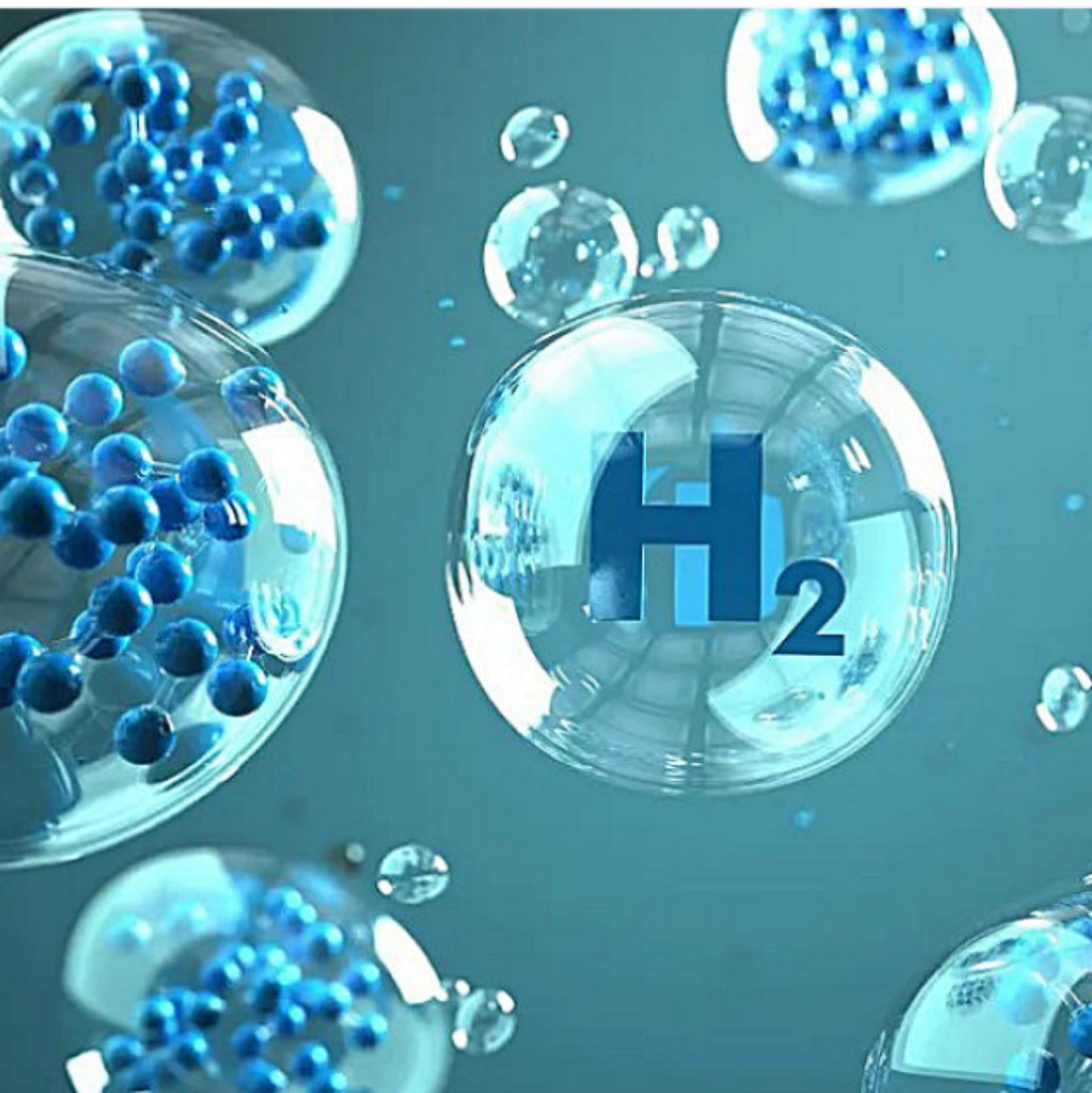


SEPTIEMBRE  
2025



# MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



SEPTIEMBRE  
2025



# 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:** Moléculas de hidrógeno. Fuente: <https://www.larazon.es/medio-ambiente/20210324/s6jk3ej75na75gst7kzipmfmhu.html>. El hidrógeno es un energético que se puede usar de muchas formas, además de ser una fuente de energía primaria comúnmente generada mediante procesos fisicoquímicos y biológicos, agrupado de acuerdo con su origen por colores, por ejemplo: "gris", "verde", "azul" y "blanco". El hidrógeno está considerado como el energético del futuro, debido a su gran rendimiento y nula generación de gases de efecto invernadero. La presente imagen de portada pretende hacer conciencia en la búsqueda de energías limpias.

**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](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)  
[lvalenciaf@ipn.mx](mailto:lvalenciaf@ipn.mx)



**Bernardo I. García-Amador** es Investigador Asociado "C" de Tiempo Completo del Instituto de Geofísica de la UNAM. En 2024 obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Su línea de investigación versa en la aplicación del Paleomagnetismo, Magnetismo de Rocas y Anisotropía Magnética para resolver problemas en Tectónica, Geología Estructural, Vulcanología, y el

Análisis de Cuencas Sedimentarias; siendo autor y coautor de diversas publicaciones científicas. Además, desde el 2018 ha impartido el curso de Tectónica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, un tema que le apasiona en las geociencias.

[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



**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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)



**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

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.

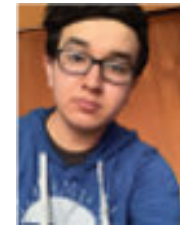
[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)



**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](mailto: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](mailto: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 en estancia Posdoctoral en Centro de Geociencias UNAM-Juriquilla. 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). También es docente en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES-UNAM Juriquilla).

[dcalvo@geociencias.unam.mx](mailto:dcalvo@geociencias.unam.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](mailto: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](mailto:gleon.laura@gmail.com)



**Rodolfo Rafael Avalos Alejandro** Es ingeniero geólogo por la Facultad de Ingeniería (2022), actualmente estudiante de la maestría en ciencias de la Tierra por el Instituto de Geociencias. Realizó su estancia profesional en la unidad minera Fresnillo (2019), yacimiento correspondiente con su trabajo de tesis. Su principal interés es el entender procesos geológicos de escala regional enfocados en la exploración de yacimientos minerales a partir

de análisis de Mineralogía Avanzada, estudiando variaciones en especies minerales, texturas, asociaciones, grados de cristalinidad, emulsiones por exsolución y elementos menores en solución sólida. Es divulgador científico centrado en la astronomía, historia de la ciencia y cultura desde 2015 en la plataforma Astro Camp MX, montañista entusiasta desde 2021 y fotógrafo de paisaje desde 2021.

[r.avalos@astrocamp.mx](mailto:r.avalos@astrocamp.mx)



**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 al a Unidad 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 inicio 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](mailto: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 presento 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](mailto:norma.olvera@atmosfera.unam.mx)

## 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,

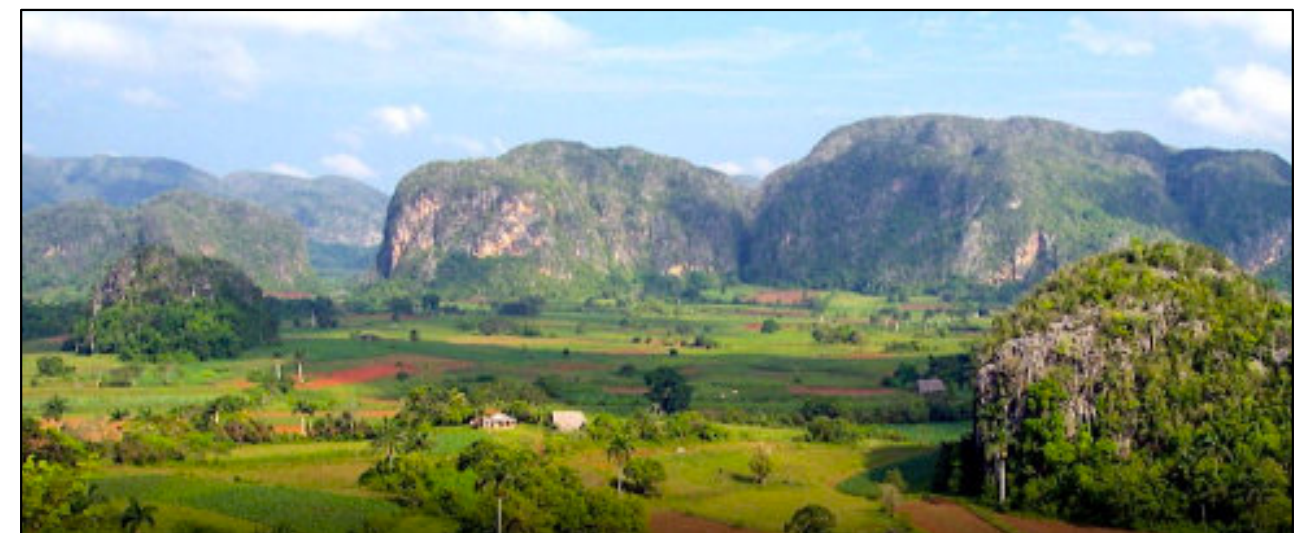
Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras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

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



## Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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





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

### Estimados Colegas

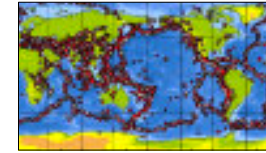
Ahora que hemos llamado su atención, aprovechamos la oportunidad para invitarlos cordialmente a participar en nuestra Revista Maya de Geociencias, con diversos Temas de Interés y Manuscritos Cortos relacionados a cualquier tema de las Ciencias de la Tierra y similares. Todos los trabajos son bienvenidos,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

EN ESTOS SITIOS PUEDES ENCONTRAR INFORMACIÓN DE DOMINIO PÚBLICO.  
Información compilada por el **Dr. Antonio Olaiz** (Repsol, Madrid).



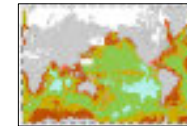
#### MECANISMOS FOCALES.

<https://www.globalcmt.org/>  
<https://geofon.gfz-potsdam.de/old/eqinfo/list.php?mode=mt>



#### TERREMOTOS USGS.

<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquakes>



#### DATOS BATIMETRIA DE EUROPA DE ALTA RESOLUCIÓN.

<https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry>

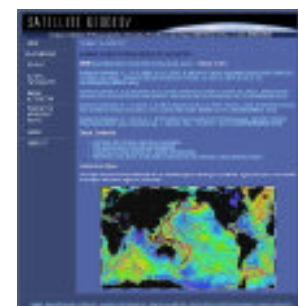


#### INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA **TERRESTRE**.

<https://ggos.org/item/bgi/>

Modelo digital del terreno a 30 metros para todo el mundo.

[https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index\\_en.html](https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html)

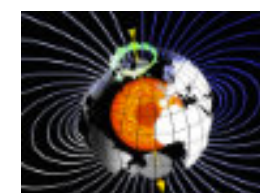


#### INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA **MARINA**.

[https://topex.ucsd.edu/marine\\_grav/mar\\_grav.html](https://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html)

#### DEM SRTM

<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1#overview>



#### INFORMACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA.

<https://geomag.us/index.html>

<https://wdmam.org/>

## 50 ANIVERSARIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA SEMANA DE CELEBRACIÓN (14 AL 18 DE JULIO 2025)

**JHONNY E. CASAS**

Escuela de Ingeniería de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



La celebración del 50 aniversario de la creación de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela, se realizó la semana del 14 al 18 de julio de 2025 y fue organizada por un equipo de profesores, estudiantes y egresados de la escuela.

Se desarrolló de manera intensiva, con múltiples actividades, organizadas por presentaciones técnicas y generales; dos foros sobre ideas de reforma del pensum de estudios de la carrera de Ingeniero de Petróleo en la Universidad Central y disertaciones sobre el futuro de la industria petrolera en Venezuela. Un evento deportivo con un juego de softball entre profesores y estudiantes; los cuales quienes resultaron ganadores.

La inauguración del evento contó con la actuación del Coro de Conciertos de la UCV y palabras de las principales autoridades universitarias. El rector de la Universidad Central de Venezuela, Dr. Víctor Rago dio inicio al acto central del 50 aniversario y como parte de su discurso, destacó la reactivación de la compañía

Corpomene C.A. Esta compañía, conformada por la Fundación UCV, junto con la Escuela de Ingeniería de Petróleo, adelantan las gestiones para participar en operaciones del sector de los hidrocarburos del país y actividades afines.

Posteriormente, participó el decano de la Facultad de Ingeniería, Dr. Julio Molina, quien comentó que se adelanta una adecuación de los diseños curriculares de la facultad, a las nuevas tendencias de transición energética y cambio climático. El licenciado René Rojas, actual director de la escuela, destacó la importancia de formar ingenieros especializados en un sector que ha sido fundamental para la economía venezolana y que, a pesar de los desafíos actuales, sigue siendo relevante. Añadió que actualmente, se despliega una actualización del plan de estudios para adaptarse a las nuevas tendencias del sector energético, incorporando el análisis de energías renovables, captura de CO<sub>2</sub> y manejo digital de datos.

Posteriormente intervino el Ingeniero Eugenio Martínez quien fuera jefe del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Escuela de Ingeniería Química y Petróleo y miembro del equipo que condujo la fundación de la Escuela de Ingeniería de Petróleo, realizando un breve recuento de su participación en ese proceso.

Una vez concluidos los mensajes de apertura del evento, el profesor, Ingeniero Alí Vivas Vivas, expuso una presentación titulada: La Escuela de Ingeniería de Petróleo: «Un viaje por la Historia, Realidad y Visión del Futuro», donde hizo un análisis de los aspectos que llevaron a la creación de la Escuela el 23 de mayo de 1975, entre ellos la proximidad de la nacionalización de la industria petrolera en Venezuela, el crecimiento de la actividad de esa industria y el incremento de la matrícula de estudiantes. El profesor Vivas indicó que los 1740 egresados, a lo largo de 92 promociones han contribuido ampliamente, al desarrollo de la principal fuente de ingresos del país como lo es el petróleo, realizando innumerables Trabajos Especiales de Grado, sumamente valiosos para la industria, llegando algunos de ellos a recibir incluso reconocimientos internacionales.

Al final, disertó sobre los retos e impacto de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de la Ingeniería de Petróleo, lo cual exige alianzas estratégicas, inversión en formación docente y curricular, y una mayor colaboración con el sector productivo. El acto de inauguración cerró con el Himno Nacional de la UCV, interpretado por el Coro de Conciertos de la UCV.

La tarde del lunes, se celebró un foro sobre propuestas para la reforma del pensum de estudios, el cual fue moderado por las Ingenieras Aminta Carrasquel y Adriana Zambrano quien, a su vez, documentó las conclusiones principales de las exposiciones. El foro reunió a distinguidos expertos que ofrecieron perspectivas valiosas sobre la evolución necesaria en la formación de los futuros ingenieros de petróleo.

Durante los días martes, miércoles, jueves y viernes, se realizaron diversas presentaciones técnicas, las cuales fueron dictadas por varias empresas como Repsol, Castillo Max, Maha Energy, Ypergas, Ekabel, Reimpet,

Denarius Pumping Services, Petrolera Cyprus Limited (Rusia), Wag Global Energy, la AVHI (Asociación Venezolana de Hidrocarburos), PetroPymi y GELA (Gas Energy Latín América). Durante estos foros, la asistencia fue notable y los representantes de las instituciones mostraron gran interés en estrechar relaciones con la Escuela de Ingeniería de Petróleo, a través de futuros programas de trabajo, visitas de campo, proyectos, tutorías de trabajos de grado y pasantías.

Durante el jueves en la tarde se desarrolló un evento deportivo en el estadio de Sierra Maestra, con un juego amistoso de softball entre profesores y estudiantes; siendo estos últimos los vencedores de la contienda.

En suma, el evento se desarrolló a la altura de un programa académico, empresarial y de fraternidad, acorde con la importancia del hito histórico alcanzado, y destacando de manera sobresaliente, la participación y colaboración de los estudiantes en todas las etapas y actividades de la celebración de la magna fecha del 50 aniversario de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela.



Algunos de los profesores de la Escuela de Petróleo (Universidad Central de Venezuela) que asistieron al acto inaugural. De izquierda a derecha los profesores: **Pedro Díaz, Yujeisly Reina, Alí Vivas, Adriana Zambrano, Jesús Calderón, Eliana Alvarado, Jhonny Casas y Neyfran Ortuño.**



[jcasas@geologist.com](mailto: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 38 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 61 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 mas de 49 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 Counselor para AAPG LACR (2023-2026).

# CONTENIDO

**SEPTIEMBRE  
2025**

|                                                   |                            |
|---------------------------------------------------|----------------------------|
| Semblanzas.....                                   | <a href="#"><u>13</u></a>  |
| Obituarios.....                                   | <a href="#"><u>22</u></a>  |
| Miscelanea de imágenes.....                       | <a href="#"><u>31</u></a>  |
| Resúmenes de tesis y publicaciones.....           | <a href="#"><u>33</u></a>  |
| Los libros recomendados.....                      | <a href="#"><u>50</u></a>  |
| Temas de interés.....                             | <a href="#"><u>54</u></a>  |
| Fotografías de afloramientos/microscopio.....     | <a href="#"><u>84</u></a>  |
| Notas geocientíficas.....                         | <a href="#"><u>92</u></a>  |
| <b>Misceláneos</b>                                |                            |
| Museos de historia natural.....                   | <a href="#"><u>162</u></a> |
| GeoLatinas – GeoSeminarios.....                   | <a href="#"><u>163</u></a> |
| Venezuelan American Petroleum Association.....    | <a href="#"><u>164</u></a> |
| Instituto Potosino de Investigación (IPICYT)..... | <a href="#"><u>165</u></a> |
| Congreso Unión Geofísica Mexicana.....            | <a href="#"><u>166</u></a> |
| Congreso Nacional de Geoquímica–México.....       | <a href="#"><u>168</u></a> |
| Caverna del Arte.....                             | <a href="#"><u>172</u></a> |
| Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....            | <a href="#"><u>175</u></a> |
| La casa de los huracanes.....                     | <a href="#"><u>176</u></a> |
| Cappadocia, Turkey.....                           | <a href="#"><u>177</u></a> |
| Asociaciones geológicas hermanas.....             | <a href="#"><u>178</u></a> |

# SEMBLANZAS

## László Korpás : 1943 - 2007

### Introducción.<sup>1</sup>

Desde mediados del siglo XX, en Cuba trabajaron reconocidos geólogos húngaros como Horst von Bandat<sup>2</sup> y Myron T. Kozary,<sup>3</sup> representantes ambos de la sólida escuela del Instituto Geológico Nacional de Hungría (MAGI), fundado a mediados del siglo XIX. Desde 1960, comenzó una nueva época de colaboración con los geólogos y geofísicos húngaros que se desarrolló en tres direcciones principales: 1. La asesoría en la creación y establecimiento del Centro Nacional del Fondo Geológico, hoy Oficina Nacional de Recursos Minerales. En esta institución, durante 25 años, trabajaron 30 técnicos húngaros. 2. La primera expedición de cartografía geológica en el extremo oriental de la isla entre 1972 y 1976, producto de los acuerdos de cooperación entre las Academias de Ciencias de Cuba y Hungría. 3. Dos expediciones de cartografía y prospección geológica en los polígonos de Holguín (1983-1987) y de Guantánamo (1987-1990); y exploraciones de oro en la zona de Aguas Claras (1989-1990) en el marco de la colaboración entre países integrantes del Consejo de Ayuda Mutua Económica – CAME (Comecom).

La lista de especialistas húngaros en Cuba es extensa. Los que estuvieron trabajando por periodos prologados de más de un año fueron cincuenta y seis, que acumularon en su totalidad más 250 años de labor. Ellos publicaron unos doscientos artículos y se encuentran en los archivos cubanos decenas de manuscritos inéditos. Entre los autores más productivos se encuentran: Elemer Nagy (41 artículos), Karoly Brezsnayánszky y Gyula Radócz (ambos 29), László Korpás (20), Myron Kozák (19), Jan Ando (15), Peter Jakus (12), Pal Gyarmati (10), Gabor P. Kovács (9) y László Csilling (8), etc.<sup>4</sup> Entre los artículos más citados están: Brezsnayánszky et al. (1981)<sup>5</sup>, Nagy (1972)<sup>6</sup>, Nagy et al. (1983)<sup>7</sup>; en coautoría con investigadores cubanos.



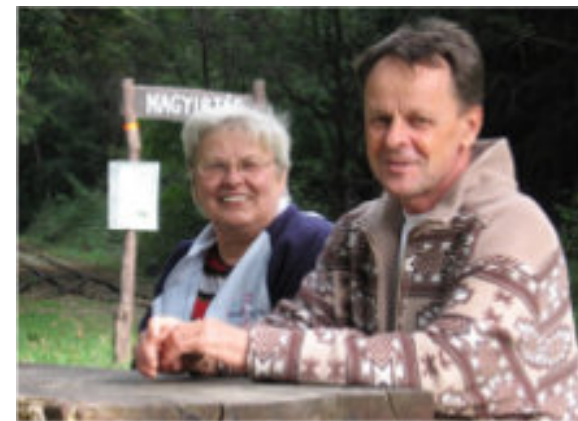
Nació en Budapest, el 17 de diciembre de 1943, hijo del Dr. Emil Korpás (1910-1980) geógrafo, profesor universitario y Julianna Görgényi profesora de historia. Se graduó en el Colegio Secundario Kölcsey Ferenc de Budapest en 1961. Completó sus estudios universitarios en la Universidad Eötvös Loránd (ELTE) de la misma ciudad, obteniendo títulos en geología (1966) y en cartografía (1967). Recibió el grado de Doctor en Ciencias de la Tierra en 1979 sobre el tema del pronóstico de la bauxita en Cuba y el de Doctor de la Academia Húngara de Ciencias en 2002,<sup>8</sup> sobre el paleocarso en Hungría. Escribió una tercera tesis de doctorado académico, sobre el potencial en Hungría de yacimientos auríferos del tipo Carlin.

Inició su recorrido laboral en el Instituto Estatal de Geología de Hungría (MÁGI), donde permaneció hasta su jubilación. En sus primeros años, se centró en la cartografía geológica y metalogénica en áreas de las montañas Bakony, Börzsöny, Visegrád y Rudabánya. Entre 1970 y 1971 dirigió el Departamento de Cartografía del MAGI. Viaja a Cuba, por primera vez en 1971, como jefe del grupo cartográfico en la expedición de levantamiento geológico de Oriente (1971–1975). Más tarde, entre 1983 y 1987, publicó el primer pronóstico de bauxita de Cuba.

Asimismo, tuvo a su cargo la supervisión técnica de las expediciones geológicas húngaro-cubanas hasta 1990.

Al regreso de su primera misión a Cuba, dirigió el Departamento de Sedimentología del MAGI, donde llevó a cabo estudios sobre las rocas madre de la bauxita. Más tarde, a partir de 1989, como jefe de proyecto, se dedicó a la investigación de los sistemas de paleocarso en Hungría. Durante estos trabajos profundizó en el estudio del vulcanismo del Mioceno en las montañas de Börzsöny y las de Visegrád. Finalmente se dedicó al estudio de yacimientos de oro y la investigación de los procesos genéticos de la formación de travertina en Hungría.

En distintos momentos de su vida trabajó como experto en Perú, México, Nicaragua, Jamaica, Brasil, España, Israel, Estados Unidos, Inglaterra, Austria, Rumanía y Eslovenia. Fue profesor invitado en varias universidades y colegios húngaros, apoyando y formando tanto a estudiantes universitarios como a doctorandos. Es miembro de la Sociedad Geológica de Hungría, de la Sociedad Geográfica Húngara y de la Asociación de Geofísicos Húngaros. Miembro honorario de la Sociedad Cubana de Geología de Cuba y miembro de la Geological Society of America. Ocupó cargos en la dirección de la Sociedad Húngara de Espeleología y Estudios Cársicos y en la asociación geológica HUNGEO. Desde 1993 fue secretario general de la Asociación de Amistad Húngaro-Cubana.



Su esposa, la Dra. Margit Hódi (Budapest, 1941-), es especialista en geología y paleontología. Sus hijos Noémi Korpás (1968-), economista, y el Dr. Zoltán Korpás[5] (1971-), historiador. László Korpás falleció el 22 de enero de 2007.<sup>9</sup>

### Sus aportes a la geología cubana.

László Korpás llegó por primera vez a Cuba en 1971<sup>10</sup> para trabajar con el Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, en la expedición de cartografía geológica de la antigua provincia de Oriente, cuyo campamento base se encontraba en La Jíquima, cerca de San Agustín de Aguas, Holguín. Durante cinco años trabajó de forma permanente junto a Elemér Nagy, jefe de la expedición, Karoly Brezsnayánszky, Péter Jakus, Gyula Radócz, József Ando, Pál Gyarmati.<sup>11</sup>, así como con un grupo de colegas cubanos. La expedición produjo un informe y mapa geológico a escala 1:250 000<sup>12</sup> que con posterioridad, en 1988, se publicó integrado al mapa geológico de Cuba a esa misma escala.<sup>13</sup>

Regresó en 1983 para unirse como asesor científico, consultante y agente supervisor de la Oficina Geológica Central de Hungría de las expediciones denominadas “Polígono CAME Holguín” y “Polígono CAME Guantánamo”, organizadas por el Instituto Geológico Nacional de Hungría (MAGI). En esta ocasión los acogió la Empresa de Geología de Santiago de Cuba. La expedición, en 1987, completó un informe y mapa geológico a escala 1:50 000 con recomendaciones para la ulterior exploración de minerales útiles. Concluidas las investigaciones en Holguín, el grupo realiza trabajos similares en el llamado “Polígono CAME V Guantánamo”, en un área de 2391 km cuadrados, que abarca las localidades de Guantánamo-Sagua de Tánamo-Baracoa. Los trabajos, bajo la dirección de Pal Gyarmati, se iniciaron en marzo de 1987 y concluyeron en diciembre de 1990.<sup>15</sup> El objetivo era crear una base geológica de alta confiabilidad, con un pronóstico cualitativo de los minerales útiles detectados y delimitar los sectores donde deberían ejecutarse a posteriori, trabajos detallados de exploración.<sup>16</sup> László Korpás se destacó especialmente en los estudios de las bauxitas en Cuba. Participó en la descripción de las primeras manifestaciones de este tipo de rocas cretácicas en Cuba occidental.<sup>17</sup> Lo que a continuación se extendió a otros contextos geológicos, estableciendo los principios geológicos-metodológicos para la prospección de bauxita en Cuba, para luego

extenderlo a otras áreas del Caribe y toda la región tropical del mundo.<sup>18</sup> Producto de su trabajo fue confeccionado el primer mapa pronóstico de bauxitas de Cuba que aun permanece inédito.<sup>19</sup>

Los estudios del paleocarso cubano abarcaron los procesos diagenéticos de las secciones carbonadas mesozoicas y su relación con la formación de reservorios petroleros.<sup>20</sup> Participó en la interpretación geológica de los fechados isotópicos K-Ar de rocas cubanas.<sup>21</sup> Igualmente se destacan sus estudios sobre las posibilidades de oro Carlin en Cuba.<sup>22</sup>

Durante los años trabajados en el país, László Korpás cultivó numerosas amistades, gracias a la rara virtud de

unir a su inteligencia, modestia, humildad y bondad. A su regreso a Hungría fue uno de los fundadores y Presidente de la Sociedad Húngaro – Cubana de Amistad. László participó en varios Congresos Cubanos de Geología, y durante el III Congreso de Geología y Minería de 1998 se le entregó la condición de Miembro Emérito de la Sociedad Cubana de Geología. Autor del libro sobre la colaboración cubano – húngara en el campo de la geología.<sup>23</sup> Es muy interesante reconocer que unio a los dos países a través de la ciencia profundizando en el estudio de aspectos geológicos sorprendentemente comunes.



<sup>1</sup>La mayor parte de las referencias pueden ser descargadas del sitio: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html>

<sup>2</sup>Tenreiro Perez. R. 2024. Horst Von Bandat. Revista Maya de Geociencias. Abril 2024. Pág. 12-14

<sup>3</sup>Tenreiro Perez. R. 2024. Myron T. Kozary. Revista Maya de Geociencias. Octubre 2024. Pág. 10-13

<sup>4</sup>Kovács, G. P & Korpás, L. 2000: Los especialistas húngaros de ciencias de la tierra en Cuba entre 1962 y 2000. En: Pasado, presente y futuro. Colaboración geológica entre Hungría y Cuba. – Publicación especial 119, del Instituto de Geología de Hungría, 63-68.

<sup>5</sup>Breznayánszky, K., Coutín-Correa, D.P., y Jakus, P., 1981. Nuevos aspectos acerca del complejo basal en Cuba Oriental. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 3: 23-29.

<sup>6</sup>Nagy, E., 1972. Perfil transversal esquemático de Oriente desde el punto de vista de la tectónica de placas (hipótesis). Actas 2, Consejo Científico del Instituto de Geología de la Academia de Ciencias de Cuba, pág. 63-65, La Habana.

<sup>7</sup>Nagy, E., Brito, A., Jakus, P., Gyarmati, P., Breznayánszky, K., Franco-Alvarez, G.L., Radocz, G.Y., Pérez Nevot, N., Formell-Cortina, F., Albear, J.F. de, y Torre y Callejas, A. de la, 1983. Contribución a la geología de Cuba Oriental. Editorial Científico-Técnica, La Habana, pág. 1-273. Capítulos: Índice y Prólogo, Apéndice.

<sup>8</sup>Császár, Geza. 2007. "In Memoriam Korpás László", Földtani Közlöny 137/2, pp.163–172. <https://ojs.mtak.hu/index.php/foldtanikozlony/article/view/2933/2203>

<sup>9</sup>Császár Géza (2007). „In Memoriam Dr. Korpás László (1943-2007)”. Földtani Közlöny 137 (2), 163-172. o.

<sup>10</sup>Breznayánszky, K., y Korpás, L., 1973. Esquema geológico de la sedimentación orogénica. Actas, resúmenes, comunicaciones y notas del V consejo científico, La Habana, 3: 75-78.

<sup>11</sup>Nagy, E., Breznayánszky, K., Korpás, L. & Sousin, O. 1989: Perfil transversal tectónico-interpretativo de Cuba Oriental. – Resúmenes del Primer Congreso Cubano de Geología. 110-111. La Habana., Nagy, E., Breznayánszky, K., Korpás, L., y Susin, O., 1992. Perfil transversal tectónico-interpretativo de Cuba Oriental. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 20: 49-56.

<sup>12</sup>Nagy, E., Breznayánszky, K., Brito, A., Coutín-Correa, D.P., Formell-Cortina, F., Franco-Alvarez, G.L., Gyarmati, P., Jakus, P., y Radocz, G.Y., 1976. Texto explicativo del mapa geológico de la provincia de Oriente a escala 1: 250 000. Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de Energía y Minas, La Habana (Inédito).

<sup>13</sup>Breznayánszky Károly 2000 Las relaciones geológicas húngaro-cubanas antes y después de 1990 Colaboración geológica entre Hungría y Cuba A Magyar Állami Földtani Intézet 199. Alkalmi kiadványa Vol. 199 of the Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary Instituto de Geología de Hungría, 2000

<sup>14</sup>Pentelényi, L., Garcez, E.L. (Editores) 1988. Informe final sobre los resultados del Levantamiento Geológico Complejo y Búsquedas Acompañantes a escala 1: 50000 en el Polígono IV. CAME-Holguín, 1983-88. Empresa de Geología de Santiago de Cuba, Fondo y Anexo textual, 28-50.

<sup>15</sup>Gyarmati, P., y Breznayánszky, K., 1990. Informe final de levantamiento geológico 1:50.000 del Polígono CAME V. Guantánamo. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de Energía y Minas, La Habana (Inédito).

<sup>16</sup>Korpás L. 1994: Rendhagyó leltár. (Inventario irregular - en húngaro) — Ezredvég, Budapest, 4/7: 78-79.;

Korpás, L. 1995: Inventario irregular. Carta mensual de la Sociedad Cubana de Geología, septiembre, p. 1.

<sup>17</sup>Ponce, N., Korpás, L. & Razumovskiy, O. 1985: The bauxite perspectives of the Cuban Neogene. – VIII th Congress of RCMNS, Abstracts, p. 476. Budapest.

<sup>18</sup>Korpás L., Ponce Seoane, N. & Razumovskiy, O. 1986: Bauxitiferous epochs in Cuba and their comparison with bauxitiferous horizons of the Caribbean region and its surroundings. – 11th Caribbean Geological Conference, Abstracts, 125-126. Barbados;

Korpás L. 1988: Bauxite geological model of tropical oceanic island arcs. — En: Abstracts, 9th European Regional Meeting, Internat. Assoc. of Sedimentologists, Leuven, Belgium: 125.;

Korpás, L., 1988. Los principios geológico-metodológicos del pronóstico de bauxita en las áreas del tipo arco insular oceánico tropical, en el ejemplo de Cuba. Földtani Kutatas, Budapest, 31(3-4): 1-74.;

Razumovskii, O., Ponce, N., Danilyuk, L., Dilla, M. & Korpás, L. 1988: Diaspore bauxites of western Cuba. — Lithology and Mineral Resources 22/5, 434-441, Consultants Bureau, New York, NY, United States.;

Korpás L. 1989: A bauxite geological model of tropical oceanic island arcs. — Magyar Állami Földtani Intézet, Special Papers, Budapest: 1-21.;

Korpás L. 1989: Modelo bauxitífero de arcos insulares tropicales. — En: Resúmenes y Programa, Primer Congreso Cubano de Geología, La Habana: 137.;

Ponce, N., Razumovskiy, O., González, E., Korpás, L., Carillo, D., Dilla, M. & Perez, M. 1989: Las características geomorfológicas de Cuba y su relación con las manifestaciones de rocas bauxíticas. Resúmenes del Primer Congreso Cubano de Geología p. 74. La Habana.

<sup>19</sup>Razumovskiy O, Ponce, N., Korpás L. 1986: Bauxite prognostic map of the Republic of Cuba, scale 1:500 000. Weathering crusts as sources for complex Raw Materials, Abstract of Federal Meeting, 1986 Magnitogorsk, edited in Chelyabinsk:60.

<sup>20</sup>Korpás L.-M. Iturralde-Vinent 1992: The Cuban paleokarst: Facts and potential. En: Programa y Resúmenes, 13a Conferencia Geológica del Caribe, Pinar del Río, Cuba: 126.

<sup>21</sup>Iturralde Vinent, M., Korpás, L., Nagy, E., Fajon, J. & Oropesa, P. 1992: Cuban K-Ar isotopic dating: Preliminary interpretation. — 13th Caribbean Geological Conference, Abstracts, 79-80. Pinar del Río., Iturralde-Vinent, M., Millán-Trujillo, G., Korpás, L., Nagy, E., y Pajón-Morejón, J.M., 1996. Geological interpretation of the Cuban K-Ar database. En: Iturralde-Vinent, M., (Editor) 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba, First Contribution IGCP Project 364, pág. 48-69.

<sup>22</sup>Formell, F. C. & Korpás, L. 1996: The Carlin Gold Potential of Cuba. – 30th International Geological Congress, Beijing, China CD-ROM.

<sup>23</sup>Korpás, L. (editor), 2000. Pasado, presente y futuro: Colaboración Geológica entre Hungría y Cuba. Publicación especial No. 199 del Instituto de Geología de Hungría, 90 p.



**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](mailto:tenreyro2015@gmail.com)



### **Dr. Manuel Antonio Iturralde Vinent**

Cienfuegos, Cuba 10 de julio de 1946. Vive en La Habana, Cuba.

Académico de Mérito de la Academia de Ciencias de Cuba, ha recibido numerosos galardones por sus contribuciones a las ciencias de la Tierra, a la promoción del conocimiento y a la reducción del riesgo de desastres. Ha dirigido varios proyectos científicos internacionales patrocinados por la UNESCO, la IUGS, la NGS y otras organizaciones; y organizado convenciones, congresos y otros eventos científicos. Es autor y editor de cientos de publicaciones, documentales, spots, multimedia, apk y juegos digitales ([redciencia.cu/geobiblio/inicio.html](http://redciencia.cu/geobiblio/inicio.html)). Ha participado como ponente y conferencista invitado en numerosos eventos en todo el mundo. Es árbitro internacional de proyectos y para diversas revistas. Actualmente ofrece servicios de asesoría.

Sus contribuciones científicas abarcan el origen y evolución de Cuba en un marco caribeño, una teoría sobre el origen de las biotas antillanas, el fechado del ámbar dominicano, descubrimiento de numerosas especies nuevas y caracterización de distintas biotas fósiles caribeñas, así como distintas obras sobre la naturaleza antillana, desastres naturales y su prevención.

[maivcu@gmail.com](mailto:maivcu@gmail.com)

## **Josefa Cuevas de Sansores: La primera geóloga mexicana: (1920-2010).**

Muy poca gente sabe que en el 2010 murió a los 90 años de edad, en el estado de Morelos, donde vivía con su marido desde su jubilación de PEMEX, doña Josefa Cuevas de Sansores, la primera geóloga mexicana.

Históricamente, hasta hace menos de medio siglo la actividad científica había sido una empresa exclusivamente masculina, y las pocas mujeres que la practicaban eran excluidas de los círculos científicos establecidos. La imagen popular de la científica ha sido Marie Curie, una abnegada mujer que se sacrificó por la ciencia y por la sociedad. Las biografías resaltan los obstáculos que tuvo que enfrentar por ser mujer y las vicisitudes de su vida de casada, dejando un poco de lado los aspectos científicos de su notable trabajo.

Cuando más mujeres empezaron a destacar, sólo llegaban al público los pormenores de las vidas de las ganadoras del Nobel, unas cuantas: con determinación férrea, a menudo sacrificando su vida emotiva o amorosa. Eran aceptadas sólo a la sombra de un gran hombre o incluso mencionadas por haber sido despojadas del reconocimiento que merecían. Pero esta es una porción mínima de las mujeres en la ciencia; no conocemos nada del resto.

Si estamos convencidos de la importancia de que más mujeres se desarrollen en el campo de la ciencia y la tecnología, ¿cómo pueden enterarse las jóvenes del inmenso panorama científico que se abre ahora para ellas? Una de las muchas maneras es fomentar en las jóvenes la vocación científica mediante el contacto con las historias de las científicas de vida "común y corriente", mujeres de profesión y de familia, de un entorno compartido, que contribuyeron y contribuyen al conocimiento científico. Una de ellas es la primera ingeniera geóloga mexicana: Josefa Cuevas.



### **La inclinación por la ingeniería**

Josefa Cuevas nació en la ciudad de Mérida el 24 de marzo de 1920, la menor de cuatro hermanas. Su madre fue la profesora Andrea Aguilar Argüello (graduada en 1929 en la especialidad de Instrucción Primaria Inferior y Superior), fundadora de varios jardines de niños en Yucatán, uno de los cuales lleva actualmente su nombre. La profesión del magisterio confería, todavía entrado el siglo XX, un cierto prestigio, y en el caso de las mujeres que la ejercían se añadía al aura de intelectualidad la percepción de una voluntad personal para formar ciudadanos valiosos. Dos de las hijas de la profesora Aguilar fueron maestras normalistas, y seguramente el ambiente familiar inspiró a la más pequeña, desde siempre muy inquieta y adelantada a su época, el gusto por el estudio.

En su ciudad natal la joven estudió primaria, secundaria y preparatoria. En esa época la preparatoria tenía un tercer año de especialidad y ella lo hizo en derecho. Sin embargo, decía doña Josefa, "...quiso la vida que me enamorara de un ingeniero y me casara con él, de modo que volví a la preparatoria e hice la Especial de Ingeniería".

Este comentario revela su facilidad de cambiar diametralmente de campo de estudio, pero está dicho con una modestia conmovedora.

Todos aquellos que odiaron matemáticas y física en la preparatoria coincidirán en que no son disciplinas cuyo estudio se facilite por un estado de enamoramiento, antes al contrario. Y por más que la pareja sea un ingeniero, resulta notable el cambio de disciplina, del derecho a la ingeniería, como si fuera lo más sencillo del mundo. Evidentemente ella tenía todas las posibilidades intelectuales para lograrlo.

Cuando Josefa acabó la preparatoria el joven matrimonio decidió trasladarse a la ciudad de México para estudiar geología. Los ingenieros geólogos son profesionistas esenciales para el desarrollo del país: aplican conocimientos técnicos y científicos para, entre otras muchas labores, descubrir los recursos minerales y localizar los yacimientos de hidrocarburos.

#### Estudios en la UNAM

Los esposos Sansores se inscribieron en la Facultad de Ingeniería de la Escuela de Ingenieros de la Universidad Nacional, todavía ubicada en el palacio de Minería. Enrique Sansores Manzanilla era ingeniero civil, así que también para él era un cambio, aunque pudo revalidar algunas materias; en cambio, ella empezó desde cero. Era el año de 1944. En ese entonces muy pocas mujeres estudiaban carreras universitarias: Filosofía y Letras, Derecho, y Medicina a cuentagotas; era verdaderamente excepcional el ingreso de una mujer a Ingeniería, uno de los ambientes más masculinos.

Nos podemos imaginar a la joven estudiante cruzando el patio central del Palacio de Minería, en medio de los chiflidos de los otros alumnos, como siempre ha sucedido, en la Facultad de Ingeniería. Cuando ella ingresó a la Facultad ingresaron otras tres mujeres, pero sólo ella terminó. Josefa Cuevas fue una excelente estudiante. Obtuvo la primera Medalla al Mérito Universitario, por Distinción Escolar, Primer Premio 1947. Por sus méritos académicos uno de sus maestros, el Ing. Teodoro Flores, la recomendó para obtener una plaza de laboratorista en mineralogía y petrografía para las clases de geología. Ayudaba en el cuidado y arreglo de las colecciones de rocas y minerales que entonces tenía la Escuela de Ingenieros.

Su examen profesional fue el 7 de octubre de 1950, con la aprobación unánime y mención honorífica. Sus sinodales

fueron los ingenieros Eduardo Guzmán y Federico Mina, ambos jefes de la Gerencia de Exploración de Pemex, los conocidos maestros Harmión Larios, Manuel Álvarez y Ramiro Robles Ramos, y como Presidente el Ing. Teodoro Flores. Su título tiene fecha del 9 de enero de 1951. Josefa Cuevas se volvió la primera geóloga mexicana.

#### El auge de la Geología en México

¿Y cuál era la situación de la geología mexicana? Si bien tiene una larga historia por la importancia de la minería para el país, el despegue de esta rama del conocimiento comenzó en la segunda mitad del siglo XIX, aunque prácticamente subordinada a los estudios mineros. A principios del siglo XX surge la geología petrolera y empiezan a progresar a grandes pasos las ciencias de la Tierra: la geología, la paleontología y la geofísica. En ese entonces las compañías extranjeras impulsan el desarrollo de la industria petrolera, en forma paralela a la geología petrolera. Pero es hasta la expropiación petrolera, en 1938, cuando el estudio de los recursos petroleros tiene un notable avance en casi todo el país. Cuenta E. López-Ramos: “Centenares de brigadas geológicas superficiales recorrieron primero las áreas conocidas con hidrocarburos, como la planicie costera; posteriormente, con la ayuda de la geofísica, se programaron áreas submarinas y después se cubrió casi todo el territorio nacional. Conjuntamente con el avance de los estudios estratigráficos se incrementaron los estudios paleontológicos (micro y microfósiles), así como la paleobotánica.” Asimismo, a principios de los años cuarenta la visión nacionalista posrevolucionaria de la ingeniería civil dirige sus esfuerzos a la construcción de grandes presas y carreteras. En esta actividad la geología aplicada fue fundamental y realizó grandes logros.

“Todo esto fue posible”, continúa López-Ramos, “por la fortuna de contar con grandes recursos económicos, la labor de centenares de geólogos, paleontólogos y geofísicos egresados de las escuelas de geología del país”, los cuales, una vez que cumplieron su tarea y se retiraron de la actividad profesional, “dejaron un testimonio palpable de su actividad profesional a su paso por Petróleos Mexicanos. Debe decirse, definitivamente, que es en la dependencia de Exploración de Petróleos Mexicanos donde se realizan los estudios geológicos más serios y completos.”

La joven y brillante ingeniera geóloga ya desde 1946 trabajaba en el Departamento de Paleontología de la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos. Empezó como Ayudante de Paleontólogo y fue ascendiendo en categoría a medida que, como ella dice, “fueron mejorando mis conocimientos” hasta llegar la posición de Paleontólogo Auxiliar A. En el año 1949 fue trasladada a la Zona Sur, que comprendía todo el sureste de México, para hacerse cargo del Laboratorio de Paleontología.

Por las formaciones geológicas que le tocó estudiar, se volvió una experta de la fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, especialmente del terciario. Estudiaba muestras de geología superficial y también del subsuelo, y sus resultados fueron muy apreciados. Tuvo varios ascensos hasta que alcanzó la Jefatura de Paleontología de la Zona, que desempeñó de 1953 a 1966. A mediados de 1966 la transfirieron a Tampico, Zona Norte, con el mismo cargo de Jefe de Paleontólogos. En esa nueva región sus conocimientos se ampliaron con la microfauna de muestras de los estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Coahuila y Baja California, principalmente del Terciario y el Cretácico.

En diciembre de 1969 fue trasladada a la ciudad de México, comisionada en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), como jefe del Departamento de Micropaleontología del Terciario. En el IMP analizó todas las muestras sedimentarias del país, lo que completó aún más su conocimiento de la microfauna y la estratigrafía de México. Se hacían ahí los estudios micropaleontológicos de las muestras y se enviaban los resultados a las zonas respectivas. En su departamento preparaban catálogos de foraminíferos planctónicos y bentónicos, y determinaban sus edades y su ambiente de depósito. Esto permitió establecer unidades estratigráficas que ayudaban a la interpretación de los estudios paleogeográficos y su relación con la presencia de hidrocarburos. Estuvo en el IMP hasta 1978, año en que se jubiló. Hasta 1998 trabajó junto con su esposo como geólogo independiente para

Petróleos Mexicanos, en la capacitación del personal técnico de su Gerencia de Exploración. En esta gerencia organizaban y planeaban estudios, apoyando las iniciativas del personal.

El conocimiento de la naturaleza puede avanzar con grandes saltos que deslumbran o con pasos cortos, constantes y poco aparatosos. La inmensa mayoría de los científicos trabajan en la segunda modalidad, que cultiva las condiciones para que ocurra la primera. Josefa Cuevas dedicó su vida a su profesión sin ser conocida fuera de su ámbito. En 1990 la Sociedad Geológica Mexicana, A.C. le otorgó a Josefa Cuevas de Sansores un diploma en reconocimiento a su labor en beneficio de las Ciencias de la Tierra.

#### Conclusión

Mediante este pequeño texto queremos reconocerle también a doña Josefa su condición de pionera de género en una disciplina tradicionalmente masculina. En una historia de vida que parece contradecir la noción de que los lazos de amor son en realidad las cadenas de las mujeres. Esta mujer menudita, cordial, de mirada directa e inteligente, hace gala de su modestia para mostrar que el amor y la profesión no son incompatibles y, con suerte, todo lo contrario.

**Fuente: Ana María Sánchez y Julia Tagüeña**

©Coordinación de Acervos Digitales. Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación -UNAM

Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

## Francisco J. Fabregat Guinchard

El día 11 de abril de 1988 falleció el **Dr. Francisco Jose Fabregat Guinchard**, investigador y profesor universitario distinguido y miembro del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

El Dr. Fabregat nació en la Ciudad de México el 29 de noviembre de 1909 y realizó sus primeros estudios en el Colegio Alemán de esta misma ciudad. En España completó sus estudios de bachillerato y de licenciado en Ciencias, en la Universidad de Barcelona. El 12 de febrero de 1959 la Universidad de Madrid le otorgó, con grado de sobresaliente, el título de Doctor en Ciencias. Durante su formación académica fue becario y colaborador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, profesor de la Universidad de Barcelona y vocal del Colegio de Licenciados y Doctores de Barcelona.

Su vida profesional en México se inició en el año de 1952 en la Facultad de Ciencias de la U.N.A.M., donde ocupó las cátedras de Cristalografía y de Mineralogía. En 1955 pasó a formar parte del Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales y continuó en el Consejo de Recursos Naturales No Renovables, donde fungió como jefe de laboratorios, director de publicaciones y consultor. En 1961 ingresó en el Instituto de Geología, en el cual desarrolló una labor académica intensa y

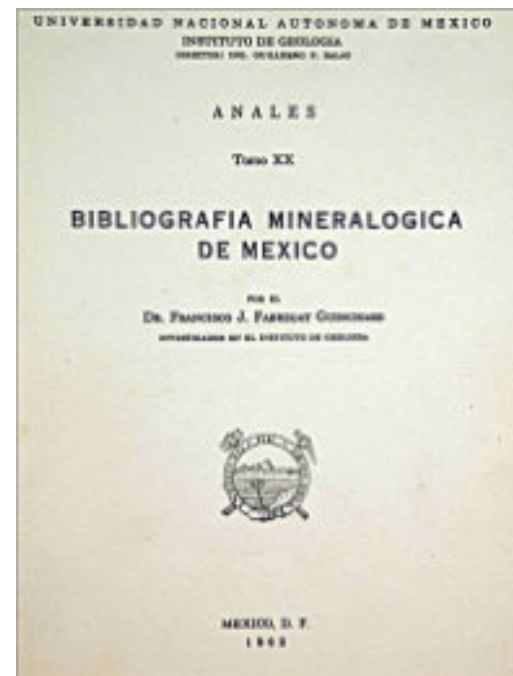
fructífera, que incluyó más de 76 publicaciones científicas y 150 programas de cómputo en las especialidades de Cristalografía y Mineralogía.

Fue jefe de la sección de Cristalografía y, en 1971, del departamento de Petrología. Su libro *Cristalografía Geométrica*, publicado por la U.N.A.M., y sus revisiones críticas de la mineralogía mexicana permanecen como contribuciones distinguidas. Infortunadamente, una veintena de sus trabajos quedó en preparación o inédita. Era miembro de varias sociedades científicas internacionales y nacionales.

El Dr. Fabregat fue un investigador y académico extraordinario y dedicado, cuyo interés y entusiasmo por la ciencia cristalográfica solo fue superado por el amor y devoción a su familia. Afable, complaciente, poseedor de un gran acervo de conocimientos científicos, los que con él convivimos lo recordamos y sentimos su separación. La ciencia mexicana ha perdido un miembro distinguido. Nuestras condolencias a su esposa Enriqueta, a sus hijos Juan Ramón, Ana, Enriqueta, María Isabel y Francisco José.

Descanse en paz, Francisco José Fabregat.

**Liberto de Pablo-Galán**



# OBITUARIOS

## Guillermo Hernández Pérez: 1937 - 2025

Nació en Punta Alegre, provincia de Ciego de Ávila, el 10 de septiembre de 1937. Realizó los estudios primarios en su ciudad natal y luego en el Instituto de Segunda Enseñanza de Ciego de Ávila. En 1955 matriculó en la Universidad de Miami donde se graduó de ingeniero eléctrico en 1959.

Ese mismo año comienza a trabajar en el Instituto Cubano del Petróleo, donde es fundador del modesto servicio geofísico de la empresa petrolera estatal, una organización de nuevo tipo con objetivos concretos, pero ciertamente, muy ambiciosos. Comienza su cambio de especialidad en un campo totalmente nuevo, lo que logró con enorme tesón y estudio constante. En sus primeros momentos es operador de registros geofísicos de pozo con los equipos que pertenecían a la estatal Comisión Nacional de Fomento. La geofísica estaba dentro de la Dirección de Producción, cuyo núcleo duro estaba por integrarse por doce ingenieros provenientes de Argentina con muy buena experiencia y preparación, obtenida en Yacimientos Petrolíferos Fiscales.

En el ICP, el ingeniero argentino Daniel Valencio es nombrado jefe del Departamento de Geofísica y líder del proyecto de síntesis de la información geofísica. Este departamento estaba integrado, además, por Daniel Gutiérrez e Iván Kireev en gravimetría, sísmica Raúl Mera, Héctor Gatti y en los registros de pozo, Guillermo Hernández. Se pone en funcionamiento el viejo equipo de registro a cable marca Widco y con el mismo se realizan los primeros registros eléctricos en 1960 en el pozo Barreras 1. El escaso patrimonio de dispositivos geofísicos ayuda a registrar los primeros pozos del ICP en la zona de Cuenca Central, Ciego de Ávila y los pozos en Madruga, provincia de Matanzas.



En mayo de 1962 Valencio regresa a Argentina, dejando al frente del departamento a Guillermo en la posición que va a mantener por casi treinta años. Él va a continuar su labor al frente de la geofísica de petróleo enfrentando la enorme tarea de construir un servicio geofísico que llegará a contar con decenas de brigadas, repartidas en toda la geografía cubana. La primera tarea fue la organización de la brigada marina 6 que va a contar en ciertos momentos con más de 50 ingenieros soviéticos, adquiriendo datos en aguas someras y profundas. En tierra, se asimila la nueva tecnología geofísica soviética tanto para la sísmica como para la gravimetría. En 1964, Gustavo Echevarría y Guillermo Hernández le solicitan a la dirección del ICRM la introducción de la tecnología de la balanza de torsión que va a resultar decisiva en el descubrimiento de los yacimientos Cristales en 1965 y Guanabo en 1968.

En 1964 se funda la escuela de geofísica en la Universidad de la Habana y Guillermo fue uno de los tres primeros alumnos matriculados, con un plan acelerado de estudios que cumple en solo un año. A continuación, va a formar parte del claustro de profesores, sin abandonar sus altas responsabilidades en el servicio geofísico. Para este año ya

era el jefe de la Unidad Nacional de Investigaciones Geofísicas (UNIG) con programas cada vez más amplios. En 1969, cursó un estudio de especialización en el Instituto Frances de Petróleo en Rueil Malmaison.

En 1968 la Unidad de geofísica se convierte en el Departamento de Geofísica de la Dirección General de Geología y Geofísica. El descubrimiento ese mismo año del yacimiento Guanabo es un punto de inflexión en la exploración petrolera en Cuba. Como parte del ambicioso programa de exploración a todo lo largo la costa norte de la isla, se incrementan los trabajos geofísicos tanto en tierra como en el mar. Una parte importante de este cambio fue la realización de un proyecto de estudios regionales a lo largo de perfiles costa a costa, con la adquisición de datos sísmicos, gravimétricos, magnéticos, sondeo de ondas de cambio de los terremotos y corrientes magneto telúricas. Se registraron un total de trece líneas 11 transversales y dos longitudinales (total 4000 km) abarcando toda la geografía de la isla y los mares cercanos. Un esfuerzo con pocos análogos en el mundo. Luego de la adquisición, un grupo bajo su dirección procedió al procesamiento e interpretación todas las líneas método a método y finalmente una interpretación integral que permitió conocer la estructura profunda de la isla. El colosal programa se extendió hasta 1975 constituyendo la información geofísica el núcleo duro de los reportes sobre la tectónica y el potencial de hidrocarburos de Cuba de ese año. Luego de esto, se pudo dirigir con mayor fundamento los trabajos geofísicos y exploratorios hacia las zonas de mayor potencial. Los aportes científicos de Guillermo fueron decisivos en los resultados de varios métodos particularmente los sísmicos y los estudios con las ondas de cambio de los terremotos. Pero también en gravimetría y magnetometría participando decisivamente en los mapas integrales y su interpretación. Un esfuerzo especial se hizo en la automatización del procesamiento de los datos sísmicos primero con estaciones analógicas y luego con computadoras electrónicas.

El incremento de las brigadas de adquisición el volumen de datos e información llevo a la creación en marzo de 1975 de la Empresa Nacional de Geofísica de la cual Guillermo fue su fundador y primer director técnico. La

empresa se constituyó pronto en una organización de alta productividad y servicios de calidad comparable con los estándares internacionales. El aporte personal de Guillermo fue apreciable en el cumplimiento de las normas técnicas y la calidad de los procesos de adquisición, procesamiento e interpretación de los datos geofísicos de todas las brigadas geofísicas cuyo número se incrementaba todos los años. En estos años se introduce la sísmica profundo común con adquisición y procesamiento digitales.

A partir de 1980 el volumen de trabajos se incrementa especialmente en la parte occidental de Cuba, en la provincia de Pinar del Río. Nuevas brigadas se organizan y se introducen novedosas tecnologías para la adquisición en regiones montañosas. Participa personalmente en las primeras campañas de adquisición marina con contratistas internacionales costa afuera de Pinar del Río, con el barco sísmico Caribbean Horizon, de la empresa británica Horizon. El procesamiento de la información se hizo en el centro de digital situado en Inglaterra.

En 1982 comienza sus estudios de doctorado en el Instituto de la industria del petróleo y el gas “I. Gubkin” en Moscú. En 1986 defiende con éxito su tesis sobre el tema de la estructura profunda de Cuba a partir de los resultados de los trabajos geofísicos regionales. Todo esto sin abandonar sus responsabilidades en la Empresa de Geofísica. Al concluir su tesis de doctorado, va a organizar en la empresa, un grupo de generalización y síntesis especializada en todos los métodos geofísicos. Este grupo va a generar un grupo importante de informes que sintetizan toda la experiencia de casi cincuenta años de trabajos geofísicos en Cuba. De particular relevancia son las campañas de trabajos sísmicos marinos en aguas profundas con un total de 10 000 km y la primera adquisición de sísmica tridimensional en cooperación con la empresa rusa SMNG.

A partir de 1991 comienza a trabajar en Comercial Cupet SA donde va a ocupar el cargo de Gerente de Exploración. Guillermo va a ser clave en la negociación de más de cuarenta contratos de producción compartida (PSA) con empresas extranjeras. Aprovechando sus grandes habilidades con los idiomas (hablaba fluido inglés, francés

y ruso) y amplio bagaje científico, gerencial, económico y técnico va a ser decisivo no solo en la etapa de negociación, sino después durante las operaciones. A partir del año 2000, cuando se decide abrir la Zona Económica Exclusiva de Cuba en el Golfo de México, Guillermo fue decisivo en la contratación y en la conducción de las complejas operaciones costa afuera. Fue secretario de todos los comités de administración puesto de gran responsabilidad, pues se debe contar con la total confianza de todos los socios. Se destacó en la concertación de los contratos de sísmica no exclusiva y fue autor del reporte final del proyecto científico cubano-francés para la evaluación del potencial de hidrocarburos en aguas profundas en el año 2001. En esta nueva etapa, con una prominente proyección internacional va a participar en decenas de eventos científicos, técnicos y de promoción de las oportunidades de exploración en Cuba en decenas de países. Va a permanecer en Comercial Cupet por espacio de veinticinco años hasta su jubilación en 2016.

Guillermo Hernández Perez era un sabio en su especialidad, era lo que los franceses suelen llamar “un puit de science” (un pozo de sabiduría). Su trato afable, su profunda vocación de servicio, intachable conducta y alta eticidad le ganó la admiración, la amistad y el cariño de todos los que tuvimos el privilegio de trabajar con él. Falleció el primero de agosto de 2025 a las nueve de la noche en su morada habanera.

### Publicaciones

Andreev A. Hernández G. 1967 Diapiros salinos de la costa norte de Cuba prov. Camagüey, 1967. La Habana,

Bovenko, V., Shcherbakova, B., y Hernández, G., 1980. New data on the deep structure of eastern Cuba. Sovieskaya Geología, 9: 101-109.

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.Y. & Hernández, G. 1979 Deep geological structure of the western part of the isle of Cuba. In: Tectonics and hydrodynamics of the region of the Caribbean Basin. Moscow, Edit. Nauka, pp. 130-142 (in Russian)

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.Y. & Hernández, G. 1981 Topography of the Mohorovicic discontinuity beneath

eastern Cuba. Transaction of the USSR Acad. of Sciences, Earth Sciences Section, 256, pp. 8-12.

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.Y. & Hernández, G. 1982 New geophysical data on the deep structure of eastern Cuba. International Geological Review, 24, pp. 1115-1162.

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.Y. y Hernández, G. 1979 Estructura geológica profunda de la parte occidental de la isla de Cuba. En: Tectonics and hydrodynamics of the region of the Caribbean Basin. Moscow, Edit. Nauka, pp. 130-142 (en ruso)

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.Y. y Hernández, G. 1981 Topography of the Mohorovicic discontinuity beneath eastern Cuba. Transaction of the USSR Acad. of Sciences, Earth Sciences Section, 256, pp. 8-12.

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.YE., y Hernández, G., 1978. Relaciones entre la constitución geológica y la estructura de la corteza en Cuba occidental. Sov. Geologiya, 6: 117-128.

Bovenko, V.G., Shcherbakova, B.YE., y Hernández, G., 1979. Nuevos datos geofísicos sobre la estructura profunda del este de Cuba (en ruso). Sov. Geologiya, 9: 101-109.

Echevarría-Rodríguez, G., Hernández-Perez, G., López-Quintero, J.O., López-Rivera, J.G., Rodríguez-Hernández, R., Sánchez-Arango, J.R., Socorro, R., Tenreiro-Pérez, R., y Yparraguirre-Pena, J.L., 1991. Oil gas exploration in Cuba. Journal of Petroleum Geology, 14 (3): 259-274.

Hernández Guillermo. 1976 Proyecto #441 De Los Trabajos Gravimétricos En la Ciénaga de Majaguillar Provincia de Matanzas. Ceinpet Archives Man. No. 1445

Hernández Guillermo; Malovitsky Y.; Socorro Rafael. 1990 Informe Sobre La Generalización De Los Datos Geólogo - Geofísicos En La Region Varadero-Cárdenas-Martí-Corralillo En relación con sus perspectivas gasopetrolíferas (Segunda Parte) Ceinpet Archives Man. No. 1283

Hernández, G. 1986 Evaluación de los resultados de la aplicación del método sísmico del punto común de profundidad en las condiciones sismo geológicas de Cuba. Tecnológica, Vol. XVI, Geología, No. 2, p p. 3-6, 1986.

Hernández, G., Rodríguez, R., Pérez, A., Toucet, S., y Suyi, C., 1988. Principales características de los campos

geofísicos en la plataforma marina de Cuba y mares adyacentes, y su relación con la búsqueda de depósitos de petróleo y gas. *Tecnológica*, 18 (4): 33-40.

Hernández, G., y Blickwede, J.F., 2000. Cuba deepwater exploration opportunities described in southeastern Gulf of Mexico. *Oil and Gas Journal*, 98 (50): 42-44, 46-48.

Hernández, Guillermo; Rodríguez, Rodobaldo; Pérez, Ariel; Sonia Toucet; Carlos Suyí. 1988 Características principales de los campos geofísicos en la plataforma marina de Cuba y mares adyacentes, y su relación con la búsqueda de yacimientos de petróleo y gas *Revista Tecnológica* Vol XVIII No 4 1988. Página 33 – 40.

Ipatenco Stepan Pavlovich; Hernández Guillermo. 1970 Proyecto # 299 De Los Trabajos De Exploración Gravimagnetometricos Detallados Al Norte De La Provincia De Matanzas En La Zona De Cárdenas Máximo Gómez, Martí Y Palma Sola. Ceinpet Archives Man. No. 1106.

Ivanov Adolis, Hernández Guillermo. 1974 Nota Explicativa Sobre Los Trabajos Regionales Realizados En La Parte Occidental De Cuba Anos 1972-1974. Ceinpet Archives Man. No. 674.

López Sofia, Hernández Guillermo, Prol José Luis. 1989 Generalización De Los Datos Geólogo-Geofísicos En La Región Varadero Cárdenas-Martí- Corralillo En Relación Con Sus Perspectivas Gasopetrolíferas Primera Parte. Ceinpet Archives Man. No. 1443.

López Sofia, Gracias M.E.; Hernández Guillermo, 1989 Proyecto#1148.Trabajos sísmicos de reconocimientos PCP en el área de Majaguillar Sur. Ceinpet Archives Man. No. 1562.

López-Rivera, J.G., López-Quintero, J.O., Tenreyro-Pérez, R., Marrero, M., Valladares-Amaro, S., Sánchez-Arango, J.R., y Hernández, G., 1999. Cuba Deep Water Gulf of México offshore área: petroleum systems. 3era Conferencia Internacional Conjunta AMGP/American Association of Petroleum Geologists Bulletin, octubre 10-13, Veracruz, México. Revitalización de Provincias Petrolíferas Maduras, 7 pág.

López-Rivera, J.G., López-Quintero, J.O., Tenreyro-Pérez, R., Marrero, M., Valladares-Amaro, S., Sánchez-Arango, J.R., y Hernández, G., 2000. Cuba deep water Gulf of México offshore área: petroleum systems. Brazilian Geological Institute, IBP-SE, 013-00, Rio de Janeiro.

Shcherbakova, B. E., Bovenko, V.G., Hernández, G. 1978. "Crustal structure in western Cuba." *International Geological Review* 20: 1125-1130.

Shcherbakova, B. E., Bovenko, V.G., Hernández, G. 1978. "Relief of the Mohorovicic discontinuity surface under western Cuba." *International Geological Review*: 7-9.

Shcherbakova, B.E., Bovenko, V.G., y Hernández, G., 1987. Utilización de los métodos de ondas sísmicas de terremotos para el estudio de la estructura profunda de la isla de Cuba. *Prikladnaya Geofizika* (en ruso).

## Edenia de la Caridad Camejo Cordero: 1967 - 2025

**Edenia de la Caridad Camejo Cordero** nació el 11 de junio de 1967 en Pinar del Río. Los que la conocieron en su etapa de niñez y adolescencia la catalogan como una joven muy disciplinada y estudiosa. En 1991 se graduó de ingeniera geofísica en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba. A partir de entonces, Edenia se dedicó en cuerpo y alma al desarrollo de las ciencias geofísicas, hasta convertirse en una destacada profesional y excelente científica comprometida.

Comenzó a trabajar ese mismo año en la Empresa Nacional de Geofísica. Como parte del cumplimiento de su servicio social, es enviada, junto a otros ingenieros recién graduados, a la brigada GF-91, ubicada en Morón, Ciego de Ávila. Allí cumplió, con éxito, todo su programa de adiestramiento y, posteriormente, empieza a participar en el diseño de los sistemas de observación que se empleaban para la obtención de los datos sísmicos de campo. A partir de entonces desarrolló una exitosa carrera que transcurrió de Ingeniero Operador a directora de la Unidad de Ciencia y Técnica - Geofísica (Digicupet) con la categoría científica de investigador Agregado.

En 1998 pasa a trabajar al Centro de Procesamiento Sísmico Digital de la propia Empresa Nacional de Geofísica. Empieza entonces su recalificación a una especialidad especialmente difícil por sus complejos algoritmos que abarcan desde la teoría de la propagación de las ondas elásticas en el subsuelo hasta la deconvolución, para lograr una imagen nítida de la geología subterránea. En las complejas condiciones geológicas de Cuba, el procesamiento sísmico digital es la clave del éxito o fracaso de la exploración de nuevos yacimientos de petróleo y gas. Desde 1996 comienza a tomar los primeros cursos y entrenamientos relacionados con los enfoques modernos de la exploración sísmica y su preparación en técnicas de administración.

De 1999 y hasta 2011 trabajó de especialista en el procesamiento de datos sísmicos. Con el transcurrir del tiempo asimila las técnicas de procesamiento bidimensional y tridimensional, empleando técnicas de migración antes y después de la suma, en datos marinos, terrestres, de transición y de aguas someras. Es de las primeras en hacer el paso del procesamiento en computadoras "mainframe" a las estaciones de trabajo en minicomputadoras, utilizando plataformas avanzadas tanto para el control de la calidad, como en el procesamiento. Participó en la migración y actualización



de nuevos paquetes de procesamiento, con algoritmos geofísicos cada vez más complejos para la selección de velocidades sísmicas, procesamiento antes de la suma, procesamiento de la forma de la onda y la inversión estratigráfica. Form parte del grupo técnico encargado de las modernizaciones de la arquitectura de tecnología informática.<sup>1</sup>

Edenia viaja a China en enero del 2005 para un entrenamiento en procesamiento sísmico en zonas de tectónica de cabalgamientos. Se procede a probar los paquetes de aplicaciones informáticas desarrollados en ese país en líneas sísmicas adquiridas en Cuba. Comienza, desde entonces, su trabajo en la introducción e implementación de nuevas aplicaciones informáticas de procesamiento sísmico bidimensionales y tridimensionales.

Algunos cursos de entrenamientos como el auspiciado por Petrobras en 2008 sobre estilos estructurales en la exploración petrolera son cruciales para el desarrollo y aplicación de nuevos enfoques de procesamiento datos sísmicos marinos. De particular importancia es la asimilación de las técnicas de procesamiento en aguas profundas y superprofundas en zonas cercanas a la costa norte de Cuba.<sup>2</sup> En el año 2009, matricula la maestría en Geofísica Aplicada en la CUJAE, la cual concluye tres años después. Entre los aspectos desarrollados está la utilización de varias aplicaciones posteriores a la suma en las secciones sísmicas marinas.<sup>3</sup> De una incrementada complejidad matemática son los estudios sobre los análisis

de velocidad biespectral, presentado por primera vez en la Convención Cubana de Ciencias de la Tierra en 2011,<sup>4</sup> y las correcciones estáticas y de fase en las líneas sísmicas adquiridas en zona de transición tierra-mar.<sup>5</sup>

Mención aparte merece la aplicación, por primera vez en Cuba, de transformadas para la solución de la anisotropía sísmica. Para obtener el valor de la anisotropía se partió de una secuencia de procesamiento de alta densidad que tiene en cuenta las características del medio, lo que permite una sensible mejora en la continuidad de los reflectores en la imagen sísmica, y una interpretación más confiable.<sup>6</sup> Otro importante resultado fue el procesamiento y reprocesamiento post suma de líneas sísmicas marinas de aguas profundas a partir de una mejor comprensión de los esquemas de procesamiento. Al final, se alcanzó un mejoramiento en la calidad de la imagen sísmica.<sup>7</sup>

Los datos sísmicos marinos entre Bacuranao y Seboruco, merecieron una atención especial pues esta área contiene la mayor parte de los yacimientos del cinturón petrolero norte cubano. Como resultado de su procesamiento e interpretación se pudo fundamentar la ubicación de varios pozos descubridores de nuevos yacimientos de petróleo.<sup>8</sup> Sin lugar a dudas, la campaña sísmica marina “Varadero – Oeste”, efectuada en el año 2011, es la más compleja emprendida por Cupet en toda la historia. Esto se refiere no solo a la adquisición que fue extremadamente problemática sino, en especial, el procesamiento ya que se transfirió a esta etapa todo lo que pudo ser solucionado durante la adquisición. Edenia fue parte del grupo trabajo que emprendió esta tarea en el Reino Unido y resultó ser un éxito extraordinario, pues se abrió una extensa área para la exploración y producción de petróleo para los próximos 10 – 15 años.

A partir de 2015 comienza para Edenia una nueva etapa en su carrera profesional. En el 2005 ya se habían hecho algunas pruebas para la utilización de aplicaciones informáticas en el procesamiento de la sísmica en China, pero en esta nueva ocasión se va a realizar un ensayo a gran escala. En esta ocasión son objeto de las pruebas datos sísmicos marinos y terrestres con migración antes y después de la suma, en el dominio del tiempo. Las pruebas fueron satisfactorias lo que abrió la posibilidad de un periodo de formación y entrenamiento en estas secuencias de procesamiento de datos. En 2016 Edenia es promovida a Especialista principal del grupo de procesamiento y directora del proyecto de construcción de un nuevo centro de procesamiento sísmico en Digicupet.

El proyecto de construcción del centro de procesamiento incluía dos partes: la instalación de toda la mecánica y la carga y validación del nuevo paquete de aplicaciones

informáticas. Este fue un proyecto de gran magnitud, considerando el enorme volumen de datos sísmicos que se debe cargar y sus complejas estructuras (modelos y parámetros), además era necesario contar con almacenamientos de varios Petabytes y la transferencia de cientos de Gigabytes por tarea. La solución vino en forma de una configuración de decenas de unidades de procesamiento digital (racimo de microcomputadoras). La segunda parte del proyecto era su puesta en marcha con una validación de la eficiencia de funcionamiento y el entrenamiento de los operadores en todo el paquete de aplicaciones hasta la migración antes de la suma en el dominio del tiempo. En cualquier país el montaje de tal centro hubiera sido la tarea de un connotado experto con sueldos de seis cifras, esta tarea, sin mucho ruido, la cumplió Edenia exitosamente.

A partir de 2018 comienza el funcionalmente del centro con el procesamiento en tiempo y profundidad de la sísmica terrestre adquirida en la zona de Habana – Matanzas y otros proyectos de interés para la empresa petrolera nacional Cupet, tanto en tierra como en el mar. Se introduce el procesamiento sísmico en el dominio del espacio, así como otras técnicas especiales para el procesamiento en el dominio del espacio antes de la suma, módulos de atenuación de múltiples en la sísmica marina, aplicación de estáticas residuales y otras en las zonas de transición. Por primera vez en Cuba, se realiza un procesamiento pseudo tridimensional en líneas aisladas. Además, se reprocesan líneas de archivo, correspondientes a la zona de Varadero, y la zona Habana Matanzas, tanto en tierra como en el mar y los levantamientos sísmicos tridimensionales en tierra, transición y en el mar. Por todos estos logros a Edenia se le entrega en 2020 el Premio Provincial a la Innovación Tecnológica.

Poseedora de un carisma y liderazgo excepcionales Edenia fue capaz de emprender proyectos de extraordinaria complejidad técnica y científica. A todo esto, se añadía un espíritu alegre, perseverancia y dedicación, rasgos que marcaron positivamente a todos los que tuvieron el enorme privilegio de trabajar con ella. La muerte la sorprendió a causa de una repentina enfermedad, el 30 de julio de 2025, en todo el esplendor de sus facultades creativas. Sus compañeros guardarán siempre en su memoria el legado de Edenia, recordándola por su calidez humana y capacidad de inspirar a sus colegas.

#### Publicaciones

2007 Camejo Cordero, E.C., y Ameijeiras-Fernández, G.A., 2007. Algunas particularidades del procesamiento 3d marino en el bloque 6a -7a. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias'2007). Centro Nacional de Información

Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.

2009 Ameijeiras-Fernández, G.A., Domínguez Gómez, A.H., Camejo Cordero, E., Lastra-Cunill, M., y Gómez García, R., 2013. Sobre el procesamiento postsuma en tiempo de las líneas sísmicas marinas adquiridas en 2009. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.

2011 -Análisis de velocidad biespectral en etapas tempranas del procesamiento sísmico, Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, No. 1, 19-22, IS 2310-0060, 2011.

2011 Camejo-Cordero, E.C., Ameijeiras-Fernández, G.A., y Díaz-Fonseca, R., 2011. Aplicación de estáticas en la zona de transición. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.

2011 Lastra-Cunill, M., Camejo Cordero, E., y Ameijeiras-Fernández, G., 2011. Análisis de velocidad biespectral en etapas tempranas del procesamiento sísmico. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.

2011 Venegas Vidal, Y., Díaz Fonseca, R., y Camejo Cordero, E.C., 2011. Tratamiento de fase en adquisiciones sísmica en zonas de transición. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.

2012 -Obtención de la anisotropía en el procesamiento de datos sísmicos, Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 3, No. 3, 41-45, ISSN 2223-1781, 2012.

Grisel Ariadna Ameijeiras Fernández, Alberto Domínguez Gómez, Edenia Camejo Cordero, Mericy Lastra Cunill y

Raúl Gómez García,. Sobre el procesamiento post suma en tiempo de las líneas sísmicas marinas adquiridas en 2009 2013 VII CONGRESO CUBANO DE GEOFÍSICA (GEOFÍSICA2013) Geofísica aplicada a la exploración geológica GEF2-P5 V CONVENCION CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA, GEOCIENCIAS'2013 Memorias en CD-Rom, La Habana, 1 al 5 de abril de 2013. ISSN 2307-499X 1

2013 García Martínez, N., Domínguez Gómez, A.H., Camejo Cordero, E., Lastra Cunill, M., Gemen Prol, J.L., y Rifá Hernández, M., 2013. Resultados geólogo-geofísico preliminares sobre la reinterpretación de la sísmica 3D en el sector Bacuranao-Santa María. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.

2013 Lastra-Cunill, M., Ameijeiras-Fernández, G., Camejo-Cordero, E., y Gómez García, R., 2013. Procesamiento sísmico de las líneas adquiridas en el año 2000 en la franja norte de crudos pesados de la zona de vía blanca. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.

2013 Lastra-Cunill, M., Camejo-Cordero, E., y Ameijeiras-Fernández, G., 2013. Análisis de velocidad biespectral en etapas tempranas del procesamiento sísmico. Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, No. 1: 19-22.

2014 Camejo-Cordero, E.C., Díaz-Fonseca, R., y Ameijeiras-Fernández, G.A., 2014. Correcciones estáticas aplicadas a datos sísmicos adquiridos en zonas de transición tierra-mar. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 15 (1): 77-84.

2014 -Corrección estática aplicadas a datos sísmicos, Revista Ciencia de la Tierra y el Espacio, Vol. 15, No. 1. 77-84, ISSN 1729-3790, 2014.

2020 José O. López Quintero, Héctor G. Díaz Concepción, Méricy Lastra Cunill, Edenia Camejo Cordero, David Ferrat Garea, Ernesto Linchenat Dennes, Bernardo R. Domínguez Garcés, María M. Juara Zulueta, Isabel Morales Carrillo centro de procesamiento e interpretación de información geólogo – geofísica del Ceinpet en cupet: historia, actualidad y futuro.

<sup>1</sup>José O. López Quintero, Héctor G. Díaz Concepción, Mércy Lastra Cunill, Edenia Camejo Cordero, David Ferrat Garea, Ernesto Linchenat Dennes, Bernardo R. Domínguez Garcés, María M. Juara Zulueta, Isabel Morales Carrillo centro de procesamiento e interpretación de información geólogo – geofísica del Ceinpet en cupet: historia, actualidad y futuro. 2020. Manuscrito.

<sup>2</sup>Camejo Cordero, E.C., y Ameijeiras-Fernández, G.A., 2007. Algunas particularidades del procesamiento 3d marino en el bloque 6a -7a. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2007). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom

<sup>3</sup>Ameijeiras-Fernández, G.A., Domínguez Gómez, A.H., Camejo Cordero, E., Lastra-Cunill, M., y Gómez García, R., 2013. Sobre el procesamiento postsuma en tiempo de las líneas sísmicas marinas adquiridas en 2009. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom

<sup>4</sup>Lastra-Cunill, M., Camejo Cordero, E., y Ameijeiras-Fernández, G., 2011. Análisis de velocidad biespectral en etapas tempranas del procesamiento sísmico. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.; Lastra-Cunill, M., Camejo-Cordero, E., y Ameijeiras-Fernández, G., 2013. Análisis de velocidad biespectral en etapas tempranas del procesamiento sísmico. Anuario de la Sociedad Cubana de Geología, No. 1: 19-22.

<sup>5</sup>Camejo-Cordero, E.C., Ameijeiras-Fernández, G.A., y Díaz-Fonseca, R., 2011. Aplicación de estáticas en la zona de transición. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.; Venegas Vidal, Y., Díaz Fonseca, R., y Camejo Cordero, E.C., 2011. Tratamiento de fase en adquisiciones sísmica en zonas de transición. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2011). Centro Nacional de Información Geológica, Instituto de Geología y Paleontología de Cuba, La Habana, CD-Rom.; Camejo-Cordero, E.C., Díaz-Fonseca, R., y Ameijeiras-Fernández, G.A., 2014. Correcciones estáticas aplicadas a datos sísmicos adquiridos en zonas de transición tierra-mar. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 15 (1): 77-84.

<sup>6</sup>Obtención de la anisotropía en el procesamiento de datos sísmicos, Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 3, No. 3, 41-45, ISSN 2223-1781, 2012.

<sup>7</sup>Lastra-Cunill, M., Ameijeiras-Fernández, G., Camejo-Cordero, E., y Gómez García., R., 2013. Procesamiento sísmico de las líneas adquiridas en el año 2000 en la franja norte de crudos pesados de la zona de vía blanca. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.biesp

<sup>8</sup>García Martínez, N., Domínguez Gómez, A.H., Camejo Cordero, E., Lastra Cunill, M., Gemen Prol, J.L., y Rifá Hernández, M., 2013. Resultados geólogo-geofísico preliminares sobre la reinterpretación de la sísmica 3D en el sector Bacuranao-Santa María. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.; Lastra-Cunill, M., Ameijeiras-Fernández, G., Camejo-Cordero, E., y Gómez García., R., 2013. Procesamiento sísmico de las líneas adquiridas en el año 2000 en la franja norte de crudos pesados de la zona de vía blanca. En: Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias' 2013). Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.



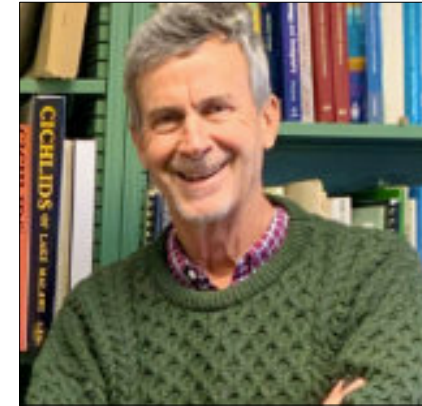
**Rafael Tenreyro Pérez**, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la 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](mailto:tenreyro2015@gmail.com)

## Andrew S. Cohen: 1954 - 2025



**It is with a heavy heart that we report that Andrew S. Cohen passed away in Tucson, Arizona, on February 5, 2025 at the age of 70, surrounded by his beloved family—wife Debbie and twin sons, Alexander and Zachary, and his brother Steve. A native of Trenton New Jersey, Andy earned his bachelor's degree in 1976 at Middlebury College, where he first learned about lakes. He went on to graduate school at the University of California, Davis, where he got his PhD in 1982, doing ground-breaking work on Lake Turkana with his project entitled: Ecological and Paleoecological Aspects of the Rift Valley Lakes of East Africa. His initial publications from this work included the seminal Cohen et al. (1983) Lacustrine Paleochemical Interpretations Based on East and South African Ostracodes, Paleogeog., Paleoclim., Paleoecol. 43: 129-151. He would spend the rest of his career focusing on understanding the paleoenvironments of the East African rift, much of that work utilizing ostracodes and other invertebrates.**

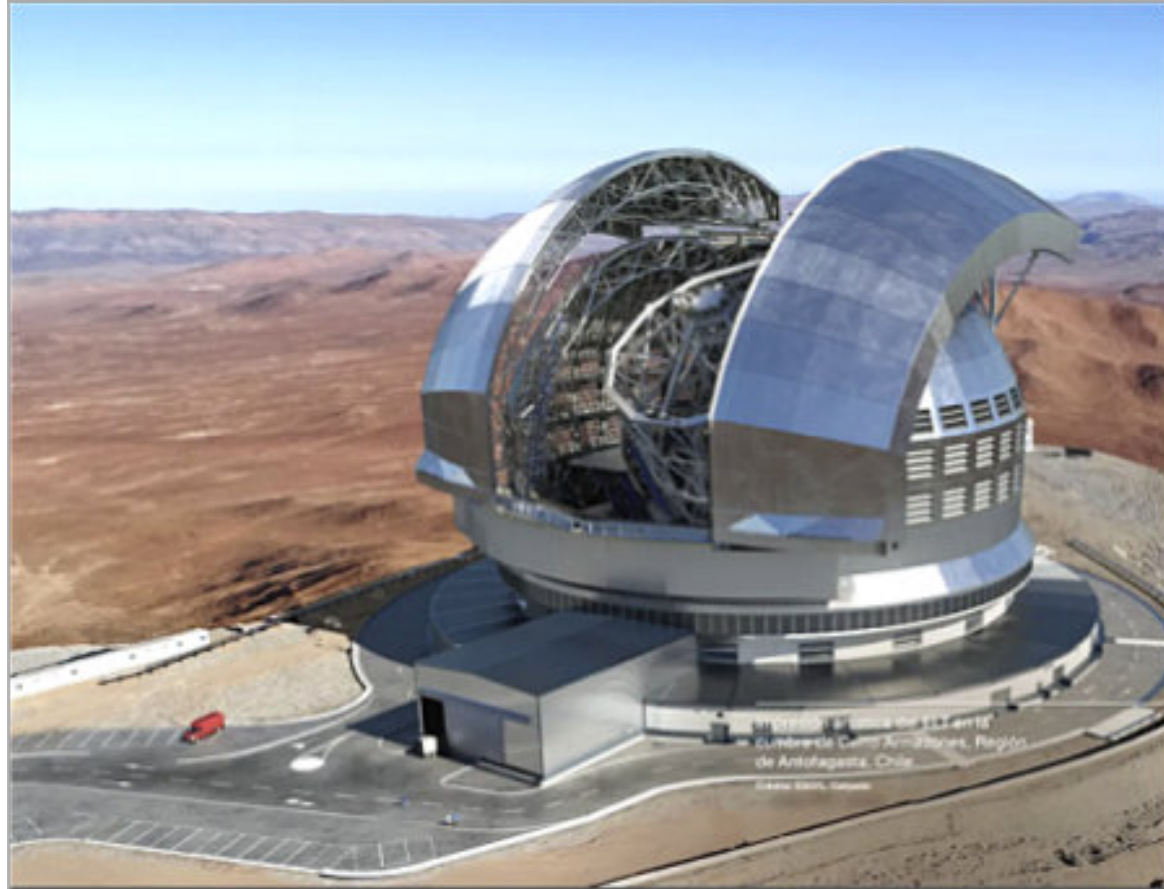
**Source:** [https://www.geo.arizona.edu/sites/default/files/andrew\\_cohen\\_obituary.pdf](https://www.geo.arizona.edu/sites/default/files/andrew_cohen_obituary.pdf)

<https://www.geo.arizona.edu/Cohen>

<https://www.icdp-online.org/all-events/detail/news/remembering-andy-cohen/>

**Publications:** <https://scholar.google.com/citations?user=16NZ-2UAAAAJ&hl=en>

# Miscelanea de Imágenes



TELESCOPIOS GIGANTES DEL MUNDO

El Observatorio Europeo Austral (ESO) está llevando a cabo un proyecto que tiene el potencial de revolucionar el estudio del universo. En un futuro próximo, el desierto de Atacama, Chile, albergará el telescopio más grande de la historia. Su espejo primario medirá 40 metros de diámetro y estará compuesto por 800 paneles seccionados de vitrocerámica. Los primeros espejos más pequeños ya están llegando al suelo sudamericano, donde serán almacenados hasta la fase de instalación, prevista antes de que finalice la década.

En enero, los primeros 18 espejos llegaron al Cerro Armazones, en el desierto chileno. Viajaron en barco desde Francia, embalados en cajas especiales, atravesando 10 mil kilómetros de separación. Una vez que estén ensamblados bajo la titánica estructura, su objetivo será identificar signos de vida más allá del sistema solar e indagar en la historia antigua del Universo.

La edificación del ELT no presenta contratiempos. El proyecto fue aprobado en 2012 y desde entonces la instalación se construye en la cima de una montaña, a 3 mil metros sobre el nivel del mar. En 2025 se terminó la cúpula que protegerá el telescopio. En 2027 se realizará la primera prueba, también llamada 'primera luz', y finalmente en 2028 iniciará operaciones.



El Gran Telescopio Milimétrico (GTM), instalado en la cima del volcán Sierra Negra. Identificado desde su inicio como el proyecto científico más ambicioso de México, tanto por su alcance presupuestal sin precedentes como por el impacto de su desarrollo, el GTM es un ícono claro de la ciencia mexicana.

El 2010 fueron posibles las primeras observaciones en la banda milimétrica y en junio de 2011, fue posible tener una demostración funcional del GTM, primer paso hacia su consolidación como un instrumento científico. El proyecto más significativo ha sido interferometría de base muy larga en el cual investigadores del extranjero han plasmado un gran interés en conectar al GTM con antenas en distintos puntos del mundo, en un esfuerzo global por observar con exquisito detalle el hoyo negro del centro de la Vía Láctea.

Esta es una aceptación manifiesta de la comunidad científica internacional que identifica al GTM, la mayor antena del arreglo intercontinental, como un instrumento altamente competitivo ya en operación. El Telescopio Milimétrico es uno de los proyectos científico-tecnológicos más importantes de Latinoamérica y el radiotelescopio más grande en su tipo en el mundo. Cuenta con un diámetro de 50m en la superficie reflectora, siendo el telescopio más grande del mundo de plato único diseñado y optimizado para realizar observaciones astronómicas en bandas milimétricas y sub-milimétricas.

Permite detectar luz de una gran variedad de objetos celestes y regiones aledañas, en donde están teniendo lugar la formación y evolución de estructuras como planetas, estrellas y galaxias, caracterizados por poseer una temperatura muy baja, del orden de 230 grados Celsius bajo cero. La superficie del GTM es equivalente a medio campo de fútbol profesional, está constituida por 180 segmentos, y cada uno de ellos por 8 paneles de níquel y más de 2,500 componentes mecánicos. Por sus características, el GTM es uno de los grandes actores mundiales en el desarrollo de la astrofísica. En las contribuciones del GTM está la espectacular imagen del agujero negro supermasivo que se encuentra en el centro de la galaxia Messier 87.

# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Ricardo Miranda Jiménez**

### Reducción atmosférica de la radiación solar en la Península de Baja California.

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.  
Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. 2016.  
Sustentante: **Ricardo Miranda Jiménez**.  
Directores de Tesis: *Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist y Dr. Jorge Torres Rodríguez*.

#### Resumen

La península de Baja California es una región con gran potencial de aprovechamiento de energía solar, sin embargo también es afectada por frecuentes variaciones en la composición de la atmósfera. Se ha comentado frecuentemente que la reducción de la radiación solar se debe a la nubosidad sobre la zona, pero no se cuenta con una recopilación de datos ni evaluación de modelos disponibles referente a esta posible causa de la reducción de la radiación solar. En el presente trabajo se ha estimado la variación espacio-temporal de la reducción de la radiación solar que incide en la península de Baja California generada por la atmósfera. En enfoque principal fue sobre cuatro horas de 26 días-muestra del 2014 en las 12 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que se localizan en la península. Primero estimamos la radiación exoatmosférica ( $G_0$ ), por medio de un modelo numérico teórico basado en el trabajo de Spencer (1982). Este modelo incorpora variaciones temporales debidas a ángulos y distancias. Posteriormente, se estimó la radiación superficial con los datos de radiación superficial de las EMAs, y se calibró el modelo GSIP (GOES Surface and Insolation Product) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). El modelo GSIP, de frecuente actualización con datos satelitales y terrestres, se seleccionó sobre un modelo que estima la radiación solar superficial incidente para un escenario ideal de cielo despejado (HLJ: Hottel, 1976; Liu & Jordan, 1960), considerando su relación lineal más estrecha con los datos de las EMAs ( $r = 0.94$  y  $0.74$  respectivamente). Se notó que la transmisión varió conforme el ciclo diurno, siendo baja a la mañana. Hubo exceso generalizado de radiación a la tarde, debido probablemente a trayectorias indirectas recibidas por los sensores terrestres. A diferencia de los escasos EMAs, GSIP permite mapeo extensivo de la radiación superficial estimada y de la transmisión atmosférica. Con esto pudimos observar anomalías subregionales, por ejemplo de radiación baja en Mexicali, Guerrero Negro y Cabo San Lucas. Los mapas de GSIP ajustado podrían sugerir efectos de la topografía, pero faltan EMAs en las montañas para confirmar o complementar la calibración. Sin embargo, la presente calibración apoya el uso de GSIP como la base para estimar la radiación superficial, y para determinar las causas de su variación debidas a geografía, climatología y orografía, además habilita a futuros estudios de las causas de su variación.

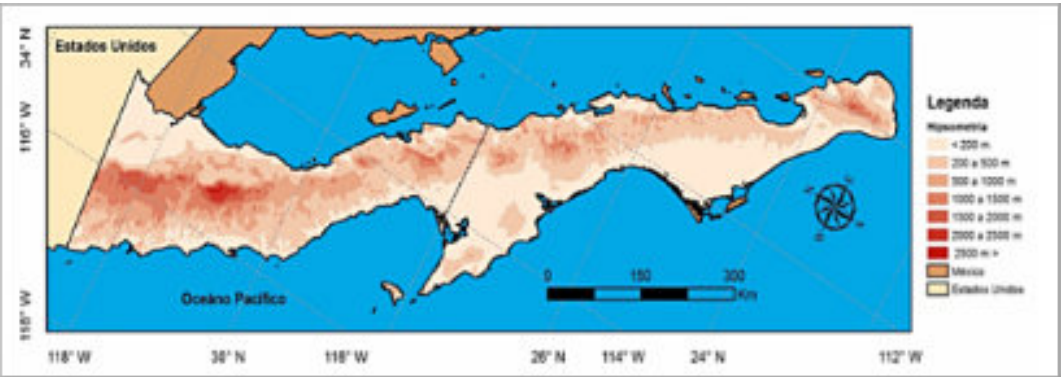


Figura 1.1. Rangos hipsométricos de la península de Baja California, México (información de INEGI et al., 1990).

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/07/Joshua-Rosenfeld-and-James-Pindell-2003.pdf>

Rosenfeld, J., and J. Pindell, 2003, Early paleogene isolation of the Gulf of Mexico from the world's oceans? Implications for hydrocarbon exploration and eustasy, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, p. 89–103.

## Early Paleogene Isolation of the Gulf of Mexico from the World's Oceans? Implications for Hydrocarbon Exploration and Eustasy

Joshua Rosenfeld  
Yax Balam, Inc., Granbury, Texas, U.S.A.  
  
James Pindell  
Tectonic Analysis Ltd., West Sussex, U.K.

#### ABSTRACT

Deeply incised and backfilled paleocanyons in early Paleogene shelf strata along the western and northern Gulf of Mexico margin attest to large relative sea-level fluctuations, but they predate the accepted age for onset of Cenozoic continental glaciation. Using Pleistocene canyons as a crude yardstick, the scale of these paleocanyons suggests relative sea-level changes at least as large as Pleistocene fluctuations. Therefore, we speculate that water level in the Gulf of Mexico was drawn down while the Gulf was isolated from the world's oceans during the late Paleocene/early Eocene interval. We suggest that the cause for isolation was the progressive collision of the Cuban arc with the Yucatán and Bahamas carbonate platforms, which temporarily closed off the southeastern Gulf of Mexico. In Miocene Mediterranean and Holocene Black Sea examples of marine-basin isolation, evaporation greatly exceeded rainfall and runoff, and our examination of the Gulf of Mexico case suggests that water level may have dropped below the level of the world's oceans at least once by several hundred meters, and possibly much more.

Implications for geology and hydrocarbon exploration in the Gulf may include:

- !bypass of enormous quantities of coarse detritus into the deep basin
- !seaward collapse of exposed clastic shelf margins
- !triggering and/or acceleration of salt evacuation (basinward “squeegee” effect of slumping sediments)

## The history of hydrocarbon exploration in Panama

## La historia de la exploración de hidrocarburos en Panamá

Steward D. Redwood<sup>1,\*</sup><sup>1</sup> Consulting Economic Geologist, P.O. Box 0832-0757, World Trade Center, Panama, Panama.\* Corresponding author:  
(S.D. Redwood) [mail@stredwood.com](mailto:mail@stredwood.com)

## ABSTRACT

This article presents the history of hydrocarbon exploration in Panama and the scientific contribution that it made to the geological knowledge of Panama. The thirteen sedimentary basins—eight of which have been drilled, though only three in significant detail—include forearc, foreland, interarc, and backarc basins of late Cretaceous to Cenozoic age, associated with the Panama volcanic arc. Additionally, strike-slip pull-apart basins have formed as a result of the collision between the Panama Arc and the Northern Andes Block of the South American Plate since the Miocene. Panama has had more than one century of oil and gas exploration since 1912 but has never had any commercial production, and there are no established, economically recoverable reserves. Exploration originally targeted natural oil seeps. Hydrocarbon exploration took place in five stages: 1) an initial period of onshore exploration (1912-1928); 2) post-World War Two revival in onshore exploration (1945-1949); 3) an onshore exploration peak (1953-1962); 4) offshore shallow water exploration (1969-1991); and 5) recent offshore shallow water exploration, but with no drilling (2001-2017). Thirteen wells discovered oil and/or gas shows out of a total of 36 wells that were drilled between 1919 and 1989. The majority of the wells were drilled onshore. Eight wells were drilled offshore in shallow water, comprising five in the Gulf of Panama and three in the Caribbean and Bocas del Toro. Exploration was driven by the global economy and oil price, advances in exploration and drilling technology, and hydrocarbon legislation.

**Keywords:** Panama, hydrocarbon exploration, oil and gas shows, exploration history, oil wells.

## RESUMEN

Este artículo presenta la historia de la exploración de hidrocarburos en Panamá y el aporte científico que hizo al mapa geológico y al conocimiento de Panamá. Las trece cuencas sedimentarias—ocho de las cuales han sido perforadas, aunque solo tres con detalle—incluyen cuencas de ante arco, ante paiz, inter arco y tras arco, de edad Cretácico tardío a Cenozoico, relacionadas con el arco volcánico de Panamá. Asimismo, se identifican cuencas de desgarre de rumbo asociadas a la colisión del arco de Panamá con el Bloque Andino del Norte de la Placa Sudamericana, ocurrida desde el Mioceno. Panamá ha tenido más de un siglo de exploración de petróleo y gas desde 1912, pero nunca ha tenido ninguna producción comercial y no hay reservas establecidas y económicamente recuperables. La exploración inicial se enfocó en los derrames naturales de petróleo. La exploración de hidrocarburos se llevó a cabo en cinco etapas: 1) un período inicial de exploración en tierra (1912-1928); 2) un resurgimiento de la exploración en tierra después de la Segunda Guerra Mundial (1945-1949); 3) un pico de exploración en tierra (1953-1962); 4) exploración en aguas someras en alta mar (1969-1991); y 5) exploración reciente en aguas someras en alta mar, pero sin perforación (2001-2017). Trece pozos descubrieron indicios de petróleo y/o gas de un total de 36 pozos que se perforaron entre 1919 y 1989. La mayoría de los pozos se perforaron en tierra. Ocho pozos se perforaron en altamar, en aguas someras, que comprenden cinco en el golfo de Panamá y tres en el Caribe y Bocas del Toro. Las etapas de exploración fueron motivadas por la economía global y el precio del petróleo, avances en la tecnología de exploración y perforación, y la legislación de hidrocarburos.

**Palabras clave:** Panamá, exploración de hidrocarburos, indicios de petróleo y gas, historia de exploración, pozos petrolíferos.

**How to cite this article:**  
Redwood, S.D., 2025, The history of hydrocarbon exploration in Panama: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 77(2), A030625. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2025v77n2a030625>

Manuscript received: September 30, 2024  
Corrected manuscript received: April 5, 2025  
Manuscript accepted: May 12, 2025

Peer Reviewing under the responsibility of  
Universidad Nacional Autónoma de México.

THE ATRYPOID BRACHIOPOD GENUS *CARINATINA* IN LATE EMSIAN (LATEST EARLY DEVONIAN) STRATA OF THE SHELLABARGER LIMESTONE, DENALI NATIONAL PARK AND PRESERVE, SOUTH-CENTRAL ALASKAVALERYI V. BARANOV<sup>1</sup>, ROBERT B. BLODGETT<sup>2</sup> and VINCENT L. SANTUCCI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, pr. Lenina 39, Yakutsk, 677000, Russia, email: [baranowvalera@yandex.ru](mailto:baranowvalera@yandex.ru); <sup>2</sup>Consulting Geologist, 2821 Kingfisher Drive, Anchorage, Alaska 99502, email: [robertblodgett@gmail.com](mailto:robertblodgett@gmail.com); <sup>3</sup>Senior Paleontologist, National Park Service – Geologic Resources Division, 1849 C Street, NW, Room 2644, Washington, D.C. 20240, email: [vincent\\_santucci@nps.gov](mailto:vincent_santucci@nps.gov)

**Abstract**—We here describe and establish the new species *Carinatina connorsi* n. sp. of the distinctive atrypod brachiopod genus *Carinatina*, from the late Emsian (latest Early Devonian) age Shellabarger Limestone of the Shellabarger Pass area, Denali National Park and Preserve, Talkeetna C-6 quadrangle, south-central Alaska. In addition, another species of *Carinatina*, *C.* sp. is also described from the same beds as *C. connorsi* n. sp. The host formation (Shellabarger Limestone) forms the oldest stratigraphic interval within the Mystic sequence of the Farewell terrane. The fauna of this interval is biogeographically distinctive and shows closest affinities with coeval fauna of the Kolyma region of northeastern Russia and elsewhere in Eurasia.

## INTRODUCTION

In this paper we report the first published occurrence of the distinctive Lower-Middle Devonian atrypod brachiopod genus *Carinatina* from Alaska. Brachiopods are both diverse and abundant in a late Emsian (latest Early Devonian) age stratigraphic interval earlier established as the Shellabarger Limestone by the same authors (Blodgett et al., 2022) from the Shellabarger Pass area, Denali National Park & Preserve, Talkeetna C-6 quadrangle, south-central Alaska. A number of papers have previously appeared (Baranov and Blodgett, 2022; Blodgett, 1998; Blodgett and Boucot, 1999; Blodgett et al., 1997, 2002, 2021, 2022; Garcia-Alcalde and Blodgett, 2001) on the brachiopods from this unit which is minimally 38.7 m (127 ft) thick and composed of lime mudstone and wackestone. It is our aim in the near future to complete the description of the entire extensive brachiopod fauna and point out its distinctive paleobiogeographic affinities.

In recent years, the concept that nearly all of Alaska, as well as much of the western Cordillera of North America, is composed of numerous, discrete accreted tectonostratigraphic (or lithotectonic) terranes (Coney et al., 1980; Jones et al., 1981, 1982, 1986, 1987; Silberling et al., 1992, 1994; Nokleberg et al., 1994) has come into general acceptance within the scientific community. The only exception to this is the triangular area of east-central Alaska, more or less bounded on the northwest by Porcupine River, to the west by the Cretaceous flysch belt of the Kandik Basin, and to the southwest by the Yukon River. This region, which includes the Nation Arch, represents a continuation of Precambrian and Paleozoic rocks exposed further east in the Ogilvie Mountains of the Yukon Territory.

## GEOLOGIC SETTING

The specimens described here are from the Mystic Subterrane of the Farewell terrane of southwestern and west-central Alaska. It was originally described (Jones et al., 1981) as a separate tectonostratigraphic entity of full terrane rank. More recently, Decker et al. (1994) recognized that the Mystic, as well as the Nixon Fork and Dillinger terranes, were genetically related and all were reduced in rank to subterrane of a larger terrane, termed the Farewell terrane (Fig. 1). Gilbert and Bundtzen (1984) considered the Dillinger and Mystic terranes, each of whose type sections were close to one another, to represent a single stratigraphic succession of Paleozoic to Triassic age, preferring to the term “sequence” to each. They considered the underlying Dillinger sequence to be a Cambrian to Lower Devonian deep-water succession followed depositionally by the

Mystic sequence – consisting of laterally variable Devonian to Triassic? shallow-water to nonmarine sedimentary rocks with intrusive and extrusive mafic and ultramafic rocks. The close stratigraphic relationship between the Dillinger and Mystic sequence (or subterrane) was supported by stratigraphic studies by Blodgett and Gilbert (1992) to the southwest in the Lime Hills 1:250,000 scale quadrangle. The Nixon Fork subterrane, defined originally as a full-rank terrane by Patton (1978), represents a predominately shallow-water carbonate platform, mostly laterally equivalent to deeper water Cambrian to Lower Devonian rocks of the Dillinger subterrane (Blodgett, 1983; Blodgett and Gilbert, 1983; Bundtzen and Gilbert, 1983; Gilbert and Bundtzen, 1983).

Until several years ago, most prior interpretations of the gross lithostratigraphy and faunal affinities of the best-studied terrane, the Nixon Fork terrane, had indicated either fragmentation from or lithic continuity with northwestern Canada (Blodgett, 1983; Churkin et al., 1984; Blodgett and Clough, 1985; Rohr and Blodgett, 1985). Newly acquired biogeographic data from Emsian (Late Early Devonian) strata of the Farewell terrane, along with reconsideration of the affinities of the faunas and floras of other time intervals, indicate that this



FIGURE 1. Index map of Alaska, showing location of Shellabarger Pass.

<file:///Users/claudiobartolini/Downloads/pindell-et-al-late-eocene-lu-hf-ages-on-carayaca-puerto-cabello-eclogites-reconstructing-the-history-of-the-central-1.pdf>



## Late Eocene Lu–Hf ages on Carayaca (Puerto Cabello) eclogites: reconstructing the history of the central Cordillera de la Costa, northern central Venezuela

James Pindell<sup>1,2\*</sup>, Walter V. Maresch<sup>3</sup>, Franco Urbani Patat<sup>4</sup>, Erik E. Scherer<sup>5</sup>, Hans-Peter Schertl<sup>3</sup>, K laus Stanek<sup>6</sup>, Wenyong Duan<sup>7</sup> and Diego Villagómez<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Earth, Environmental, Planetary Sciences, Rice University, Houston, TX 77005, USA

<sup>2</sup> Tectonic Analysis Ltd, Duncton GU28 0LH, UK

<sup>3</sup> Institute of Geosciences, Ruhr-University Bochum, 44780 Bochum, Germany

<sup>4</sup> Departamento de Geología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela

<sup>5</sup> Institut für Mineralogie, Universität Münster, Corrensstr. 24, D48149 Münster, Germany

<sup>6</sup> Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg, 09599 Freiberg, Germany

<sup>7</sup> Department of Earth and Planetary Science, Institute of Geophysics, ETH Zürich, Sonneggstrasse 5, 8092 Zürich, Switzerland

<sup>8</sup> Generoso Ltd, Rue de Lausanne 67B, 1202 Geneva, Switzerland

JP, 0000-0001-9098-782X; WVM, 0000-0002-9986-1323; FU, 0000-0003-4529-1860; EES, 0000-0001-6049-6202; H-PS, 0000-0002-3348-2662; KS, 0000-0002-4776-3676; WD, 0000-0003-1233-1555; DV, 0000-0002-7421-9975

\*Correspondence: [jim@tectonicanalysis.com](mailto:jim@tectonicanalysis.com)

**Abstract:** We present the first Lu–Hf dating on high-pressure/ultra-high-pressure mineral assemblages in eclogitic rocks from Puerto Cabello, northern central Venezuela. The rocks characterize the Carayaca terrane of the Cordillera de la Costa (CdC) along the coast and faults bounding the valley of Caracas City. The new late Eocene peak metamorphic ages (38–36 Ma) pertain to Eocene subduction of Proto-Caribbean crust to 80–100 km depth beneath the Caribbean forearc as the latter collided with Venezuela. The ages break the formerly assumed correlation with Margarita Island eclogites and Villa de Cura blueschists of southern CdC. The distinct histories of these high-pressure/low-temperature metamorphic suites and the Etpana terrane in Guajira, Colombia, constrain depth geometries in regional evolutionary models. By integrating our results with an updated view of synorogenic sedimentation in the Piemontine belt, southern CdC, we propose crustal scale present and evolutionary cross-sections and maps for the development and exhumation history of the Carayaca terrane and the greater CdC. In addition, this synthesis concludes that Caribbean collision was preceded by Paleocene incipient subduction and rift fault inversion along Venezuela's Proto-Caribbean margin, exposing Cauagua–El Tinaco belt basement to erosion as recorded in Los Cajones Formation flysch of the Piemontine belt.

**Keywords:** Cordillera de la Costa; Carayaca; Piemontine belt; HP/LT; eclogite; crustal sections; Caribbean; evolution; exhumation; arc–continent collision; oblique collision; obduction; out-of-sequence thrusting.

**Supplementary material:** Additional data compilations and analytical information are available in nine appendices at <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.7772236>

Received 25 July 2024; revised 5 March 2025; accepted 12 April 2025

The complexity of the South Caribbean Plate boundary zone (Fig. 1) results from superposition of multiple tectonic stages and ~1000 km of Cenozoic east–west displacement and associated structural deformations between the Caribbean and South American plates. Enormous progress in understanding has derived from accumulation of data at many scales. Nevertheless, key pieces of information are missing. One example is a reliable age of peak metamorphism for high-pressure/low-temperature (HP/LT) eclogites and blueschists exposed along the coast of the Cordillera de la Costa, forming a belt named the Carayaca terrane by Urbani Patat (2015, 2018; Fig. 1).

Information from HP/LT rock suites is essential to regional syntheses, constraining, for example, the timing of subduction initiation and termination, nature of the material being subducted, depth to which that material was subducted, timing and style of arc–continent collision, and timing and rate of exhumation to mid-crustal or surface levels. Three HP/LT terranes occur in Venezuela, the Carayaca terrane (eclogite and blueschist), the Villa de Cura terrane (blueschist) and the La Rinconada terrane, Margarita (eclogite). A fourth occurrence (eclogite and blueschist) is in Guajira, Colombia, the Etpana terrane (Weber et al. 2011; Figure 1).

We present the first whole-rock and mineral Lu–Hf isochrons for eclogite in the Carayaca terrane or belt of the northern Cordillera de la Costa. These new age data, which reflect peak or near-peak metamorphic conditions, refine and augment previous age estimates based on (1) dating zircon rim overgrowths and secondary titanite in symplectites replacing omphacite (Viete et al. 2015a, b) and (2) an <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar date from phengite mantling high-pressure omphacite (Fournier et al. 2017). The results demonstrate that the four HP/LT localities in Venezuela and Colombia had important evolutionary steps at very different times. We integrate these steps with other data and plate kinematic constraints to synthesize a model for the evolution of the Cordillera de la Costa, with implications for the development of the South Caribbean Plate boundary zone.

### Geological setting of southern Caribbean HP/LT metamorphic rock suites

#### South Caribbean Plate Boundary Zone (pbz)

The South Caribbean pbz (Fig. 1) is a complex region of orogenic float, sedimentary basins and fault systems of differing ages

## Implementación del lidar terrestre en la caracterización y modelización de análogos de reservorios fluviales: desarrollo y aplicación de nuevas metodologías en afloramientos del abanico fluvial de Huesca (Mioceno de la Cuenca del Ebro).

Universitat de Barcelona. Memoria de Tesis Doctoral para optar por el grado de Doctor en Ciencias Geológicas. 2016.

Sustentante: **Rubén Calvo Tortajada.**

Director de Tesis: *Dr. Emilio Ramos Guerrero.*

### Resumen

Las nuevas técnicas de recolección de datos digitales surgidas en los últimos años han dado lugar a avances significativos en el campo de la caracterización de afloramientos. Esta evolución se basa en la premisa de que cuanto mayor sea la cantidad, la calidad (exactitud), y la velocidad de recolección de los datos, mejores serán las interpretaciones y modelos que se deriven de ellos. Una de las técnicas más recientemente incorporadas en el estudio de afloramientos geológicos es el escaneo láser terrestre (TLS), el cual se basa en la tecnología lidar (desarrollada en la década de 1960).

El objetivo principal de esta tesis es aprovechar el potencial del TLS para desarrollar nuevas herramientas y metodologías que permitan resolver la principal limitación a la que se enfrentan los geólogos cuando trabajan en afloramientos fluviales: adquirir el control estratigráfico necesario para detectar, comprender y caracterizar el alto grado de heterogeneidad en el espacio y el tiempo que muestran las sucesiones fluviales. Con este propósito se han adquirido datos con TLS en 8 afloramientos del Abanico Fluvial de Huesca (Mioceno inferior, norte de España).

Se han utilizado softwares comerciales para procesar las nubes de puntos adquiridas y así obtener Afloramientos Virtuales (VO's), pero la mayor parte de los logros obtenidos de su estudio fueron posibles gracias a softwares desarrollados en la propia facultad. Por otro lado, también se han medido varias columnas estratigráficas detalladas y se recogieron muestras litológicas de diferentes tipos de cuerpos areniscosos.

En base a estos datos y a las observaciones realizadas sobre el terreno los resultados más relevantes obtenidos son los siguientes:

- Una caracterización detallada de las facies fluviales, la cual incluye el estudio de las propiedades petrológicas y petrofísicas de los cuerpos areniscosos.
- Un método simple que se sirve del VO para corregir las alturas y espesores de los cuerpos sedimentarios medidos en las columnas estratigráficas. Los principales factores que pueden haber influido en las mediciones realizadas con Vara de Jacob han sido estudiados y discutidos.
- Se ha establecido un nuevo método que permite realizar correlaciones semiautomáticas y altamente precisas en los VO's de afloramientos fluviales, el cual se basa en la hipótesis de que el paleosuperficie deposicional del sistema sedimentario puede ser representada por un plano a escala de afloramiento. Si esta suposición se cumple en el afloramiento, este plano puede ser utilizado como un datum virtual para identificar a lo largo del VO los sedimentos que fueron depositados simultáneamente. El método ha sido probado y aplicado con éxito en cuatro afloramientos de escala kilométrica del Abanico Fluvial de Huesca, en los cuales los datums virtuales han proporcionado correlaciones precisas independientemente de las complejidades estratigráficas o topográficas de los mismos. Además, únicamente con mover el datum virtual se puede subdividir toda la sucesión sedimentaria de los afloramientos en los intervalos estratigráficos deseados, los cuales pueden ser aislados del resto para facilitar su estudio en detalle.
- Los datums virtuales también se han utilizado como base para establecer un nuevo procedimiento que permite inferir cuales son las posiciones estratigráficas relativas dentro de toda la secuencia fluvial de afloramientos que distan decenas de kilómetros.

- Se ha realizado una modelización estocástica de facies basada en objetos que se sirve de los datos obtenidos al aplicar un nuevo método para extraer de una manera semiautomática las superficies del VO que pertenecen a paleocanales. Los flujos de trabajo de modelización de análogos habituales utilizan los datos de columnas estratigráficas (en forma de pseudopozos) para condicionar las simulaciones, pero con el método presentado aquí toda la superficie del afloramiento es considerada para este propósito, aumentando significativamente de ajuste del modelo a la realidad.

Gracias a la utilización de la tecnología lidar en afloramientos del Abanico Fluvial de Huesca se han conseguido establecer diferentes métodos de trabajo que han demostrado ser útiles de cara a facilitar y mejorar la construcción de modelos de análogos de reservorio. Además, se considera que su aplicación puede sin duda contribuir a mejorar nuestra comprensión de los factores y mecanismos que influyeron en la evolución de los sistemas sedimentarios fluviales antiguos.

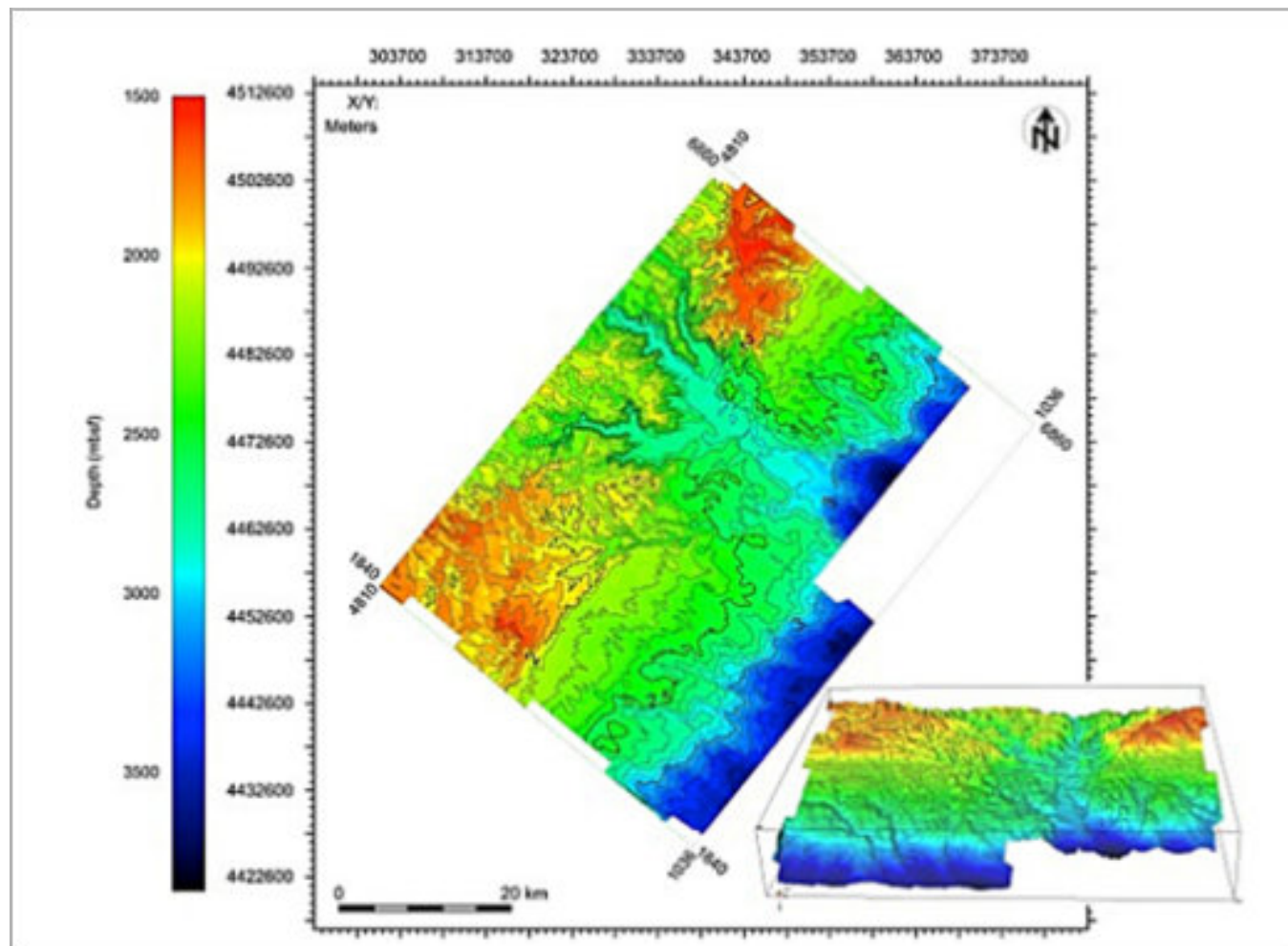


Figura 1.1. Mapa de profundidad bajo el fondo del mar (meters below seafloor o mbsf) e imagen tridimensional de la Superficie de Erosión Messiniense interpretada a partir de sísmica 3D adquirida en la Plataforma del Ebro, concretamente a unos 30 km al SE de su desembocadura actual. Se puede observar la presencia de un cañón con orientación NW-SE incidido unos 1300 m en el margen y talud de la plataforma continental, lo cual sugiere que la Cuenca del Ebro drenaba hacia el Mediterráneo antes de que se produjese la Crisis Salina del Messiniense. El intervalo entre isolíneas es de 100 m, y los valores de las mismas representan Km bajo el fondo del mar [200].

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/07/Giuseppe-Giunta-et-al.-2003.pdf>

Giunta, G., M. Marroni, E. Padoa, and L. Pandolfi, 2003, Geological constraints for the geodynamic evolution of the southern margin of the Caribbean plate, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, p. 104–125.

# Geological Constraints for the Geodynamic Evolution of the Southern Margin of the Caribbean Plate

Giuseppe Giunta

Dipartimento di Geologia e Geodesia, Università di Palermo, Italy

Michele Marroni

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Italy

Elisa Padoa

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Italy

Luca Pandolfi

Istituto di Geoscienze e Georisorse, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Pisa, Italy

## ABSTRACT

The southern margin of the Caribbean plate, cropping out in the Venezuela belt, consists of an assemblage of four main terranes: the Dutch-Venezuelan Islands, Margarita Island, Cordillera de la Costa, and Serrania del Interior. These terranes have been located, since the middle Cretaceous, along the transform boundary between the Caribbean and South American plates. On the basis of both new data and the literature, a critical review of the complex and long-lived evolution recorded in different units of these terranes is herein provided in order to highlight the Mesozoic–early Tertiary geodynamic evolution of the southern Caribbean.

The analysis of the lithostratigraphic, petrologic, and tectono-metamorphic features of the terranes, as well as their regional correlations, allows us to define the main geotectonic elements (as oceanic basins, magmatic arcs, subduction zones, continental margins, continental microplates, etc.) involved in the evolution of the southern Caribbean margin. The magmatic, tectonic, and metamorphic histories of these elements provide valuable constraints for the evolution of the southern Caribbean, as, for instance, the beginning of the convergence during the Early Cretaceous, the atypical evolution of the suprasubduction system during the middle Cretaceous, the role of the middle Cretaceous strike-slip tectonics, the exhumation histories of the high-pressure/low-temperature (HP-LT) units. The collected data suggests a Middle Jurassic–Early Cretaceous location

## THE ATRYPOID BRACHIOPOD GENERA *SPINATRYPA* AND *SPINATRYPINA* IN LATE EMSIAN (LATEST EARLY DEVONIAN) STRATA OF THE SHELLABARGER LIMESTONE, DENALI NATIONAL PARK & PRESERVE, SOUTH-CENTRAL ALASKA

VALERYI V. BARANOV<sup>1</sup>, ROBERT B. BLODGETT<sup>2</sup>, and VINCENT L. SANTUCCI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, pr. Lenina 39, Yakutsk, 677000, Russia, email: baranowvalera@yandex.ru; <sup>2</sup>Consulting Geologist, 2821 Kingfisher Drive, Anchorage, Alaska 99502, email: robertbbloodgett@gmail.com; <sup>3</sup>Senior Paleontologist, National Park Service – Geologic Resources Division, 1849 C Street, NW, Room 2644, Washington, D.C. 20240, email: vincent\_santucci@nps.gov

**Abstract**—We here describe and establish two new distinctive atrypoid brachiopod species, ?*Spinatrypa* n. sp. and *Spinatrypina mimsae* n. sp. from the late Emsian (latest Early Devonian) age Shellabarger Limestone of the Shellabarger Pass area, Denali National Park & Preserve, Talkeetna C-6 quadrangle, south-central Alaska. In addition, we also recognize another atrypoid species, *Spinatrypa (Togatrypa)* cf. *salagaensis* Alekseeva and Komarov 1996, which is close if not conspecific with the latter species described from North-East Russia. The host formation (Shellabarger Limestone) forms the oldest stratigraphic interval within the Mystic sequence of the Farewell terrane. The fauna of this interval is biogeographically distinctive and shows closely affinities with coeval fauna of the Kolyma region of northeastern Russia and elsewhere in Eurasia.

### INTRODUCTION

In this paper we describe three distinctive spinatrypinids of late Emsian age from the Shellabarger Pass area of south-central Alaska (Fig. 1). Brachiopods are both diverse and abundant in a late Emsian (latest Early Devonian) age stratigraphic interval earlier established as the Shellabarger Limestone by the same authors (Blodgett et al., 2022) from the Shellabarger Pass area, Denali National Park & Preserve, Talkeetna C-6 quadrangle, south-central Alaska (Figs. 1, 2). A number of papers have previously appeared (Baranov and Blodgett, 2022; Blodgett, 1998; Blodgett and Boucot, 1999; Blodgett et al., 1997, 2002, 2021, 2022; Garcia-Alcalde and Blodgett, 2001) on the brachiopods from this unit, which is minimally 38.7 m (127 ft) thick and composed of lime mudstone and wackestone (Fig. 3). It is our aim in the near future to complete the description of the entire extensive brachiopod fauna and point out its distinctive paleobiogeographic affinities. In this paper we document the presence of three spinatrypinid brachiopod taxa: ?*Spinatrypa* n. sp., *Spinatrypa (Togatrypa)* cf. *salagaensis* Alekseeva and Komarov, 1996 and *Spinatrypina mimsae* n. sp. The fauna from the Emsian limestone includes sponges (Rigby et al., 2009), rugose (see Blodgett et al., herein this volume) and tabulate corals, approximately 20 or more species of brachiopods, and trilobites. Common brachiopod genera observed from the Emsian outcrop include *Carinagypa*, *Ivdelinia*, *Clorinda*, *Myriospirifer*, *Sibirirhynchia*, *Spinatrypa*, *Spinatrypina*, *Variatrypa*, *Carinatina*, *Opsiconidion*, and *Teichertina*. Previous work (Blodgett and Brease, 1997, Blodgett, 1998, Blodgett and Boucot, 1999, Garcia-Alcalde and Blodgett, 2001, and Blodgett et al., 2002) indicates a much stronger Eurasian component to the Farewell terrane, as opposed to the Cordilleran fauna known from east-central Alaska and Yukon Territory of westernmost Laurentia. This overwhelmingly Eurasian aspect suggests that the host terrane, the Farewell terrane, was a continental fragment of Siberian origin.

### GEOLOGIC SETTING

In recent years, the concept that nearly all of Alaska, as well as much of the western Cordillera of North America, is composed of numerous, discrete accreted tectonostratigraphic (or lithotectonic) terranes (Coney et al., 1980; Jones et al., 1981, 1982, 1986, 1987; Silberling et al., 1992, 1994; Nogleberg et al., 1994) has come into general acceptance within the scientific community. The only exception to this is the triangular area

of east-central Alaska, more or less bounded on the northwest by the Porcupine River, to the west by the Cretaceous flysch belt of the Kandik Basin, and to the southwest by the Yukon River. This region, which includes the Nation Arch, represents a continuation of Precambrian and Paleozoic rocks exposed farther east in the Ogilvie Mountains of the Yukon Territory.

The specimens described here are from the Mystic Subterrane of the Farewell terrane of southwestern and west-central Alaska. It was originally described (Jones et al., 1981) as a separate tectonostratigraphic entity of full terrane rank. More recently, Decker et al. (1994) recognized that the Mystic, as well as the Nixon Fork and Dillinger terranes, were genetically related and all were reduced in rank to subterrane of a larger terrane, termed the Farewell terrane. Gilbert and Bundtzen (1984) considered the Dillinger and Mystic terranes, each of whose type sections were close to one another, to represent a single stratigraphic succession of Paleozoic to Triassic age, preferring to apply the term “sequence” to each. They considered the underlying Dillinger sequence to be a Cambrian to Lower Devonian deep-water succession followed depositionally by the Mystic sequence – laterally variable



FIGURE 1. Index map of Alaska showing location of Shellabarger Pass.

## Depósitos de flujos de bloques y ceniza asociados a la erupción del 2015 del Volcán de Colima: análisis de litofacies como herramienta para la caracterización de procesos eruptivos y mecanismos de emplazamiento.

Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis que para optar por el grado de: Maestra en Ciencias de la Tierra. Marzo 2025.

Sustentante: **Laura Fabiola Hernández Díaz.**

Director de Tesis: *Dra. Lucia Capra Pedol.*

### Resumen

El Volcán de Colima es uno de los volcanes más activos de México. Se encuentra en el sector occidental de la faja volcánica transmexicana, entre los límites de los estados de Jalisco y Colima. Su historia eruptiva ha sido caracterizada principalmente por erupciones de tipo pliniano y vulcaniano, y etapas de destrucción de domos de lava con el emplazamiento de corrientes de densidad piroclásticas. La erupción pliniana ocurrida en el 1913 representa el evento histórico de mayor magnitud. Durante las últimas décadas la actividad más frecuente registrada consistió en el crecimiento y destrucción de domos de lava acompañados por el emplazamiento de corrientes de densidad piroclásticas (CDP) hasta distancias máximas de 6 km. Sin embargo, en el 2015, el rápido crecimiento de un domo culminó en un colapso gravitacional y una secuencia de eventos eruptivos con el emplazamiento de depósitos flujos de bloques y ceniza (FBC, i.e. corrientes de densidad piroclásticas concentradas) con volúmenes y alcances nunca observados desde la erupción del 1913. En particular, el 10 de julio del 2015, se registró el colapso total de un domo de 2\*10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> en volumen, con la formación de FBCs a lo largo de casi una hora. Los flujos se emplazaron principalmente en la barranca de Montegrande, hasta una distancia de 8 km. El 11 de julio, a conducto abierto, se registra una rápida extrusión de magma acompañada por pequeñas explosiones, con la formación de CDPs que terminan de rellenar la barranca de Montegrande hasta una distancia de 10.5 km, alcance previamente observado únicamente por las CDPs asociadas a la erupción pliniana de 1913. La erupción ocurrida en el 2015 representa un escenario único en la historia eruptiva del Volcán de Colima y el estudio detallado de los depósitos asociados, además de ayudar en identificar los procesos eruptivos que han llevado a la formación de FBC de magnitud y alcance antes nunca observados, permite contribuir al mejor entendimiento de los factores que controlan la movilidad de los FBC.

El objetivo principal de este trabajo consiste en el análisis de estratigrafía, textura y sedimentología de los depósitos del flujo de bloques y ceniza asociados a la erupción del 2015 para: 1) reconstruir la distribución estratigráfica de los depósitos asociados a las dos diferentes secuencias eruptivas; 2) discernir los factores que controlan la movilidad de las FBCs y su relación con la topografía. Para cumplir con los objetivos de este trabajo, la metodología se dividió en cuatro partes: 1) Análisis morfológico de la barranca de Montegrande, antes y después de la erupción del 2015; 2) trabajo de campo para la descripción de columnas estratigráficas y tomas de muestras; 3) Análisis granulométrico y de componentes de las diferentes unidades deposicionales; 4) Interpretación de los datos y propuesta de un modelo. El análisis granulométrico se realizó por método óptico (análisis de Rosiwal) para las fracciones granulométricas de -10 a -4 phi, el tamizado en seco para las clases granulométricas de -3 a 5 phi y el sedimentógrafo por vía húmeda para las fracciones de 4 a 10 phi. Para el análisis de componentes se contaron un mínimo de 300 partículas, para clases granulométricas de -2, 0 y 2 phi, y se clasificaron según sus características físicas.

Con base en el análisis morfológico de la barranca de Montegrande, se identificaron cuatro zonas deposicionales, cuyos límites corresponden a cambios bruscos en la pendiente, así como en el ancho del canal; éstas se denominaron; zona proximal (desde el cráter hasta 3.52 km), zona intermedia (de 3.52 a 6.5 km), zona intermedia-distal (de 6.5 a 8.8 km) y zona distal (de 8.5 hasta 10.5 km). A lo largo de la barranca se levantaron un total de 50 secciones estratigráficas y se colectaron 83 muestras para análisis granulométrico y de componentes. Con base en la descripción textural y granulométrica (abundancia de bloques vs matriz) de las unidades estratigráficas, se definieron 5 litofacies que permitieron hacer una correlación estratigráfica de las diferentes unidades de FBC:  $M_{(LC)}$  que es masiva, con segregación de clastos y presenta una mayor cantidad de matriz,  $MB_{(m)}$  se caracteriza por ser masiva y la presencia de bloques con diámetros de hasta 1.5 metros, MB caracterizada por ser masiva, la presencia de bloques y un menor porcentaje de matriz,  $E_{(i)}m_{(LC)}$  que se caracteriza por presentar estratificación, bloques con imbricación y un gran porcentaje de matriz, finalmente  $B_{(i)}m_{(LC)}$  cuya característica es la presencia de una gradación inversa. Con el análisis de componentes se distinguieron tres principales: líticos densos de lava, de color gris oscuro (i.e. fragmentos del domo); líticos parcialmente vesiculados de color gris claro (i.e. líticos juveniles), y fragmentos de color rojizo (i.e. líticos accesorios). La abundancia relativa entre estos componentes en las muestras analizadas, permitieron una subdivisión de las litofacies antes descritas.

Con base en la posición estratigráfica de las diferentes unidades deposicionales respecto a la morfología del canal, al análisis de litofacies y al contenido de componentes, se presenta una correlación estratigráfica de columnas que permite definir la distribución de los depósitos de FBC asociados a las dos fases eruptivas, y como su distribución ha sido controlada por la topografía previa a la erupción o modificada por cambios syn-deposicionales. Los depósitos de FBC generados por el colapso de domo del 10 de julio afloran desde la zona proximal hasta la zona medio-distal (8 km siguiendo la línea de la barranca), principalmente en facies de canal (80%), con espesores de hasta 10 m, y dominados por la presencia de fragmentos de lava densa de color gris oscuro y de fragmentos color rojizo. Los mayores espesores se observan después de quiebres en pendientes y en zonas de canal estrecho. Después de un quiebre en pendiente, el depósito cambia de masivo a burdamente estratificado. Los depósitos de FBC asociados a la actividad del 11 de julio afloran a lo largo de toda la barranca, siguiendo más allá de su desembocadura (10.5 km siguiendo la línea de la barranca); en zona de canal sobreyacen a los depósitos asociados a la actividad del 10 de julio, sin embargo, la mayoría de los afloramientos son observables en las partes altas de terrazas antiguas (depósitos de overbank) constituidas por depósitos de CDP de la erupción pliniana de 1913 o de antiguos lahares. En las zonas intermedia-distal y distal los depósitos rellenan completamente la barranca y sobreyacen a una capa centimétrica de ceniza blanca interpretada como la ceniza de caída depositada desde la nube coignimbrítica del flujo del 10 de julio. Dependiendo de la posición estratigráfica, los depósitos muestran diferentes litofacies, de masiva a estratificada, variable contenido de matriz, y con abundantes fragmentos juveniles de lava parcialmente vesiculados.

Existen varios modelos que describen los factores que favorecen la movilidad de las CDP, entre ellos el contenido en finos, contenidos de gas y densidad de los líticos, factores que incrementan la presión de poro en el flujo y la flotabilidad de los clastos. En el caso de los depósitos estudiados, por la ausencia de una componente explosiva al momento del colapso del domo, así como la ausencia de un proceso de fragmentación asociado a la erupción del 11 de julio (baja vesicularidad de los fragmentos juveniles) no se considera que la presencia de gas en los flujos pudo haber jugado un factor dominante en su movilidad. Por el contrario, el volumen del flujo ha sido reconocido como uno de los factores dominantes en definir el alcance de las CDPs. Los volúmenes de los depósitos aquí estudiados ( $7.7 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ ) han sido estimados en un orden de magnitud mayor a los depósitos de FBC asociados a erupciones previas, y que claramente pueden explicar el alcance extraordinario observado. Sin embargo, la diferencia en alcance entre los dos depósitos de FBC del 2015 puede haber sido determinada por cambios topográficos syn-deposicionales (después del emplazamiento del FBC del 10 de julio). En particular, la reconstrucción de la distribución de los depósitos aquí definida muestra como el depósito de FBC del 10 de julio llegó a rellenar casi completamente la parte central del canal de la barranca de Montegrande, provocando una

disminución de su profundidad, así como un incremento de su sección transversal. Este cambio topográfico permitió al FBC del 11 de julio desbordar lateralmente, cubriendo antiguas terrazas, e incrementó su movilidad al reducir la interacción del flujo con las paredes del canal. El presente trabajo aporta información original sobre la reconstrucción de la erupción del 10 y 11 de julio del 2015 del Volcán de Colima, la erupción de mayor magnitud ocurrida en los últimos 100 años. Los datos aquí obtenidos permitirán mejorar la evaluación del peligro por CDP en el volcán, ya que en los mapas publicados no se contempla un escenario similar. Además, aporta evidencias de cómo, en caso de erupciones sostenidas con el emplazamiento de múltiples CDP, cambios morfológicos contemporáneos a la erupción, pueden favorecer la movilidad de los flujos que se generen en las últimas fases eruptivas, aspecto difícil de controlar en la etapa de la evaluación del peligro.

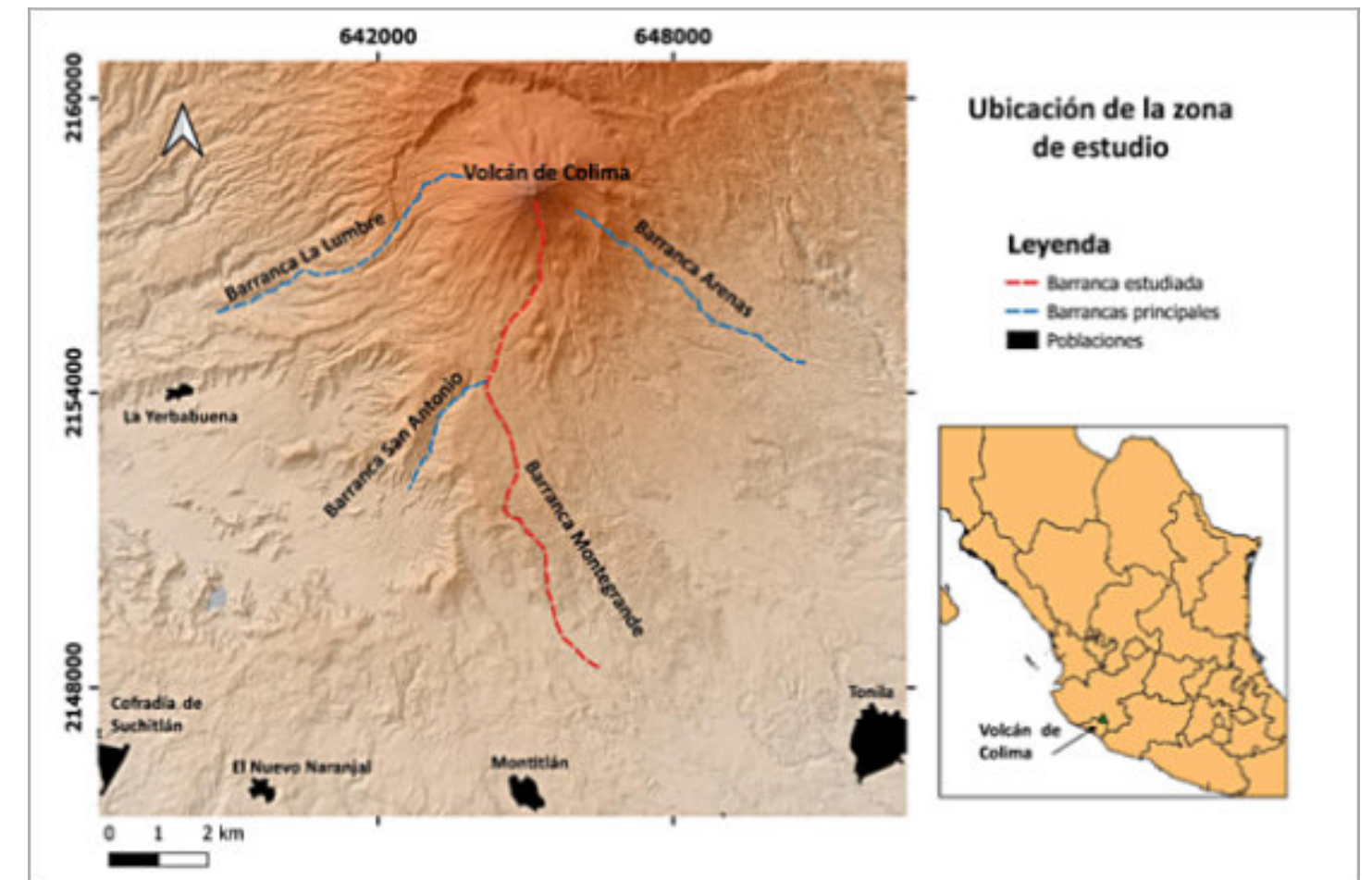


Figura 1.1. Mapa de la ubicación geográfica del Volcán de Colima. La barranca Montegrande se localiza en el flanco suroeste. El DEM utilizado se obtuvo de INEGI, con una resolución de 15 m del año 2012.

Pessagno, E. A. Jr., and C. Martin, 2003, Tectonostratigraphic evidence for the origin of the Gulf of Mexico, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 46–74.

# Tectonostratigraphic Evidence for the Origin of the Gulf of Mexico

Emile A. Pessagno, Jr.

Department of Geosciences, The University of Texas at Dallas, Richardson, Texas, U.S.A.

Christopher Martin

Consultant, Colorado Geological Survey, Denver, Colorado, U.S.A.

## ABSTRACT

**T**ectonostratigraphic data derived from ongoing biostratigraphic, chronostratigraphic, paleobathymetric, paleobiogeographic, and lithostratigraphic investigations in west-central and east-central Mexico suggest that the Gulf of Mexico formed in two phases:

Phase 1: Rifting and subsequent sea-floor spreading during the Late Jurassic (middle Oxfordian). All but the southwestern portion of the Gulf of Mexico formed during Phase 1.

Phase 2: Northwest-to-southeast tectonic transport of allochthonous San Pedro del Gallo terrane remnants along the west side of Walper Megashear during the Middle Jurassic to Early Cretaceous.

Where the stratigraphic successions are complete, megafossil data indicates that the San Pedro del Gallo terrane was situated at Southern Boreal paleolatitudes ( $>30^{\circ}\text{N}$ ) in the Nevadan back arc domain during the Middle Jurassic (late Bathonian to early Callovian) and was subsequently carried to lower paleolatitudes during the Late Jurassic and Early Cretaceous. For example, in the Huayacocotla remnant, the Boreal ammonite *Kepplerites* was recovered in the subsurface from the Palo Blanco Formation by Cantú-Chapa. In North America, *Kepplerites* is known from the Izee terrane (east-central Oregon), Western Interior (Montana and Saskatchewan), and northward to southern Alaska. Radiolarian, calpionellid, ammonite, and bivalve faunal data indicate that the Huayacocotla remnant had been transported to Northern Tethyan paleolatitudes ( $238^{\circ}\text{N}$  to  $298^{\circ}\text{N}$ ) during the Kimmeridgian and Tithonian and to Central Tethyan paleolatitudes ( $<238^{\circ}\text{N}$ ) by the beginning of the Early Cretaceous.

## INTRODUCTION

As noted by many workers, Mexico is a key component in all plate tectonic reconstructions dealing with the break up of Pangea and the subsequent formation of the Gulf of Mexico, the Caribbean, and the North Atlantic. The obvious overlap position of

Mexico and South America in Atlantic reconstructions requires moving much of the Mesozoic succession of Mexico away from its present-day position. As a consequence, most plate-tectonic reconstructions of the Atlantic, Gulf of Mexico, and Caribbean regions invoke megashears as mechanisms to transport Mexican crustal blocks to explain the overlap

# THE SOLITARY RUGOSE CORAL *ACANTHOPHYLLUM* IN THE SHELLABARGER LIMESTONE (LATE EMSIAN, LATE EARLY DEVONIAN) AT DENALI NATIONAL PARK AND PRESERVE, SOUTH-CENTRAL ALASKA

ROBERT B. BLODGETT<sup>1</sup>, VINCENT L. SANTUCCI<sup>2</sup>, ALAN E.H. PEDDER<sup>3</sup> and VALERYI V. BARANOV<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Consulting Geologist, 2821 Kingfisher Drive, Anchorage, Alaska 99502, email: robertbblodgett@gmail.com; <sup>2</sup>Senior Paleontologist, National Park Service – Geologic Resources Division, 1849 C Street, N.W., Room 2644, Washington, D.C. 20240, email: vincent\_santucci@nps.gov; <sup>3</sup>deceased, 8859 Park Pacific Terrace, Sidney, British Columbia V8L 4SL, Canada; <sup>4</sup>Diamond and Precious Metals Geology Institute, Siberian Division, Russian Academy of Sciences, pr. Lenina 39, Yakutsk, 677000, Russia, email: baranowvalera@yandex.ru

**Abstract**—In this short note we provide documentation of the first rugose coral (*Acanthophyllum* sp.) to be formally illustrated from the Shellabarger Limestone of late Early Devonian (Emsian) age in Shellabarger Pass, Talkeetna C-6 quadrangle, south-central Alaska. This also comprises the first rugose coral to ever be illustrated from Denali National Park and Preserve. In addition, we provide information on its stratigraphic occurrence as well as of other reported occurrences of *Acanthophyllum* noted in Alaska.

## INTRODUCTION

In this note we provide the first illustrations of Devonian rugose corals from Shellabarger Pass (see Fig. 1 for general location), Denali National Park, Alaska. Devonian brachiopods are now prominently known from this richly fossiliferous area. We are currently trying to document most of the Devonian megafauna, and hope soon to finish research on our richly diverse Emsian brachiopod megafauna. In the near future we will emphasize the Frasnian age fauna of the region. Detailed studies of the megafauna did not begin here until the later part of the 1990s, and these and subsequent studies indicate a strong Eurasian alliance, especially with Northeast Russia, rather with adjacent cratonic North American Devonian rocks of east-central Alaska, suggesting the host Farewell terrane originated as a rift block derived from NE Russia.

The Emsian fauna is from the Shellabarger Limestone, which was established by Blodgett et al. (2022). See Figure 2 for its outcrop belt in the Shellabarger Pass region in south-central Alaska where it primarily crops out in the Talkeetna C-6 quadrangle of south-central Alaska. The type section of the Shellabarger Limestone has a maximum measured thickness of 38.7 m (127 ft) (see Fig. 3).

## GEOLOGIC SETTING

Blodgett et al. (2022, p. 73-75) provided the following discussion of the geologic setting of the Devonian of the Shellabarger Pass. The specimens described here are from the base of the Mystic sequence of the Farewell terrane of southwestern and west-central Alaska. The Mystic terrane was originally named by Jones and Silberling (1979) and described further by Jones et al. (1981) as a separate tectonostratigraphic entity of full terrane rank. More recently, Decker et al. (1994) recognized that the Mystic terrane, as well as the Nixon Fork and Dillinger terranes, were genetically related, and all were reduced in rank to subterrane of a larger terrane, termed the Farewell terrane. Gilbert and Bundtzen (1984) considered the Dillinger and Mystic terranes, each of whose type sections are close to one another, to represent a single stratigraphic succession of Paleozoic to Triassic age, assigning the term “sequence” to each. They considered the underlying Dillinger sequence to be a Cambrian to Lower Devonian deep-water succession overlain by the Mystic sequence, consisting of laterally variable Devonian to Triassic? shallow-water to nonmarine sedimentary rocks with intrusive and extrusive mafic and ultramafic rocks. The close stratigraphic relationship between the Dillinger and Mystic sequences has been studied by Blodgett and Gilbert (1992) to the southwest in the Lime Hills D-4 and D-5, 1:63,360 scale quadrangles.

The Nixon Fork subterrane, defined originally as a full-rank terrane by Patton (1978), represents a predominately shallow-water carbonate platform whose lower part is mostly laterally equivalent to deeper-water Cambrian to Lower Devonian rocks of the Dillinger subterrane (Blodgett, 1983; Blodgett and Gilbert, 1983; Bundtzen and Gilbert, 1983; Gilbert and Bundtzen, 1983). Until the late 1990s, most interpretations of the gross lithostratigraphy and faunal affinities of the best-studied subterrane of the Farewell terrane, the Nixon Fork subterrane, had indicated either fragmentation from or lithic continuity with northwestern Canada (Blodgett, 1983; Churkin et al., 1984; Blodgett and Clough, 1985; Rohr and Blodgett, 1985; Abbott, 1995). Newly acquired biogeographic data from Lower Devonian strata of the Farewell terrane, together with reconsideration of the affinities of the faunas and floras of other time intervals, indicate that this continental margin sequence originated by rifting away from the Siberian continent, rather than an origin from northwestern North America (Blodgett and Brease, 1997; Blodgett, 1998; Blodgett et al., 2002). Much of this rifting appears to have occurred during Late Devonian to early Carboniferous time (Blodgett et al., 2010).

Richly fossiliferous Devonian rocks of the basal part of the Mystic sequence are well exposed in the Shellabarger Pass area, Talkeetna C-5 & C-6 quadrangles of south-central Alaska. The



FIGURE 1. Index map of Alaska showing location of Shellabarger Pass.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/07/Baldomero-Carrasco-2003.pdf>

Carrasco-V., B., 2003, Paleokarst in the Marginal Cretaceous rocks, Gulf of Mexico, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 169–183.

# Paleokarst in the Marginal Cretaceous Rocks, Gulf of Mexico

Baldomero Carrasco-V.

Instituto de Geología and Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

## ABSTRACT

Some El Abra Formation carbonate reservoirs produce from fractured and brecciated rocks resulting from paleokarstic events. The western margin of the Gulf of Mexico front of the Sierra Madre Oriental exposes Albian-Cenomanian rocks of the El Abra Formation. In the Actopan Platform, these outcrops allow the study of the paleokarst development in peritidal rocks. Included in the karst are dissolutional, depositional, fracturing, brecciation, and collapse features. Toucasia wackestone beds of restricted-marine lagoonal to intertidal environment overlay the paleokarst.

Similar events also occur in subsurface Albian-Cenomanian carbonate rocks around the Gulf of Mexico: Jordan Knoll (eastern Gulf of Mexico) and San Marcos and Cordoba Platforms (northwestern and western Gulf of Mexico).

Some of the paleokarsted rock intervals have been studied only by space-core samples or by geophysical methods (Jordan Knoll). The Actopan Platform rocks allow an Albian-Cenomanian model to be developed and to be compared to similar rocks around the Gulf of Mexico.

## INTRODUCTION

Mexican Cretaceous carbonate rocks have been prolific hydrocarbons producers from different sedimentary facies since early in the 20th century. Oil production began in Mexico in 1904 after discovery of the Tampico-Misantla Geologic Province (Cruz and Meneses, 1998). Since then, oil fields have been discovered in the following Cretaceous carbonate provinces: Sabinas Basin, Tampico-Tuxpan Basin, Cordoba Platform, Tabasco-Chiapas, and the Campeche Provinces.

Production and oil shows have come from stratigraphic traps (Sabinas), basinal fractured carbonates (Panuco-Ebano), platform reefal rocks, and fore reef debris and turbidites (Tampico-Tuxpan Basin, Golden Lane Platform, Cordoba Platform, Cactus-Sitio Grande Area, and the Campeche-Yucatan Platform) (Santiago et al., 1984, p. 1–36).

Paleokarst features in Mexican oil fields were first noted in exploration of the El Abra Limestone in 1916. The Pemex drilling report for the Cerro Azul well # 4, drilled in that unit, noted that the blow-out in that well “threw pieces of stalactites into the air” (Viniestra et al., 1970, p. 316).

## PURPOSE OF THE PRESENT STUDY

The present study has the following aims: (1) to document the presence of an important episode of karst formation in the Cretaceous El Abra Formation along the Actopan Platform, (2) to correlate or relate the subaerial exposure and development of the karst with other analogous and equivalent subsurface events around the Gulf of Mexico, and (3) to suggest the possibility of some other geologic areas

## Modelamiento estructural de la parte axial de la Cordillera Oriental de Colombia: Entre el páramo de Sumapaz y la Sabana de Bogotá.

Universitat Autònoma de Barcelona. Tesis doctoral. 2020.

Sustentante: **Juan Camilo Ruiz Amaya.**

Director de Tesis: Antonio Teixell Cácharo.

## Resumen

La parte externa de los Andes de Colombia está representada por la Cordillera Oriental, un sistema de cabalgamientos de doble vergencia formado durante el Cenozoico producto de la inversión de un rift de retro-arco Mesozoico. Los piedemontes de la Cordillera están dominados por cabalgamientos en dirección hacia el antepaís, ampliamente documentados debido al interés y productividad de hidrocarburos. Por el contrario, la parte interna de la Cordillera entre la Sabana de Bogotá y el páramo de Sumapaz (zona axial), consiste en un cinturón de pliegues derechos de escala kilométrica, mucho menos documentado. En superficie involucra rocas sedimentarias del Cretácico Superior y Terciario con un nivel de erosión bastante constante, y que no tiene una vergencia dominante ni grandes traslaciones cabalgantes.

La configuración tectónica de la Cordillera Oriental ha sido objeto de diversas concepciones, especialmente en su parte axial. Con base en la interpretación de 450 km de líneas sísmicas 2D y la edición cartográfica resultante del propio trabajo de campo y la compilación de datos estructurales de superficie de otros autores, en este estudio se han construido 12 nuevas secciones estructurales seriadas balanceadas, dos de ellas restituidas secuencialmente desde finales del Cretácico Superior hasta el estado actual. Un acortamiento en promedio del 14% ha sido calculado.

El estilo estructural definido para la parte axial de la Cordillera Oriental entre la Sabana de Bogotá y el páramo de Sumapaz incluye un nivel de despegue muy efectivo bajo las estructuras de plegamiento observadas en superficie. Se establece un desacople entre la secuencia basal interpretada como Paleozoica y los pliegues debido a una formación salina del Cretácico Inferior, que causó pliegues de despegue y diapiros. Los niveles plásticos de la Formación arcillosa de Chipaque del Cretácico superior crean una disarmonía en los pliegues. Los pliegues muestran discordancias progresivas en diferentes niveles de la sucesión Cretácica-Terciaria.

Aunque la presencia de sal en esta parte de la Cordillera Oriental ha sido reportada por numerosos autores, hasta ahora no había un modelo estructural en detalle que abordara el origen de las principales estructuras y su relación con la formación salina, bien sea como nivel de despegue y/o como desencadenante de fenómenos diapíricos. Incorporando conceptos de tectónica salina ha sido desarrollado un modelo geológico con una nueva perspectiva y una nueva cronología de la deformación, iniciando su registro observable con un plegamiento por halocinesis soportado por una discordancia progresiva a nivel del Albiense-Cenomaniense (aunque la migración salina pudo comenzar en tiempos anteriores del Cretácico Inferior). Posteriormente y asociado al inicio de la compresión en la Cordillera, se producen pliegues por buckling con un segundo episodio de movimiento y evacuación de la sal más intenso, ayudado por la carga sedimentaria diferencial en los sinclinales.

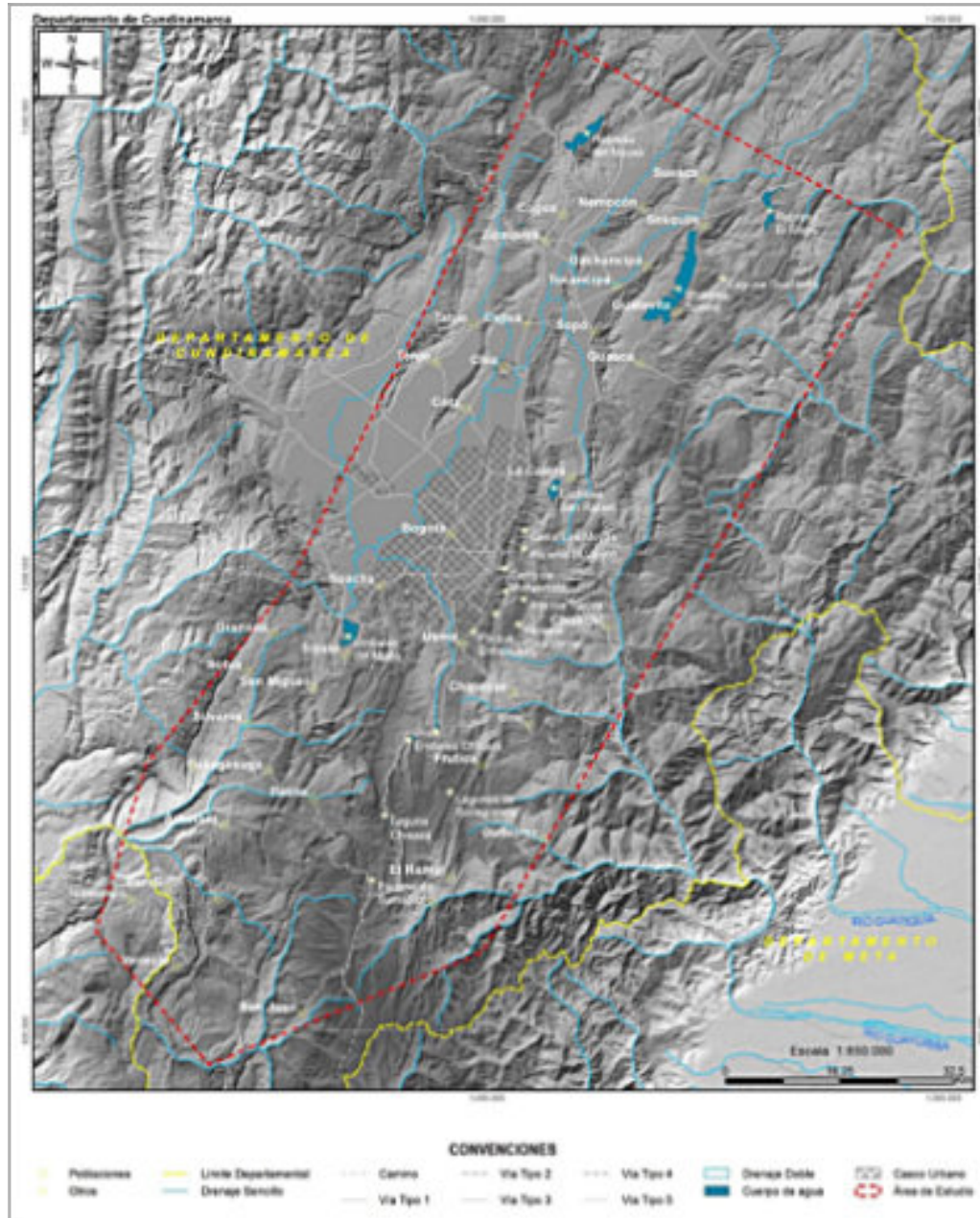
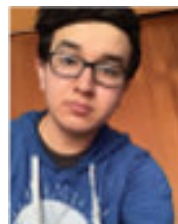


Figura 1.1. Mapa zona de estudio.

Compilación mensual de publicaciones y tesis por **Diego G. Miguel Vázquez**, Colaborador de la Revista.



**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](mailto:diegogabriel807@gmail.com)

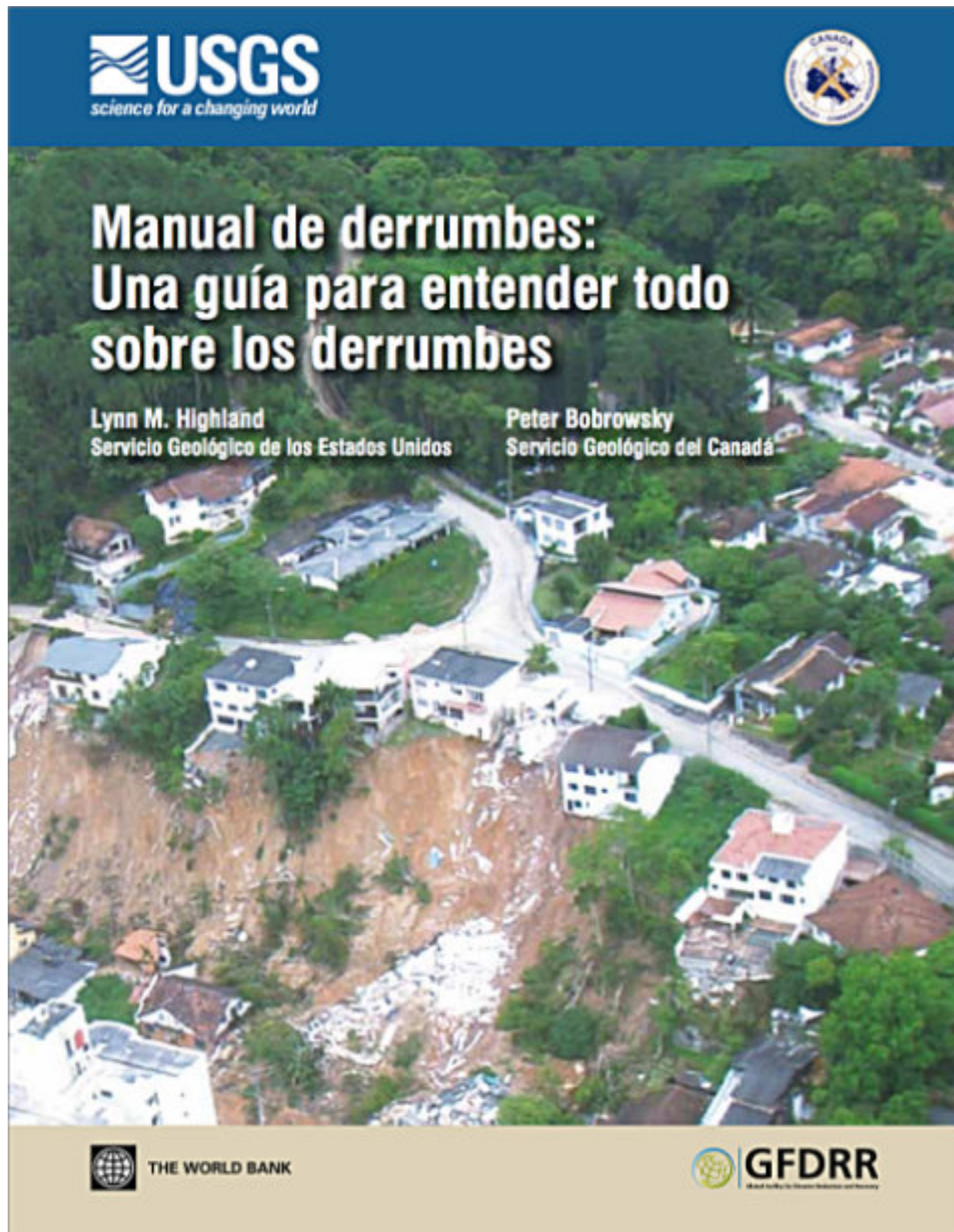
## El libro recomendado

[https://www.ign.es/web/resources/acercaDe/libDigPub/Historia\\_de\\_la\\_cartografia.pdf](https://www.ign.es/web/resources/acercaDe/libDigPub/Historia_de_la_cartografia.pdf)

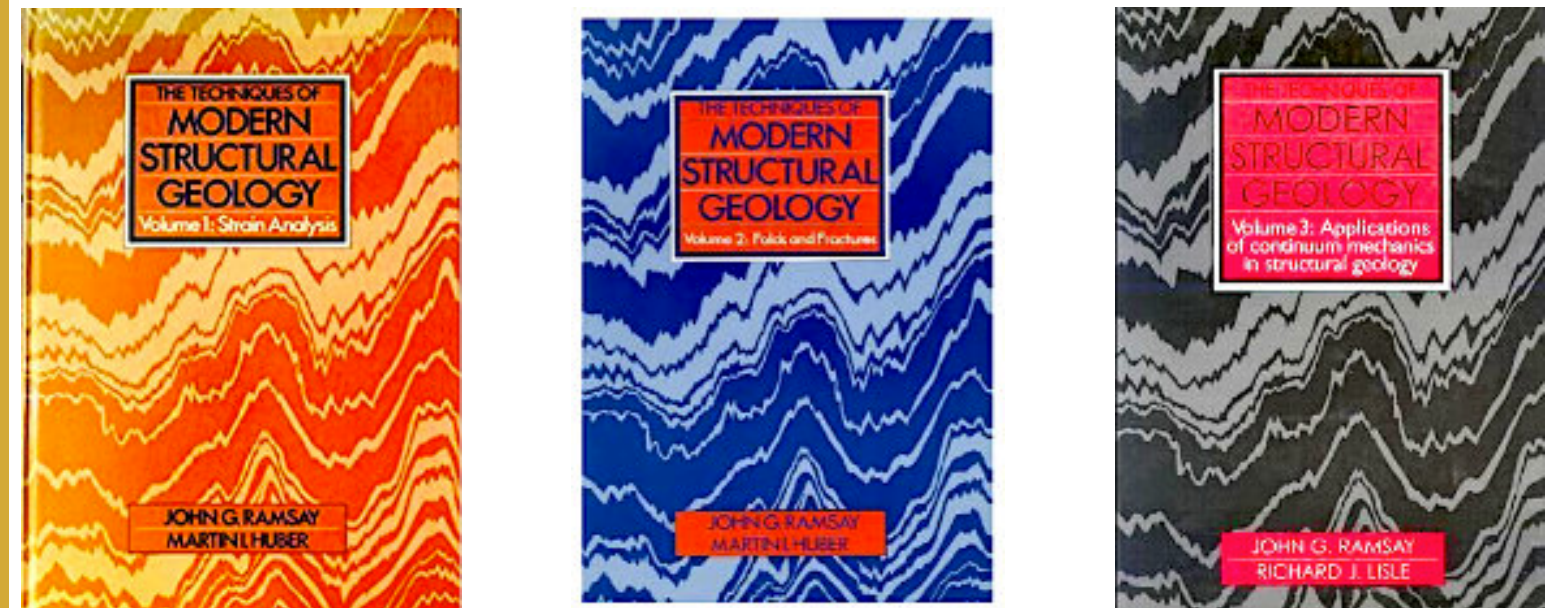


## El libro recomendado

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/08/MANUAL-DE-DERRUMBES-USGS.pdf>



## El libro recomendado



### John Ramsay

**(1931- 2021) British Structural Geologist**

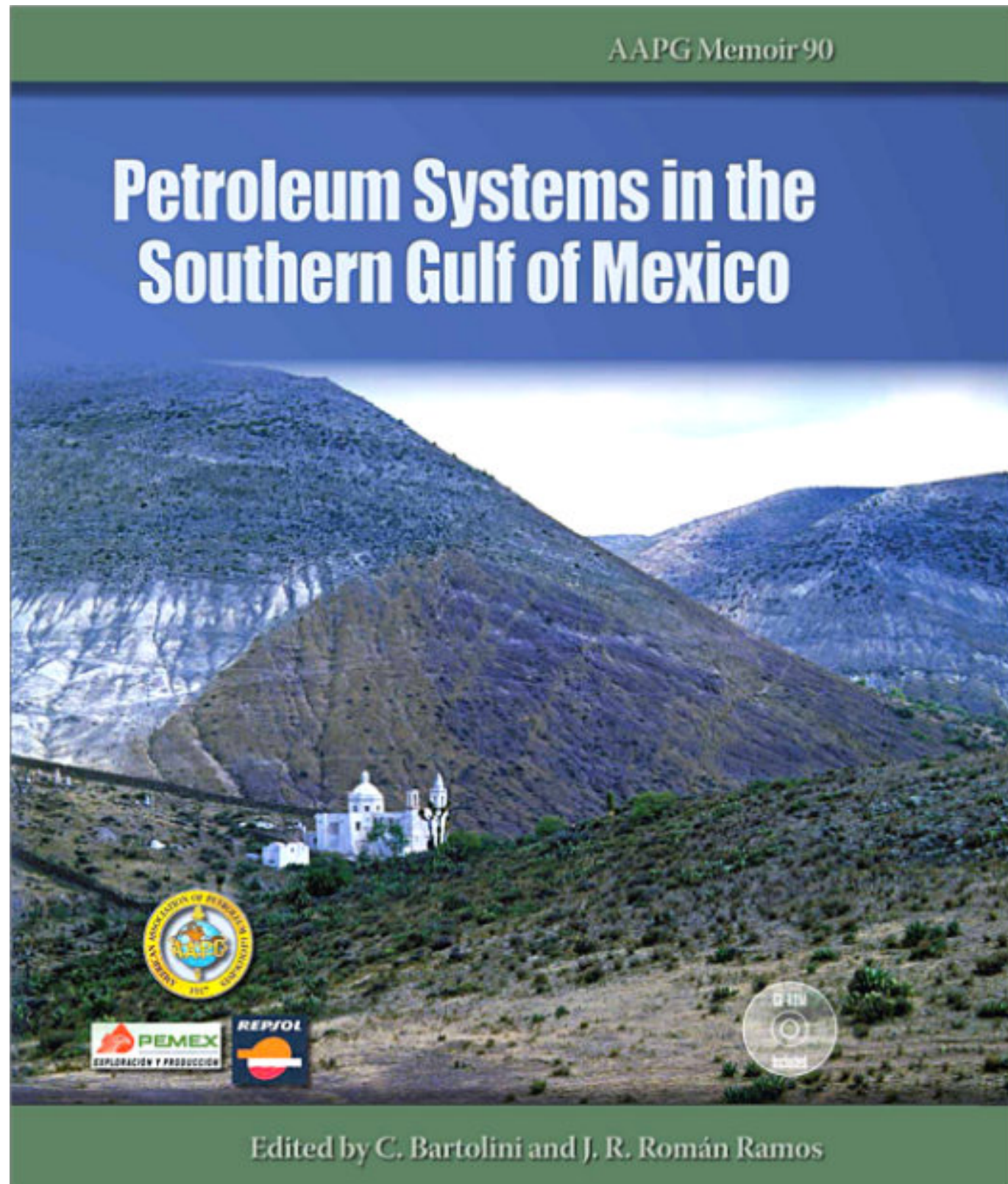
**John Ramsay is unquestionably** the “father of modern structural geology.” Although there were several researchers who attempted to integrate quantitative analysis into their studies, structural geology was largely a descriptive discipline into the 1960s. It concentrated on the shapes and associations of folds, faults, and cleavage and devised classifications on these bases. Ramsay assembled all of the quantitative techniques that had been devised by the few structural geologists who had even attempted such exercises. His real contribution, however, was to take the science a step forward. He integrated these studies that attempted to provide a quantitative basis for strain and explained them in terms of continuum mechanics. He also integrated his own studies of deformed passive markers which show the deformation of a rock but which are not formed in the process. These passive markers include features like fossils of all types, certain sedimentary structures (mud cracks, oolites, pebbles in conglomerate, etc.), certain volcanic structures (vesicles, etc.), xenoliths in plutons and others. By knowing the original shape of the feature and comparing it to the deformed state, an equation of strain can be written based upon the geometrical changes. Although these changes are mathematically complex, requiring a tensor solution using matrix algebra, by making certain assumptions and issuing certain requirements to the features, a relatively simple solution can be used in many cases. Ramsay devised a series of trigonometric and statistical solutions to these deformed features that he summarized in a landmark 1967 textbook entitled *Folding and Fracturing of Rocks*.

**These new methods**, now readily available in a single textbook, sparked a revolution in structural geology that had fallen well behind many of the other subdisciplines of geology in terms of quantitative analysis. Structural geology would go on to utilize many other principles of engineering and material science. Most of Ramsay’s work involved the best examples of deformed features rather than field studies. Those field studies that he performed were on single outcrop examples and largely in Great Britain or the Swiss Alps. One of his regional topics of interest was the study of large shear zones especially with regard to their passage from basement to cover rocks. Ramsay was always noted for his ability to find the most beautiful examples of deformed rocks to analyze. Late in his career, he produced a two-volume manual entitled *The Techniques of Modern Structural Geology* with some of the most outstanding photographs of deformed rocks. These volumes also have become classics.

**John Ramsay was born on June 17, 1931**, in England. He received his primary education at the Edmonton County Grammar School in England before attending Imperial College in London. He earned a bachelor of science degree in geology in 1952. That year he married Sylvia Hiorns but the marriage ended in divorce in 1957. He remained at Imperial College for his graduate studies and earned a Ph.D. in geology in 1955. He then performed military service with the Royal Corps of

## El libro recomendado

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/08/AAPG-Memoir-90- -Bartolini.pdf>



## TEMAS DE INTERÉS

### Sostenibilidad en la transición energética. Top 5 de los minerales críticos para la transición energética que se extraen en la actualidad.

**Natalia Silva Cruz**  
Colaboradora de la Revista

El aprovechamiento de las energías renovables se sostiene en la minería y refinado de elementos críticos que permitan que se realice la transformación energética mientras que durante todo el proceso se garanticen las menores pérdidas posibles, la sostenibilidad y la mitigación de impactos ambientales y socioeconómicos. Conozcamos el top 5 de dichos elementos estratégicos para la transición energética cuya obtención está siendo acelerada en los últimos años y además cuentan con volúmenes significativos.

**1. Litio.** Es la base de las baterías utilizadas en los vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento energético que acompañan estructuras de transformación de energías renovables como solar y eólica, principalmente. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) reporta en el documento *Global Critical Minerals Outlook 2025*, que durante 2024 se presentó un aumento del 30% en su demanda, que fue cubierta debido a importantes incrementos de obtención en países como China y Australia. A pesar del crecimiento en la demanda, los precios han mantenido tendencias hacia la baja, alcanzando niveles prepandémicos, luego de un pico hacia 2022, cuando se observaron precios de casi 4 veces lo que presenciamos hoy. Ahora, estos precios bajos tienen, por supuesto, consecuencias, la inversión de capital en exploración se podría ver desmotivada y es posible que se observe un estancamiento en la producción en el futuro cercano, de manera que es posible que veamos una nueva tendencia al alza de precios debido a una eventual baja oferta que no alcanzaría a cubrir la demanda. Toda existe incertidumbre en el mercado y hemos llegado a un balance entre oferta y demanda que mantenga precios estables mientras se estimule la explotación sostenible.

**2. Cobre.** Es el corazón de nuestras redes eléctricas, aunque existan sistemas que podrían ser mejores, según

los requerimientos (como ciertas aleaciones de aluminio, estructuras de aluminio y fibra de carbono, cables de grafeno o nanotubos de carbón, superconductores, entre otros), ninguno se compara con la conveniencia del cobre por su alta conductividad y por el hecho de que prácticamente todos nuestros sistemas están contruidos pensados en el máximo aprovechamiento de sus propiedades específicas. Ahora, el cobre tiene además muchísima utilidad en el aprovechamiento de fuentes de energía renovables, sin embargo, el volumen requerido es enorme, por ejemplo, un vehículo eléctrico requiere 2,5 veces el cobre que uno de gasolina, y cada turbina eólica usa entre 3 y 5 toneladas. Si vamos a reemplazar el uso de combustibles fósiles por fuentes eléctricas, debemos ampliar las redes de distribución e instalar un número importante de estaciones de carga, por lo que la IEA estima que para 2035 estaremos demandando unas 35 a 40 millones de toneladas anuales de cobre, frente a las 25 que se consumen hoy<sup>1</sup>. Por otra parte, la calidad de las minas de cobre se reduce cada día, la proporción elemental por cantidad de roca mena es menor, así que se requiere más energía y agua para su extracción, por lo que es más costoso; además, no tenemos importantes descubrimientos recientemente, y aunque así fuera, en el mejor escenario, la producción más temprana se daría en 15 años. Se calcula que proyectos de reciclaje podrían cubrir un 20 – 25% de la demanda, pero todavía se dependería enormemente de la extracción minera. A pesar de que el cobre es poco mencionado como un mineral crítico y pierde protagonismo frente a otros como las tierras raras, vemos cómo puede poner en riesgo la transición energética exitosa.

**3. Cobalto.** Este elemento incrementa la densidad energética y la estabilidad de vehículos eléctricos de alto desempeño, también es uno de los componentes principales de las baterías. Según reportes del *Cobalt Institute*, el 73% de la demanda del cobre se destina a la industria de almacenamiento energético<sup>2</sup>, específicamente, un 43% del total se utilizó para vehículos eléctricos durante 2023<sup>3</sup>. La demanda puntual para baterías aumentó en 2023 un 13%, mientras que para otros fines solo aumentó 2%. Ahora, la gran mayoría de la producción de cobalto se concentra en la República Democrática del Congo, hablamos de un 70% de la

demanda global que depende de la estabilidad sociopolítica e institucional de este país y del hecho de que muchas de las minas son financiadas por compañías extranjeras, principalmente provenientes de China, lo que le añade un aspecto geopolítico nada despreciable. La buena noticia es que existen modificaciones estructurales de las baterías para que se pueda reemplazar el cobalto por níquel, que es más barato y aparece en múltiples locaciones, reduciendo en cierta medida la incertidumbre en su disponibilidad.

**4. Grafito.** Es el material principal de los ánodos de las baterías de iones de litio, constituyendo un 50% del volumen de las celdas. Según la IEA, su demanda aumentó un 6 – 8% durante 2024<sup>1</sup> y seguirá en aumento. Desafortunadamente, su producción está comprometida por su procesado y refinamiento, que se da en un 90% en China, creando vulnerabilidad en su distribución global. No obstante, existe una serie de alternativas prometedoras para su sustitución total o parcial en baterías, minimizando el riesgo en su comercialización, como: ánodos basados en silicio, titanato de litio, carbono no grafitizado, ánodos de litio metálico, estaño, germanio, entre otros.

**5. Níquel.** Indispensable en la química de baterías de alta densidad y capacidad energética. Su demanda creció un 6

a 8% durante 2024 según lo reportado por la IEA<sup>1</sup>. Los principales productores son Indonesia (50%), Filipinas (10 – 12%), Rusia (7 – 8%), Canadá, China y Australia. Su alta concentración en Indonesia hace que existan complicaciones para mantener una oferta y precios estables, recientemente, y en repetidas ocasiones, de han observado variaciones en las políticas de exportación de producto bruto para fomentar el refinado local, lo que le resta un volumen importante a China, el principal procesador de níquel en el mundo, lo que complica el acceso libre al resto de consumidores.

Si bien casi siempre se habla de las tierras raras o del litio como los elementos que le dan soporte a la transición energética, hoy vemos cómo el éxito de la descarbonización económica tiene muchísimos más actores que juegan roles tanto o más determinantes. Garantizar el acceso seguro y sostenible a estos materiales, junto con impulsar la investigación, el desarrollo de nuevas tecnologías y la innovación de procesos, será decisivo para mantenernos en la carrera contra el tiempo para mitigar los efectos del cambio climático. Este camino requiere la transformación de nuestros sistemas de aprovechamiento energético para la prevalencia de nuestra sociedad mediante la resiliencia y adaptación.

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

<sup>2</sup>Cobalt Institute. Cobalt Market Report 2023. May 2024.

<sup>3</sup>Cobalt Institute. Cobalt: Powering the green economy. July 2025.



**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](mailto:ensilvacruz@gmail.com)

## Metales esenciales y tóxicos: su impacto en nuestro metabolismo

**Daniela K. Calvo-Ramos<sup>1\*</sup>, Luisa Fernanda Rueda-Garzón<sup>1</sup>, Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup> y Eduardo González-Partida<sup>1</sup>.**

*\* Autor de Correspondencia:*

[dcalvo@geociencias.unam.mx](mailto:dcalvo@geociencias.unam.mx)

Los metales pesados desempeñan un papel dual en el metabolismo humano. Elementos esenciales, como el hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co) y molibdeno (Mo), son fundamentales para procesos fisiológicos, especialmente en funciones enzimáticas, equilibrio redox y regulación génica. Por el contrario, metales pesados no esenciales, como el cadmio (Cd),

mercurio (Hg), plomo (Pb) y arsénico (As), pueden alterar la homeostasis metabólica y causar graves problemas de salud. Este trabajo revisa las funciones biológicas de los metales esenciales, los efectos toxicológicos de los metales no esenciales y los sistemas responsables de regular su equilibrio en el organismo humano.

### Introducción

Los metales pesados son elementos con alta masa atómica y densidad, cuyo papel en la biología humana varía significativamente. Algunos son micronutrientes indispensables, requeridos en cantidades traza, para funciones vitales como la síntesis de enzimas, la regulación génica y el equilibrio redox. Estos metales participan como cofactores en reacciones bioquímicas esenciales, estabilizan estructuras proteicas y modulan la señalización celular. El cuerpo humano ha desarrollado

| Elemento | Estado de oxidación                 | Rol biológico                                  | Enzimas clave                       | Efectos por deficiencia                     | Trastornos por exceso      |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|
| Fe       | Fe <sup>2+</sup> / Fe <sup>3+</sup> | Transporte de oxígeno, reacciones redox        | Hemoglobina, Citocromos             | Anemia, fatiga                              | Hemocromatosis             |
| Zn       | Zn <sup>2+</sup>                    | Expresión génica, actividad enzimática         | ADN polimerasa, Anhidrasa carbónica | Retraso del crecimiento, inmunidad reducida | Náuseas, deficiencia de Cu |
| Cu       | Cu <sup>+</sup> / Cu <sup>2+</sup>  | Respiración mitocondrial, defensa antioxidante | Citocromo c oxidasa, SOD            | Anemia, neuropatía                          | Enfermedad de Wilson       |
| Mn       | Mn <sup>2+</sup>                    | Formación ósea, metabolismo                    | Mn-SOD, Arginasa                    | Alteraciones esqueléticas                   | Neurotoxicidad             |
| Co       | Co <sup>2+</sup>                    | Componente de la vitamina B <sub>12</sub>      | Metionina sintasa                   | Anemia megaloblástica, neuropatía           | Cardiomiopatía             |
| Mo       | Mo <sup>6+</sup>                    | Detoxificación, metabolismo de purinas         | Xantina oxidasa, Sulfito oxidasa    | Síntomas neurológicos                       | Acidosis metabólica (rara) |

Tabla 1: Metales pesados esenciales y sus funciones metabólicas.

mecanismos específicos para absorber, utilizar y eliminar estos metales. La alteración de dichos mecanismos puede conducir a trastornos metabólicos, neurodegeneración o toxicidad sistémica.

Por el contrario, metales pesados no esenciales como el cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) y arsénico (As) carecen de función biológica conocida y pueden alterar la homeostasis metabólica incluso en concentraciones mínimas.

Metales pesados tóxicos y alteración metabólica

Ciertos metales pesados no tienen ninguna función fisiológica beneficiosa y son tóxicos incluso a bajas

concentraciones. Pueden imitar a metales esenciales, unirse a grupos sulfhidrilo en proteínas y generar especies reactivas de oxígeno (ROS), lo que conduce a disfunciones metabólicas y enfermedades crónicas.

La alteración de estos mecanismos puede conducir a trastornos metabólicos, neurodegeneración o toxicidad sistémica. Por ejemplo, el plomo puede mimetizar al calcio y alterar la señalización neuronal, afectando el desarrollo cognitivo en niños. El cadmio, por su parte, se acumula en los riñones y puede inducir daño tubular crónico. Además, la exposición prolongada a metales pesados se ha vinculado con enfermedades cardiovasculares, cáncer y alteraciones inmunológicas.

| Elemento | Forma tóxica principal              | Órganos diana          | Mecanismo de acción                                | Efectos en la salud                  |
|----------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Cd       | Cd <sup>2+</sup>                    | Riñón, hueso           | Imita Zn y Ca, inhibe enzimas                      | Daño renal, osteoporosis             |
| Hg       | Metil-Hg, Hg <sup>2+</sup>          | SNC, riñón             | Se une a grupos tiol, neurotoxicidad               | Retrasos en el desarrollo, temblores |
| Pb       | Pