scree. It is located on the road between Atlapexco and Benito Juárez between Lat. 20.961700° /Long. -98.327817° and Lat 20.964683° /Long. -98.328983°. Elevation of SB56 is 357m

4). Tecacahuaco Road Cut – Located about 1.7 km northeast of the town of Tecacahuaco near the junction with the road from Atlapexco to Benito Juárez at Lat. 20.956571° /Long. -98.334047°. At this outcrop the base of the canyon can be seen on a terrace stepping down to the road level (Figures 12 and 13). Elevation of SB56 is 311m.

5). Acatepec Measured Section – This is the most complete section of the Acatepec paleocanyon fill and is a very clean road cut between Lat. 20.952874° /Long. -98.278473° and Lat. 20.958450° /Long. -98.275117°. Elevation of SB56 is 430 m. The measured section has been described by Cossey et al., (2019, p.36) and behind-outcrop cores have been studied by IMP (Bolaños-Rodríguez and Altamira-Areyán, 2016). The SB56 is not exposed and is about 20 m below the slumps of the thin-bedded (probably reworked Paleocene) strata.

6). Sasaltitla River Cut – This outcrop preserves SB56 between Lat. 20.936133° /Long. -98.200700° and Lat. 20.937350° /Long. -98.199400° in the river bed at Sasaltitla, about 4.5 km southwest of Chicontepec town (Figure 5). Elevation of SB56 is 270 m.

7). The La Curva Bitumen Bed – This outcrop preserves a bitumen bed up to 60 cm thick at the SB56 contact. The small outcrop has been excavated and described in detail by Cossey et al., (2016). The outcrop is on private land at Lat. 20.969713° /Long. -98.150439°.

More outcrops of Eocene probably exist in the area to the northwest of Atlapexco and in the San Francisco area (Figure 3a). We believe the canyon extends into the Tlanchinol area (Figure 1). In a 1927 reference (Palmer, 1927; p.1194) the author states that “there appears what is evidently the flaggy Chicontepec sandstone member lying horizontally and unconformably on the Tamasopo (Turonian, Cretaceous) at an elevation of 800 meters”. This statement implies that the paleocanyon eroded completely through the Paleocene and upper Cretaceous, similar to what has been documented in the Chicontepec paleocanyon near Poza Rica (Cossey et al., 2021; p. 130).

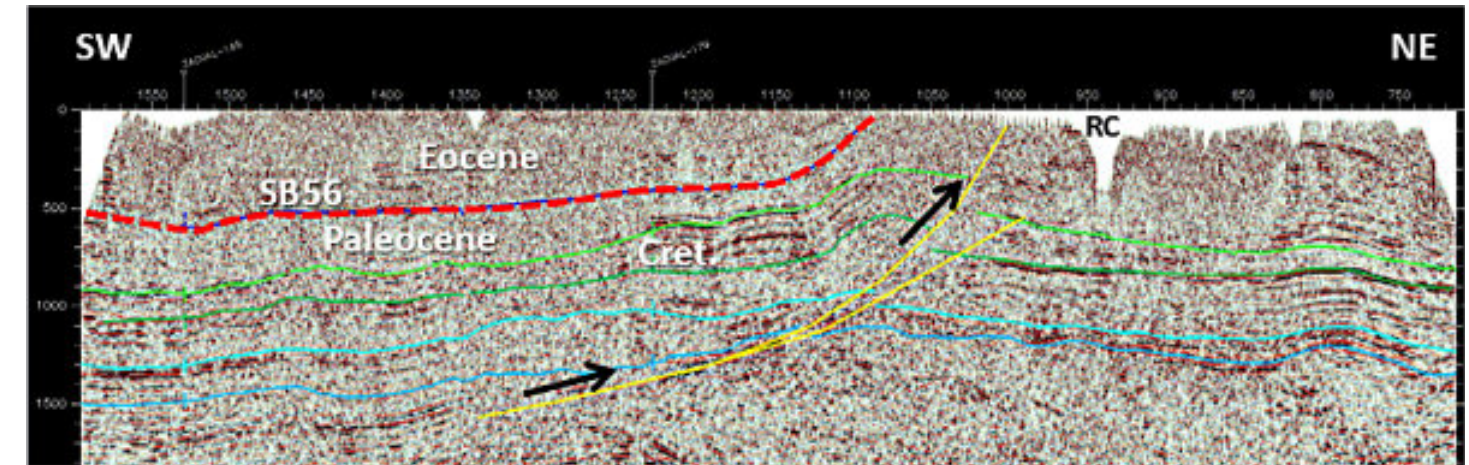


Figure 7. Northeast-southwest seismic line A just to the north of Chicontepec pueblo, showing a post-Paleogene thrust fault. See Figure 1 for location of the line. Note that the thrust zone intersects the surface just southwest of the Rio Calabozo (RC).

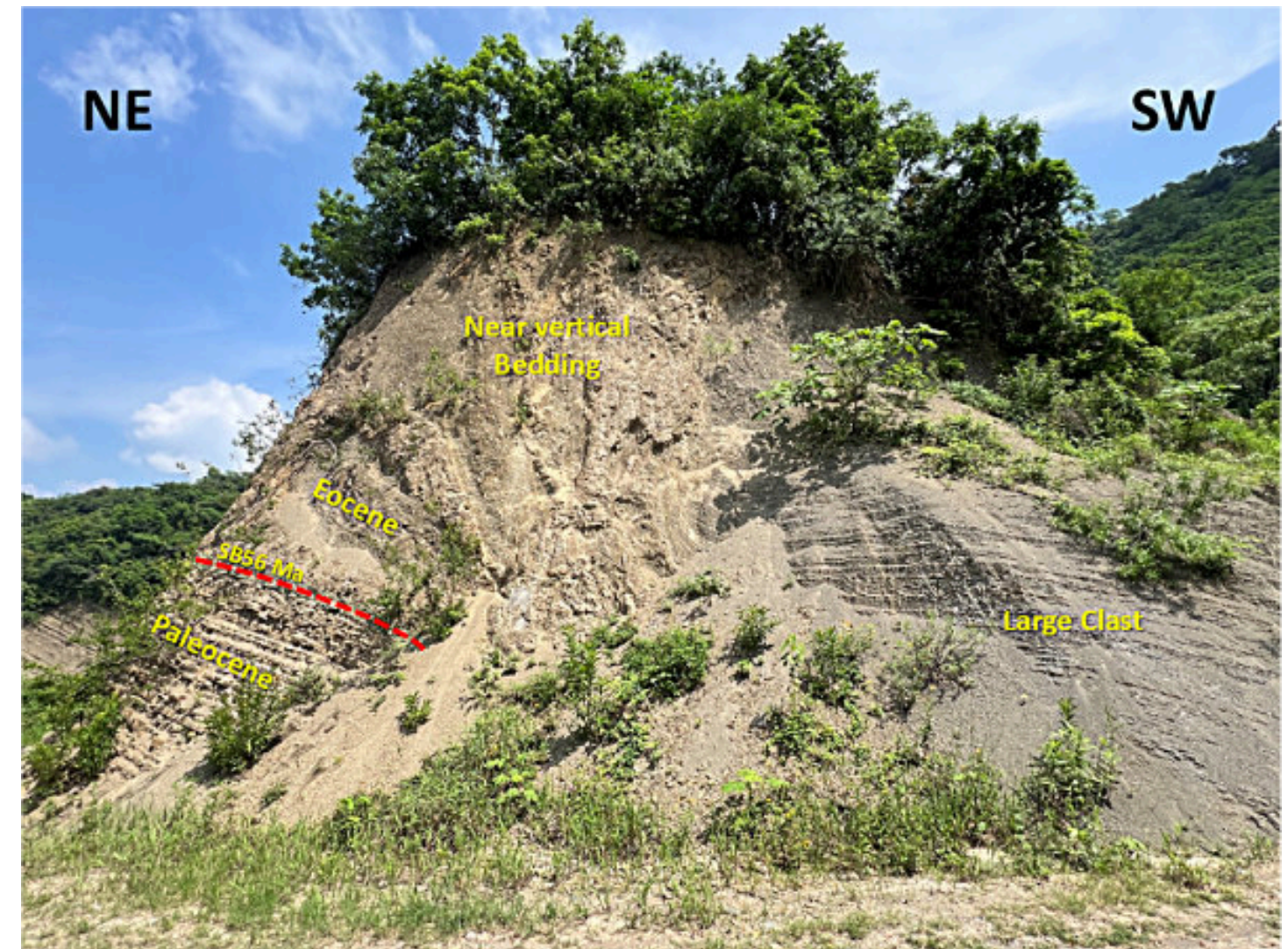


Figure 8. Photograph of the Cochotla outcrop looking southeast. The near-vertical bedding indicates a possible water escape feature. The thin-bedded area on the right of the photo is part of a large, deformed house-sized clast in the mass transport complex. See Figure 10 for complete outcrop sketch.

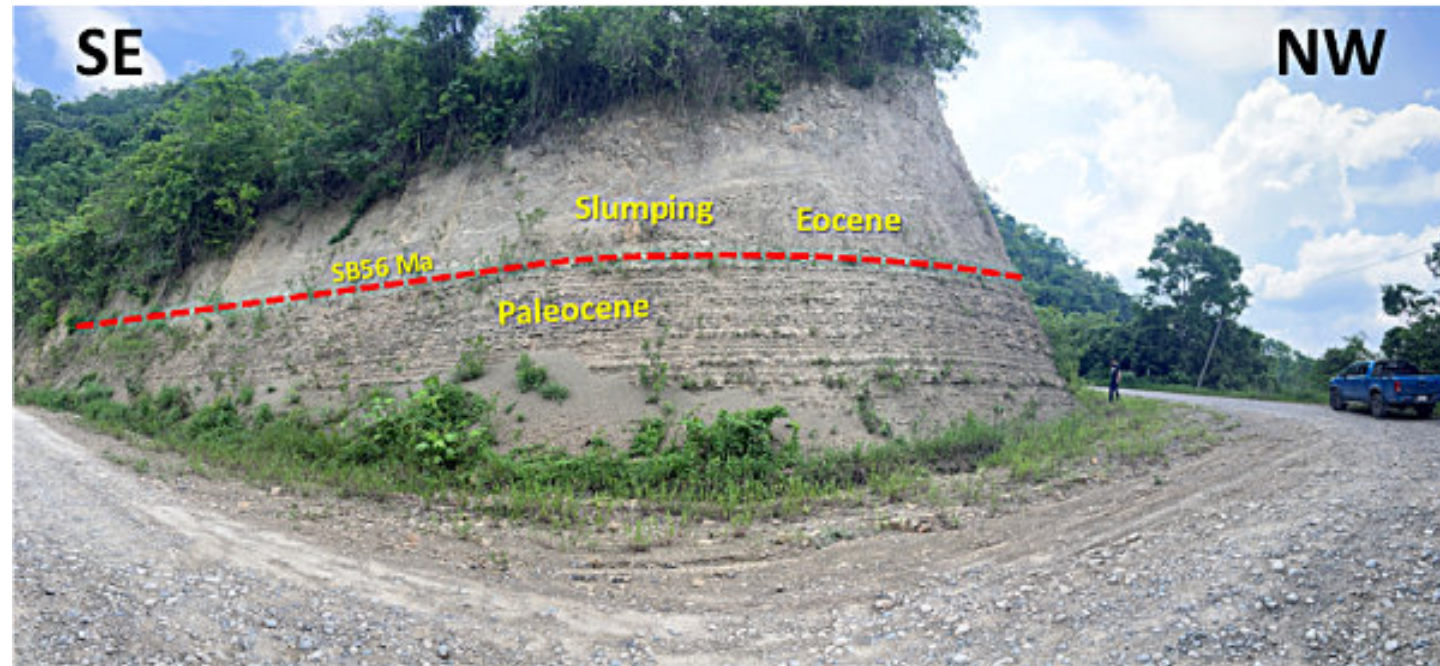


Figure 9. Photograph of the Cochotla outcrop looking southwest, showing slumping overlying SB56 and undeformed Paleocene turbidites below. See Figure 10 for complete outcrop sketch.

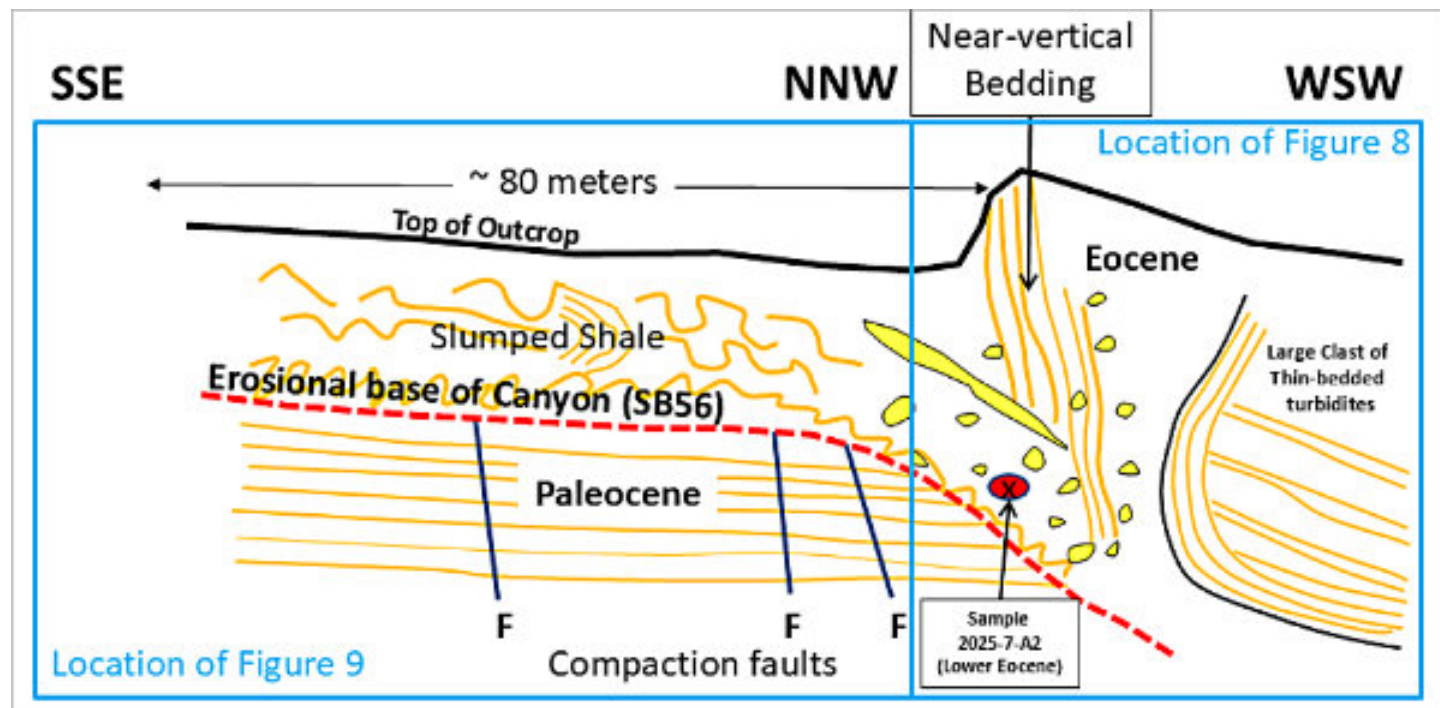


Figure 10. Sketch of the complete Cochotla road cut combining photographs in Figures 8 and 9. Note dramatic erosion at canyon margin, large house-sized clasts and vertical bedding. Sample 2025-7-A2 is lower Eocene in age. Small (compaction?) faults (F) do not continue into Eocene, indicating that the canyon was not eroded by the MTC event. These faults are identical to those seen in the Atlapexco road cut (Figure 2).

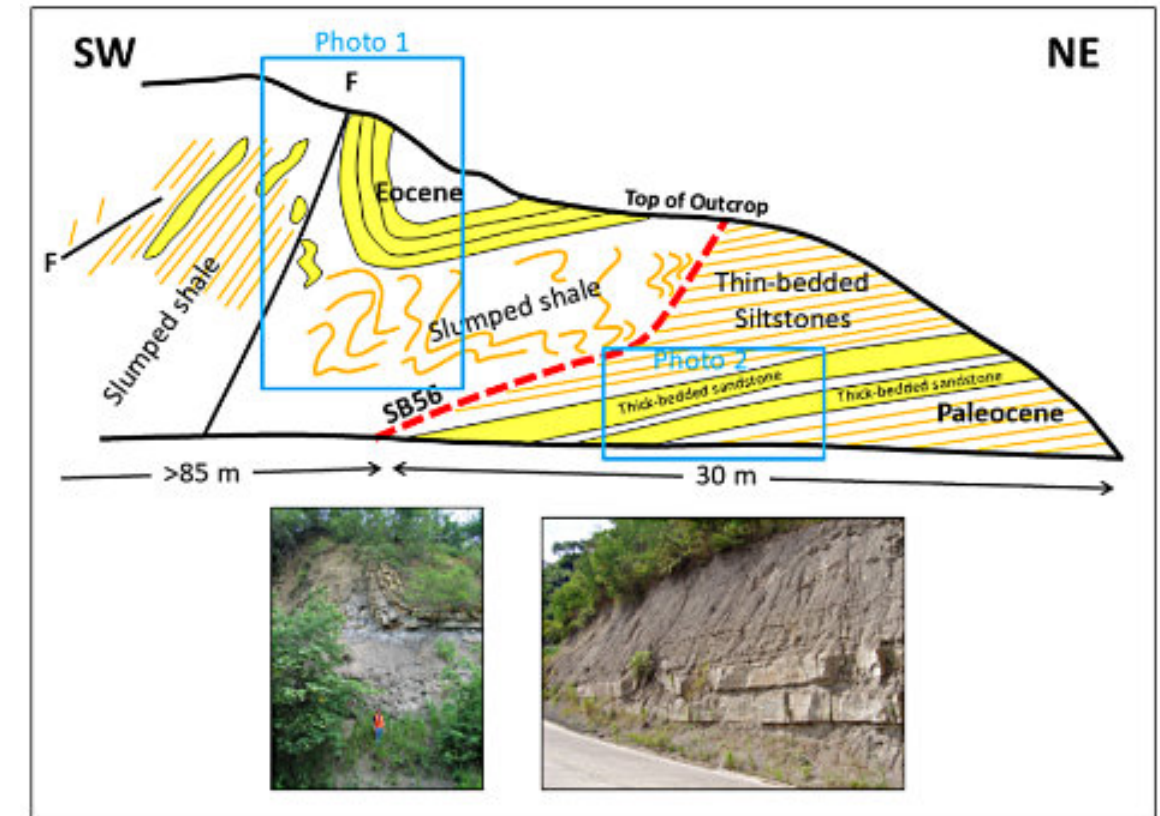


Figure 11. Achiquihuitla road cut sketch of the northeast margin of the Acatepec paleocanyon. Left inset photograph shows large slump near the margin of the canyon with person in orange jacket for scale. Right inset photograph shows two thick-bedded sandstones in the Paleocene section, below the SB56 unconformity.

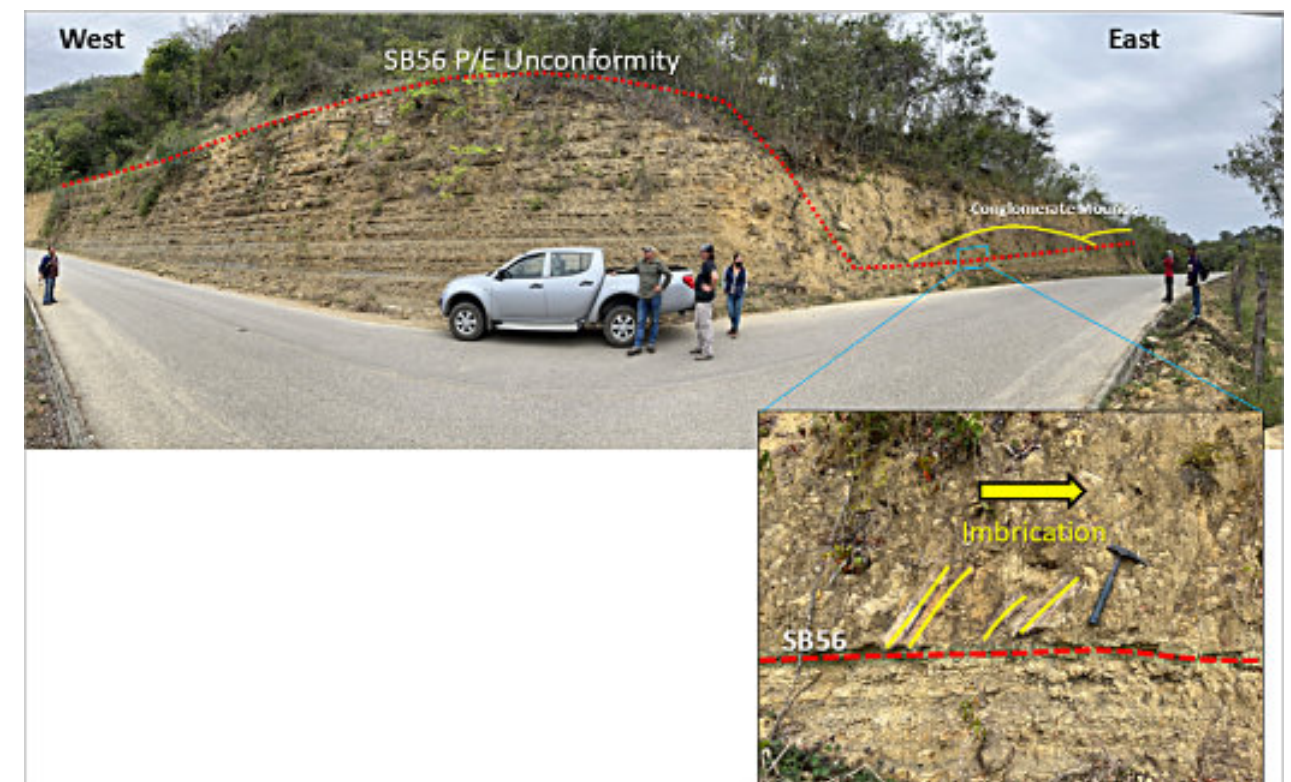


Figure 12. Photograph of the Tecacahuaco road cut showing where the SB56 unconformity steps down and is overlain by two conglomeratic mounds which internally show excellent imbrications of large clasts, indicating a paleocurrent direction to the east.



Figure 13. Photograph of the Tecacahuaco road cut looking east and taken from the terrace which is the SB56 erosional surface, looking back to where the photograph in Figure 12 was taken. Note the large limestone clasts within the Eocene debrites.

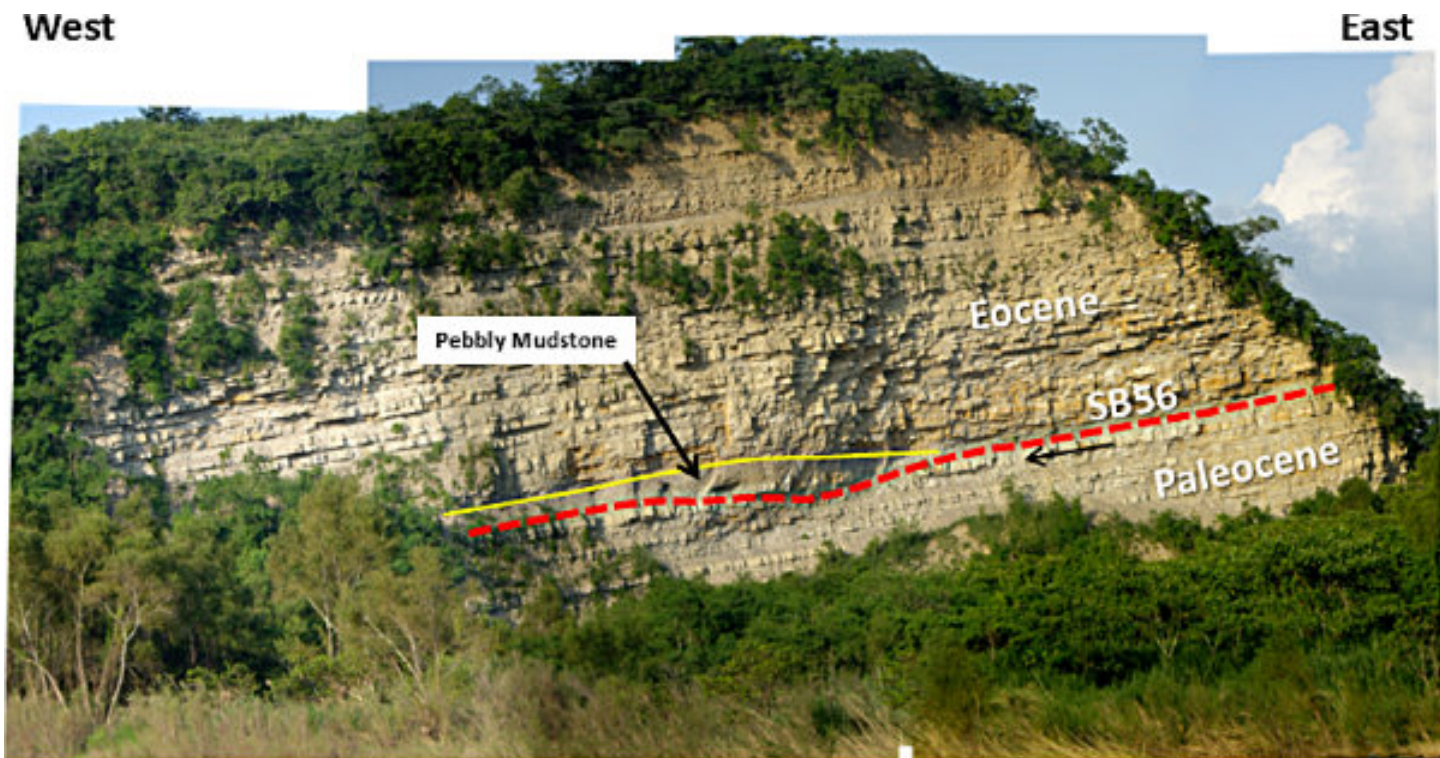


Figure 14. A photograph of the Huazalinguillo river cliff looking north, showing the erosional contact along the SB56 unconformity. Beds below the unconformity are truncated (black arrow) and a pebbly-mudstone overlies the unconformity. The Eocene and Paleocene turbidites are subtly different colors. The Eocene is more yellowy (Hue 5Y) and the Paleocene is more greenish (Hue 10Y).

This indicates that possibly 450 m of Cretaceous strata has been eroded by the paleocanyon. We plan to investigate Tlanchinol area in the next field excursion.

North-South Cross-section (Figure 3b)

The north-south cross-section shows the main remnant (and best exposure) of the canyon-fill sequence at the Acatepec measured section and the Pemex measured section at Iztazoquico. There is also a small remnant of the base of the paleocanyon at the Huazalinguillo river cut. The locations of these outcrops are described below.

- 1) Huazalinguillo River Cliff – This outcrop shows SB56 overlain by pebbly mudstone, probably within the axis of the paleocanyon. It also shows a very subtle color difference between the Paleocene and Eocene sediments (Figure 14). The outcrop is located at Lat. 20.987176° / Long. -98.244602°. Elevation of SB56 is 200 m.
- 2) Iztazoquico Measured Section – This is located on the road from Sasaltitla to Texoloc on the west side of the Rio Zontecomatlan. It is located between about Lat. 20.912969° / Long. -98.236659° and Lat. 20.913703° / Long. -98.250530°. The road is now overgrown but the SB56 horizon can be seen in the cliffs to the northwest of the measured section at Lat. 20.916091° / Long. -98.243126°. The location is approximate since no location map has ever been found.

Conclusions

We believe the Acatepec paleocanyon was formed at about 56 Ma when the GoM was separated from the Atlantic Ocean and was drawn down several kilometers by evaporation. Fluvial systems rapidly cut the canyon (Cossey et al., 2021) and then deep-marine sediments filled it once the GoM refilled catastrophically, possibly via a paleocanyon in Belize (Cossey and Rosenfeld, 2026). The Acatepec paleocanyon is the best exposed and documented example of one of the many drawdown canyons around the GoM. We interpret the compaction faults at the Cochoatla and Atlapexco road cuts, and the evidence at the two ~56 Ma bitumen beds (Cossey et al., 2016; 2019) in the T-M basin to be consistent with subaerial exposure at that time.

Acknowledgements

The authors would like to thank Gustavo Sanchez (Geology Institute at UASLP) for assistance describing the Cochoatla outcrop. The authors wish to express their sincere thanks to Juan Ampacun (Dirección de Turismo de Tampico) for over 14 years of field assistance. These studies would not be able to continue without the support of PetroStrat,

specifically Paul Cornick and his team of paleontologists. Dr Don Van Nieuwenhuise is acknowledged for his assistance in interpreting the paleontological data from some of the measured sections. C. Agnini and R. Morin identified the nannofossils.

References

- Bitter, M. R., 1986, Sedimentology and petrology of the Chicotepec Formation, Tampico- Misantla Basin, eastern Mexico: Master's Thesis, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 174 p.
- Bitter, M. R., 1993, Sedimentation and provenance of Chicotepec sandstones with implications for uplift of the Sierra Madre Oriental and Teziutlan Massif, east-central Mexico, in J. L. Pindell and B. F. Perkins, eds., Mesozoic and early Cenozoic development of the Gulf of Mexico and Caribbean region—A context for hydrocarbon exploration: Proceedings of the 13th Annual Gulf Coast Section of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Foundation Research Conference, Houston, Texas, p. 155–172.
- Bolaños-Rodríguez, D. E., and A. Altamira-Areyán, 2016, Static fracture distribution model based on sedimentary facies: American Association of Petroleum Geologists Search and Discovery Article 41959, Tulsa, Oklahoma, 26 p., <https://www.searchanddiscovery.com/documents/2016/41953bolanos/ndx_bolanos.pdf>.
- Cossey, S. P. J., 2007, Debrites in the Chicotepec Formation, near Atlapexco, Tetlahuatl, eastern Mexico, in T. H. Nilsen, R. D. Shew, G. S. Steffens, and J. R. J. Studlick, eds., Atlas of deepwater outcrops: American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology 56, Tulsa, Oklahoma, p. 231–234.
- Cossey, S.P.J., 2009, Depositional history and sedimentology of the Paleocene and Eocene Chicotepec Formation, Mexico. GYMSA Report, 53p. (unpublished).
- Cossey, S. P. J., 2017, The geological treasure of the Sierra Madre: GEOExPro, v. 14, no. 1, p. 12–15.
- Cossey, S. P. J., D. Van Nieuwenhuise, J. Davis, J. H. Rosenfeld, and J. L. Pindell, 2016, Compelling evidence from eastern Mexico for a late Paleocene/early Eocene isolation, drawdown, and refill of the Gulf of Mexico: Interpretation, v. 4, p.

SC63–SC80, <https://doi.org/10.1190/INT-2015-0107.1>.

Cossey, S. P. J., M. R. Bitter, G. R. Dickens, D. Van Nieuwenhuise, J. L. Pindell, J. H. Rosenfeld, A. Beltrán-Triviño, P. Cornick, and C. Agnini, 2019, Paleo-canyon formation and contemporaneous oil seepage near the Paleocene/Eocene boundary, Tampico-Misantla Basin, eastern Mexico: *GeoGulf Transactions*, v. 69, p. 27–53.

Cossey, S. P. J., J. Rosenfeld, M. Bitter, and J. L. Pindell, 2021, Update on the Paleogene waterlevel drawdown hypothesis, Gulf of Mexico: *Gulf Coast Association of Geological Societies Journal*, v. 10, p. 123–141.

Cossey, S. P. J., and J. Rosenfeld, 2026, A Gulf of Mexico refill paleocanyon in Belize? : *Revista Maya*, July 2026, p.89–93.

Palmer, R. H., 1927, Geology of Eastern Hidalgo and Adjacent parts of Vera Cruz, Mexico, *AAPG Bulletin*, v.11, p.1173-1220. <https://doi.org/10.1306/3D9327CB-16B1-11D7-8645000102C1865D>

Vásquez, R. O., S. P. J. Cossey, D. S. van Nieuwenhuise, J. Davis, and J. Castagna, 2014, New insights into the stratigraphic framework and depositional history of the Paleocene and Eocene Chicontepec Formation, onshore eastern Mexico: *American Association of Petroleum Geologists Search and Discovery Article 30334*, Tulsa, Oklahoma, 16 p., <http://www.searchanddiscovery.com/documents/2014/30334vasquez/ndx_vasquez.pdf>.



Dr. Stephen Cossey is chief geoscientist at Cossey and Associates Inc. geoconsulting based in Durango, Colorado. He has more than 43 years' experience in the petroleum industry. He worked for Conoco Uranium exploration and International Exploration from 1978 to 1983 and Sohio/BP from 1983 to 1995. He was based in Dallas with Sohio, working oil & gas exploration in frontier areas of the US. From 1990-1992, he spent 2 years based at BP Research in Sunbury, UK and helped to start BP's deepwater research program. The remainder of the time at BP was spent working exploration in the onshore US and Gulf of Mexico. In 1995 he started a consulting company, Cossey & Associates Inc. Since then, he has consulted for more than 150 global exploration companies and is skilled in interpreting deepwater sequences and in creating sequence stratigraphic and depositional models from core, well, and seismic data. Dr. Cossey also teaches field excursions in France, Spain and Mexico and has conducted over 20 courses in these areas. cosseygeo@aol.com



Mark Bitter began his interest and studies in Mexican geology while earning his MSc at the University of Kansas. His thesis included measuring over 2000m of section in the Chicontepec basin during the summer of 1984. Soon after, he started work for Marathon Oil Company where he worked on various exploration and production projects over the next 30 years. This included business development projects focused on the Mexican oil industry from 1993 to 1998. While working for Marathon Oil, Mark gained valuable experience in reservoir modeling of deep-water reservoirs in the North Sea and West Africa. His strengths center on field geology, sedimentation, stratigraphy, basin analysis, reservoir characterization and modelling.

COINCIDENCIAS GEOLÓGICAS: LOS DOS HERMANOS

Por: Ing. Armando García Reynoso
argare@yahoo.com

¿Sabían que el neoleones Cerro de la Silla tiene un hermano gemelo en el Estado de Hidalgo?

¡Así es queridos colegas...! hay un Cerrito de la Silla en San Clemente, Huehuetla, Hgo. Méx. y su nombre es "Cerro del Águila".



Dentro de mis andanzas geológicas en los años 1986 y 1987 (S. XX), me tocó participar, como responsable, en el desarrollo de los proyectos Zacatlán y Teziutlán (IMP para PEMEX, de tipo estratigráfico, sedimentológico y diagenético). Estos proyectos, cubrieron áreas de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz; en su punto común de colindancias y alrededores al mismo, y fue ahí, que supe, conocí y trabajé el elemento fisiográfico denominado Cerro del Águila, mismo, que para quienes lo conocemos por vez primera y ya conocemos el famoso Cerro de la Silla de la Ciudad de Monterrey N. L. Méx. no

dudamos en llamarlo "El Cerrito de la Silla" por el asombroso parecido de su silueta (desde cierta perspectiva) con el icónico Cerro de la Silla de Monterrey, N. L. Méx. el cual, también tuve la gran fortuna de estudiar y trabajar, geológicamente, para las mismas instituciones (IMP - PEMEX) en los años 1990 - 1992 (S. XX).

Durante los trabajos de campo de los proyectos Zacatlán y Teziutlán, no hubo la oportunidad de tomar una buena foto del Cerro del Águila, pues durante el verano, por aquellas latitudes, es muy común la presencia de neblina,

la cual, a partir de las dos de la tarde, se acentúa a tal grado, que impide la visibilidad a pocos metros. Pero como el objetivo de los proyectos no era una fotografía del Cerro del Águila, el asunto de la foto careció de importancia, en aquella época.

Es hasta ahora (a cuarenta años de aquellas gratas experiencias), que gracias al Internet, me reencuentro con las siguientes cuatro imágenes de los cerros del Águila en el Estado de Hidalgo, Méx. (dos) y de la Silla en el Estado de Nuevo León, Méx. (otras dos) y, como pasatiempo, geológicamente se las describo para que sepan porque les llamo los dos hermanos.

GENERALIDADES.

En sus generalidades, estos dos elementos fisiográficos tiene mucho en común, ya que los dos, están armados en sedimentos marinos depositados en el ancestral Golfo de México durante el intervalo de tiempo: Jurásico Sup. (Kimmeridgiano) - Cretácico Sup. (Maestrichtiano). Fisiográficamente, los dos se localizan en la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental (Raiz, 1964), dentro de

la Subprovincia Sierras Altas. Geológicamente, ambos quedan dentro de la Provincia Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (Ortega-Gutiérrez, *et. al.* 1992); y dentro de la clasificación de Terrenos Tectonoestratigráficos, igualmente, ambos se ubica en el Terreno Sierra Madre Oriental (Campa & Coney, 1983). También los dos, son producto de la deformación de los esfuerzos tectónicos de la Orogenia Laramide durante el Cretácico Sup. - Terciario (Maestrichtiano - Paleoceno). Y además, hoy en día, los dos son importantes centros turístico ideales para la práctica del: montañismo, senderismo, ciclismo, campismo y geoturismo.

PARTICULARIDADES.

Dentro de sus particularidades, se puede señalar que:

EL CERRO DEL ÁGUILA.

Este elemento fisiográfico se ubica en el corazón de la Sierra Otomí - Tepehua; inmediato al SW de la comunidad de San Clemente, Mpio. de Huehuetla, Edo. de Hidalgo, México.



Geológicamente, corresponde a una elevación topográfica armada en rocas carbonatadas, de origen marino, que integran las formaciones cretácicas: Tamaulipas Inferior, el Horizonte Otates y la Formación Tamaulipas Superior, y en la base, del Jurásico Superior, la Formación Pimienta, por cierto, muy cubierta por suelos debido a su carácter fuertemente arcilloso. Coronando la secuencia referida, en las inmediaciones al S y N, se presentan, algunos afloramientos de rocas volcánicas del Pleistoceno que corresponden a basaltos y/o andesitas.

Cabe referir, que la secuencia sedimentaria marina mencionada para el Cerro del Águila, debido a su homogeneidad litológica, a la cubierta vegetal y a la cubierta de suelos; no es posible de ser diferenciada en el terreno (menos en la foto que les comparto) en unidades litoestratigráficas, pero su presencia, fue corroborada por medio de estudios bioestratigráficos.

Estructuralmente, El Cerro del Águila es un gran bloque de calizas, aislado por fallamiento y erosión, pero que forma parte de una extensa estructura anticlinal denominada Anticlinal los Ángeles. Este anticlinal, es sensiblemente asimétrico, con su eje principal, de trazo ligeramente sinuoso, orientado NW-SE y buzante al NW. Esta estructura anticlinal, superficialmente, se manifiesta, en forma clara en los al menos 15 km de su parte NW, siendo muy difuso hacia el SE por efectos tectónicos. En sus flancos presenta echados que van de los 15° a 70°, y en su suave buzamiento al NW, de 8° a 12° en promedio. Ocho kilómetros al SE del Cerro del Águila, su núcleo, está abierto en rocas terrígenas (lut. y Ars.) del Jurásico Inferior de la Formación Huayacocotla (Sinemuriano - Pliensbachiano, Imlay, *et. al.* 1948). Lo que probablemente indica, que para principios de tiempos jurásicos, esta parte de México, se ubicaba en la costa occidental - ecuatorial de la Pangea y el límite Oriente del Océano Pantalosa. El ambiente de depósito para la Formación Huayacocotla, se infiere, que fue dentro de un medio marino profundo con influencia turbidítica.

En secuencia estratigráfica ascendente y en marcada discordancia angular y/o erosional, a la Formación

Huayacocotla, le sobeyace una secuencia sedimentaria marina (ya de pleno dominio "Ancestral Golfo de México") que integran las formaciones del Jurásico Medio: Cahuasas (Ars.-Lim. del Bajociano - Batoniano) y Formación Tepexic (Clz. de plataforma del Calloviano). Y del Jurásico Superior las formaciones: Fm. Santiago (Lut.-Lim. del Oxfordiano), Fm. Tamán (Lut.-Clz. del Kimmeridgiano) y Fm. Pimienta (Clz.-Lut. del Tithoniano). El Cretácico Inferior está representado por una monótona secuencia, principalmente de caliza de mar abierto, con discretos niveles de lutitas y calizas más delgadas, que corresponden las formaciones: Tamaulipas Inferior (Clz. del Berriasiano - Aptiano), Horizonte Otates (Lut.-Clz. del Aptiano Sup.) y Tamaulipas Superior (Clz. del Albiano - Cenomaniano). Y ya en la parte más externa de los flancos del anticlinal Los Ángeles, hacia el WNW, formando prácticamente el núcleo de su vecino el Sinclinal San Isidro, está presente el Cretácico Superior y lo integran las formaciones: Agua Nueva (Clz.-Lut. del Turoniano), San Felipe (Clz.-Mrg.) del Coniaciano - Santoniano) y Méndez (Lut.-Mrg.) del Campaniano - Maestrichtiano).

Por la cercanía del área en cuestión, con la Provincia Faja Volcánica Transmexicana (Ortega-Gutiérrez *Op. cit.*), hacia el Sur; a diferentes niveles estratigráficos, y en variados puntos del área, a las unidades marinas antes referidas, les sobeyacen, obviamente en algún tipo de discordancia, algunos basaltos y/o andesitas del Terciario (Plioceno).

Como ya se refirió, la elevación topográfica denominada Cerro del Águila, en su totalidad, está armada por rocas de ambiente de cuenca de las formaciones: Tamaulipas Inferior, Horizonte Otates y Tamaulipas Superior; y en su base, hay ligeros asomos de la subyacente Formación Pimienta del Jurásico Superior, mismas, que no son posibles de diferenciar en las fotografías que acompañan esta nota. Por último, cubriendo indistintamente a las unidades anteriores, en los valles internontanos y ríos, afloran sedimentos aluviales y depósitos de piamonte del Cuaternario (Holoceno).

Cabe señalar, que el anticlinal Los Ángeles, del cual forma parte el elemento fisiográfico Cerro del Águila, es uno de

los numerosos pliegues que integran al Anticlinorio de Huayacocotla. En lo particular, el anticlinal Los Ángeles tiene una longitud total aproximada de 24 km y un ancho promedio de 6.5 km. Se caracteriza por tener su eje buzante al NW y, en toda su extensión, es ligeramente sinuoso. Además, está afectando en su totalidad, por infinidad de fracturas y fallas normales; y aunque en particular esta estructura no presenta fallamiento inverso, el fenómeno si se manifiesta en estructuras inmediatas al occidente como lo demuestra la falla inversa denominada Zolotla que pone en contacto a la Fm. Huayacocotla sobre las Fms. Tamaulipas Inf. - H. Otates - Tamaulipas Sup. indistintamente.

Para concluir, al Cerro del Águila, le caracteriza un fuerte desnivel topográfico (pero menor que el de su hermano El Cerro de la Silla) pues en distancias relativamente cortas, alcanza cotas que van de los 570 msnm en el curso del Río Pantepec hasta los 1695 msnm en el punto más alto del Cerro del Águila. Su desnivel respecto a la población de San Clemente es de aproximadamente 700 m.

EL CERRO DE LA SILLA.

El icónico Cerro de la Silla, en Monterrey, N. L. México; corresponde a parte de una estructura anticlinal simétrica, con su eje principal orientado NW-SE y buzante al NW. En sus flancos presenta echados de 45° a 90° y, en algunos sectores, con tendencia al volcaniento. Su núcleo está abierto en rocas del Jurásico Superior, principalmente de la Formación La Casita (Lut.-Ars. del Kimmeridgiano Sup. - Tithoniano) y algunos asomos de la subyacente Formación Zuloaga (Clz. de plataforma del Oxfordiano - Kimmeridgiano Inf.). En secuencia estratigráfica ascendente, le continúan las formaciones del Cretácico Inferior: Taraises (Clz.-Lut. con su tercio inferior de Lut.-Ars. del Berriasiano - Hauteriviano), Cupido (Clz. de plataforma del Hauteriviano - Aptiano), La Peña (Lut.-Clz. del Aptiano Sup.), Tamaulipas Superior (Clz. de mar abierto del Albiano); y del Cretácico Superior, las formaciones: Cuesta del Cura (Clz. con bandas de pedernal del Albiano Sup. - Cenomaniano Inf.), Agua Nueva (Clz.-Lut. del Cenomaniano - Turoniano), San Felipe (Lut.-Clz.

del Cenomaniano - Santoniano) y Méndez (Lut.-Mrgs. del Campaniano - Maestrichtiano). Las partes topográficas más altas (Pico la Virgen, Pico Sur, Pico Norte, Pico las Antenas, etc.) están armadas en rocas de ambiente de plataforma de la Formación Cupido y flanqueadas por la secuencia La Peña - Méndez. Por último, en los valles (ahí donde corre el Arroyo la Silla y el Río Santa Catarina), cubriendo a la secuencia anterior, afloran sedimentos aluviales del Cuaternario (Pleistoceno - Holoceno). Cabe señalar, que a la estructura anticlinal completa, se le denomina fisiográficamente como Sierra Cerro de la Silla. Este anticlinal, tiene una longitud total aproximada de 50 km y un ancho promedio de 6 Km. Se caracteriza por ser su eje doblemente buzante (al NW y SE), y su plano axial, vertical en los sectores NW y SE, y varía de volcado a recumbente (con vergencia al NE), en los aproximadamente 30 km del sector central. Además, está afectando en su totalidad, por infinidad de fracturas y fallas normales; y por fallamiento inverso, únicamente, en el sector donde su plano axial es recumbente (Fm. Cupido sobre Fm. Méndez). Para concluir, le caracteriza también un fuerte desnivel topográfico, pues en distancias relativamente cortas, alcanza cotas que van de los 560 msnm en el valle del Arroyo la Silla, hasta 1820 msnm en el Pico Norte.

REFERENCIAS:

Campa, M. F. and Coney, P. J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, no. 6, p. 1040-1051.

Imlay, R. W.; Cepeda, E.; Álvarez, M. and Díaz González T. Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico: American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 1948; p. 32

Ortega Gutiérrez, Fernando; Mitre Salazar, Luis M; Roldán Quintana, J; Aranda Gómez, José J; Morán Zenteno, Dante; Alaniz Álvarez, Susana A; Nieto Samaniego, Ángel F. 1992. Texto explicativo de la Quinta Edición de la Carta geológica de la República Mexicana, Escala 1: 2 000 000, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México y el Consejo de Recursos Minerales de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

Raisz, Erwin 1959. Landforms of Mexico, scale ca. 1:3 000 000: Cambridge, Massachussets, U. S. Office of Naval Research, Geography Branch, 1 map.

FOTOS:

Diversas fuentes en Internet, crédito a quien corresponda.



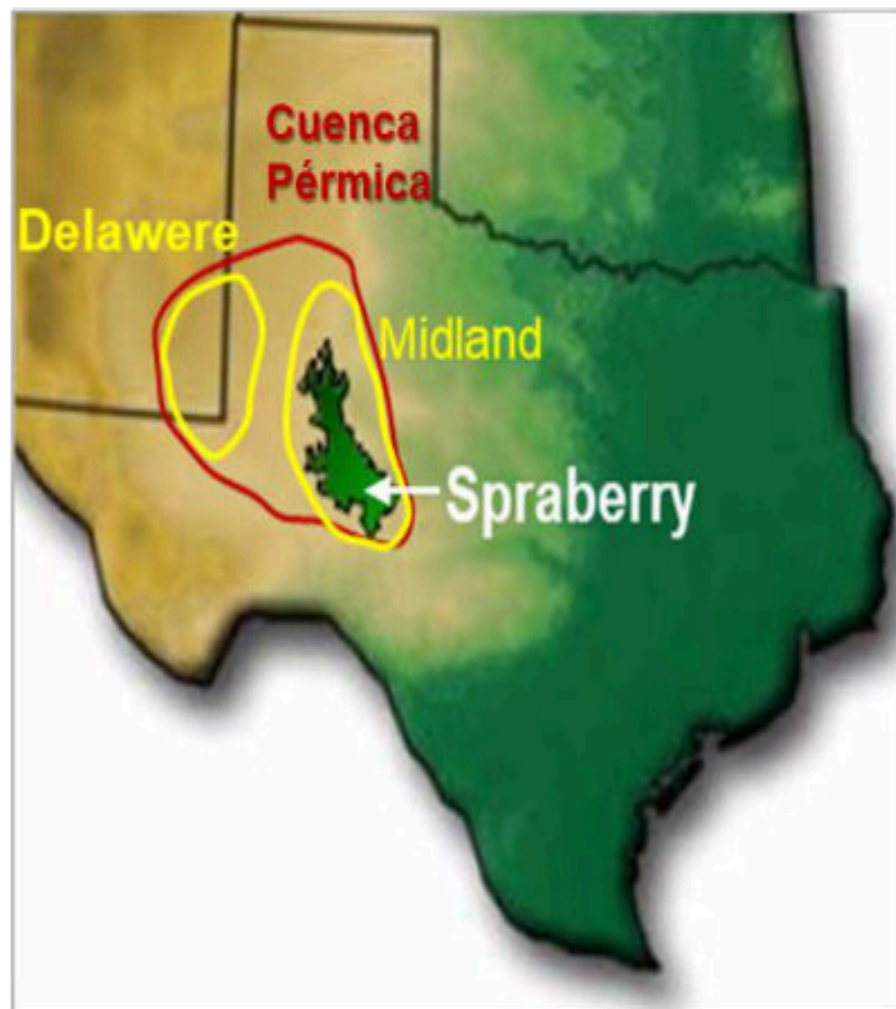
Armando García Reynoso es Ingeniero Geólogo por la UNAM, FI, promoción 1975. Tiene más de 40 años de experiencia, técnica y administrativa, en el campo de la exploración geológica de México:
Sector petrolero: Coordinación y administración de estudios regionales de exploración geológica en general. Estudios estratigráficos, sedimentológicos y diagenéticos en rocas sedimentarias paleozoicas, mesozoicas y terciarias. Análisis secuencial, en superficie y subsuelo, de rocas sedimentarias mesozoicas (carbonatos) y terciarias (terrígenos). Participación en estudios de análisis de cuencas, caracterización integral de yacimientos y evaluación de reservas petroleras.
Sector minero: Trabajos varios de prospección geológica, geofísica y geoquímica aplicados a la exploración minera.
Sector agua: Tres estudios geohidrológicos y de Calidad de Aguas.
Actualización. Cursos y seminarios diversos en: Caracterización de yacimientos, Evaluación de reservas, Delimitación de campos, Estratigrafía de secuencias, Bioestratigrafía, Software especializado en interpretación y modelado geológico, Administración por calidad total, Administración de tecnología, Normas ISO 9000, Informática administrativa, El carbón activado y su uso en el tratamiento del agua, Geología urbana y ambiental, y Análisis fisicoquímico del agua.
Actividad actual: Asesor y consultor en estratigrafía y geología sedimentaria.



Importancia de tener la estrategia correcta

Alfredo E. Guzmán, Geological Consultant, México.

Este es el caso de negocio de una compañía mediana de E&P que, en tan solo 25 años, pasó a ser una súper compañía con un valor de más de \$60 mil MMUS. Pioneer Natural Resources se formó en 1997 con la fusión de dos pequeñas compañías y se enfocó en los yacimientos compactos ricos en petróleo de la Cuenca Pérmica. Se centró en la Fm. Spraberry, rica en petróleo, aunque con producción modesta pues aún no se utilizaba la perforación no convencional (pozos horizontales fracturados) y se le conocía como la mayor acumulación de petróleo no económica de los EUA.

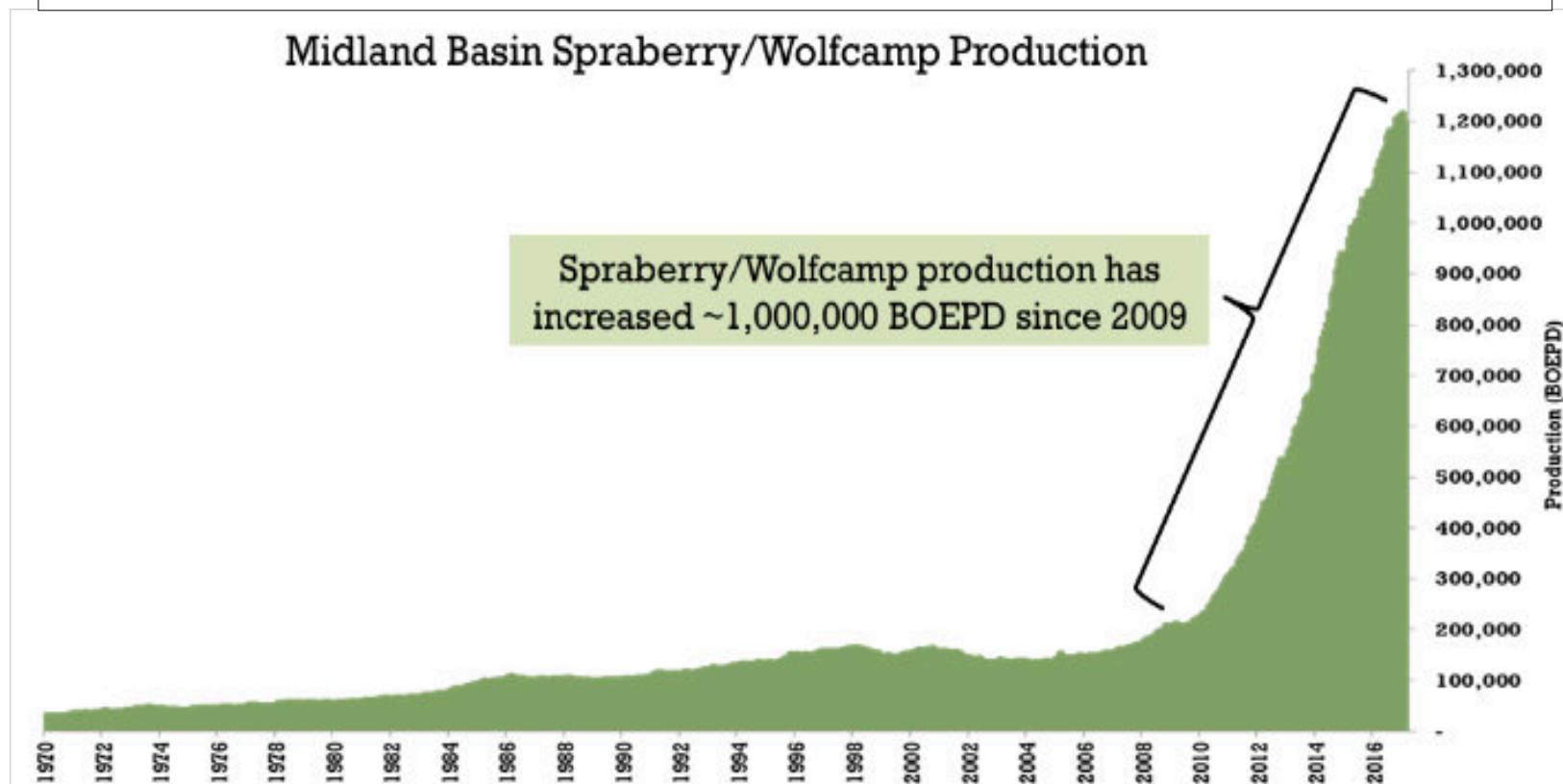


Permian		Ward	San Andres
			San Angelo
	Leonard	Clear Fork	Upper Leonard
			Upper Spraberry
			Lower Spraberry
			Dean
	Wolfcamp		Wolfcamp
Pennsylvanian	Virgil		Cisco
	Missouri		Canyon
	Des Moines		Strawn
	Atoka		Bend

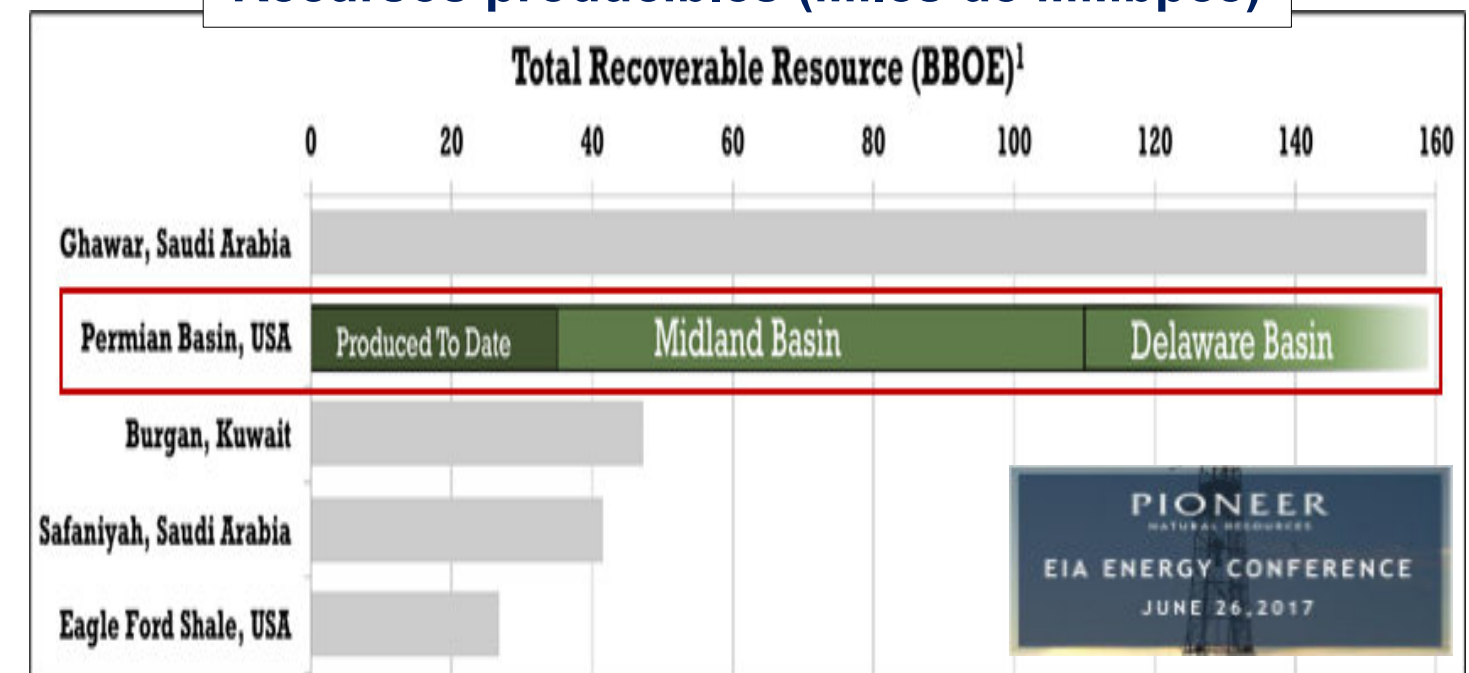
Desde un principio Pioneer identificó un enorme potencial en la Fm. Spraberry, pero el reto eran los costos y la producción de los pozos verticales, que aún con *fracking*, era modesta. Su enfoque fue bajar los costos de los pozos y hacerlos más productivos, reduciendo el diámetro de la tuberías, haciéndolos en menor tiempo y produciendo varios intervalos a la vez en lugar de uno por uno.

A partir de 2010 en que la perforación horizontal con *fracking* para aceite empezó a tener impacto en la producción, las lutitas "bituminosas" que hasta entonces no se consideraban un recurso, mucho menos reservas, pasaron a ser consideradas recursos producibles aumentando a más de 150 mil MMbpce.

Crecimiento de la producción por la perforación no convencional



Recursos producibles (Miles de MMbpce)



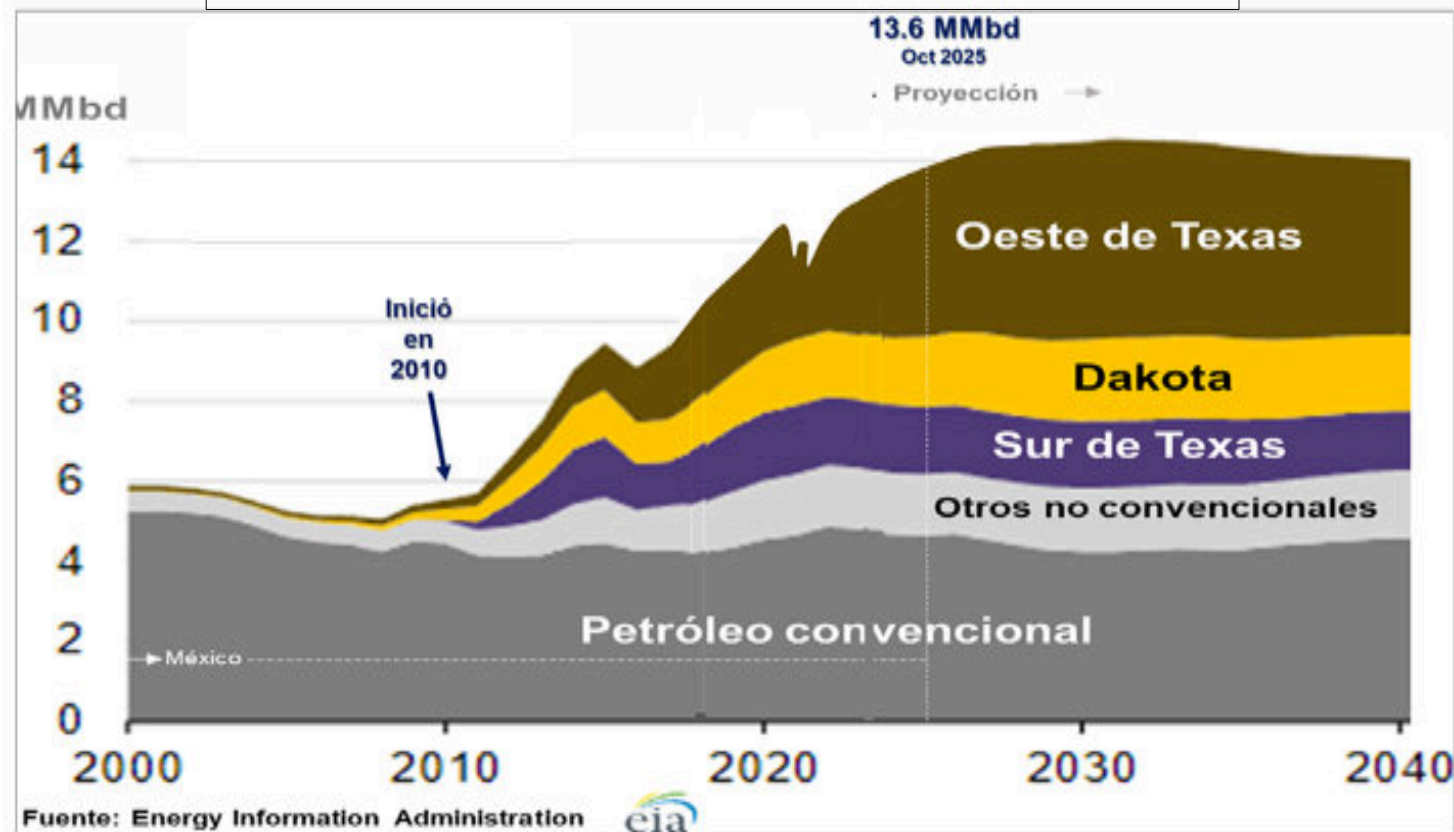
"U.S. now holds more oil reserves than Saudi Arabia"
– Rystad Energy, July 4, 2016

La decisión estratégica

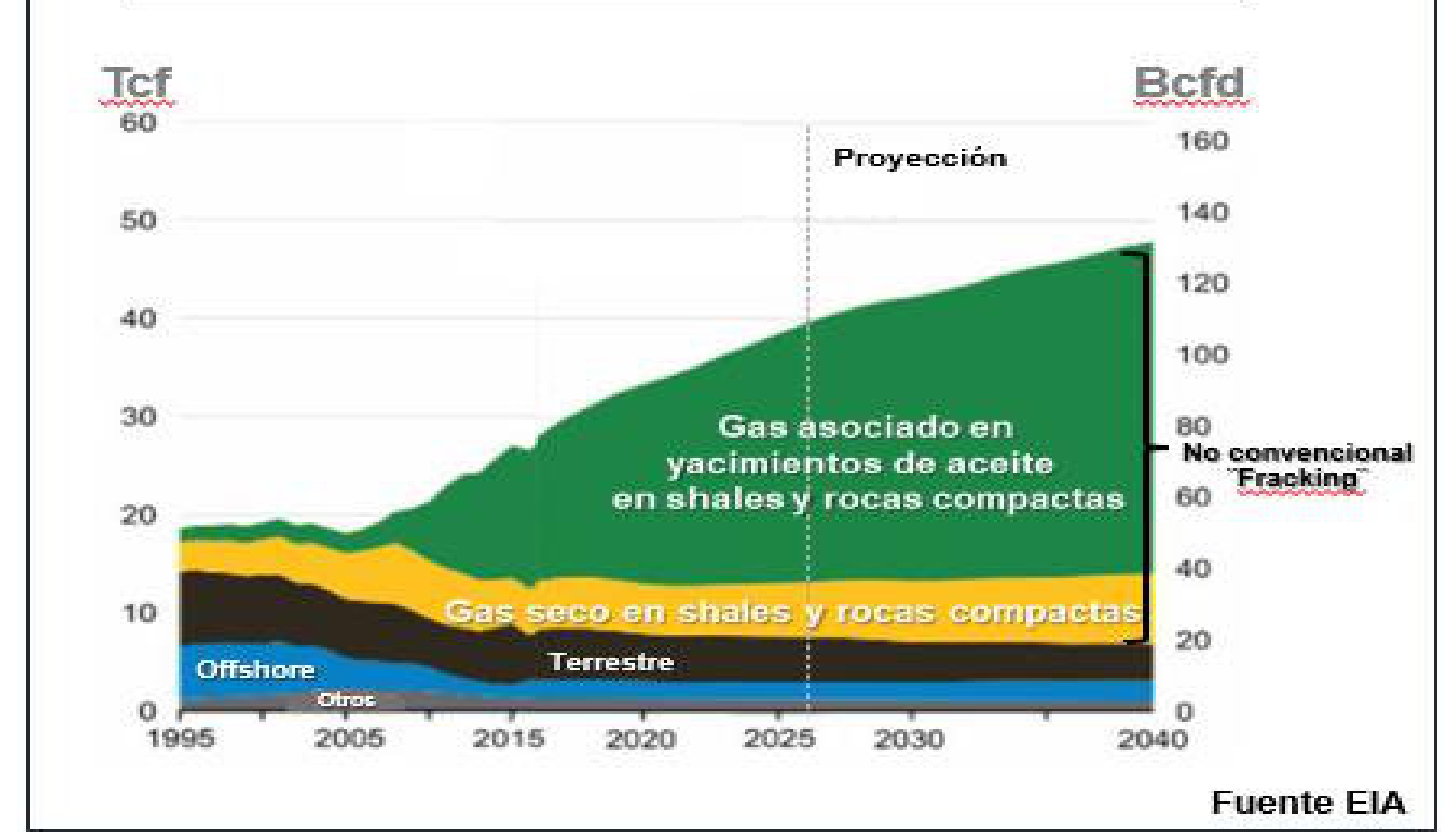
Pioneer se dio cuenta de que en todas las proyecciones de recursos no convencionales éstos no declinaban y además que todo el crecimiento que se estaba dando se debía a ellos. Se dieron a la tarea de analizar: rentabilidad, riesgos, tiempos, costos, oportunidad, y valor, y tomaron la decisión de dedicarse totalmente a los no convencionales en la Cuenca Pérmica.

Desincorporaron todos los activos que tenían en: Oklahoma, Colorado, Alaska, aguas profundas del Golfo de México, Canadá, Argentina, Mar del Norte, Túnez, Gabón, y Sudáfrica y usaron los recursos obtenidos para incrementar su cartera de áreas con *shale* y *tight oil* de la cuenca Pérmica.

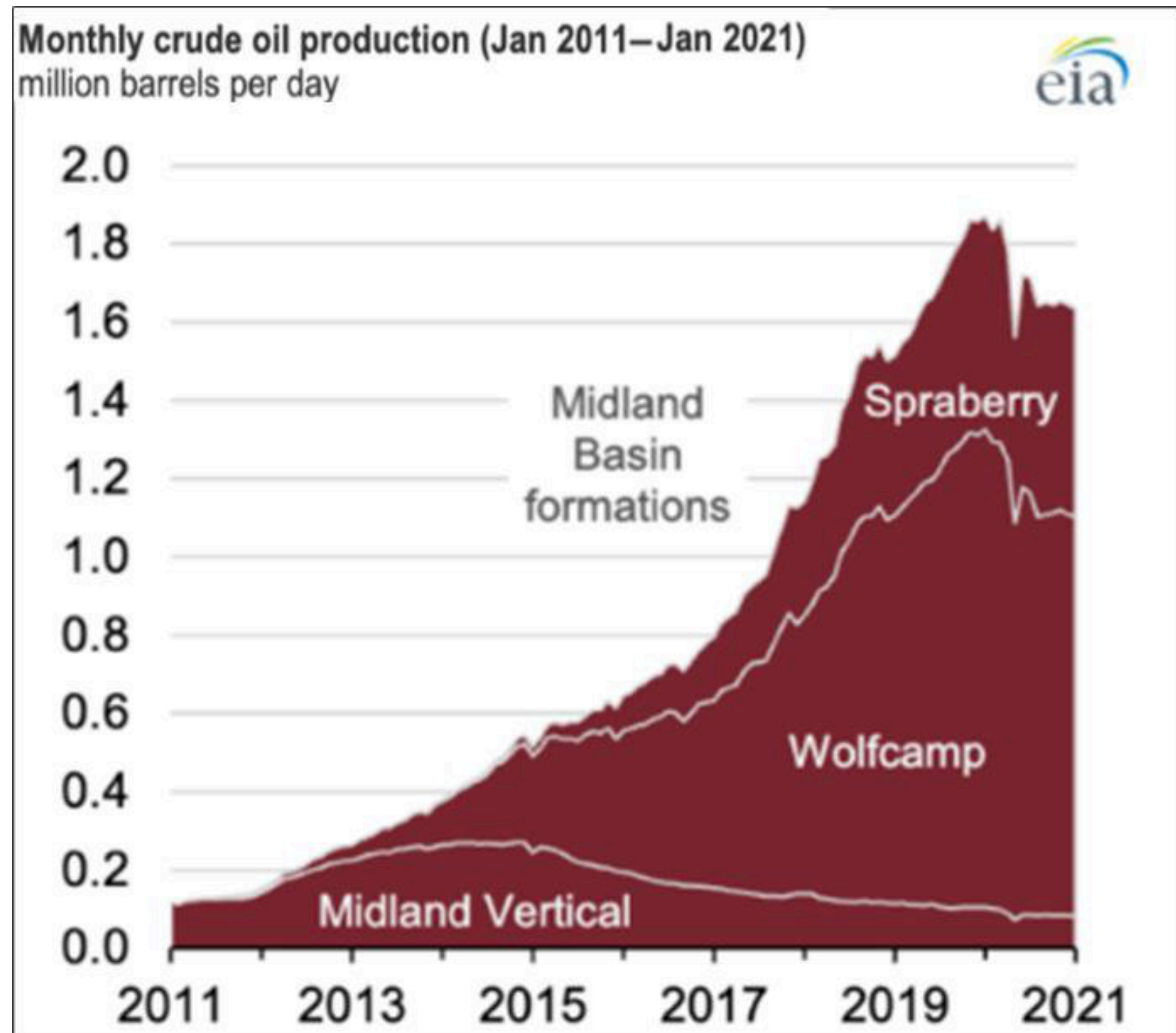
Producción de aceite EUA 2000 - 2040



Producción de gas de EUA 1995 - 2040

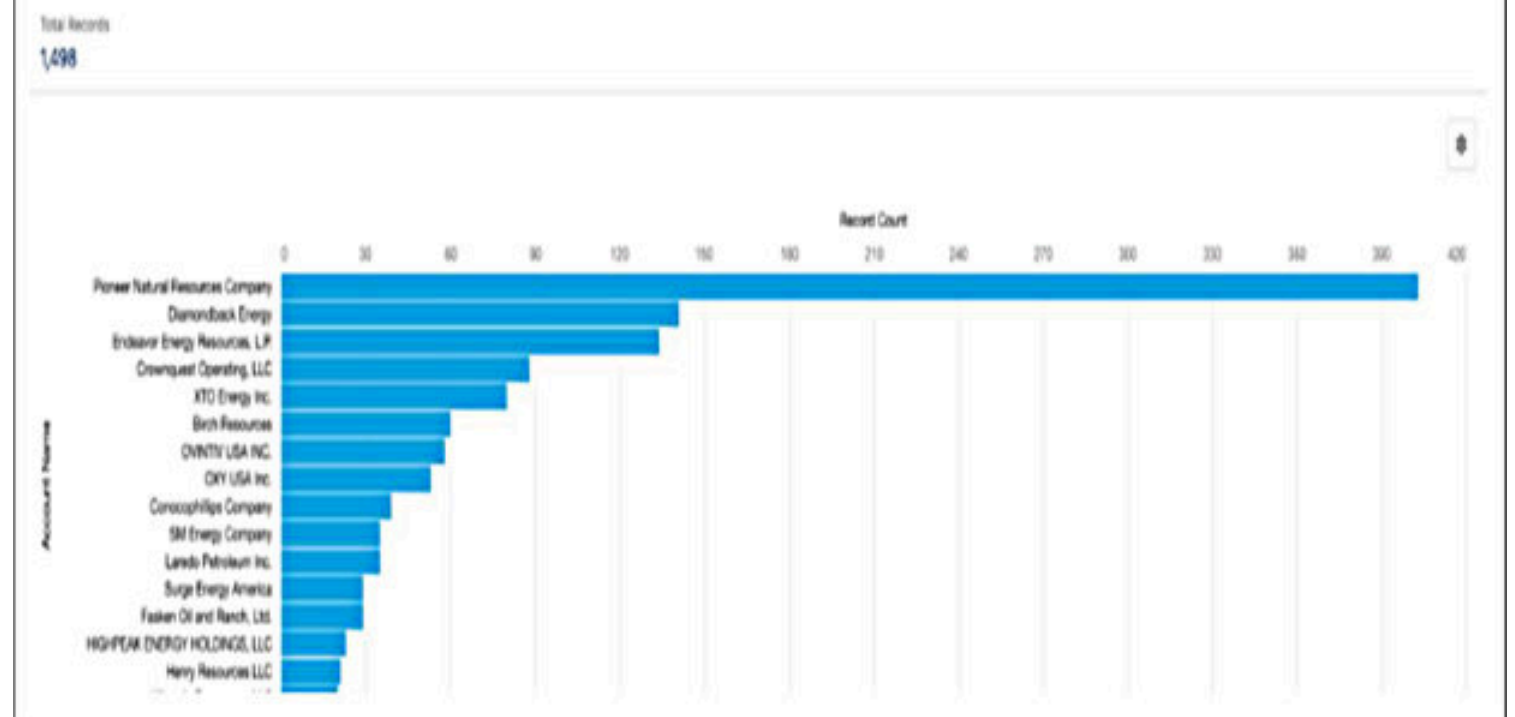


Al principio Pioneer producía menos de 50 mil bd con pozos verticales fracturados en la Fm. Spraberry, pero en 2011 se empezó a producir de los *shales* con pozos horizontales (Fm. Wolfcamp) y en 2014 incorporó los horizontales y a la Fm. Spraberry, pasando así a ser la principal operadora de la subcuenca Midland

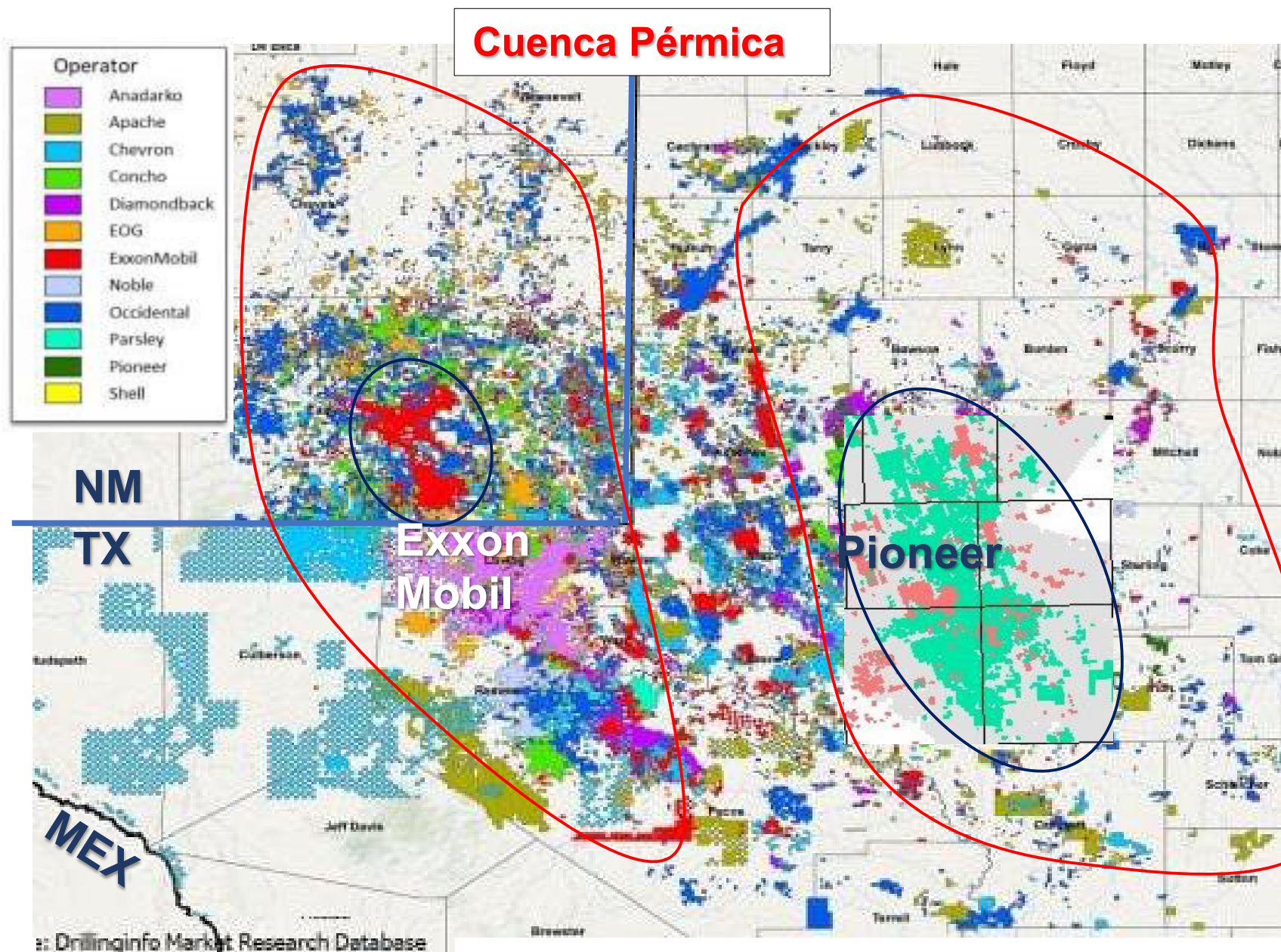


Para 2021 Pioneer ya era por mucho la principal cía. operadora en la Fm Spraberry

Top 10 Operators Wells Spud 2021 Spraberry



Cuando las compañías petroleras se dieron cuenta de que todo el crecimiento venía de los no convencionales, la mayoría empezaron a buscar tenerlos entre sus activos. Pioneer había incrementado en forma muy importante su producción y ya era por mucho el principal operador en la Fm. Spraberry por lo **Exxon - Mobil se fijó en ella y la adquirió por \$60 mil MM USD.**



Principales mergers y adquisiciones:

ExxonMobil / Pioneer Natural Resources por 60 B US

Chevron / Hess por 53 B US

Occidental Petroleum / Crown Rock por 12 B US

ConocoPhillips / Marathon Oil / Shell 8.6 B US

Diamondback Energy / Endeavor Energy Resources

EOG Resources

Devon Energy / Coterra .

Permian Resources / Earthstone Energy

Apache / Callon Petroleum.

Matador Resources

Civitas Resources / Tap Rock Resources / Hibernia Energy III.

SM Energy / XCL Resources.

Ovintiv

Vital Energy

Mewbourne Oil Company

Continental Resources

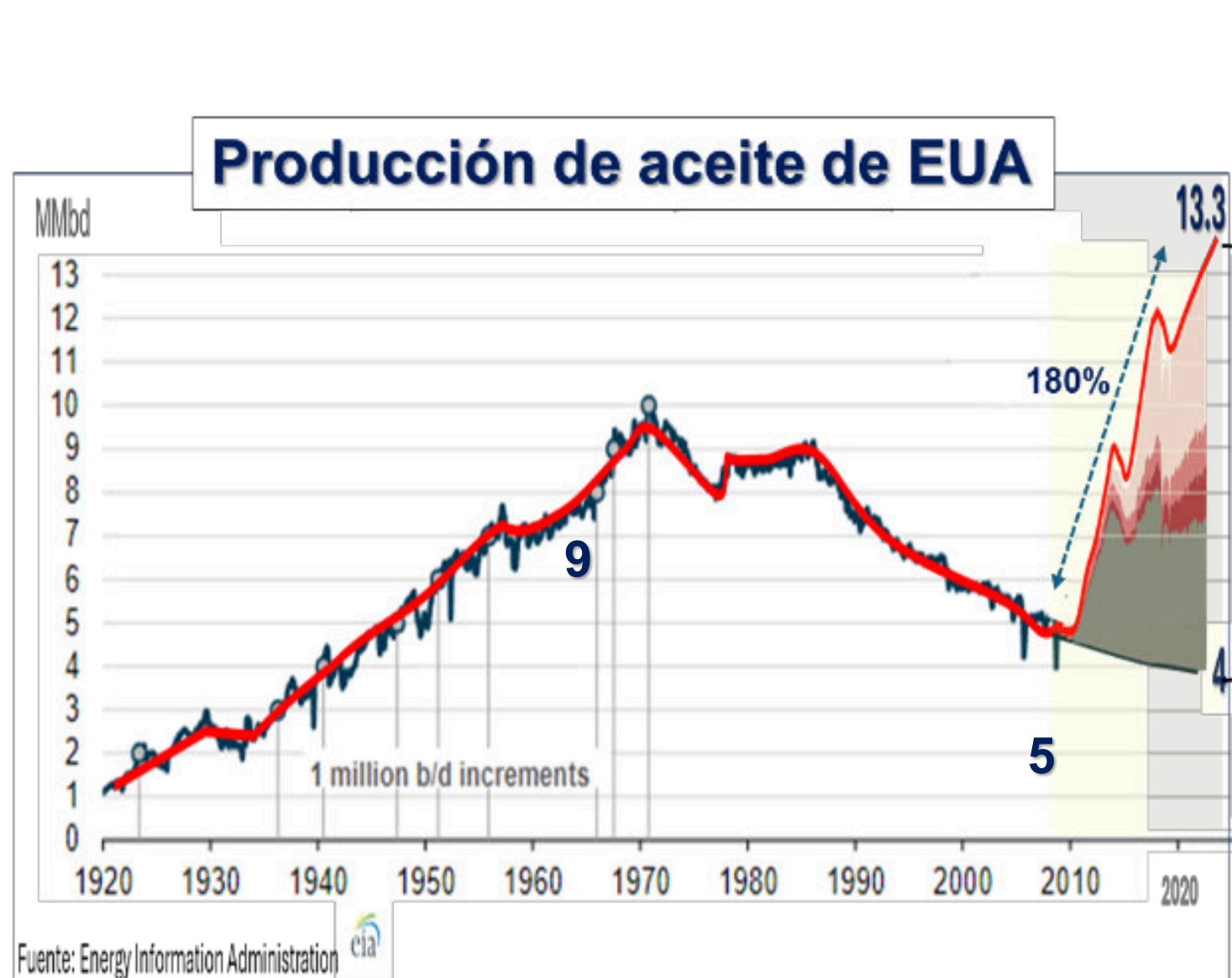
Hilcorp Energy

BTA Oil Producers

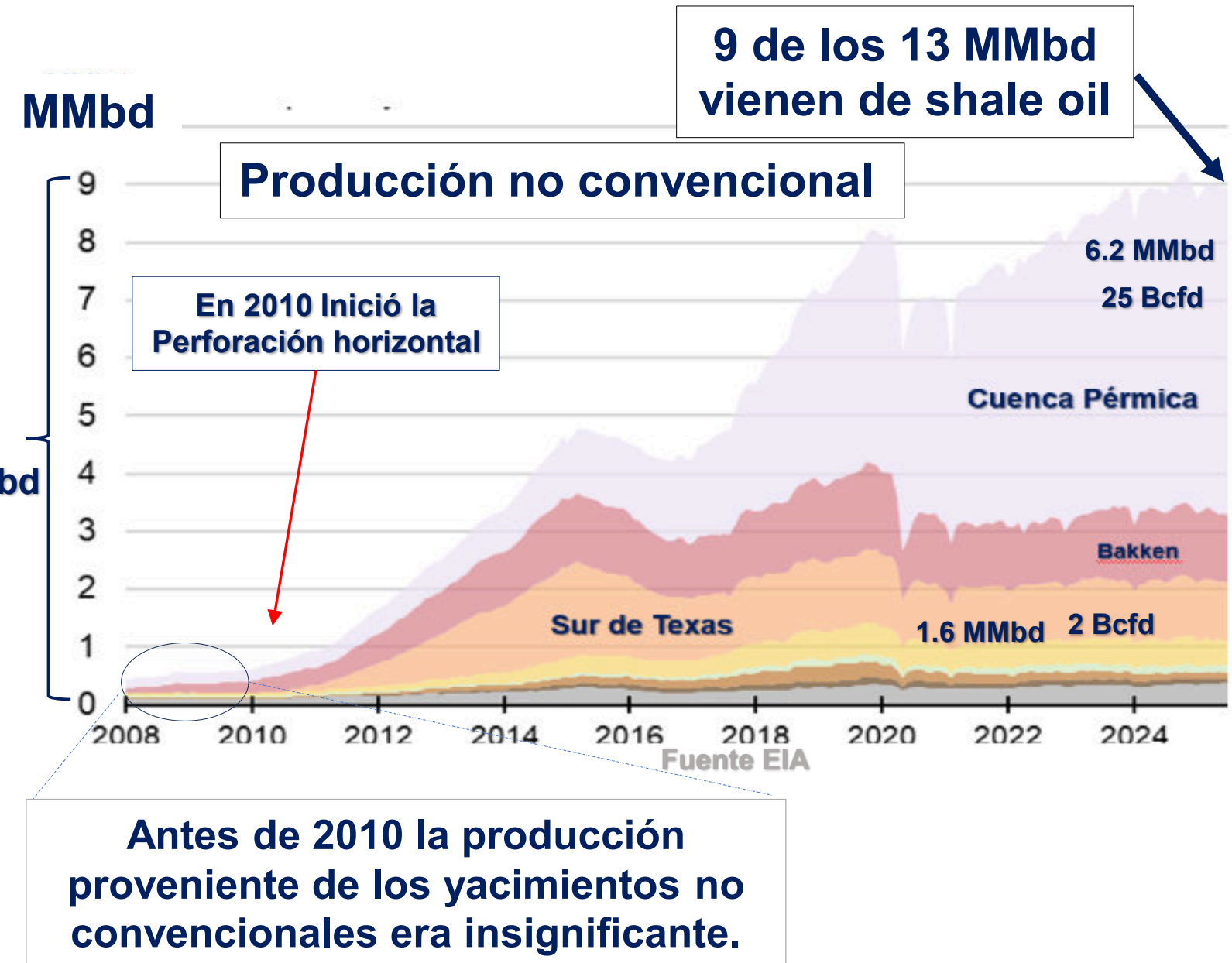
Surge Energy:

Conclusión: la estrategia de enfocarse totalmente en los no convencionales fue brillante.

En 2010 la producción de rocas compactas en los EUA era menos de 100 mil bd (la Fm. Spraberry producía ~ 100 mil bd con pozos verticales). Hoy los no convencionales aportan 9 MMbd, (de los 13.3 MMbd que produce EUA), mientras los yacimientos convencionales han seguido declinando.



Los yacimientos convencionales comenzaron a declinar en 1970, y a la fecha continúan declinando.



ERNST FLORENZ CHLADNI (1756-1827) Y LAS ROCAS QUE CAYERON DEL CIELO

JHONNY E. CASAS^{1,2}¹Escuela de Petróleo y ²Escuela de Geología Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuelahttps://pngtree.com/freebackground/meteor-showers-and-meteor-streaks-in-the-sky_3712700.html

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Antes del siglo XIX, los científicos se mostraban escépticos sobre la existencia de meteoritos. A pesar de los informes históricos de avistamientos de meteoros¹ que se remontan a la época griega, como el del filósofo Diógenes de Apolonia (460 a. C.-?), quien fue uno de los primeros en divulgar su idea de un origen espacial a este fenómeno. Diógenes escribió: «Con los astros visibles, giran piedras invisibles, y por ello carentes de nombre. A menudo caen al suelo y se apagan, como la estrella de piedra que descendió en llamas sobre Aegos Potami». Esto demuestra que algunos pensadores griegos ya poseían ideas tempranas de que los meteoritos eran rocas provenientes del espacio (HOREJSI 2019).

En el año 467 a. C., la ciudad de *Aegos Potami* (península de Galípoli), en la actual Turquía, sufrió un enorme impacto del meteorito que lleva su nombre. Este evento, marcó el pensamiento de la época, siendo mencionado en muchas fuentes griegas por varios siglos. Plutarco (40-120 d. C.), por ejemplo, en su obra «Vidas paralelas», relata que la caída de la enorme roca sobre *Aegos Potami* fue interpretada como una señal que presagiaba la futura derrota ateniense en su guerra contra los espartanos (THEODOSSIOU *et al.* 2002; BATTISTA 2023).

También es fundamental mencionar al filósofo presocrático Anaxágoras de Clazómenas (500-428 a. C.), a quien se le atribuye la primera explicación racional de los eclipses, y también la idea de que el Sol, era una masa

de hierro incandescente, mientras que la Luna, era una roca de origen terrestre. Anaxágoras postuló que, en ocasiones, la fuerza de rotación de la Tierra arrancaba rocas de su propia superficie y las hacía girar alrededor de ella, ascendiendo gradualmente. Según su teoría, la fuerza y la vibración de la rotación podían causar deslizamientos o sacudidas, que hacían que estas rocas cayeran de nuevo hacia la Tierra, como fragmentos llameantes de roca y hierro (TORRIJOS 2013).

Si bien no se cuenta con muchas fuentes escritas provenientes directamente de los filósofos presocráticos, si se dispone de varias alusiones a sus teorías, interpretaciones y opiniones, enunciadas en obras posteriores. Sobre este punto BATTISTA (2023), hace referencia nuevamente al escrito de Plutarco, quien menciona a su vez al filósofo Anaxágoras de Clazómenas, en relación al evento de *Aegos Potami*: «Se cuenta que Anaxágoras había anunciado que cuando los cuerpos que están sujetos en el cielo sufrieran algún deslizamiento o alguna sacudida, sucedería la ruptura y caída de uno que se hubiera quedado desprendido; además cada una de las estrellas del cielo no está en el lugar en el que tuvo su origen, pues su brillo, dado que su naturaleza es pedregosa y pesada, surge por resistencia y refracción del éter y son arrastradas a la fuerza por la potencia y tensión del movimiento circular que las sujetaba, que en origen hizo que no cayeran en la Tierra, en la época en que los cuerpos fríos y pesados se separaron del conjunto» (Plutarco, Lisandro, 12, 2-3).

A pesar de que en numerosos autores de la antigüedad clásica, tanto griega como latina, se encuentran referencias escritas sobre las llamadas «lluvia de piedras» (*lapidibus pluit*²), estas fueron asociadas sobre todo a la actividad volcánica y fuertes vientos. Así lo expresó Plinio el Joven (61-112 d. C.) el año 79 a. C., en cartas al historiador Cornelius Tacitus (CASAS 2025). En la gran mayoría de las ocasiones, estos eventos se interpretaban bajo una óptica de tipo religioso, como señales, advertencias, o augurios divinos, normalmente considerados como malos presagios. Por muchos siglos, la idea de que rocas cayeran del cielo pareció inconcebible para los científicos. La creencia predominante era que los meteoritos tenían un origen estrictamente terrestre, originados por rocas expulsadas por volcanes, huracanes distantes, o formados de alguna manera en la atmósfera. Ya para el siglo XVII, René Descartes (1596-1650), planteó la hipótesis de que, durante las tormentas, los rayos fundían el polvo atmosférico, convirtiéndolo en piedras de diferentes tamaños; una idea retomada y divulgada posteriormente por el famoso químico y biólogo Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) a finales del siglo XVIII (MARVIN 1996),

Durante cientos y cientos de años, personas de todo el mundo habían reportado tales fenómenos, que a menudo eran considerados únicamente como presagios divinos. Nadie se atrevía a imaginar que su origen estuviera fuera de la Tierra. A finales del siglo XVIII, la opinión científica seguía cuestionando la credibilidad de los relatos efectuados por observadores en diferentes partes del mundo, y el tema de las «rocas caídas del cielo» se descartó, considerándolo como uno más de las supersticiones comunes (CASAS 2026).

No es sino hasta 1794, cuando el físico alemán Ernst Florenz Chladni, fue el primero en publicar un libro, donde afirma la idea de que los meteoritos son rocas que no se originaron en la Tierra, sino que provenían del espacio exterior. Chladni recopiló todos los datos disponibles en esa época, sobre varios meteoritos y luego de su análisis, concluyó que debían tener sus orígenes en el espacio. La comunidad científica de la época respondió con resistencia, incredulidad y burla a la publicación. Pasó casi una década antes de que se comenzase a alcanzar una aceptación general del origen de los meteoritos, como cuerpos rocosos provenientes del espacio, principalmente después de que el científico francés Jean-Baptiste Biot (1774-1862), recogiese en persona, datos y testimonios sobre la caída de miles de meteoritos en el año de 1803 (GOUNELLE 2006), desde los cielos de L'Aigle, Francia.

LA VIDA DE ERNST CHLADNI

Ernst Florenz Friedrich Chladni (Figura 1), nació el 30 de noviembre de 1756 en Wittenberg (Sajonia), una ciudad a orillas del río Elba, Alemania. Aunque su familia procedía de Kremnica, parte del entonces reino de Hungría (hoy Eslovaquia). Chladni descendía de una familia de reconocidos académicos y teólogos. Hijo único, desde muy joven se interesó por la geografía y la astronomía; sin embargo, su padre lo indujo a estudiar derecho (KNOFEL y RENDTEL 1994). Así pues, Chladni cursó estudios en Wittenberg y Leipzig, los cuales culminó con sendas tesis en leyes y en filosofía. Tras obtener el doctorado y debido a la muerte de su padre en 1782, decidió dedicarse por completo a las ciencias naturales.

Impartió conferencias sobre leyes, ciencias naturales y matemáticas en la Universidad de Wittenberg entre 1783 y 1792. No obstante, debido a su bajo salario, intentó generar ingresos adicionales mediante inventos y descubrimientos. Durante esos años, se dedicó con ahínco a experimentar con fenómenos acústicos. Un ejemplo destacado son las «*Klangfiguren*», también denominadas «figuras de Chladni» (patrones formados por una sustancia granulada sobre una superficie plana en vibración), que le otorgaron gran fama (KNOFEL y RENDTEL 1994). Dicha técnica fue publicada por primera vez en 1787 en su libro *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* (Descubrimientos sobre la teoría del sonido).

Chladni inventó y perfeccionó varios instrumentos musicales. Entre ellos se puede mencionar el denominado *glasspiel* o *verrillón* (1738), consistente en vasos de cerveza con diferentes cantidades de agua, y que se volvió ampliamente popular en Europa. En 1791, Chladni concibió un instrumento musical llamado eufón (*euphonium*), un instrumento de metal que consiste en varillas de vidrio que se utilizan para producir diferentes tonos. Asimismo, en 1799, mejoró el «cilindro musical» de Hooke para crear otro instrumento, el clavicilindro (ULLMANN 2007).

Los instrumentos musicales desarrollados por Chladni fueron presentados en numerosas conferencias durante sus viajes por Europa. En 1794, viajó a San Petersburgo, donde ofreció una demostración de su eufón ante un público entusiasta, que incluía a la emperatriz Catalina II la Grande (1729-1796) (MARVIN 2007). Años después, en 1809, y gracias a la mediación del polímata francés Pierre-Simon Laplace (1749-1827), ofreció una demostración en el palacio de Las Tullerías (París), acerca de los patrones de sonido ante el emperador Napoleón Bonaparte (1769-1821) (ULLMANN 2007). De esta manera, estos viajes le permitieron acceder a las

bibliotecas de diversas universidades europeas y además conocer a destacados científicos. Uno de los temas que captó su interés en esa época fue la naturaleza de las llamadas «bolas de fuego» (KNOFEL y RENDTEL 1994). En aquel entonces no existía una explicación satisfactoria para estos fenómenos, y en 1793, Chladni comenzó a estudiar la literatura disponible acerca del tema, lo que culminó en la publicación en abril de 1794, de un libro con su propuesta de explicación a dichos fenómenos.

Las ideas desarrolladas por Chladni a partir de esta publicación, han llevado a muchos científicos y expertos en el tema, a calificarlo como el «padre de los meteoritos». Chladni, quien nunca contrajo matrimonio ni tuvo hijos, falleció a los 70 años de edad, el 3 de abril de 1827 en Breslavia, Baja Silesia, parte del entonces Reino de Prusia y hoy en día la ciudad de Wrocław (GARCÍA 2021), en el suroeste de Polonia. Su lugar de sepultura fue el *Großer Friedhof* (Gran Cementerio) de Breslavia; sin embargo, dicho camposanto fue destruido en 1956 durante la reorganización urbana de la ciudad. bajo el régimen comunista. Muchas tumbas históricas fueron removidas o se perdieron, por lo que hoy día se desconoce la ubicación exacta de su lugar de descanso.



Figura 1. Retrato de Ernst F. F. Chladni. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Echladni.jpg>

EL LIBRO DE CHLADNI

Chladni se interesó en los meteoritos, tras una conversación ocurrida a finales de 1792, con el científico alemán Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799), profesor de física en la Universidad de Göttingen, sobre una bola de fuego que Lichtenberg supuestamente vio en el cielo de Göttingen, Alemania, en noviembre de 1791. Atónito por la sugerencia de Lichtenberg, de un posible

origen extraterrestre para las bolas de fuego, Chladni comenzó su investigación buscando en la literatura, informes de fenómenos similares, así como de masas de rocas que hubiesen caído por toda Europa y Norteamérica, durante el último siglo, así como cualquier relato de testigos presenciales, de estas bolas de fuego y de rocas caídas del cielo (CHLADNI 1794, 1798).

Durante varias semanas en la biblioteca de la universidad, recopiló los que, a su juicio, eran los informes de los testigos presenciales más fiables. Su lista de reportes incluía veinticuatro bolas de fuego y dieciocho rocas caídas en diversos países a lo largo de varios siglos (MARVIN 2007). Las similitudes entre estos relatos impresionaron profundamente a Chladni, cuya formación jurídica lo había formado para evaluar a conciencia la validez de los testimonios de testigos presenciales. Concluyó convencido que los testigos describían un fenómeno físico real. Basándose en la uniformidad de las narraciones de estos avistamientos, los fenómenos de las bolas de fuego, bólidos o «dragones voladores», como también eran denominados, así como las masas de rocas que caían del cielo, debían ser relatos auténticos (CHLADNI 1794).

Esto le llevó a publicar en 1794 un libro en alemán de 63 páginas llamado: *Über den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen* (Figura 2), cuya traducción al español sería: *Sobre el origen del Hierro de Pallas y otros similares, y algunos fenómenos naturales asociados* (CHLADNI 1794). El libro fue publicado simultáneamente en dos ciudades: Leipzig, para lograr alcance a los físicos y astrónomos de Alemania, y Riga (Letonia), para llegar al público lector de idioma alemán, del norte de Europa (CASAS 2026).

La publicación de Chladni, versaba sobre el origen del «Hierro de Pallas», una gran masa de hierro, encontrada en 1749, a unos 30 kilómetros de Ubeisk, en el distrito ruso de Krasnoyarsk (Siberia), y estudiada originalmente por Peter Simon Pallas (1741-1811), un zoólogo y botánico alemán célebre por sus trabajos en Rusia. En 1772, cuando Pallas se enteró del descubrimiento de este trozo de metal de unos 680 kilogramos, dispuso su transporte desde el lugar, hasta Krasnoyarsk (a 230 kilómetros), y de ahí, unos 4800 kilómetros hasta la Academia Imperial de San Petersburgo, donde arribó en 1776. Pallas publicó ese mismo año los resultados de sus observaciones, las cuales captaron el interés de Chladni. El «Hierro de Pallas» fue expuesto en el salón de curiosidades de Pedro El Grande o Pedro I, zar de Rusia (MARVIN 2007). El ahora llamado Krasnoyarsk, fue el

primer meteorito de tipo pallasita (denominación aplicada a partir de 1825), jamás encontrado, y su estudio condujo a la identificación del grupo de las pallasitas³, una clase de meteoritos poco común de hierro rocoso, denominados así en honor a su descubridor Peter Pallas.



Figura 2. Portada del libro original de Ernst F. Chladni (1794), *Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen*. (Sobre el origen del Hierro de Pallas y otros similares, y algunos fenómenos naturales asociados). Fuente:

https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/df/79533/5?tx_dlf_navigation%5Bcontroller%5D=Navigation&cHash=2b7eef6229ba85ff2b6ec7ffb9f4c277

En el primer párrafo de su libro, Chladni afirmó que las bolas de fuego estaban compuestas de materia compacta y pesada que provenían del espacio exterior y aterrizaban en la Tierra en forma de meteoritos. Así, Chladni propone en esta obra que los meteoritos tienen un origen definitivamente extraterrestre, argumentando que esto explicaría las altas velocidades de caída de dichas masas rocosas al vincularlas con las descripciones de bolas de fuego que brillaban intensamente al cruzar la atmósfera terrestre (MARVIN 1996). Chladni plantea la hipótesis de que, probablemente estos meteoritos eran trozos de material que nunca se habían consolidado en la formación de masas mayores o eran restos de la formación y destrucción de planetas (CHLADNI 1794). Sus afirmaciones desafiaban la creencia establecida de que no

existía nada más allá de la Luna, a excepción de las estrellas y planetas conocidos.

Este supuesto vacío del espacio había fascinado a Chladni de niño, cuando aprendió sobre la enorme distancia entre Marte y Júpiter. Esta observación influyó notablemente en su explicación del origen de los meteoritos (MARVIN 1996). El libro de Chladni fue inicialmente ridiculizado por los físicos contemporáneos, incluido el mismo Lichtenberg. Aun así, sus escritos sembraron una semilla de curiosidad, que eventualmente llevó a que más investigadores apoyaran su teoría. La hipótesis primaria de Chladni era completamente diferente a la de todos los demás autores de su época. Chladni investigó numerosas observaciones y descripciones de fenómenos similares a bolas de fuego que había recopilado durante sus búsquedas bibliográficas. Su definición de bola de fuego (*fireball*) o bólido, fue la siguiente: «Una bola de fuego es un fenómeno poco común que comienza como una estrella brillante o una estrella fugaz a gran altitud y luego desciende rápidamente siguiendo una trayectoria inclinada, superando ocasionalmente el brillo de la Luna, a menudo acompañado de llamas, humo y chispas, y finalmente se interrumpe con sonidos intensos» (KNOFEL y RENDTEL 1994).

En dicha publicación, Chladni reconoció plenamente al físico Georg Lichtenberg por inspirarle, al proporcionarle no solo información e ideas, sino también sugerencias sobre cómo llevar a cabo una investigación acerca del tema, escribiendo: «La idea inicial para mi libro sobre tales masas la obtuve de Lichtenberg, cuyo extraordinario talento consistía en proponer algunas ideas que aportaran nuevas perspectivas y pudieran conducir a nuevas investigaciones ... En nuestra conversación en Göttingen en febrero de 1793, me comentó que, si se consideraban todas las circunstancias relacionadas con las bolas de fuego, la mejor manera de considerarlas no era como fenómenos atmosféricos, sino como fenómenos cósmicos; es decir, como algo extraño que llega como cuerpos provenientes de fuera de nuestra atmósfera ... Me sugirió que buscara en las *Philosophical Transactions* y otras fuentes, informes de bolas de fuego con información de sus trayectorias, y para comparar, que buscara informes de masas de rocas caídas» (CHLADNI 1794, 1803).

Chladni encontró numerosos casos en los que las bolas de fuego fueron seguidas por la caída de rocas o masas de hierro al suelo. En uno de los ejemplos, cita una masa de hierro de 32 kilos que cayó del cielo sobre Hraschina, Croacia, el 26 de mayo de 1751. La masa fue enviada al Gabinete Imperial de Historia Natural en Viena, junto con el testimonio jurado de siete testigos, en ciudades

distantes entre sí, quienes describieron una espectacular bola de fuego, que se dividió en dos partes en el cielo, así como enormes explosiones (MARVIN 2007).

Al analizar las descripciones de las bolas de fuego, CHLADNI (1794) pudo estimar las velocidades de las rocas al entrar en la atmósfera. Estas velocidades eran enormes, superiores a las que podía producir la acción de la gravedad terrestre por sí sola, lo cual solo era posible para objetos de origen cósmico. Otra evidencia resaltante que el autor menciona, fue el aspecto quemado de las propias rocas, donde supone que se habían calentado lo suficiente como para fundir su exterior, creando lo que hoy conocemos como «corteza de fusión».

Chladni finaliza su propia obra con las siguientes palabras en referencia a su sugerencia para investigaciones posteriores: «*Durch der gleichen mit aller Genauigkeit anzustellende Untersuchungen würde sich in der Folge mit mehrerer Gewissheit, als jesst möglich ist, ob gegenwärtige Theorie, die durch so viele Gründe wenigstens einem höhern Grad von Wahrscheinlichkeit, als die bisherigen, erhält, wirklich der Natur gemäss sey, oder nicht*» (CHLADNI 1794, pág. 63), cuya traducción sería: «Mediante las mismas investigaciones, que deben llevarse a cabo con la máxima precisión, en el futuro se aclarará con mayor certeza de la que hoy es posible, si mi teoría, que por tantas razones expuestas tiene un mayor grado de probabilidad que las teorías anteriores, si está verdaderamente de acuerdo o no con la naturaleza».

En 1794, el mismo año de su publicación, Chladni tuvo la oportunidad de viajar a San Petersburgo, con la intención de hacer demostraciones de su instrumento, el eufon, aprovechando también para examinar en persona la gran masa de el «Hierro de Pallas», sobre la que había escrito (GARCÍA 2021).

Años después, en un artículo aparecido en *Philosophical Magazine and Journal*, en 1798 (Figura 3), Chladni, publica por primera vez en idioma inglés, un resumen de ocho páginas basado su libro de 1794. El artículo, denominado: *Observations on a Mass of Iron found in Siberia by Professor Pallas, and on other Masses of the like Kind, with some Conjectures respecting their Connection with certain natural Phenomena*, tenía la intención de alcanzar así, una mayor difusión de su trabajo, pero ahora, en la comunidad científica de habla inglesa.

En una segunda publicación en el *Philosophical Magazine and Journal*, años más tarde, CHLADNI (1826), describe lo siguiente: «Dado que las partículas terrestres, metálicas y de otro tipo forman los principales

componentes de nuestros planetas, entre los cuales el hierro es el predominante, otros cuerpos planetarios pueden constar de componentes similares, o quizás los mismos, aunque combinados y modificados de manera muy diferente. También puede haber materias densas acumuladas en masas más pequeñas sin estar en conexión inmediata con los cuerpos planetarios mayores, dispersas por el espacio infinito, y que, impulsadas por algún poder de proyección o atracción, continúan moviéndose hasta que se aproximan a la Tierra o a algún otro cuerpo; al ser vencidas por su fuerza de atracción, caigan inmediatamente». Estas conclusiones colisionaban frontalmente contra el clásico principio universal, heredado desde tiempos de Aristóteles (384-322 d. C.) y convalidado por Isaac Newton (1643-1727), de que no existía ninguna clase de cuerpo rocoso mas allá de la Luna, sino únicamente los planetas conocidos y las estrellas (MARVIN 2007).

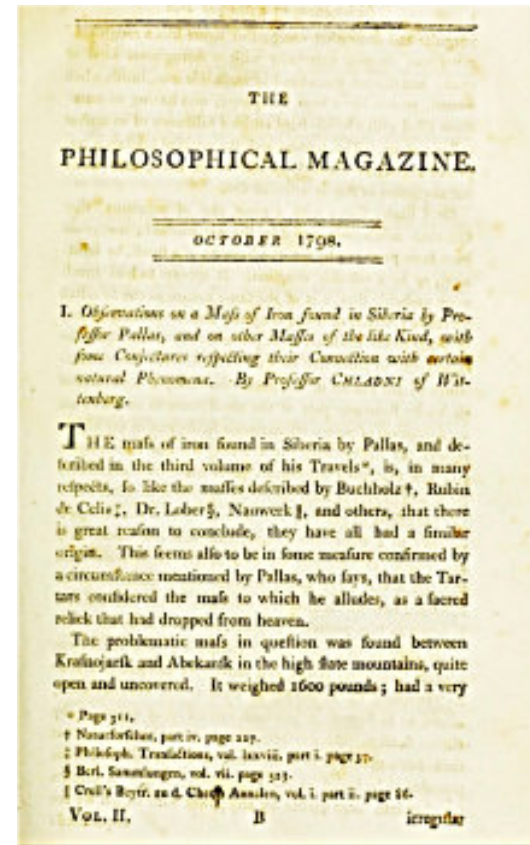


Figura 3. Portada del artículo original publicado en inglés por Chladni en 1798: *Observations on a Mass of Iron found in Siberia by Professor Pallas, and on other Masses of the like Kind, with some Conjectures respecting their Connection with certain natural Phenomena*, *Philosophical Magazine and Journal*.

Fuente:

<https://www.biodiversitylibrary.org/item/52994#page/15/mode/1up>

LOS METEORITOS DE SIENA (ITALIA) Y YORKSHIRE (INGLATERRA)

Dos meses después de la publicación del libro de Chladni, en junio de 1794, una gran nube de humo apareció en el cielo cerca de Siena, Italia. La nube, envuelta en chispas y un gran estruendo, se tornó de un rojo brillante, cayendo múltiples fragmentos de rocas al suelo. Numerosos fragmentos de roca fueron recuperados (Figura 4) y las descripciones del fenómeno, se publicaron y discutieron ampliamente. Claramente, el evento de Siena fue de importancia clave para dilucidar el origen de los meteoritos, ya que fue el primero de la época moderna en ocurrir cerca de una ciudad europea y en ser presenciado por miles de personas que validaron su autenticidad (MARVIN 1996, 2007). El evento de Siena fue estudiado por varios científicos, pero debido a la desafortunada coincidencia con una erupción del Vesubio ocurrida 18 horas antes, la mayoría determinó que el material era de origen volcánico y provenía de la erupción.

Un año después, el 13 de diciembre de 1795, se observó una gran roca de unos 25,4 kilogramos de peso, durante su caída a la Tierra, en una cabaña cerca de Wold Newton en Yorkshire, Inglaterra. Este y otros eventos similares convencieron al naturalista Sir Joseph Banks (1743-1820), de la *Royal Society*, a iniciar una investigación. Banks solicitó al joven químico Edward Charles Howard (1774-1816), que analizara la composición química de las supuestas rocas caídas del cielo. Howard, que tenía conocimiento del libro y las ideas de Chladni, comenzó a adquirir muestras de rocas y de masas de hierro, asociadas a este tipo de eventos. Además de ejemplares de Siena y Wold Newton, Howard obtuvo varias muestras más, provenientes de diferentes lugares como: Benarés (India), Tabor (Bohemia, República Checa), Mesón del Fierro (Chaco, Argentina), y Steinbach (Turingia, Alemania) (MARVIN 2007).

En colaboración con el mineralogista francés Jacques-Louis de Bournon (1751-1825), Banks realizó el primer análisis científico exhaustivo de meteoritos. Ambos científicos descubrieron que las rocas obtenidas mostraban una corteza oscura y brillante, conteniendo además, diminutos «glóbulos curiosos» (hoy en día denominados cóndrulos⁴), distintos a todo lo observado en las rocas terrestres. Los científicos, también descubren que los ejemplares de hierro, contenían un alto porcentaje de níquel, hecho que no tenía comparación con el hierro normalmente encontrado en la Tierra. Por último, señalan que la muestra de Wold Newton se parecía mucho a una muestra de la lluvia de meteoritos en Siena, y a su vez a la muestra de Benarés. Todas estas observaciones y resultados fueron publicados por Howard en 1802 (MARVIN 2007). Afortunadamente para la fundación de

la ciencia meteorítica, las muestras examinadas por Howard y de Bournon eran condritas⁵ comunes, similares entre sí. Para Howard, sus resultados, aunado a los informes de los testigos de las caídas, disiparon toda duda sobre el origen extraterrestre de estas muestras pétreas



Figura 4. Fragmento del meteorito caído en Siena en 1794. Barra de escala = 1 cm.

Fuente: <https://www.meteorite-times.com/siena-italy-the-meteorite-that-started-it-all/>

EL METEORITO DE L'AIGLE (FRANCIA)

Finalmente, el 26 de abril de 1803, los habitantes de L'Aigle, una pequeña población de Normandía, a unos 150 kilómetros al oeste de París, en el departamento de Orne, fueron testigos de uno de los eventos más importantes en la historia de la meteorítica, donde presenciaron una bola de fuego en el cielo, seguida de estruendosas reverberaciones, así como una espectacular lluvia de mas de 3000 fragmentos (MARVIN 1996). El gobierno francés, en la persona de Jean-Antoine Chaptal (1756-1832), ministro del interior, y en representación de la Academia Francesa de Ciencias, envió al joven físico, y profesor universitario, Jean-Baptist Biot (Figura 5), a investigar el evento. Basándose en exhaustivas entrevistas con testigos, a lo largo de su ruta aproximándose a L'Aigle, Biot logró establecer la trayectoria aproximada de la bola de fuego (GARCÍA 2021). Durante tres semanas, también cartografió la zona donde habían caído los fragmentos, definiéndola como una gran elipse con eje orientado SE-NW, y con un tamaño aproximado de 11 kilómetros de largo, por 4,5 kilómetros de ancho, notando también que el eje longitudinal era paralelo a la trayectoria de la bola de fuego (KNOFEL y RENDTEL, 1994). El informe de Biot al ministro Chaptal, convenció a la mayoría de los científicos de la Academia Nacional, de que las rocas del cielo eran reales y provenían del espacio exterior (CASAS 2026).



Figura 5. Retrato del físico francés Jean-Baptiste Biot (1774-1862). Fuente: <https://www.canalacademies.com/emissions/au-fil-des-pages/la-meteorite-de-laigle>

Estos nuevos descubrimientos propiciaron una mayor aceptación de las ideas de Chladni, pero no todos quedaron convencidos. Aún existía, en parte de la comunidad científica, resistencia a aceptar los informes sobre la caída de rocas, ya que generalmente se trataba de relatos indirectos provenientes de zonas rurales y, por lo tanto, se consideraban sospechosos. Aquí radica la importancia del evento L'Aigle, de la visita de campo de nueve días, y del informe del propio Jean-Baptiste Biot. Biot fue sistemático y cuidadoso en la recopilación de pruebas, realizando su investigación, como ya se mencionó, directamente en el lugar de la caída (GOUNELLE 2006). Así mismo, se encargó de obtener personalmente, los testimonios de una muestra diversa de testigos presenciales, tomando en cuenta su credibilidad y posibles sesgos, y estableciendo así, la fiabilidad de los relatos. Finalmente, Biot observó y enfatizó las diferencias en la composición y estructura entre las rocas caídas (Figura 6), y la geología local de la zona.

EL REPORTE DE BIOT

Mediante un meticuloso trabajo de campo, casi una investigación policial, Biot recopiló diversos testimonios de testigos oculares y analizó muestras de rocas de los alrededores, presentando finalmente evidencia convincente que apoyó el origen extraterrestre de las piezas caídas. En primer lugar, Biot observó que la composición de las muestras difería significativamente de la de cualquier material local, pero presentaba sorprendentes similitudes con muestras previamente

documentadas de bolas de fuego de otros lugares. Esta observación sugería una fuente extraterrestre común para estas rocas. Biot enfatizó: «Las fundiciones, las fábricas y las minas de los alrededores que he visitado no presentan nada en sus productos, ni en sus escorias, que guarde relación con estas sustancias. Tampoco se observa ningún rastro de volcanes en la región» (GOUNELLE 2006).



Figura 6. Meteorito (condrita) de L'Aigle, Orne, Francia. Caído el 26 de abril de 1803 a las 13:00 h. Galería de Mineralogía y Geología del Museo Nacional de Historia Natural de Francia, París. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Meteorite_L%27Aigle_MNHN_Min%C3%A9ralogie.jpg

En segundo lugar, Biot informó haber entrevistado personalmente a numerosos testigos que, de forma independiente, afirmaron haber observado una «lluvia de piedras lanzadas por la bola de fuego». Estos testigos provenían de diversos orígenes, y Biot argumentó que sería inverosímil creer que se habían puesto de acuerdo entre sí, para inventar una descripción de un evento que no ocurrió (GARCÍA 2021). Esta combinación de evidencia geológica y relatos de testigos presenciales brindó un sólido respaldo a la idea de que los meteoritos tenían un origen extraterrestre. El apasionado artículo escrito por Biot en 1803 (Figura 7), en el que afirmaba inequívocamente el origen extraterrestre de las «piedras de la lluvia de meteoritos de L'Aigle», marca un hito histórico en la nueva ciencia de la meteorítica. Por lo tanto, el informe de Biot se convirtió en el sello definitivo, en principio para la comunidad científica francesa (GOUNELLE 2006), que condujo a la final aceptación del origen extraterrestre de los meteoritos, como había propuesto Chladni en su libro en 1794.

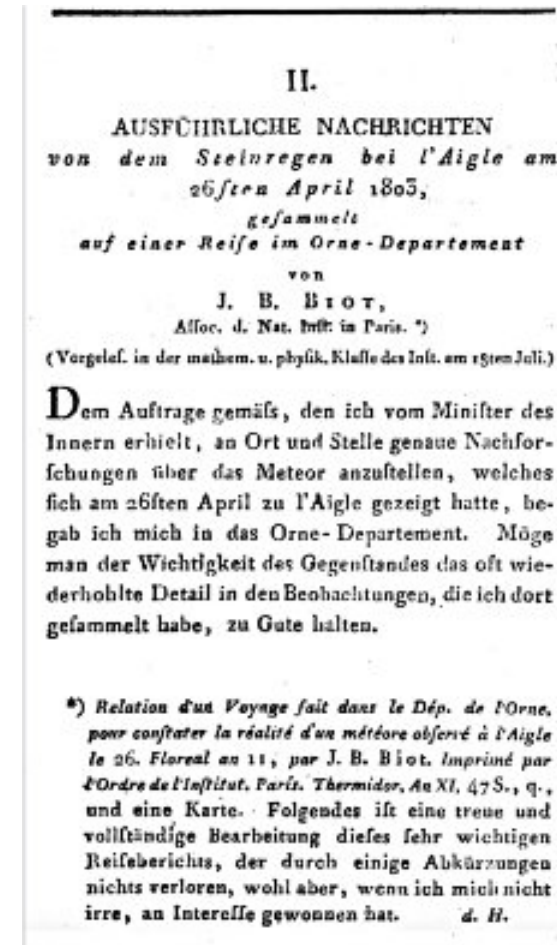


Figura 7. Portada del reporte de Biot acerca del evento L'Aigle, al Instituto Nacional de Ciencias, París (1803).

Fuente:

<http://www.fallingrocks.com/Collections/pdfs/BiotReport.pdf>

COMENTARIOS FINALES

Varios años después de la publicación del libro de CHLADNI (1794), los astrónomos comenzaron a realizar descubrimientos revolucionarios que reforzaron la idea de la existencia de objetos extraterrestres en el sistema solar. El 1 de enero de 1801, Giuseppe Piazzi (1746-1826), identificó el asteroide Ceres, lo que marcó la primera detección de lo que hoy conocemos como cinturón de asteroides. Heinrich Olbers (1758-1840), continuó esta tendencia, con el descubrimiento del asteroide Palas, el 28 de marzo de 1802. Simultáneamente, y como ya se mencionó, ese mismo año de 1802, los químicos Jacques-Louis de Bournon y Edward C. Howard publicaron su análisis de las muestras de varios meteoritos, revelando composiciones químicas y contenidos minerales distintivos que los diferenciaban de las rocas terrestres. Estos hallazgos reforzaron definitivamente, la idea de que los meteoritos eran, en efecto, de origen extraterrestre.

El gran logro astronómico de Chladni fue probablemente su metodología científica y rigurosa, que lo llevó a elaborar su argumento de que los meteoritos tenían un origen cósmico. Grandes pensadores y científicos, a lo largo de la historia, incluyendo a Aristóteles y Newton, creyeron previamente que su origen era terrestre, ya sea con explicaciones de orígenes atmosféricos, o a través de erupciones volcánicas. Chladni determinó además, que la velocidad del movimiento de las rocas a través de la atmósfera no podía atribuirse únicamente a la fuerza de gravedad (CHLADNI 1794, 1798).

En su última publicación acerca de meteoritos, efectuada en el *Philosophical Magazine and Journal* (CHLADNI 1826), un año antes de su muerte, el autor finaliza su disertación de una manera simple pero concluyente, escribiendo: «Reuní los resultados de todas las observaciones existentes sobre la altura, velocidad y movimiento de las bolas de fuego en las divisiones 2.^a, 3.^a y 4.^a de mi trabajo, que deberían ser conocidas previamente para formarse una opinión sobre el origen de los meteoros. Además, habiendo mencionado con cada fenómeno las fuentes de donde extraje mi información, los detalles adicionales pueden encontrarse fácilmente consultándolas; y finalmente, en la última división del trabajo, he recopilado los resultados de las mismas, mediante los cuales se dilucidan las pruebas de su origen cósmico y de la imposibilidad de que sean producto de nuestra tierra o nuestra atmósfera, de la manera más simple y natural» (CASAS 2026).

Chladni desarrolló su registro de avistamientos de meteoritos durante décadas, además de reunir una impresionante colección de ejemplares de ejemplares (Figura 8). Donó este conjunto, la mayor colección privada de meteoritos de la época (41 piezas), al Museo Mineralógico de la Universidad de Berlín en 1827, y hoy en día se encuentra en el Museo de Historia Natural de la Universidad Humboldt de Berlín. En su testamento, aparte de donar sus meteoritos, dejó 5.000 táleros⁶ para su arrendatario, 600 para los pobres y 600 para la ciudad de Kemberg para un nuevo reloj de torre y pavimento.

En 1994, Chladni recibió un merecido reconocimiento especial, cuando un nuevo mineral de fosfato $[\text{NaCaMg}(\text{PO}_3)_2]$, recibió el nombre de chladniita en su honor. Este mineral fue descubierto en el meteorito de hierro denominado Carleton, procedente de Texas (McCOY et al, 1994).



Figura 8. Meteorito de hierro pétéreo (202 gr), hallado en 1749 en la región de Krasnoyarsk, Rusia. Descrito como el primer meteorito de hierro de Pallas, formó parte de la colección Chladni, hoy día en el Museo de la Universidad Humboldt (Berlín). Fuente: https://euromin.w3sites.net/Nouveau_site/musees/berlin/Website-dt/Chladni-1.html

NOTAS ADICIONALES

1 Un meteorito es el fenómeno luminoso de una «estrella fugaz» o «bola de fuego» que ocurre cuando un meteoritoide, una roca espacial, entra en la atmósfera terrestre y se desintegra por el calor de la fricción con el aire. Un meteorito es el fragmento sólido de ese

REFERENCIAS

- BATTISTA, M. 2023. Cuando las estrellas marcan el camino de los filósofos: Anaxágoras y el meteorito de Egospótamos. *Eidos*, 41: 15-41. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-88572024000100015
- CASAS, J.E. 2025. Mount Vesuvius. A Monument to Nature's Raw Power and Human Vulnerability. *MAYA Revista de Geociencias*, Agosto, 84-92. <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/07/Revista-Maya-Geociencias-Agosto-2025.pdf>
- CASAS, J.E. 2026. Las rocas que cayeron del cielo. El origen de la meteorítica. Ernst Florenz Chladni (1756-1827). *Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat*. 71: 70-82. <https://acading.org.ve/boletin-de-la-anih/>
- CHLADNI, E.F.F. 1794. Ueber den Ursprung der von Pallas gefundenen und anderer ihr ähnlicher Eisenmassen und über einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen (*O pochodzeniu znalezionych przez Pallas i o innych podobnych masach żelaznych oraz o pewnych z tym związanych zjawiskach natury*), Lipsk i Ryga, 63 p. <https://digital.slib-dresden.de/werkansicht/dlf/79533/5?tx_dlf_navigation%5Bcontroller%5D=Navigation&cHash=2b7eef6229ba85ff2b6ec7ffb9f4c277>
- CHLADNI, E.F.F. 1798. Observations on a Mass of Iron found in Siberia by Professor Pallas, and on other Masses of the like Kind, with some Conjectures respecting their Connection with certain natural Phenomena, *Philosophical Magazine and Journal*, 2: 1-8 <<https://www.biodiversitylibrary.org/item/52994#page/15/mode/1up>>
- CHLADNI, E.F.F. 1803. Chronologisches Verzeichniss der mit einem Feuermeteor Niedergefallenen Stein-und Eisenmasses, nebst einigen Bemerkungen. *Annalen der Physik*. 15: 307-339 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18030151107>>

meteoritoide que sobrevive a su paso por la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra.

- 2 Alexander von Humboldt comenta en su libro «Cosmos» (Tomo I, página 268): «Respecto á la espresion tan repetida lapidibus pluit, sábase ya que no siempre se refiere á la caída de aereolitos. Así, en el libro XXV, c. 7. estas palabras designan *rapillis*, esto es, fragmentos de piedra pomez arrojados por un volcán no completamente estinguido».
- 3 Las pallasitas son una clase de litosideritos con una matriz de hierro metálico. Pallasita, es un término descriptivo/textural para rocas muy antiguas de olivino/metal. El nombre de pallasita también se aplica al tipo de agregado mineral del que se componen estos aerolitos.
- 4 Los cóndrulos son granos redondeados que se encuentran en meteoritos condriticos, formados por esferas submilimétricas fundidas o parcialmente fundidas en el espacio, de hierro-níquel y minerales de silicato. Estudiar su composición y estructura ofrece pistas valiosas sobre las condiciones y procesos que ocurrieron durante la creación del sistema solar.
- 5 Las condritas o condritos son meteoritos no metálicos (rocosos) que no han sufrido procesos de fusión o de diferenciación en los asteroides de los que proceden. Representan el 85 % de los meteoritos que caen a la Tierra.
- 6 El tálero (del alemán: Taler o Thaler) es una antigua moneda de plata que apareció a principios del siglo XVI y que circuló primero en Europa, principalmente en Alemania, y luego en el resto del mundo durante casi cuatrocientos años

- CHLADNI E.F.F. 1826. A new Catalogue of Meteoric Stones, Masses of Meteoric Iron, and other Substances, the Fall of which has been made known, down to the present Time, *Philosophical Magazine and Journal*, LXVII: 179-181. <<https://www.biodiversitylibrary.org/item/53100#page/19/mode/1up>>
- GARCÍA, G. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) y el origen de los meteoritos. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 115: 131-146. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890983>>
- GOUNELLE, M. 2006. The meteorite fall at L'Aigle and the Biot report: exploring the cradle of meteoritics in: McCALL, G.J.H., BOWDEN, A.J. & HOWARTH, R.J. (eds). *The History of Meteoritics and Key Meteorite Collections: Fireballs, Falls and Finds. Geological Society, London, Special Publications*, 256: 73-89. <https://www.researchgate.net/publication/249551093_The_meteorite_fall_at_L%27Aigle_and_the_Biot_report_Exploring_the_cradle_of_meteoritics>
- HOREJSI, M. 2019. The Johnstown Meteorite: Crater Symbolism?. Recuperado el 6 de octubre, 2025 de <<https://www.meteorite-times.com/the-johnstown-meteorite-crater-symbolism/>>
- KNOFEL, A. & RENDTEL, J. 1994. Chladni and the Cosmic Origin of Fireballs and Meteorites. *WGN, Journal of the IMO*, 22(6): 217-219. <<https://adsabs.harvard.edu/full/1994JIMO...22..217K>>
- McCOY, T., STEELE, I., KEIL, K. LEONARD, B. & ENDRESS, M. 1994. Chladniite, Na₂CaMg₇(PO₄)₆: A new mineral from the Carlton (IIICD) iron meteorite. *American Mineralogist*, 79: 375-380.
- MARVIN, U. 1996. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the origins of modern meteorite research. *Meteoritics and Planetary Science*, 31: 545-588. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.1996.tb02031.x>>
- MARVIN, U. 2007. Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) and the origins of modern meteorite research. *Meteoritics and Planetary Science*, 42(9): 3-67. <<https://lweb.cfa.harvard.edu/~loeb/UM1.pdf>>
- THEODOSIOU, E., NIARCHOS, P., MANIMANIS, V & ORCHISTON, W. 2002. The fall of a meteorite at Aegos Potami in 467/6 BC. *Journal of Astronomical History and Heritage*. 5(2): 135-140. <<https://adsabs.harvard.edu/full/2002JAHH....5..135T>>
- TORRIJOS CASTRILLEJO, D. 2013. Anaxágoras de Clazomene, en FERNÁNDEZ F. & MERCADO, J. (editores), *Philosophica: Enciclopedia filosófica on line*. <<http://www.philosophica.info/archivo/2013/voces/anaxagoras/Anaxagoras.html>>
- ULLMANN, D. 2007. Life and work of E.F.F. Chladni. *European Physical Jour. Special Topics*. 145: 25-32. <https://monoskop.org/images/6/68/Ullmann_D_2007_Life_and_work_of_EFF_Chladni.pdf>

REFERENCIAS DETALLADAS DE LAS TODAS PUBLICACIONES DE ERNST F. F. CHLADNI

<http://wiki.meteoritica.pl/index.php5/Bibliografia/Chladni_Ernst_F.F.>



jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 39 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú. Autor/Co-autor en 67 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de más de 66 artículos de divulgación científica. Profesor de Geología del Petróleo (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2025), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 12 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Councillor para AAPG LACR (2023-2026).

FUNDAMENTOS DE TECTÓNICA GLOBAL Y SISMOLOGÍA MODERNA: UN ENFOQUE ESPECIAL EN LA DINÁMICA DEL CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO

Luis Ángel Valencia Flores
Editor de la Revista

Introducción

El planeta Tierra posee una **dinámica interna sumamente compleja** que se manifiesta en la superficie a través de fenómenos drásticos como las erupciones volcánicas y los movimientos sísmicos. Esta actividad es el resultado de procesos termodinámicos profundos donde el calor interno genera **corrientes de convección** en el manto, impulsando el movimiento de la capa más externa y rígida de la Tierra: la litósfera. La teoría de la **tectónica de placas** constituye el paradigma unificador que explica cómo esta corteza, fragmentada en grandes bloques, interactúa en sus límites para dar forma a la geografía global y distribuir la sismicidad en el mundo.

La sismología moderna ha demostrado que los terremotos no ocurren de forma aleatoria, sino que se concentran en cinturones estrechos que coinciden con los bordes de estas placas tectónicas. De todos estos entornos, el **Cinturón de Fuego del Pacífico** destaca como la región de mayor intensidad geológica, concentrando la mayoría de las zonas de subducción activas donde una placa oceánica se hunde bajo otra, alcanzando profundidades de hasta 700 km en las llamadas **Zonas de Wadati-Benioff**. Estas interacciones no solo generan los sismos más potentes y devastadores, sino que también son el motor del magmatismo que construye arcos volcánicos continentales e insulares.

El estudio de estos fenómenos es de vital importancia para la humanidad, ya que los sismos representan uno de los riesgos naturales más destructivos. A través de la geofísica y el análisis de las **ondas sísmicas**, los científicos han

logrado no solo mapear el interior inalcanzable de nuestro planeta, sino también desarrollar herramientas para la **mitigación de riesgos** y el diseño de infraestructuras resistentes.

Este manuscrito tiene como objetivo explorar la relación intrínseca entre la dinámica de las placas tectónicas y la sismicidad global, con un enfoque especial en la mecánica de subducción del Cinturón de Fuego del Pacífico. A través del análisis de casos críticos como **Japón y México**, y la revisión de las herramientas tecnológicas actuales, se busca ofrecer una visión integral de los procesos que rigen la vida en un planeta geológicamente activo.

1. Fundamentos de la Tectónica de Placas y Sismicidad.

La **tectónica de placas** es la teoría unificadora que explica que la capa externa y rígida de la Tierra, conocida como **litósfera**, no es una masa continua, sino que está fragmentada en una serie de bloques independientes llamados placas tectónicas. Estas placas "flotan" sobre la **astenosfera**, una capa del manto superior compuesta por roca plástica y dúctil que permite el movimiento.

1.1. El motor del movimiento: Convección del Manto

El desplazamiento de estas placas es impulsado por **corrientes de convección** profundas en el manto terrestre. Estas corrientes son el resultado de la búsqueda de equilibrio térmico del planeta; el material caliente y menos denso asciende, mientras que el material frío y denso desciende, generando un flujo constante que rompe y transporta la litósfera.

1.2. Relación entre sismicidad y límites de placas

La sismología ha sido fundamental para validar esta teoría. Los mapas de sismicidad mundial revelan que los **epicentros de los terremotos** no se distribuyen al azar, sino que se alinean en cinturones estrechos y continuos que demarcan precisamente los **límites de las placas litosféricas**. La interacción en estos bordes genera una

acumulación de energía elástica que, al liberarse súbitamente, produce las ondas sísmicas.

1.3. Tipos de límites tectónicos y su comportamiento sísmico

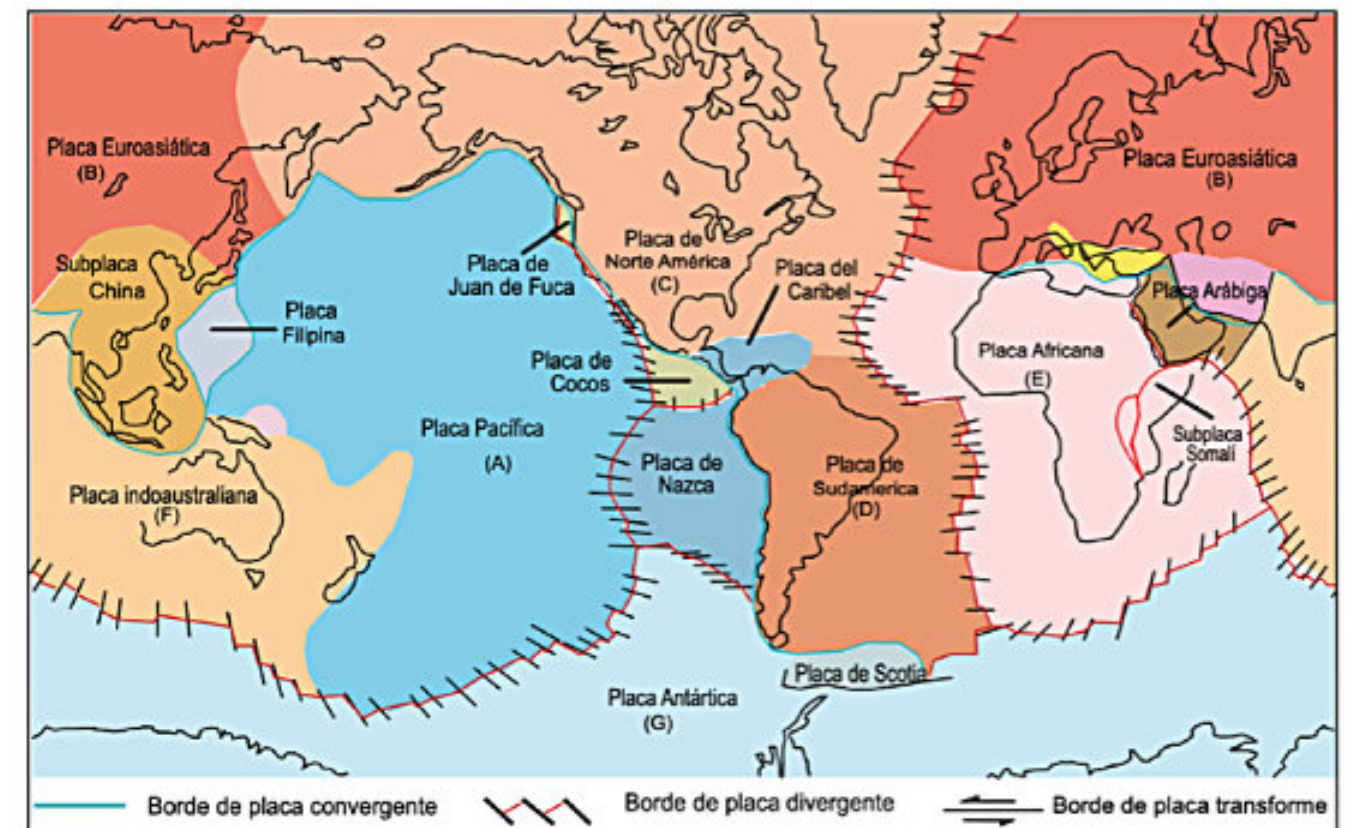
Existen tres tipos principales de interacciones en los bordes de las placas, cada uno con características sísmicas distintivas:

- **Límites Convergentes (Zonas de Subducción):** Ocurren cuando dos placas colisionan y la más densa se hunde bajo la otra hacia el manto. Estas zonas son responsables de los sismos más profundos y potentes del mundo, alcanzando hipocentros de hasta **700 km de profundidad** en lo que se conoce como las **Zonas**

de Wadati-Benioff.

- **Límites Divergentes (Dorsales Oceánicas):** En estos bordes las placas se separan, permitiendo que el magma ascienda para formar nueva corteza oceánica. Aunque hay actividad sísmica y volcánica constante a lo largo de las dorsales y rifts, los sismos suelen ser de menor magnitud en comparación con las zonas de subducción.

Límites Transformantes (Fallas de Deslizamiento): Aquí las placas se deslizan lateralmente una respecto a la otra sin crear ni destruir litósfera. El movimiento es puramente horizontal y puede generar sismos severos debido a la fricción acumulada entre los bloques continentales u oceánicos, como es el caso de la Falla de San Andrés.



Mapa de las placas tectónicas alrededor de la Tierra. Modificada de (Hamblin & Christiansen, 2004).

2. El Cinturón de Fuego del Pacífico y Zonas de Subducción

El **Cinturón de Fuego del Pacífico** es un cordón de actividad geológica intensa que rodea el Océano Pacífico,

caracterizado por concentrar la mayor parte de las zonas de subducción activas en el mundo. En este entorno, la litósfera oceánica se consume al hundirse bajo los márgenes continentales o arcos de islas, un proceso que

no solo genera grandes cadenas montañosas y volcanes, sino que es la fuente de los sismos más profundos y devastadores.

2.1. Zonas de Wadati-Benioff: La radiografía de la subducción

Uno de los descubrimientos más importantes de la sismología es la existencia de las **Zonas de Wadati-Benioff**. Estas se definen como planos inclinados de focos sísmicos (hipocentros) que se extienden desde la superficie hasta profundidades críticas de aproximadamente **700 km**. Estos sismos delinean con precisión la posición y el ángulo de descenso de la placa que se introduce en el manto, permitiendo a los científicos visualizar la geometría de la placa subducida en el interior terrestre.

2.2. Mecanismos sísmicos según la profundidad

La actividad sísmica en el Cinturón de Fuego no es uniforme; los sismos ocurren por diferentes causas físicas dependiendo de la profundidad a la que se encuentre la placa en descenso:

1. Flexión litosférica (0-25 km): Antes de hundirse totalmente, la placa oceánica se curva, generando esfuerzos de tensión en su parte superior que producen fallas normales y sismos superficiales.

2. Fricción entre placas (Zona de acoplamiento): Ocurre por el contacto directo y el roce entre la placa superior y la inferior, produciendo sismos de gran magnitud debido a la acumulación de energía elástica.

3. Fragilización por deshidratación (Zona de Benioff): A medida que la placa desciende y se calienta, los minerales hidratados (como la serpentinita) sufren metamorfismo y liberan agua. Este fluido aumenta la presión en los poros de la roca, reactivando fallas antiguas y permitiendo fracturas frágiles a profundidades donde, por la alta temperatura, la roca debería fluir plásticamente.

4. Cambios de fase mineral (300-700 km): En las zonas más profundas, el **olivino** (mineral principal del manto) se transforma estructuralmente en **espinela** (wadsleyita y

ringwoodita) debido a la presión extrema. Este cambio de fase genera un aumento de densidad y produce fallas laterales que disparan sismos profundos.

2.3. El vínculo entre sismos y magmatismo

La subducción en el Cinturón de Fuego es también el motor del vulcanismo. El componente de agua liberado por la placa subducida reduce la temperatura de fusión de las rocas del manto suprayacente (astenosfera), induciendo su **fusión parcial**. El magma resultante, menos denso, asciende para formar los **arcos volcánicos** (como los Andes o el arco japonés). La sismicidad detectada por estaciones sismográficas a menudo precede a las erupciones, ya que el movimiento del magma desde la astenosfera hacia la superficie genera enjambres sísmicos característicos.

3. Casos de Estudio Regionales: Japón y México

La actividad geológica en el Cinturón de Fuego se manifiesta de manera distinta según la configuración de las placas involucradas. Japón y México representan laboratorios naturales únicos para entender cómo la subducción y el movimiento de múltiples placas generan riesgos sísmicos y volcánicos diferenciados.

3.1. Japón: Un archipiélago de colisiones múltiples

El archipiélago japonés es un arco de islas que se formó principalmente durante el Neógeno como resultado de una compleja interacción tectónica. Su estructura es el producto de la subducción de la **placa Filipina** y la **placa del Pacífico** por debajo de la **placa Euroasiática**.

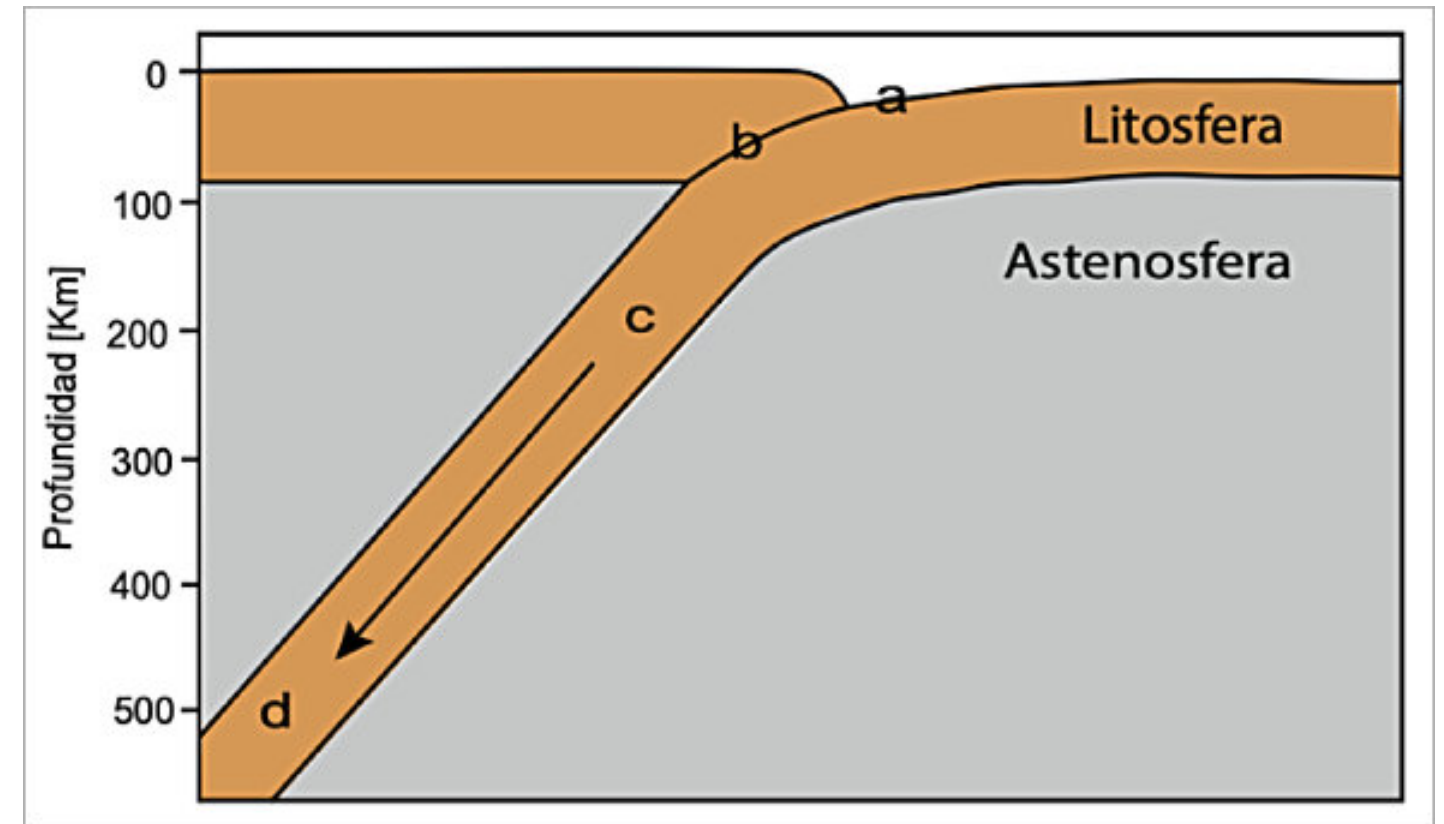
- **Configuración Regional:** El arco japonés se divide en dominios con características sísmicas específicas. Por ejemplo, el arco del noreste (NE Honshu) se distingue por tener **tasas de subducción rápidas** que provocan una **alta sismicidad**. En contraste, el arco del suroeste incluye zonas de colisión que han levantado altas cadenas montañosas centrales.
- **Formación de Cuencas:** Esta dinámica no solo creó montañas, sino que también generó la apertura del **Mar de Japón**, una cuenca de trasarco que separa el

archipiélago del continente asiático.

- **Importancia Científica:** La región de **Izu-Bonin** es fundamental para la sismología y la geoquímica, ya

que el análisis de cenizas volcánicas ha permitido rastrear los cambios en la composición de las placas subducidas durante los últimos 42 millones de años.

3.2. México: El punto de encuentro de cinco placas



Modelo de una zona de subducción. Tomada de (Kearey, Klepeis, & Vine, 2009).

México es una de las regiones tectónicamente más complejas del mundo debido a que en su territorio **confluyen cinco placas tectónicas:** la Norteamericana, la del Pacífico, la de Rivera, la de Cocos y la del Caribe.

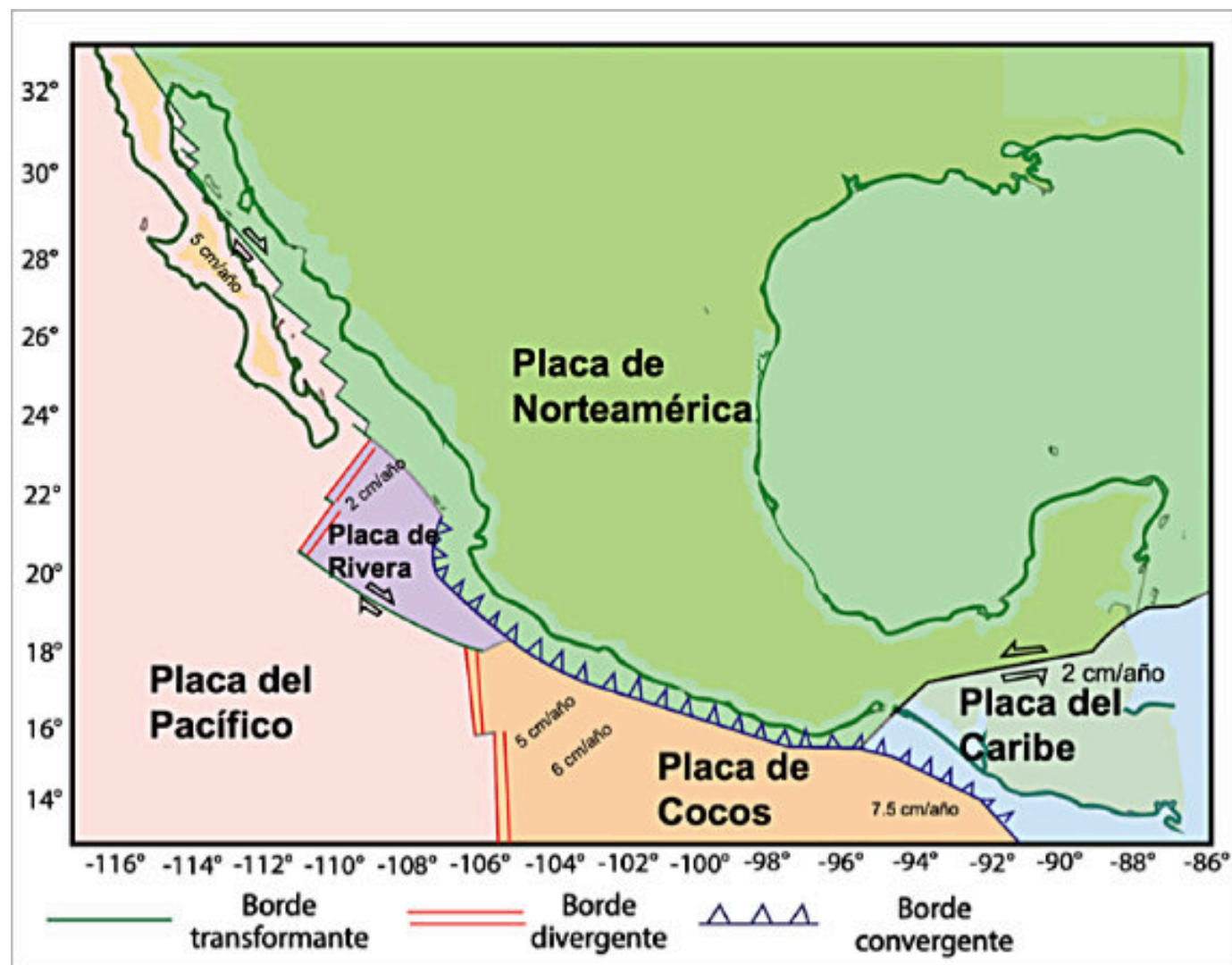
□ Dinámica de las Placas:

- **Placa de Cocos y Rivera:** Estas placas oceánicas subducen debajo de la placa Norteamericana a lo largo de la **Trinchera Mesoamericana**. La placa de Cocos entra con un ángulo subhorizontal, lo que explica por qué el vulcanismo (como la **Faja Volcánica Transmexicana**) ocurre más adentro del continente y no de forma paralela a la costa.
- **Placa del Pacífico:** Se desplaza hacia el noroeste con respecto a la placa Norteamericana a través del **Sistema de Fallas de San Andrés**, alejando la

Península de Baja California del resto del país a una velocidad de unos 3.5 cm/año.

□ **Zonificación del Riesgo Sísmico:** El país se divide en cuatro zonas de riesgo: **Bajo** (noreste), **Moderado** (centro y noroeste), **Alto** (sur) y **Severo** (franja paralela a la costa del Pacífico). Esta última zona es donde históricamente han ocurrido los sismos más devastadores.

□ **Sismos Históricos y "Brechas":** Eventos como los terremotos de **1985 (8.1 Mw)** y **2017 (8.2 y 7.1 Mw)** han marcado la historia del país. Actualmente, los sismólogos vigilan con especial atención las **"brechas"** (como la de Guerrero o Jalisco), que son segmentos de bordes de placa donde no han ocurrido sismos mayores a magnitud 7 en más de 50 años, acumulando una gran cantidad de energía potencial.



Distribución y localización de las Placas Tectónicas del territorio mexicano. Las flechas indican velocidades relativas de movimiento y dirección de las placas involucradas. Modificada de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Evolucion-tectonica-Mexico.html>

4. Herramientas de Medición y Datos Técnicos

La comprensión moderna de la sismicidad y la tectónica de placas no sería posible sin el desarrollo de tecnologías avanzadas que permiten "ver" el interior de la Tierra y medir con precisión los movimientos de su corteza. Estas herramientas proporcionan la base de datos necesaria para la mitigación de riesgos y la investigación científica profunda.

4.1. Ondas Sísmicas: Mensajeras del interior terrestre

El estudio de las ondas elásticas generadas por los sismos, o sismología, es la técnica principal para descifrar la

estructura interna del planeta. Las fuentes identifican tipos de ondas con comportamientos físicos distintos:

- **Ondas de cuerpo:** Incluyen las **ondas Primarias (P)**, que son compresionales, las más veloces y las primeras en llegar; y las **ondas Secundarias (S)**, que son de cizalla y más lentas. Un dato técnico crucial es que las ondas S no pueden atravesar líquidos, lo que permitió a los científicos confirmar que el núcleo externo de la Tierra es fundido.
- **Ondas superficiales:** Se desplazan por la capa externa y son las principales responsables de los daños materiales. Destacan las **ondas Rayleigh**, con un

movimiento elíptico en el plano vertical, y las **ondas Love**, que implican un movimiento de cizalla horizontal.

4.2. Instrumentación y Redes de Monitoreo

Desde los registros históricos de Zhang Heng (quien inventó el primer instrumento de detección en el siglo II) hasta la actualidad, la tecnología ha avanzado hacia estaciones digitales de alta fidelidad.

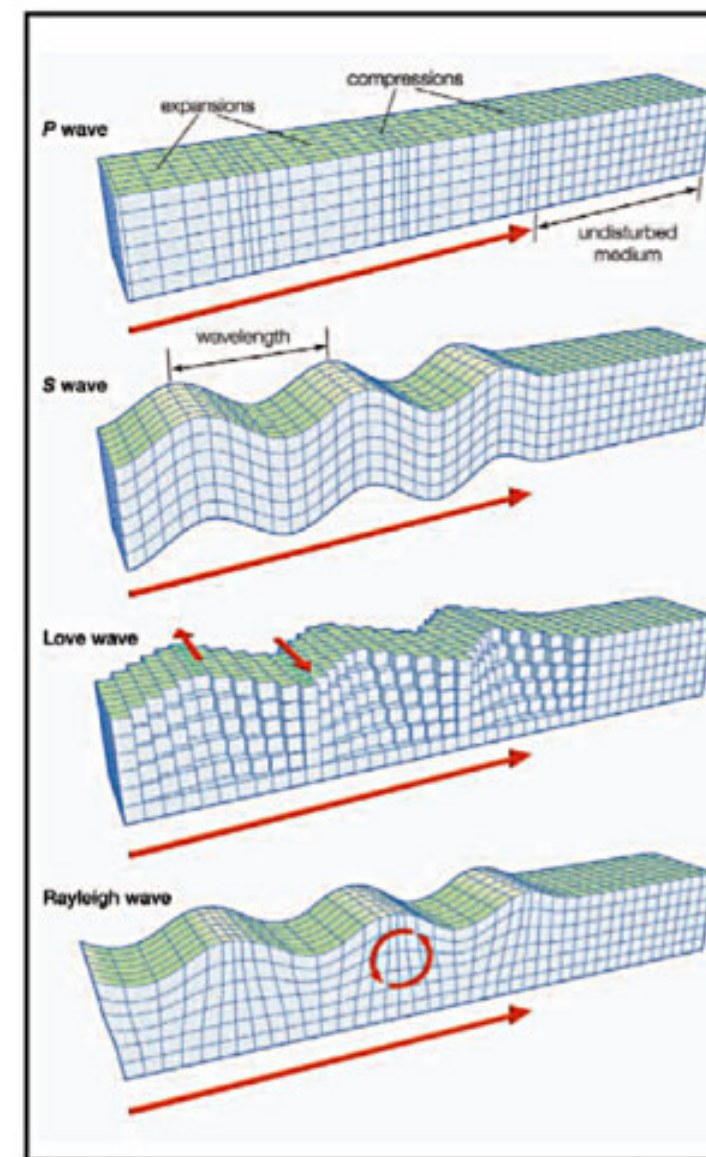
□ **Sismómetros y Sismógrafos:** Los equipos modernos de tres componentes (ejes x, y, z) miden la velocidad y aceleración del terreno en un amplio rango de magnitudes.

□ **Redes Globales:** Hoy existen más de **1,000 estaciones sismográficas** interconectadas en todo el mundo. Estos

datos se utilizan para compilar mapas de sismicidad que confirman que los epicentros se alinean casi exclusivamente en los límites de las placas litosféricas.

4.3. GPS y Geodesia Satelital: Midiendo la deriva en milímetros

Aunque originalmente el GPS se utilizaba para navegación, la geodesia satelital ha transformado la sismología. El uso de estaciones GPS fijas permite obtener datos cuantitativos sobre el movimiento relativo de los bloques corticales en una **escala de milímetros**. Esta precisión permite observar cómo se "carga" una falla antes de un gran terremoto, midiendo la deformación elástica de las rocas en zonas de contacto de placas.



Los principales tipos de ondas sísmicas: P, S, Love, y Rayleigh. Tomado de la Enciclopedia Británica, Inc.

4.4. Métodos Geofísicos Complementarios

Para obtener un panorama completo de las estructuras tectónicas, se emplean otros métodos que miden propiedades físicas intrínsecas:

□ **Gravimetría:** Utiliza **gravímetros** para detectar variaciones en la densidad de las rocas del subsuelo, identificando fallas o cuerpos magmáticos con una precisión de hasta una parte en 100 millones .

□ **Magnetometría:** Mide las anomalías del campo magnético terrestre inducidas por rocas ricas en minerales magnéticos como la magnetita, lo que ayuda a mapear fallas y estructuras ígneas ocultas bajo la superficie.

Conclusiones

1. Interdependencia entre Termodinámica y Tectónica: La dinámica de las placas litosféricas no es un fenómeno aislado, sino el resultado directo de procesos termodinámicos profundos. El flujo de calor interno y la búsqueda de equilibrio térmico generan las corrientes de convección que fragmentan la litósfera y dictan el movimiento de las placas, demostrando que **la presión, el volumen y la temperatura (PVT)** son los parámetros físicos que gobiernan la evolución de la corteza.

2. El Rol Crítico de las Zonas de Subducción: El Cinturón de Fuego del Pacífico representa el entorno geológico más dinámico del planeta debido a la predominancia de bordes convergentes. Las **Zonas de Wadati-Benioff** son fundamentales para la comprensión científica, ya que no solo permiten mapear la placa que desciende hasta los 700 km de profundidad, sino que explican por qué en estas regiones se originan los sismos de mayor magnitud y los procesos de magmatismo que forman arcos volcánicos.

3. Vulnerabilidad y Especificidad Regional: Casos como los de **Japón y México** ilustran que la peligrosidad sísmica

depende de configuraciones tectónicas específicas. En México, la confluencia de cinco placas genera una segmentación del riesgo donde la franja del Pacífico es la más vulnerable. La identificación de **"brechas sísmicas"** (como las de Guerrero o Jalisco) subraya la importancia de la vigilancia constante en áreas donde la energía acumulada no se ha liberado en décadas.

4. La Tecnología como Herramienta de Mitigación: Aunque la predicción exacta de terremotos sigue siendo un desafío, el avance en la sismología y la geodesia satelital (GPS) ha transformado nuestra capacidad de respuesta. La capacidad de medir movimientos milimétricos en la corteza y modelar el interior terrestre mediante ondas sísmicas permite hoy diseñar infraestructuras más resistentes y establecer sistemas de alerta temprana que son vitales para reducir la pérdida de vidas humanas.

Referencias

Mori, L., & Becerra Torres, E. (2022). *Apuntes de Geoquímica* (1ª ed.). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

○Nota: *Aportó el contexto didáctico sobre la diferenciación química de la Tierra y el reciclaje de materiales en las zonas de subducción.*

Rafferty, J. P. (Ed.). (2012). *Geological Sciences* (1ª ed.). Britannica Educational Publishing.

○Nota: *Se utilizó para los fundamentos históricos de la sismología, la clasificación técnica de las ondas sísmicas (P, S, Love y Rayleigh) y la estructura interna de la Tierra.*

Soto Ayala, R., Arellano Gil, J., Pérez Martínez, A. L., Muñoz Hernández, G., & Rojas Tapia, A. (2023). *Termodinámica para Ciencias de la Tierra: fundamentos y aplicaciones* (1ª ed.). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

○Nota: *Esta fue la fuente principal para la mecánica de subducción (Capítulo 24), los mapas de placas tectónicas de México y Japón, y la física de las Zonas de Wadati-Benioff.*

Campo volcánico “El Pinacate”: Una historia contada por rocas

¹Martínez-Valencia, D., ¹²Enríquez-Navarro, J. A.,
³Velderrain-Rojas, L. A.

¹Maestría en Ciencias-Geología, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000.

²Servicio Geológico Mexicano, Unidad Hermosillo, Hermosillo, Sonora, C.P.83180

³Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 83000.

1. Introducción

El Campo Volcánico El Pinacate (CVP) se localiza en el extremo NW del Estado de Sonora, próximo a la terminación septentrional del Golfo de California y comprende una superficie de aproximadamente 3000 km². En él se reconocen dos grandes eventos de volcanismo Neógeno Cuaternario: el Evento Pre-Pinacate neógeno y el evento más joven de edad Cuaternario a Histórico de afinidad alcalina conocido propiamente como Evento Pinacate y fechado en 1.5 Ma a 10 K (Vidal-Solano et al., 2005). El evento volcánico Pinacate está representado por un volcán escudo que actualmente cubre el área de aproximadamente 1350 km² formada por conos

volcánicos, derrames de lava y emisiones piroclásticas (Cázares, 2004) y que, a su vez, originó cerca de 400 volcanes cineríticos. Entre los volcanes más representativos, se encuentran el cráter “El Colorado” y el cráter “El Elegante”.

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer algunos rasgos geológicos de las unidades volcánicas que conforman a estos cráteres. Este estudio se llevó a cabo a través de un análisis de los estudios previos, un trabajo de campo y un análisis petrográficos de unidades representativas. Además, se integra a este estudio, el reconocimiento de las rocas magmáticas más antiguas del CVP.

2. Localización

El Campo Volcánico Pinacate (CVP) se ubica en la parte NW del estado de Sonora en México, al NE del Golfo de California, muy cercano al límite de placas Pacífico-Norteamérica (Figura 1). El CVP forma parte del Gran Desierto de Altar.

El cráter “El Colorado” (localidad 1) se ubica en las coordenadas 282415mE, 353424012mN, en el límite Este del CVP (Figura 1). El cráter “El Elegante” (localidad 3), se ubica al sur a 14 Km del cráter “El Colorado”. Finalmente, las rocas más antiguas son localizadas al norte del cráter “El Colorado” (localidad 2) (Figura 1).

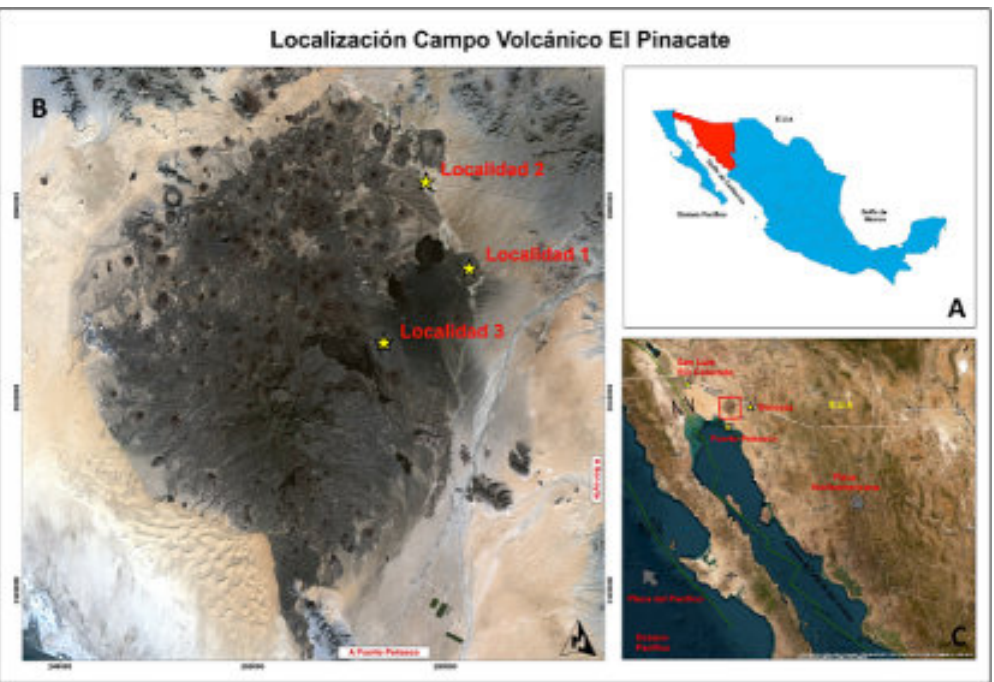


Figura 1: a) Localización geográfica del CVP. b) Localidades estudiadas dentro del Campo Volcánico El Pinacate al NW del Estado de Sonora en México. La localidad 1 corresponde a el cráter “El Cerro Colorado”. La localidad 2 corresponde a los afloramientos que representan a las unidades magmáticas más antiguas del área y la localidad 3 corresponde al cráter “El Elegante”. c) Localización del CVP y límite de placas Pacífico-Norteamérica.

*A solicitud de varios lectores de la revista, estamos publicando de nuevo este artículo.

3. Contexto fisiográfico, geomorfológico y geológico

El área estudiada forma parte del dominio sur de la provincia fisiográfica del "*Basin and Range*", caracterizada por el arreglo paralelo y discontinuo de angostas sierras y amplios valles orientados en dirección NNW-SSE (Henry y Aranda-Gómez, 1992) y de la Provincia Extensional del Golfo (Stock y Hodges, 1989). Localmente se emplean los nombres de provincia fisiográfica del Desierto Sonorense, o provincia Llanura Sonorense. Específicamente se encuentra en la Subprovincia del Desierto de Altar. Las geoformas que dominan esta zona son campos de dunas móviles con lomeríos que llegan a alcanzar alturas de más de 100 metros y que, en algunos casos, cubren afloramientos de poca altura. También están presentes llanuras aluviales con dunas, antiguos lechos de arroyos y pequeñas playas. La mayoría de estas planicies se encuentran entre 100 y 200 m.s.n.m., presentando topografías suaves. El origen de la arena se atribuye a la erosión de las sierras granitoides y metamórficas de la región (Vidal-Solano, 2005). La región de El Pinacate es bien conocida en el noroeste de México, dada su riqueza en morfologías volcánicas, la variedad de ellas y la cantidad de edificios volcánicos en excelente preservación (suman más de 400). Diversos estudios geológicos han sido realizados en el área (Lynch, 1981; Cázares, 2004; Vidal-Solano, 2005; Rodríguez-Trejo, et al., 2019; Alva-Valdivia, et al., 2019). Dos principales eventos de volcanismo cenozoico han sido reconocidos en la zona (Lynch, 1981);

1) un evento denominado Evento Pre-Pinacate con edades de 15 a 11 Ma y 2) un segundo evento más joven, Cuaternario a Histórico, conocido propiamente como Evento Pinacate, y fechado de 1.5 Ma a 10 Ka (Vidal Solano, 2005). Este último ha sido el tema central de la mayoría de los trabajos anteriores y constituye el principal atractivo turístico de la Reserva de la Biosfera.

4.- Resultados

4.1 Geología

4.1.1 Basamento

El basamento del área se encuentra expuesto de manera escasa al este del área de la reserva del Pinacate (Figuras 1 y 2). Este basamento es representado por una roca metagranítica con una estructura masiva y fracturación preferencial (NE-SW). El protolito corresponde a un intrusivo de composición félsica y características graníticas. Esta unidad presenta una tonalidad que varía de café a negro en roca intemperizada y gris claro a verde en la roca fresca. Tiene una textura de grano medio a grueso de composición cuarzo-feldespatico con escasos cristales de biotita que desarrollan una ligera foliación de rumbo N38°E con un buzamiento de 30° al SE. Presenta cúmulos de minerales ferromagnesianos y vetillas rellenas de cuarzo. El intrusivo es cortado por diques pegmatíticos (Figura 2).

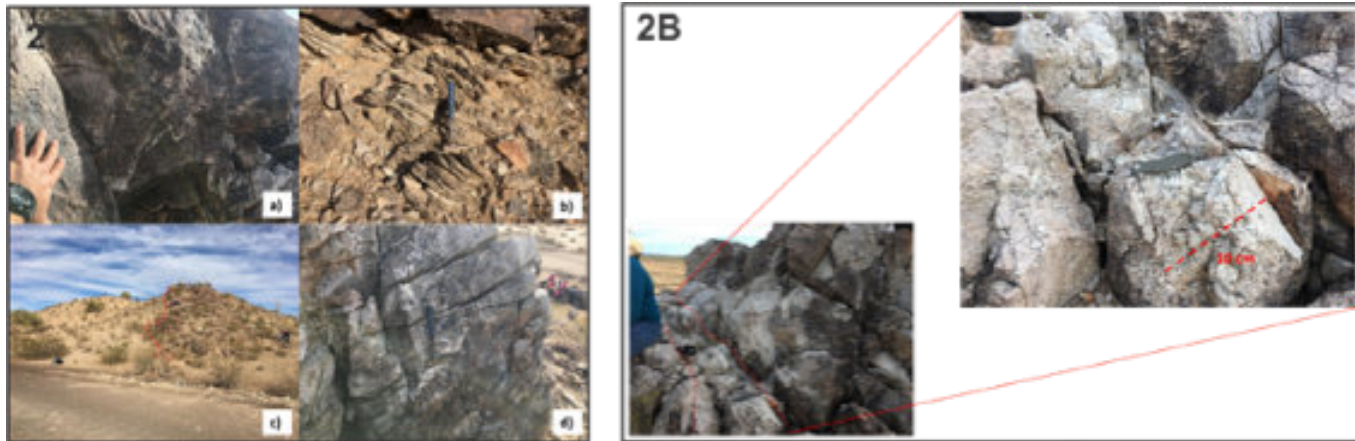


Figura 2: 2a) Roca intrusiva que muestra vetillas ligeramente deformadas rellenas de cuarzo. 2b) desarrollo de foliación en roca intrusiva, 2c) Vista panorámica donde se observa la relación de corte entre intrusivos, 2d) detalle del fracturamiento y presencia de esquistosidad en el intrusivo metagranítico. 2B; Dique pegmatíticos el cual se encuentra intrusionando a intrusivo.

Por otra parte, la unidad metagranítica es intrusionada por un cuerpo de color rosáceo, de estructura masiva, fuertemente fracturado y sin foliación. Este cuerpo rocoso es de composición félsica y constituido principalmente por cuarzo-feldespatito y muy escasos minerales opacos.

4.1.2 Cráter Cerro Colorado

La erupción del cráter "Cerro Colorado" es considerada de tipo surtseyano, debido a que el magma hace contacto con agua a un nivel muy superficial (Vidal-Solano, 2005). Esta característica lo hace único en su tipo dentro del campo

volcánico El Pinacate. El cráter tiene una edad de 3900 años y representa la actividad más joven del CVP (Alva-Valdivia et al., 2019).

Geológicamente, dentro del cráter El Colorado (Figura 3), se expone una unidad lávica de composición máfica que se compone de 3 litofacies que varían texturalmente de la base a la cima (Figura 3). Presenta un fracturamiento en bloque y con una ligera oxidación en su superficie de intemperismo. Esta unidad es clasificada formalmente como un basalto de textura porfídica a glomeroporfídica con fenocristales de plagioclasa (Pl) > olivino (Ol) > piroxenos? (Px). Los fenocristales de plagioclasa son de forma subhedral de tamaño de 2 a 4 mm. Los cristales de Ol presentan una forma anhedral de tamaño 0.5 - 1 cm. Los posibles cristales de piroxenos son de aproximadamente 1 mm. En la litofacies de la base, domina una matriz de textura vítrea a microcristalina, compuesta de pequeños cristales de Pl. Por otra parte, la litofacies central de este derrame basáltico es de textura porfídica y ligeramente vesicular, mientras que la litofacies de la cima presenta una textura vesicular a amigdalar.

En la periferia del cráter, se expone un anillo de depósito piroclásticos. Este depósito de piroclastos varía de tonalidad de amarillo a café claro. Este color obedece al temple que tiene debido a su enfriamiento violento que tienen al contacto con el agua. El depósito presenta un espesor de al menos 70 metros con una estructura en forma de pseudoestratos medianos de 0.50 a 1 metro, que en algunos niveles presenta estratificación cruzada. De la base a la cima presenta diferentes grados de soldamiento. El depósito es dividido en al menos cuatro litofacies.

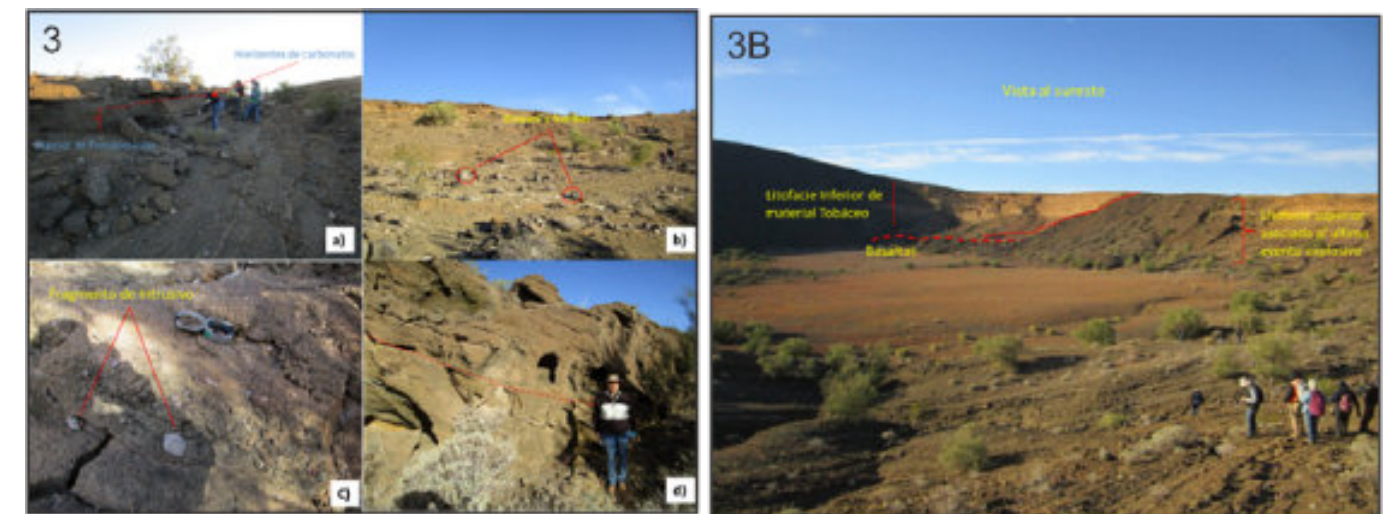


Figura 3.- a) Se observan pseudoestratos de la toba de lapilli, parte superior del cráter, b) panorámica donde muestra bombas y bloques de basalto, c) detalle de la toba que corresponde a la parte superior donde muestra fragmentos de intrusivo, d) toba de color amarillo mostaza mostrando las dos litofacies de la parte superior correspondiente al último evento piroclástico. Figura 3b: Fotografía panorámica con vista al sureste donde se observa la relación estratigráfica de las diferentes unidades.

La litofacies inferior del depósito piroclástico presenta un moderado grado de soldamiento y consiste de una roca de color café claro a mostaza, de textura porfídica compuesta principalmente por cristales de cuarzo. Entre sus constituyentes, presenta fragmentos de roca > vidrio > cristales. Los fragmentos de roca son subangulosos cuyo tamaño varía de 1 hasta 10 cm en promedio. Estos fragmentos son de rocas volcánicas máficas y de rocas intrusivas. Los cristales de cuarzo presentan tamaños de entre 1-3 mm. La unidad tiene una matriz muy fina de ceniza, poco soldada. Presenta una alteración de argilización y presenta horizontes muy delgados rellenos de calcita. De acuerdo a la composición de los minerales y fragmentos que se identificaron esta roca es clasificada como una toba de lapilli de composición félsica.

La fase superior del depósito piroclástico presenta un soldamiento de moderado a bajo y consiste de una roca café oscura que varía a tonalidades amarillas, con piroclastos conformados por fragmentos de roca > cristales > vidrio. Esta facies presenta una alteración palagonítica. Este depósito también presenta litofacies donde se observa una pseudoestratificación gradada, donde hacia la base se encuentra un tamaño de piroclastos más fino que aumenta hacia la cima. (Figuras 3 y 3B).

4.1.3 Cráter El Elegante

El Cráter El Elegante (localidad 3) es considerado de tipo Maar (Gutmann y Turrin, 2006). Su formación tiene una historia violenta. Aquí se describen dos unidades litológicas. La primera unidad, descrita más adelante, es constituida por una roca basáltica acompañada de un pequeño afloramiento de ceniza volcánica. La segunda

unidad es conformada por diferentes unidades piroclásticas.

La primera unidad corresponde a un derrame de lava de composición basáltica. Discordantemente a estos derrames de lava, se encuentra expuesto una roca piroclástica que conforma el anillo del cráter. Este tipo de depósito varía de una tonalidad café claro a amarillo mostaza y se compone de distintas litofacies que presentan distintos grados de soldamiento. El depósito corresponde a oleada piroclástica que presenta al menos 10 metros de espesor, de estructura pseudoestratificada con un rumbo de 26° (azimutal) y una inclinación de 9° al SE (Figuras 4 y 5).

En algunos niveles de este depósito presenta una estratificación cruzada. Los contactos entre estratos no son rectos. La facie más soldada del depósito piroclástico está compuesta por una matriz de ceniza (>75%) clasificando a la roca como una toba de ceniza rica en líticos de composición félsica. La unidad menos soldada

tiene las mismas características que la litofacies soldada, sin embargo, en esta litofacies hay mayor presencia de estratificación cruzada. El depósito explosivo contiene piroclásticos del tamaño de bombas, de composición basáltica que provienen del último evento explosivo del cráter. Las bombas basálticas son de textura porfídica a glomeroporfídica con fenocristales de $Pl > Px$. Los fenocristales de plagioclasa son de forma subhedral a euhedral de tamaño hasta de 4 mm. Los cristales de piroxenos son de forma euhedral que llegan hasta 1.5 cm. Los fenocristales están en una matriz de textura vítrea a microcristalina compuesta de pequeños cristales de plagioclasa. Además, presenta textura vesicular y se observa zonas o bordes oxidados (Figura 4).

4.2 Petrografía

El análisis petrográfico se realizó en 8 láminas delgadas de las diferentes localidades y unidades identificadas

4.2.1 Basamento

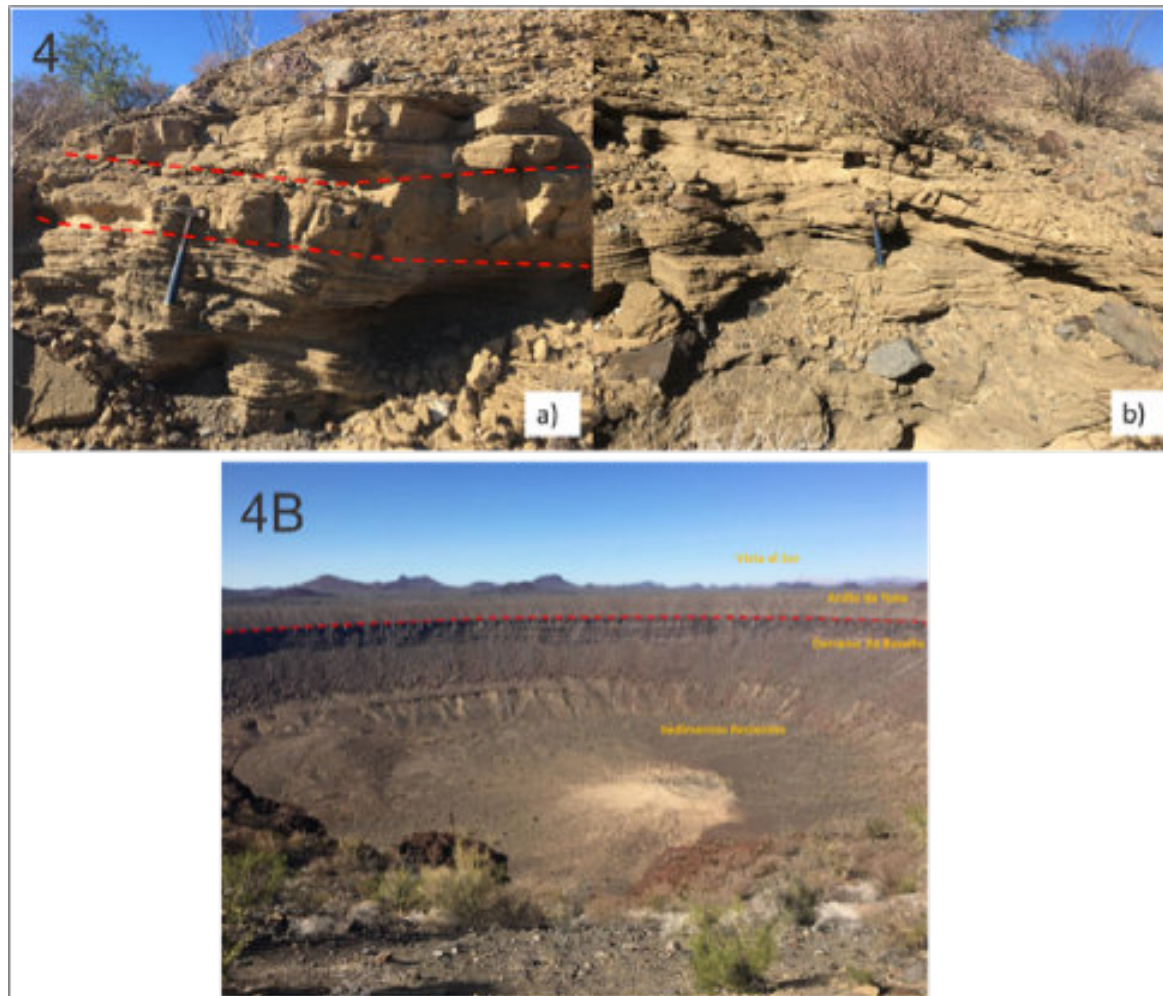


Figura 4: a) Unidad piroclástica mostrando los contactos entre las litofacies y la gradación que presenta cada pseudoestrato. b) Estratificación cruzada dentro de la toba de ceniza. Figura 4B: Fotografía panorámica con vistas al sur donde se observa el cráter El Elegante, así como las unidades litológicas que la conforman.

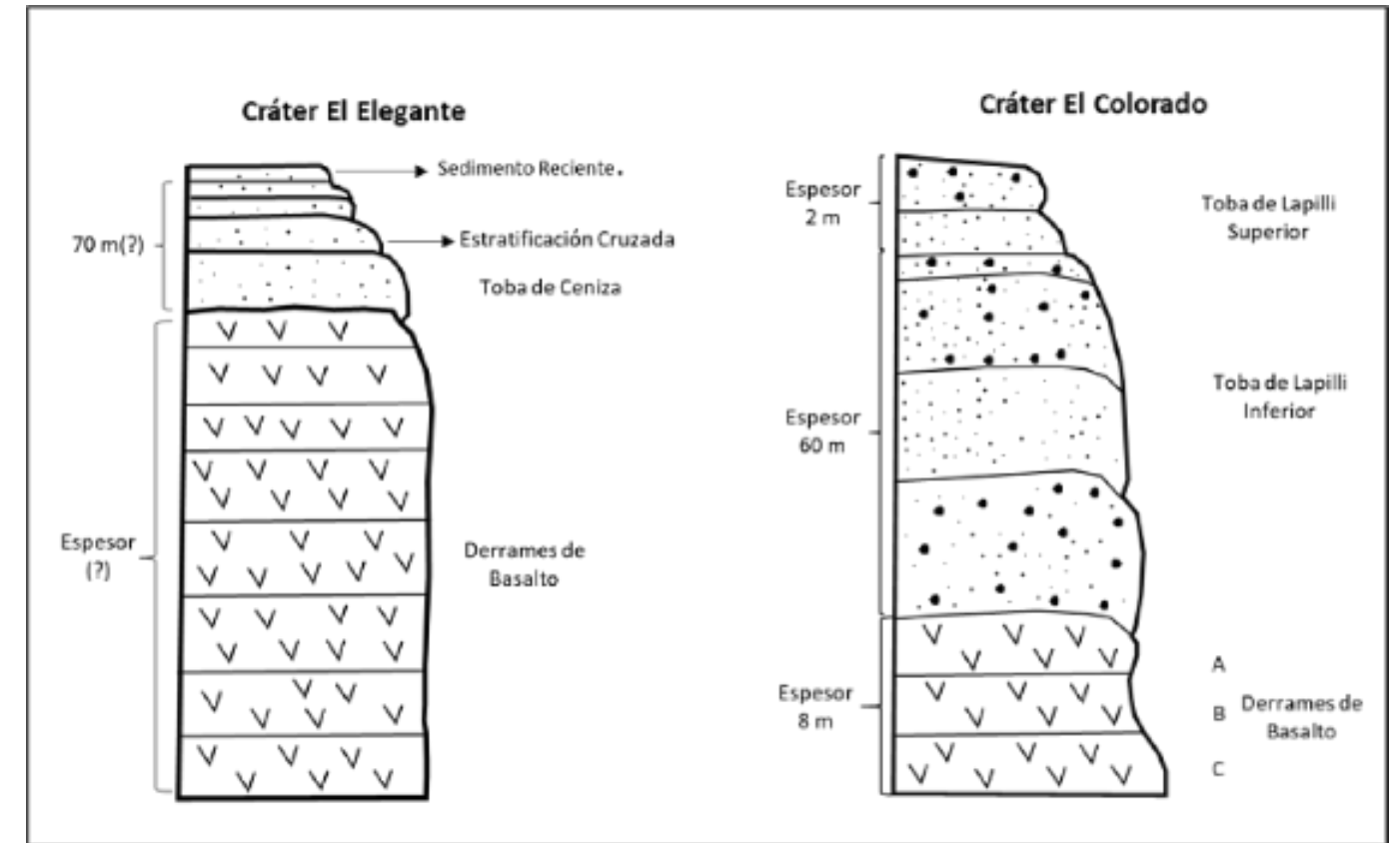


Figura 5.- Columnas litoestratigráficas esquemáticas de los cráteres El Elegante y El Colorado.

El análisis petrográfico del basamento de la región se realizó en dos unidades intrusivas. La primera unidad (Figura 6a) corresponde a una roca ígnea intrusiva clasificada como Monzogranito. Particularmente, presenta una mineralogía dominada por Feldespato Alcalino (FA) + Cuarzo (Qz) + Plagioclasa (Pl) con pseudomorfs de micas, probablemente biotita (Bt). Presenta una ligera alteración sericitica, además de texturas en criba presentes en los feldespatos potásicos (Figura 6b).

La segunda unidad se describe como un Sienogranito (Figura 6c). La muestra en lámina delgada de esta unidad es de textura holocristalina de grano fino leucocrática con fenocristales de $Qz > FA > Pl > Bt > hornblenda (Hb) > \text{óxidos Fe-Ti (OxFeTi)}$, con una proporción de cuarzo de 25 a 30%, feldespato potásico de 20%, plagioclasa 15%, biotita 10-5%, hornblenda 10-5% y óxidos de Fe-Ti 5%. Los cristales de cuarzo presentan una forma anhedral de tamaño promedio 0.2 a 0.4 mm, el feldespato potásico (microclina) se presenta de forma euhedral a subhedral.

4.2.2 Cráter “El Colorado”

En esta localidad se describen tres distintas unidades.

La primera unidad corresponde a un derrame basáltico de distintas litofacies (Figura 7). La litofacies de la base presenta $Pl > Ol > Px$ (Clinopiroxenos, Cpx) > Minerales Opacos en una matriz de textura intergranular. La litofacies intermedia varía en el tamaño de los cristales que son de hasta 1.5 mm, con una mayor proporción de vesículas y menor proporción de vidrio en la matriz manteniendo la textura intergranular. Finalmente, la litofacies que corresponde a la zona superior del derrame basáltico, presenta una textura altamente vesicular con fenocristales de Ol de hasta 2mm.

4.2.3 Cráter “El Elegante”.

Aquí se describió la unidad piroclástica (Figura 8). Petrográficamente, presenta textura porfídica con fenocristales de feldespato alcalino de hasta 2 mm, Px y fragmentos de rocas ígneas en una matriz criptocristalina con una proporción alta de ceniza > 80%.

En los bordes del cráter, se expone una unidad basáltica de emplazamiento hipabisal. Tiene una textura porfídica con fenocristales de Pl con texturas en criba. Como ferromagnesianos, presenta cristales de Px y abundantes minerales opacos. La matriz presenta una textura vítrea,

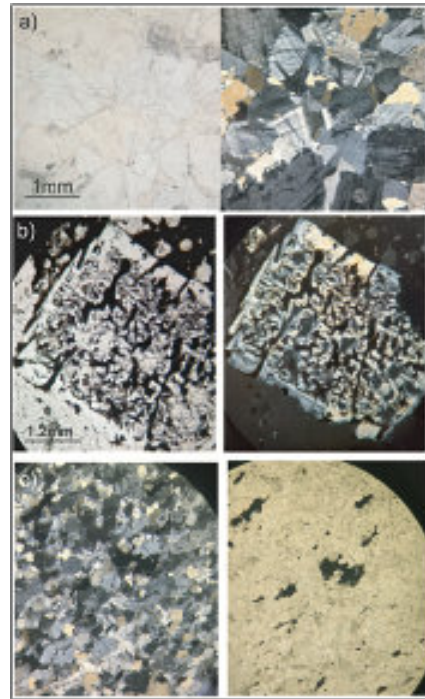


Figura 6: Microfotografías representativas de las rocas del basamento. a) Monzogranito. b) Fenocristal de FA con textura en criba. c) Mineralogía dominante del Sienogranito.

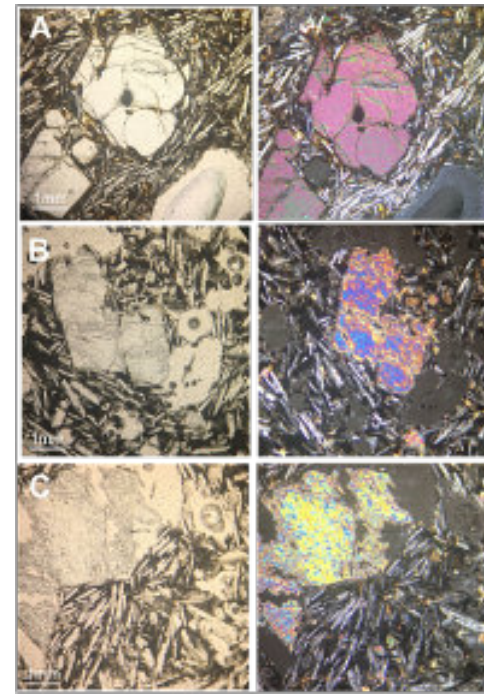


Figura 7: Microfotografías representativas de la unidad basáltica. Note que la columna de la izquierda corresponde a microfotografías en luz natural y la columna de la derecha en luz polarizada. A.- Corresponde a la facie superior. B.- Corresponde a la facie intermedia. C.- Corresponde a la litofacies inferior.

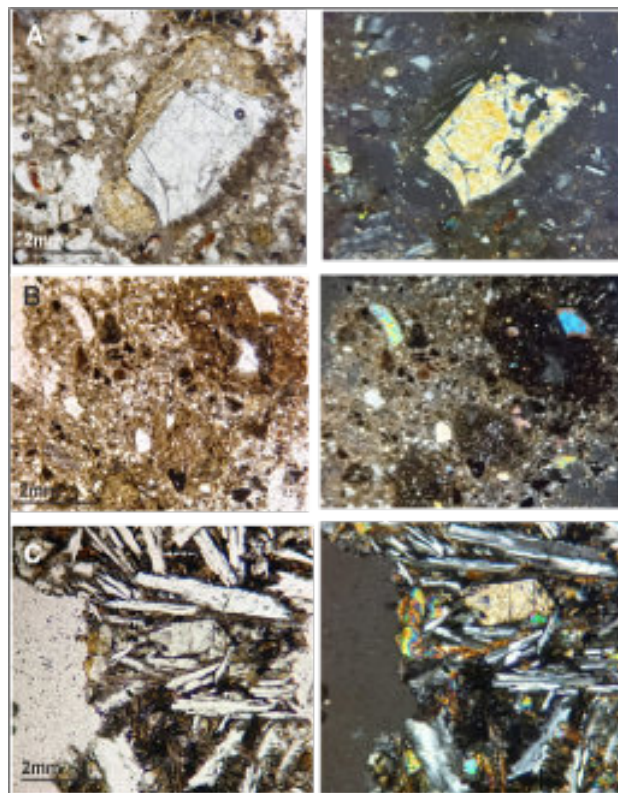


Figura 8: A.- Unidad Piroclástica con un fenocristal alterado de Px. B.- Toba de ceniza con fragmentos de rocas ígneas. C.- Basalto con fenocristales de Px y plagioclase.

con una coloración rojiza causada por una fuerte oxidación. Los cristales de olivino en la matriz tienen un aspecto dendrítico (Figura 8).

5. Discusión y conclusiones

Las unidades rocosas identificadas en el CVP, ponen en evidencia al menos tres grandes eventos. De lo más antiguo, a lo más joven, el primer evento, corresponde a las rocas del basamento, constituido rocas intrusivas con diques pegmatíticos y con una marcada foliación, lo que clasifica a estas rocas con el prefijo “meta”. La mineralogía que presentan las muestras y los rasgos de campo confirman que sus orígenes (protolito) se preservan a pesar de tener evidencias de haber pertenecido a un ambiente dúctil. Por lo tanto, es posible, que este afloramiento represente una zona milonítica en un nivel profundo del intrusivo granítico (Figura 1). Un trabajo con más detalle, así como un estudio estructural, podrían confirmar la presencia de grandes estructuras en esta zona.

Un segundo evento es representado la formación y explosión del volcán “El Elegante”, que deja el cráter principal en la localidad 2 (Figura 1). En este cráter, se evidencio el emplazamiento, muy cerca de la superficie, de inyecciones máficas, que sirven de conductos alimentadores para los posteriores derrames basálticos.

Posteriormente, y como el tercero evento, ocurren lavas basálticas en bloques en la base del cráter “El Colorado”, que posteriormente, fueron cortados por la erupción de este volcán y además, formaron el anillo de tobas. Por último, petrográficamente, los fragmentos de rocas hospedados dentro de las tobas estudiadas confirman eventos volcánicos lávicos anteriores.

Este documento es una aproximación geológica y petrográfica a la compleja historia del Campo Volcánico El Pinacate, que enriquece el territorio Sonorense con una

geología impresionantemente reciente, en donde se pueden realizar diversos estudios.

6 Bibliografía

Alva-Valdivia, L. M., Rodríguez-Trejo, A., Vidal-Solano, J. R., Paz-Moreno, F., & Agarwal, A. (2019). Emplacement temperature resolution and age determination of Cerro Colorado tuff ring by paleomagnetic analysis, El Pinacate Volcanic Field, Sonora, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 369, 145-154.

Cázares Armenta, F. (2006). *Origen del freatomagmatismo basáltico-acalino cuaternario del cráter El Elegante, Campo Volcánico El Pinacate, Sonora, México-* (Ser. Tesis de Licenciatura). Departamento de Geología UNISON.

Guntmann, J., & Turrin Brent, D. (2006). The age of Crater Elegante, a maar in the Pinacate volcanic field. *Geologic Society of America*.

Henry, C. D., & Aranda-Gomez, J. J. (1992). The real southern Basin and Range: Mid-to late Cenozoic extension in Mexico. *Geology*, 20(8), 701-704.

Lynch, D. J. (1981). *Genesis and geochronology of alkaline volcanism in the Pinacate Volcanic Field Northwestern Sonora, Mexico* (dissertation). UA Campus Repository, Tucson, Arizona.

Rodríguez-Trejo, A., Alva-Valdivia, L. M., & Vidal-Solano, J. R. (2019). Paleomagnetism and rock magnetic properties of Late Pleistocene volcanism from El Pinacate Volcanic Field, northwest Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102368.

Stock, J. M., & Hodges, K. V. (1989). Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific plate. *Tectonics*, 8(1), 99-115.

Vidal Solano, J. R. (2005). *Caracterización y cronología del evento volcánico terciario pre-pinacate, campo El Pinacate, Noroeste de Sonora, México*. Boletín Del Departamento De Geología, 18 y 19, 117–140.



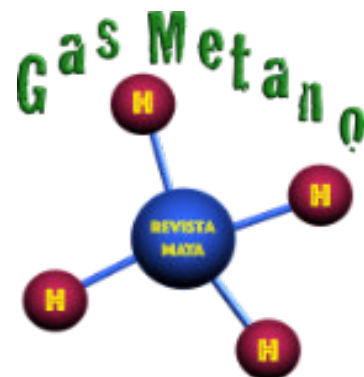
Daniela Martínez Valencia es Geóloga egresada de la UNISON, actualmente se encuentra cursando el posgrado en Ciencias-Geología en la Universidad de Sonora bajo la temática petrogénesis ígneo-metamórfica. Ha participado en congresos nacionales e internacionales. Durante su formación profesional ha ganado premios nacionales. Ha colaborado en proyectos de investigación internacionales abriendo brecha para futuras generaciones en las ramas de geoquímica, petrología ígnea y metamórfica. Ha sido miembro del Instituto Nacional de Geoquímica durante dos años.



José Antonio Enríquez Navarro es geólogo egresado en la universidad de Sonora. Actualmente cursa la maestría en ciencias geología en la universidad de Sonora enfocado en los sistemas de plomería ígnea relacionados con yacimientos minerales. Se ha desempeñado como geólogo enfocado en cartografía geológica-minera y geoquímica por 6 años y medio. Tiene participaciones en cursos relacionados con yacimientos magmáticos hidrotermales en el NW de México, depósitos mesotermiales de oro orogénico, cursos de software de Arcgis aplicado a la edición cartográfica y petrología de rocas félsicas anorogénicas. Ha impartido cursos relacionado con métodos cartográficos impartidos a estudiantes que cursas la carrera relacionada en ciencias de la tierra.



Luis Alonso Velderrain Rojas es Geólogo egresado del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora. Cuenta con una Maestría en Ciencias-Geología de la UNISON y un Doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM, ambos grados obtenidos con mención honorífica. Su principal línea de investigación está enfocada en los sistemas de plomería ígneos y en el estilo, tiempo y distribución de la deformación asociado a límites de placas divergentes, a través de la observación directa de rocas en el campo, aplicando además petrografía, geoquímica, geología estructural y paleomagnetismo. Actualmente es Profesor del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.



Foro de discusión Discussion Forum

A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de ahora, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado a la del mono. Esta cabeza, con un prefijo diferente al de su nombre, es también el jeroglífico del punto cardinal norte, lo cual tiende a confirmar su identificación como dios de la estrella polar. La naturaleza de su aparición en los manuscritos indica que ha de haber sido la personificación de algún cuerpo celeste, importante.

THE MUSEUM OF NATURAL HISTORY, SOFIA

Haz click en la imagen





COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS

Ven y participa con nosotros en nuestra iniciativa de divulgación técnica y científica:

GeoSeminarios

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

Presenta con nosotros tu:

- ✦ Tesis de licenciatura, maestría o doctorado
- ✦ Especialidad en la industria o academia
- ✦ Proyecto de investigación
- ✦ Etc...

Click aquí o bit.ly/GeoSeminarios2025

**TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO FORMULARIO
Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!**

¡TE ESPERAMOS!

@GeoLatinas










LIVE

Transmisión

¡Checa nuestros GeoSeminarios en:

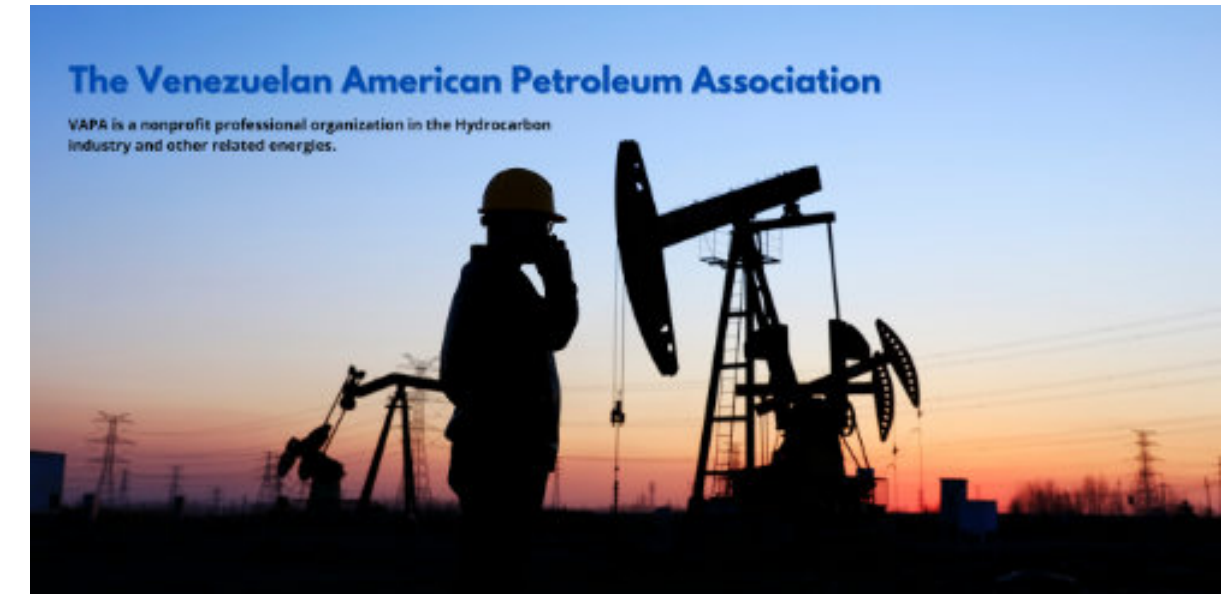



GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences

geolatinas.org 124 subscribers 14 videos



<https://vapa-us.org>



The Venezuelan American Petroleum Association

VAPA is a nonprofit professional organization in the Hydrocarbon industry and other related energies. It was founded in the state of Texas, USA in July 2019 and aims to establish relationships with organizations and institutions that can provide technical support, education and training to help the sustainable development of the Venezuelan energy industry.

VAPA is committed to promote technical events in upstream, midstream and downstream of both Oil and Gas and alternative energies that are of benefit to its members

Our Goal

The main Goal of VAPA is to bring together all the professional talent available in the Venezuelan Energy industry.

Our Purpose

Promote the professional growth of its members in technologies applied to the value chain of the energy sector while maintaining a high standard of conduct

Provide technical support, education, and training for the sustainable development of the Venezuelan Energy Industry.

<https://svhgc.blogspot.com/>



La Junta Directiva de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias los invita a visitar el Blog de la Sociedad donde encontraran información actualizada de nuestras actividades. Nuestra misión es preservar y difundir el legado de la Historia de las Geociencias en Venezuela.

SEMINARIO INSTITUCIONAL 26
INSTITUTO DE GEOFISICA

Objetivo y operación del Observatorio Geomagnético

DR. GERARDO CIFUENTES NAVA
Jefe del Servicio Magnético, IGf

12 de agosto de 2026 | 12:00 H

Auditorio Tlayolotl-Dr. Ismael Herrera Revilla

Se entregará constancia
Regístrate AQUÍ
<https://luma.com/5u1j5bto>

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM

SEMINARIO INSTITUCIONAL 26
INSTITUTO DE GEOFISICA

Objetivo y operación del Observatorio Geomagnético

DR. GERARDO CIFUENTES NAVA
Jefe del Servicio Magnético, IGf

12 de agosto de 2026 | 12:00 H

Auditorio Tlayolotl-Dr. Ismael Herrera Revilla

Se entregará constancia
Regístrate AQUÍ
<https://luma.com/5u1j5bto>

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM

What Is Quantum Physics?

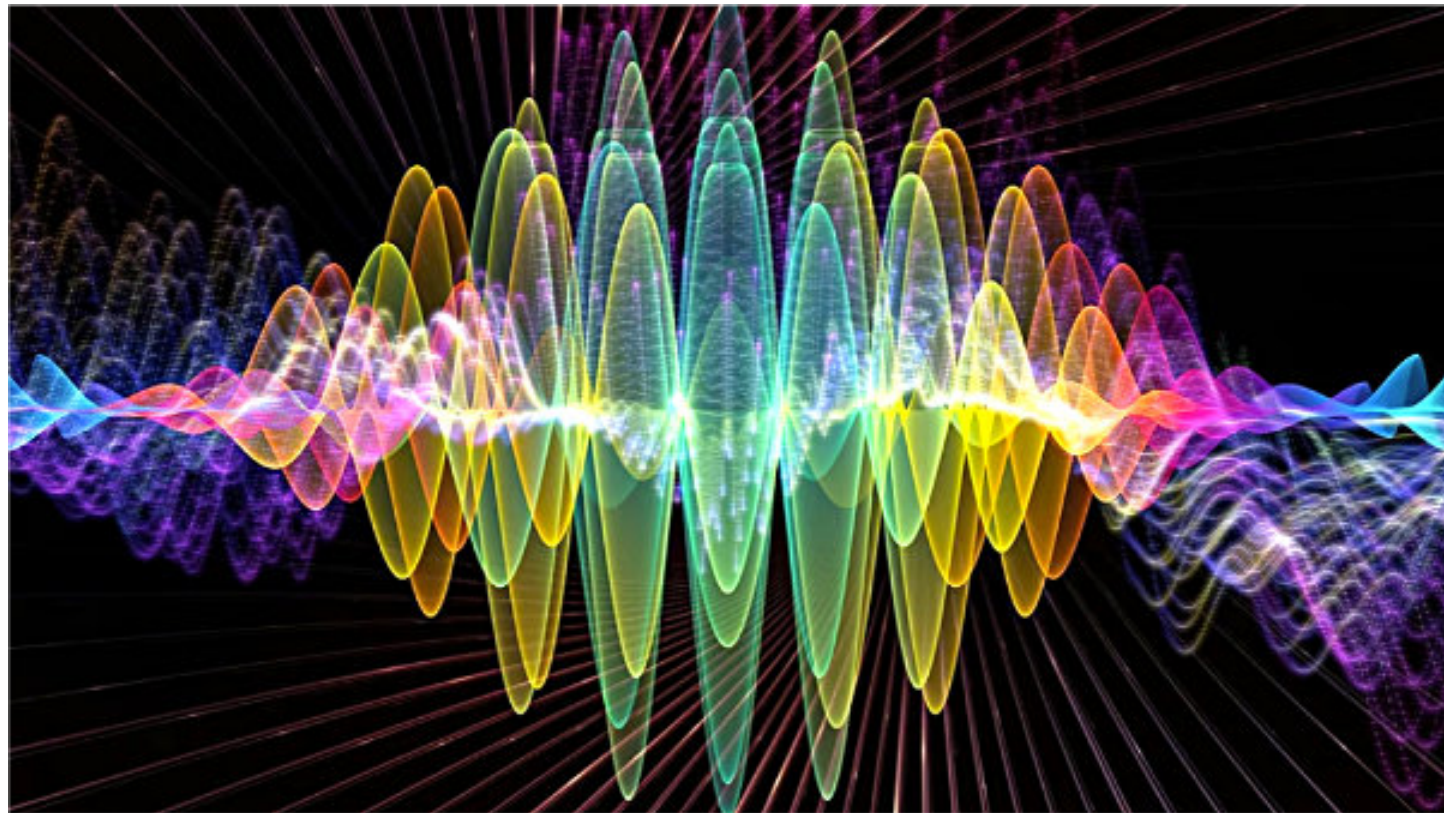
Quantum physics is the study of matter and energy at the most fundamental level. It aims to uncover the properties and behaviors of the very building blocks of nature.

While many quantum experiments examine very small objects, such as electrons and photons, quantum phenomena are all around us, acting on every scale. However, we may not be able to detect them easily in larger objects. This may give the wrong impression that quantum phenomena are bizarre or otherworldly. In fact, quantum science closes gaps in our knowledge of physics to give us a more complete picture of our everyday lives.

Quantum discoveries have been incorporated into our foundational understanding of materials, chemistry, biology, and astronomy. These discoveries are a valuable resource for innovation, giving rise to devices such as lasers and transistors, and enabling real progress on technologies once considered purely speculative, such as quantum computers. Physicists are exploring the potential of quantum science to transform our view of gravity and its connection to space and time. Quantum science may even reveal how everything in the universe (or in multiple universes) is connected to everything else through higher dimensions that our senses cannot comprehend.

Source: Caltech Science Exchange / Topics / Quantum Science and Technology / Quantum Physics

<https://scienceexchange.caltech.edu/topics/quantum-science-explained/quantum-physics>



Time may be an illusion derived from quantum entanglement

A new physics study suggests time may emerge from entanglement, challenging the idea that it exists independently.

Time has always seemed like the one thing physics could count on. Matter changes, stars die, particles flicker in and out, but time keeps moving. That assumption sits so deep in modern science that it often passes without notice. Now a new theoretical study argues that time may not exist in the way physicists have long treated it.

Instead, the work suggests time could emerge from quantum entanglement, the strange connection that links separate systems at the microscopic level. In this view, time is not a universal stage on which events unfold. It appears only when one quantum system is used to track another.

The paper, published in Physical Review A, revisits the Page and Wootters mechanism, a proposal first introduced in 1983. The idea has hovered for decades at the edges of debates over quantum gravity and the foundations of physics. By building an explicit model, the authors argue that the mechanism can recover both ordinary quantum motion and, in the right limit, the familiar time of classical physics.

WRITTEN BY: SHY COHEN/EDITED BY: JOSHUA SHAVIT

<https://www.thebrighterside.news/post/time-may-be-an-illusion-derived-from-quantum-entanglement/>



Quantum physics can confirm where someone is located

Entanglement can connect the digital world to the physical world

DENVER — An urgent call comes in from the White House. But the recipient is skeptical: They need a way to verify that the message comes from the purported location. Quantum physics has a solution. Scientists have demonstrated a quantum technique to ensure that someone is in the location they claim to be, physicist Abigail Gookin reported March 18 at the American Physical Society's Global Physics Summit. Called quantum position verification, the technique is based on the concept of quantum entanglement, in which the fates of two far-flung particles are closely linked.

In the future, the technique could be useful for preventing some types of phishing attacks, or for limiting which users can access certain resources. (For example, access to sensitive nuclear weapons infrastructure could be restricted to those in a secure government building.) The method could be part of a future quantum internet that could one day provide various types of ultrasecure communications.

Here's how it works: Two people, called verifiers, each want to confirm that a third person, called a prover, is in a given location. The verifiers, who are on opposite sides of the prover's purported location, each send a random number to the prover, which the prover will use to determine their next step. Meanwhile, one of the verifiers creates a pair of entangled photons, or particles of light. The verifier holds onto one photon, and sends the other to the prover.

By Emily Conover. MARCH 30, 2026

<https://www.sciencenews.org/article/quantum-physics-location-security>



Scientists discover atoms suddenly spinning backward in quantum experiment

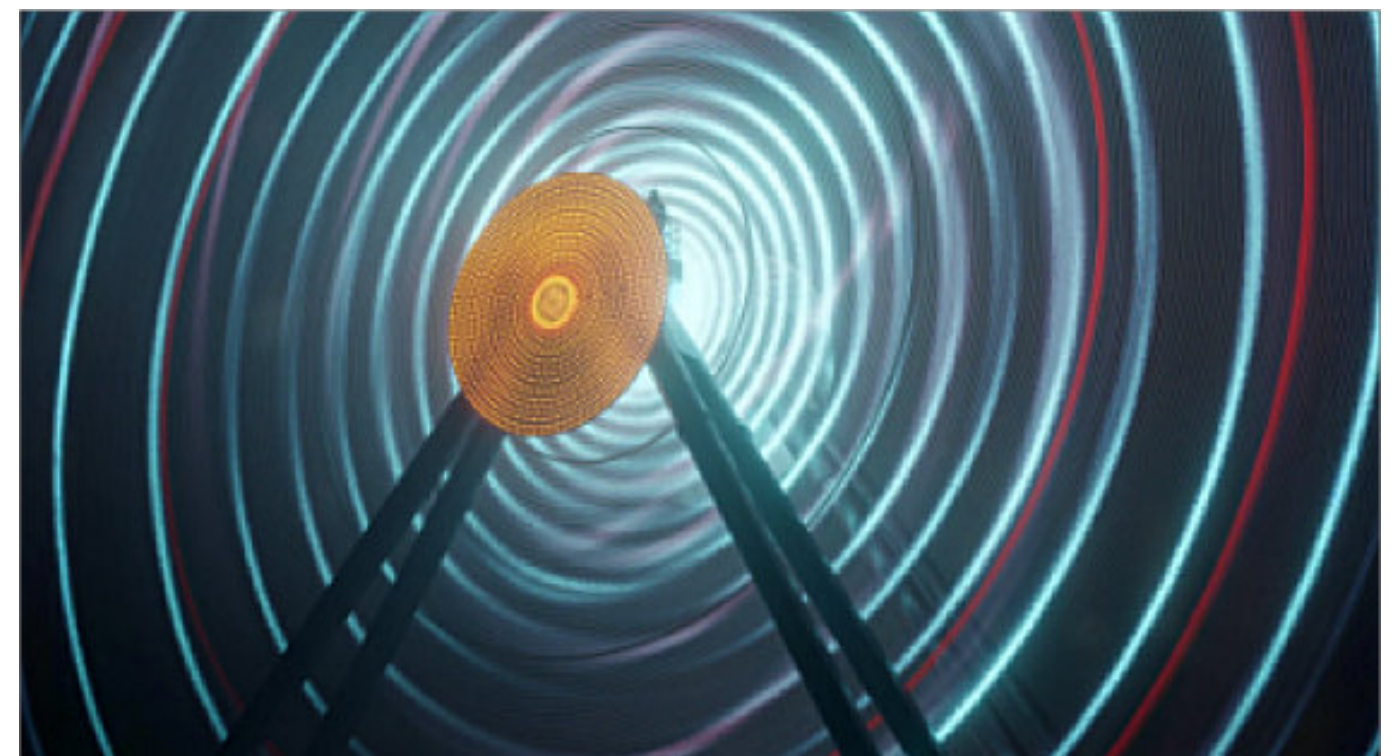
Scientists used powerful laser pulses to uncover a bizarre quantum effect where atomic rotations inside a crystal suddenly reverse direction.

Scientists have directly watched angular momentum move through a crystal for the very first time — and discovered a bizarre twist along the way. Using ultra-powerful terahertz laser pulses, researchers triggered tiny atomic rotations inside a quantum material and found that the direction of rotation can unexpectedly flip as momentum is transferred. The strange reversal happens because of the crystal's underlying symmetry, creating an almost impossible-sounding effect where two rotations combine into one spinning the opposite way.

An international team of researchers has directly observed how angular momentum moves through a crystal lattice for the first time, revealing an unexpected quantum effect that causes the direction of rotation to reverse. The discovery, made using intense terahertz laser pulses, gives scientists a new view into the fundamental origins of magnetism and could eventually help researchers better control advanced quantum materials.

Source: Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf. May 24, 2026

<https://www.sciencedaily.com/releases/2026/05/260523103903.htm>



New Advances Bring the Era of Quantum Computers Closer Than Ever

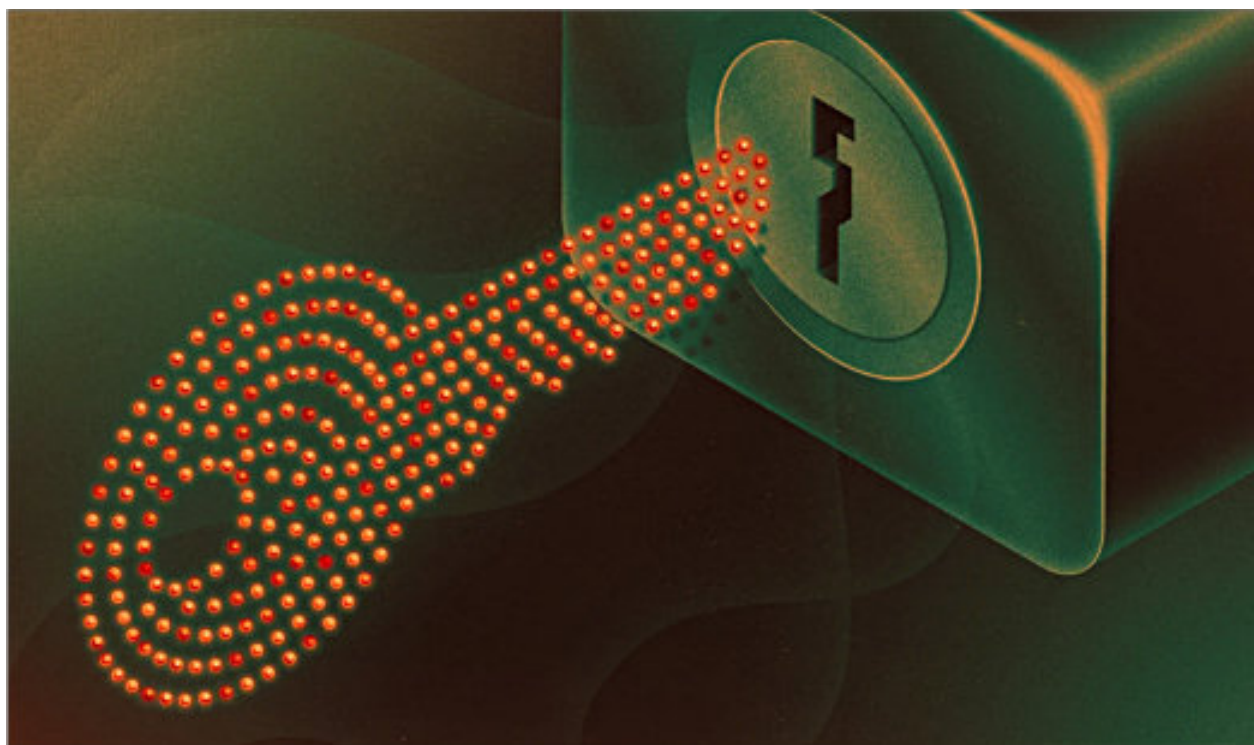
Two research groups say they have significantly reduced the amount of qubits and time required to crack common online security technologies.

Some 30 years ago, the mathematician Peter Shor (opens a new tab) took a niche physics project — the dream of building a computer based on the counterintuitive rules of quantum mechanics — and shook the world. Shor worked out a way for quantum computers to swiftly solve a couple of math problems that classical computers could complete only after many billions of years. Those two math problems happened to be the ones that secured the then-emerging digital world. The trustworthiness of nearly every website, inbox, and bank account rests on the assumption that these two problems are impossible to solve. Shor's algorithm proved that assumption wrong.

For 30 years, Shor's algorithm has been a security threat in theory only. Physicists initially estimated that they would need a colossal quantum machine with billions of qubits — the elements used in quantum calculations — to run it. That estimate has come down drastically over the years, falling recently to a million qubits. But it has still always sat comfortably beyond the modest capabilities of existing quantum computers, which typically have just hundreds of qubits.

Writer: Charlie Wood. April 3, 2026.

<https://www.quantamagazine.org/new-advances-bring-the-era-of-quantum-computers-closer-than-ever-20260403/>



Physicists create a strange new quantum state called a fractional fermi sea

Researchers have shown that ultracold atoms can be driven into a strange new quantum state called a fractional Fermi sea, where particles organize themselves in unexpected ways. The discovery points to a new phase of matter that goes beyond established quantum theories and could expand the possibilities of quantum simulation.

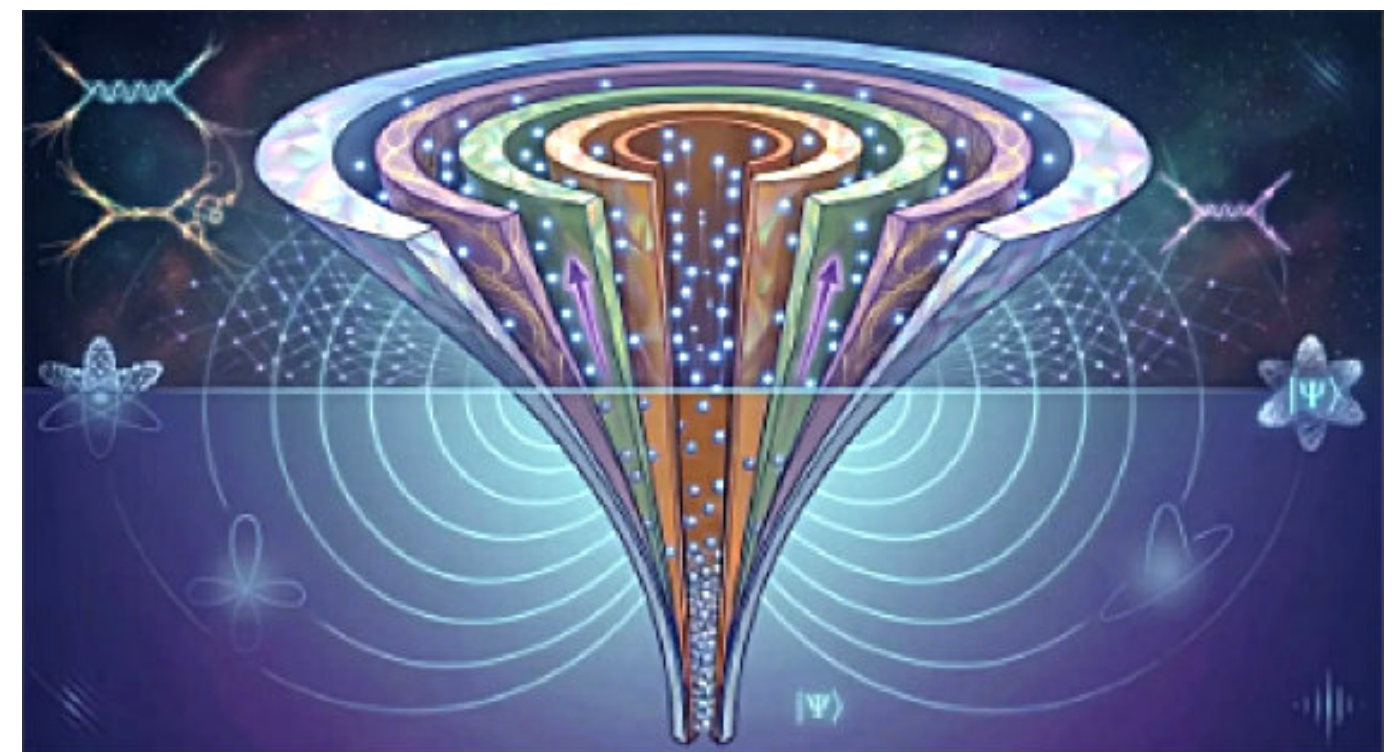
Researchers have shown that an unusual class of quantum states known as "fractional Fermi seas" can be deliberately created, according to a new study published in Physical Review Letters. The work was carried out by the Nägerl group together with theoretical physicist Alvis Bastianello of CNRS and Université Paris-Dauphine.

The study demonstrates how a new critical phase of matter can emerge when quantum particles are pushed far from their normal equilibrium conditions. Using ultracold cesium atoms confined to one dimension, the researchers repeatedly altered how strongly the particles interacted with one another. The resulting state goes beyond the behavior predicted by the well-known Tomonaga-Luttinger liquid theory, a cornerstone for understanding one-dimensional quantum systems.

This publication provides the theoretical framework for recent experimental research conducted in the group of Hans-Christoph Nägerl at the Department of Experimental Physics.

University of Innsbruck. June 29, 2026

<https://www.sciencedaily.com/releases/2026/06/260619101330.htm>



Quantum Dynamics Advance Overturns Claim of ‘Quantum Supremacy,’ Opens New Research Directions

Researchers at the Simons Foundation’s Center for Computational Quantum Physics and collaborators at Boston University reported a new tensor-network-based method that allowed classical computers to simulate a complex quantum system previously claimed to be solvable only with quantum computers.

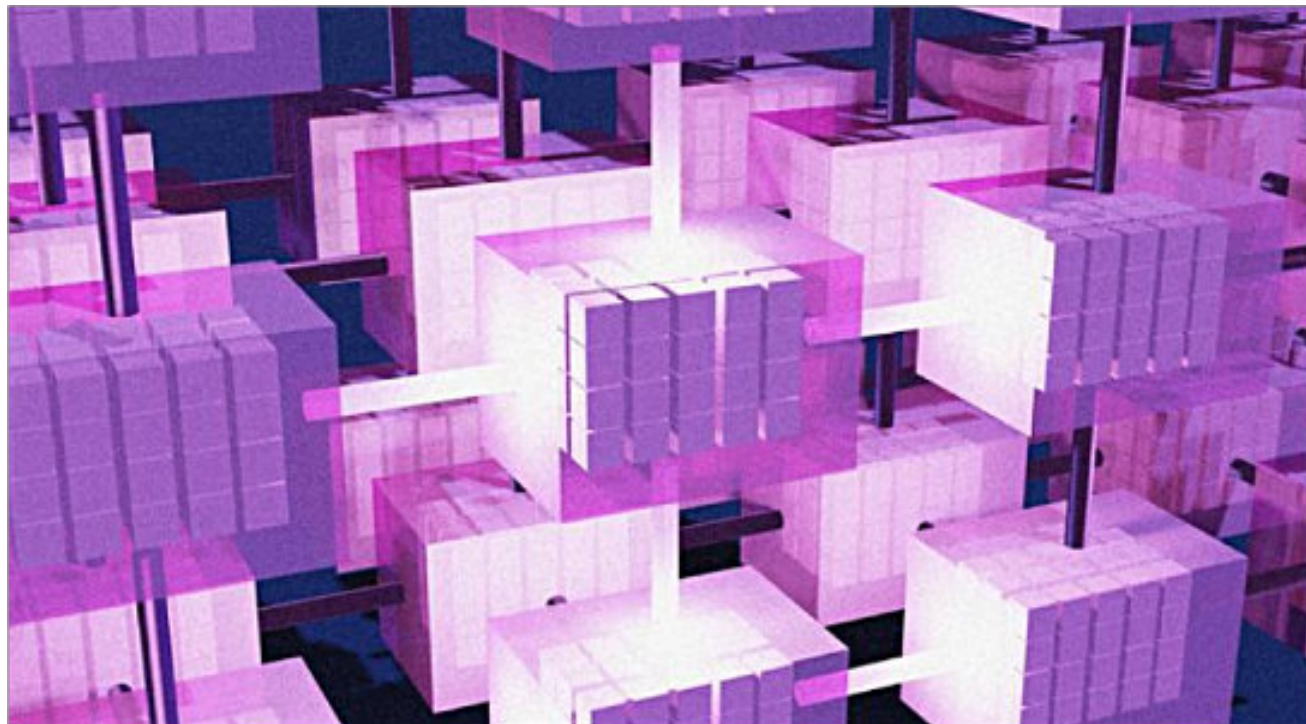
The team used advanced mathematical compression techniques and adapted “belief propagation” algorithms to model the dynamics of hundreds of interacting qubits on relatively modest hardware, including a personal laptop.

The researchers said the results matched both theoretical predictions and prior quantum computer outputs, while also pointing toward future applications in simulating quantum materials and solving large-scale optimization problems.

PRESS RELEASE — Using a conventional computer and cutting-edge mathematical tools and code, physicists at the Center for Computational Quantum Physics (CCQ) at the Simons Foundation’s Flatiron Institute and collaborators at Boston University have cracked a daunting quantum physics problem previously claimed to be solvable only by quantum computers.

Matt Swayne. May 22, 2026

<https://thequantuminsider.com/2026/05/22/quantum-dynamics-advance-overturns-claim-of-quantum-supremacy-opens-new-research-directions/>



Quantum sensor breakthrough could reveal dark matter and ancient gravitational waves

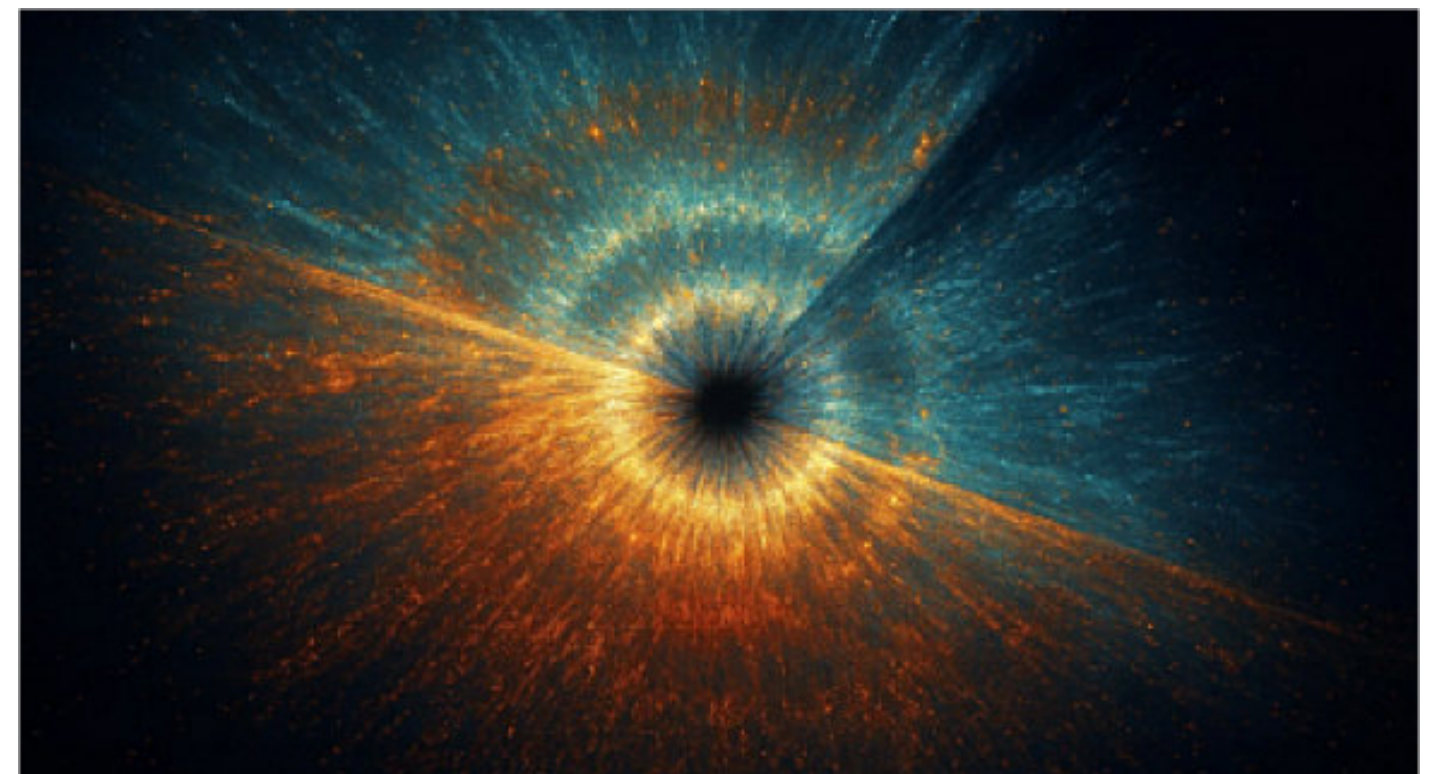
Scientists have taken an important step toward building quantum detectors that could reveal some of the universe’s biggest secrets. Using a prototype device with two clouds of ultracold atoms, researchers showed that a clever noise-canceling technique can recover hidden signals even when individual measurements appear completely overwhelmed by interference.

A prototype quantum sensor developed by researchers at Imperial College London has provided the first real-world demonstration that a crucial concept behind future quantum detectors can work outside of idealized laboratory assumptions.

The research showed that comparing two long-baseline atom interferometers, highly sensitive instruments that use lasers to track the motion of atoms, can effectively eliminate experimental noise. As a result, scientists can recover meaningful signals even when individual measurements appear completely overwhelmed.

Imperial College London. July 7, 2026

<https://www.sciencedaily.com/releases/2026/06/260622014303.htm>



Caverna del arte

Cuento: Teléfono celular

Gabor no podía creerlo, así que preguntó de nuevo, en serio tienen ésta oferta en estos momentos? El dueño de Telenor, la tienda de teléfonos le respondió con prontitud, efectivamente, estamos ofreciendo el iPhone 8 Plus con servicio de llamadas telefónicas ilimitadas a todo el mundo. La internet satelital también es ilimitada así como el servicio de texto que incluye el envío de imágenes digitales de formato grande. Además estamos incorporando sin costo alguno la garantía para componer el teléfono a domicilio por si dejara de funcionar y se reemplaza el teléfono en cuanto sale al mercado el modelo nuevo. La tienda de teléfonos Telenor está localizada en la céntrica Avenida Karoly Körút de Budapest, Hungría. Es una área muy concurrida por los turistas ya que cuenta con bares y restaurantes populares tales como el Café Haverok, los bares Skal y Kupak y el Restaurante Aranyince. La tienda de telefonía es muy popular entre los jóvenes porque tiene la selección más amplia de teléfonos celulares y los servicios telefónicos más baratos.

Anímese joven dijo el dueño, las ofertas son reales, por ese motivo miles de jóvenes vienen a apostar a nuestra tienda y aunque algunos pierden, la mayoría se lleva su teléfono de marca y el paquete de servicios de su predilección, somos la tienda de más éxito en la ciudad. En el 2016 la cámara de comercio de Budapest nos otorgó un reconocimiento al comercio de mayor éxito.

Gabor dijo, si todo esto es gratis por solo una apuesta yo quiero el iPhone 17 Pro Max con todos los servicios que me describes, el reemplazamiento cuando salga un modelo nuevo, además de la garantía de por vida por si acaso el teléfono se descompone. El dueño de la tienda exclamó, no hay problema en darte lo que pides, pero este equipo no lo puedes conseguir apostando dinero como en los modelos inferiores. Para que puedas tener el iPhone Plus y el paquete superior, tendrás que apostar algo muy muy importante, tu alma por ejemplo, dijo con plena seguridad.

Gabor había sido un niño prodigio y a los trece años fue aceptado en el Departamento de Matemáticas de la Universidad Eötvös Loránd Tudományegyetem. Era el clásico geniecillo con conocimientos profundos y extensivos en ciencias, humanidades y artes. Gabor estaba consciente de su inteligencia superior, era pedante, por lo que pensó para sus adentros, “que puede preguntarme este tipo mediocre que yo no sepa”. El dueño de Telenor dijo de nuevo, piénsalo bien, esta es una decisión muy importante en tu vida, todavía puedes echarte atrás. Adelante dijo Gabor en tono burlón, hazme la pregunta. Déjame explicarte la apuesta, te haré una sola pregunta, y si no sabes la respuesta pierdes tu alma al instante. A partir de ese momento seguirás vivo y con apariencia normal, pero no tendrás sentimientos ni razonamiento, serás un zombi.

El dueño de la tienda hizo la pregunta: Cuantos cabellos tienes en tu cabeza? Gabor se puso blanco como la nieve, esa era una pregunta que nunca esperó y sabía perfectamente que no tenía la respuesta correcta, perdería su alma. Bajó la cabeza con resignación y tristeza aceptando la derrota, y de momento ya estaba en el infierno, era una pesadilla. Bienvenido le dijo un demonio joven con actitud muy amable. Te mostraré las amenidades que tiene el infierno para aquellos viciosos de la Internet y en especial para aquellos que abusan de las redes sociales como WhatsApp, Twitter y Facebook. Nunca hubiera podido imaginar ver millones de almas con teléfonos de fierro incandescente pegados a sus orejas, o con los dedos hundidos en teclados de fuego, o con lava fluyendo a través de los auriculares en sus oídos, solo para mencionar algunas torturas. Conforme Gabor veía azorado esos castigos inimaginables, más pensaba en cómo salir de allí. Esto no es parte de su vida pensaba, soy Budista no Cristiano, era y el infierno no es parte de mis creencias.

El mismo día que llegó al infierno, Gabor solicitó una entrevista con el demonio y le fue concedida. Este último esperaba un poco impaciente, ya que no estaba acostumbrado a dar concesiones. Qué es lo que deseas preguntó el demonio? Mira, yo llegué al infierno por una tonta apuesta dijo Gabor, por lo tanto te suplico que me des la oportunidad de marcharme de la misma forma, haciéndote yo una apuesta y si no sabes la respuesta me dejas ir. El diablo se quedó pensativo pero finalmente contestó: estoy de acuerdo porque estoy seguro de que perderás de nuevo y te quedarás conmigo eternamente. Además, subrayó, no quiero que después hablen mal de mí, que no soy un tipo equitativo. Cuál es la pregunta? Gabor lanzó la pregunta: Cuándo se formó el planeta Tierra?, cuál es su edad? El diablo se puso más rojo y caliente que de costumbre y sus ojos destellaban fuego. El rey de las tinieblas, el gran malévolo en la historia de la humanidad, el segundo ser más poderoso del mundo después de Julián Assange de WikiLeaks....no sabía la respuesta!. Y lo que el demonio también ignoraba, es que él mismo fue creado apenas hace 2026 años, mientras que la tierra tiene una edad de 4.5 billones de años. El demonio desconsolado, conocido por su fama de perverso y malvado, demostró ser todo un caballero y cumplió su palabra, dejó que Gabor se marchara para continuar su vida normal en la tierra.

Loco a veces

Story: Cellular telephone

Gabor couldn't believe it, so he asked again whether the deal was still available. The owner of Telenor, the telephone retailer, quickly responded: "Yes, we are offering the Phone 8 Plus with unlimited calls to anywhere in the world, as well as unlimited satellite internet and unlimited texting, including the transmission of large format digital images to anyplace in the world. Moreover we are including at no cost a guarantee to repair the telephone in your home if it fails to function, and replacement of the phone whenever a newer model comes to market." The Telenor store is located downtown in Budapest, Hungary on the Karoly Körút Avenue. This area is frequented by tourists, having popular bars and restaurants such as the Café Haverok, the Skal y Kupak bars and the Aranypince restaurant. The telephone store is very popular with young people because it has the greatest selection of cellular telephones and the lowest cost telephone plans.

The owner said: "Make your decisión young man. The offer is real. Many young people come in to place bets at our store and although some lose, most walk away with their favorite iPhone 17 Pro Max and deal package. We are the most successful store in the city. In 2016 the Budapest Chamber of Commerce named us as the most successful business in the city."

Gabor asked: "Would everything be free by merely winning a bet? If so, I would also ask for a lifetime guarantee should the phone need to be repaired." The owner of the business exclaimed that there would be no problem granting what he wanted, but this would require betting more than money, as was the case for the inferior models. To obtain an iPhone Plus with a superior deal something much more important than money must be wagered. "Your soul, for example."

Gabor had been a gifted student, and at the age of thirteen was accepted by the Mathematics Department of the University of Eötvös Loránd Tudományegyetem. He was the classic case of a young genius with a deep understanding of the sciences, humanities and arts. Gabor was aware of his superior intelligence, and for this reason thought to himself: "This mediocre person couldn't ask any question that I can't answer." The owner of Telenor again said: "Think about it carefully since it is a very important decision in your life. You can still say no." Gabor said in a mocking tone: "Ask me the question."

The owner said: "Let me explain the bet. I will ask you only one question and if you don't know the answer you will lose your soul instantly. From that moment you will continue to have a normal appearance but you won't have sentiments nor reason. You will become a zombie."

The owner of the store then asked the question: "How many hairs do you have on your head?" Gabor turned as white as snow. He never expected this question and knew he would lose his soul if he didn't give the correct answer. He lowered his head in resignation and sadness as he accepted defeat, and in that nightmarish moment he found himself in Hell. "Welcome!" said a demon in a friendly way. I'll show you the amenities in Hell available to internet addicts, especially those that abused social websites such as WhatsApp, Twitter and Facebook. He never imagined that he would see millions of souls with incandescent metal phones attached to their ears, or with their fingers sunken into fiery keyboards, or with lava flowing through earphones into their ears, just to mention some of the tortures. Gabor was flustered by these unimaginable punishments and thought about how he could get out of there. This wasn't part of his life. He thought: "I'm a Bhuddist, not a Christian." and Hell wasn't part of his beliefs.

The same day that he arrived in Hell, Gabor asked for an interview with the Devil, which was granted. The Devil awaited him impatiently as he wasn't accustomed to granting concessions. "So, what is it you want to ask the Devil?" "Gabor replied: "Look, I only arrived in Hell because of a stupid bet, and therefore I beg you to give me a chance to leave the same way by making a bet with you. If you don't know the answer then you would let me go". The Devil thought this over and finally answered: "I agree, since I'm sure you will lose again and will stay with me for eternity. I don't want them to speak badly of me, because I am a fair individual. What is the question?" Gabor asked this question: "When did the planet Earth form, and what is its age? The Devil became more red and overheated than usual, and fire shot out of his eyes. The King of Darkness, the most malevolent being in human history, the second most powerful being in the history of humanity, after Julián Assange of WikiLeaks, didn't know the answer! What the Devil failed to realize is that he himself was created only 2026 years ago, while the Earth had the age of 4.5 billion years. The Devil was desconsolate, but despite his reputation as being perverse and evil, he was a complete gentleman and kept his word by letting Gabor leave to continue his normal life on Earth.

Author: Sometimes crazy
Translator: Always crazy

Línea del tiempo de la evolución geológica de México

En el desarrollo de las actividades prácticas de la asignatura de estratigrafía en el grupo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se tiene contemplada la construcción de una línea del tiempo que incluya los principales eventos geológicos de carácter mundial y específicos para el territorio de México, con el objetivo de que el estudiantado se vaya familiarizando en ubicar en el tiempo la evolución geológica de la región. El ejercicio promueve el desarrollo de la creatividad y síntesis de la información tratando de que el estudiantado lo asocie con una imagen significativa que le permita recordarlo a largo plazo. A continuación se muestra un ejercicio de la estudiante de Ingeniería Geológica: Jimena Itzel Ramírez Zavala, quien realizó las siguientes ilustraciones bajo la tutoría de Isabel Domínguez. **Agradecimientos:** Al Ing. Javier Arellano Gil por compartir el material que se utilizó como base para el desarrollo de la actividad y al Dr. Enrique Alejandro González Torres por apoyar en la actualización de las fechas de los eventos incluidos, profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Impacto del meteorito Chicxulub – ~65 Ma



Extenso vulcanismo genera Sierra Madre Occidental – ~50 – 16 Ma



Jimena Itzel Ramírez Zavala Estudiante de la carrera en Ingeniería Geológica de la UNAM. Ha participado en la elaboración de cartografías para proyectos Estatales y corrección de textos, de manera conjunta para la empresa Defensegrid y Oleum.

Su área de interés profesional es la Geología Ambiental y uno de sus intereses profesionales/personales es la divulgación de las ciencias naturales para todas las edades.

jimenarz1@hotmail.com



Isabel Domínguez Trejo Ingeniera Geóloga y Maestra en Ingeniería Petrolera y Gas Natural egresada de la Facultad de Ingeniería, UNAM. Su línea de trabajo es el área de la Exploración de Hidrocarburos, ya que conjunta la aplicación de ramas de la Geología con la finalidad de comprender la evolución geológica de una región. Se dedica principalmente a la interpretación sísmica y de estratigrafía de secuencias enfocada en la industria petrolera.

Desde 2013 es profesora en la Facultad de Ingeniería a nivel licenciatura para las carreras de Ingeniería Geológica y Geofísica, así como en la Especialidad de Exploración Petrolera y Caracterización de Yacimientos. Coordinadora de la carrera de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería.

isabeldt@unam.mx



Roblelacasa. Manuel Arribas.

Arquitectura negra. Guadalajara. España.

En la provincia de Guadalajara, al noroeste, entre Somosierra y la sierra de Ayllón, hay un conjunto de pequeñas aldeas: Majaelrayo, Robleluengo, Campillo de Ranas, Roblelacasa, El Espinar y Campillejo. En estos pueblos se puede apreciar un tipo de construcción de casas y cobertizos conocido por “arquitectura negra”.

La pizarra, roca metamórfica homogénea formada por la compactación de arcillas y de color negruzco, es el principal material de construcción utilizado en esta zona. Gruesos muros formados por hileras de pizarras irregulares, calzadas unas sobre otras por pequeñas lascas del mismo material, se levantan a no mucha altura para ser cerrados por tejados también de pizarras, pero de mayor tamaño, colocadas a modo de tejas. Robustos y grandes maderos de roble, enebro, chopo y otros árboles de la zona forman el armazón que sujeta los pesados tejados y marcan la escasa distribución interna del habitáculo. Una cocina con amplia chimenea de campana, formada por la aproximación de las hieras de las pizarras, es la pieza principal de la casa.

Una puerta principal de tamaño justo para la entrada de animales de carga, mulos y asnos, da paso a un pequeño portal y a la cuadra, otro espacio fundamental en este tipo de vivienda, sin apenas evolución desde el neolítico. Los vanos abiertos en los muros

son muy pequeños, justo para dar un resquicio de luz al interior y así preservar a la casa del frío y el calor en sus correspondientes estaciones.

Resumiendo, ya que hay innumerables artículos escritos sobre esta arquitectura, tan sólo añadir que la UNUECO la ha declarado patrimonio de la humanidad y esto hará que estas pequeñas aldeas no desaparezcan y se cuide mucho en evitar elementos extraños en las restauraciones, que aun así lo hay.

Manuel Arribas Andrés

Zaragoza, julio de 2026



Robleluengo. Manuel Arribas.



Robleluengo. Manuel Arribas.



Roblelacasa. Manuel Arribas.

Una casa vieja. Fotografía de Gilda Yolid Muñoz.

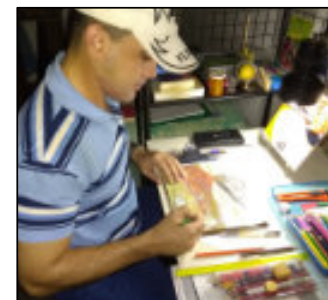


Pilares del porche. Fotografía de Gilda Yolid Muñoz.



The Biosphere 2: University of Arizona, Oracle, Arizona, USA. Image by Claudio Bartolini.





wilmerperezgil5@gmail.com

A close-up, high-contrast image of the Sun's surface. The image shows a bright, glowing yellow-orange sphere with a dark, irregularly shaped region on the left side, possibly representing a solar flare or a large sunspot. The surface is covered in intricate patterns of light and dark, suggesting intense magnetic activity and plasma turbulence. The overall appearance is that of a powerful, dynamic celestial body.

Revista Maya de Geociencias, Agosto, 2026.

Cueva de los Cristales Gigantes, Chihuahua, México)

La Mina de Naica fue descubierta en 1794 por unos mineros, Alejo Hernández y Vicente Ruiz y Pedro Ramos, mientras buscaban diversos minerales, se encontraron con estas increíbles cuevas cubiertas de cristales podrían incluso confundirse con la etérea guarida ártica de Superman. Diez años después del sorprendente descubrimiento, científicos solicitaron al gobierno mexicano reclamar el estatus de Patrimonio Mundial de la Unesco. Esto con la intención de proteger las formaciones únicas para las generaciones futuras. La mina que alberga estas impresionantes vigas blancas de yeso que han estado creciendo durante cientos de miles de años se encuentra ubicada en cuevas debajo del poblado de Naica, municipio de Saucillo en el estado mexicano de Chihuahua.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Cueva_de_los_cristales_\(Naica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cueva_de_los_cristales_(Naica))

<https://www.mexicodesconocido.com.mx/maravillas-de-naica.html>

<https://www.mexicotravelclub.com/grutas-de-naica-chihuahua>

<https://mexicotravelchannel.com.mx/ecoturismo/20201105/naica-cristales-gigantes-chihuahua/>

https://www.guiaturisticamexico.com/attractivo.php?id_blog=00300

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/photos-mexico-cave-of-crystals>

<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Los-cientificos-explican-como-se-formaron-los-cristales-gigantes-de-Naica>

<https://www.youtube.com/watch?v=yYepZlLcp3s>

<https://www.youtube.com/watch?v=TgguxYW13UE>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



Como parte de las actividades de difusión de nuestra revista de geociencias, tenemos una relación de buena fe y amistad con las escuelas, sociedades y asociaciones geológicas en otros países del mundo.

Instituto Nacional de Geoquímica
(México). <https://www.inageq.com/>



Geología Médica

<http://www.medgeomx.com/>



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



<http://cbth.uh.edu/>

Sociedad Venezolana de Historia
de las Geociencias.

SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana,
- <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Asociación de Geólogos y Geofísicos
Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica
del Cibao Oriental,
República Dominicana

<https://uteco.edu.do/>





Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA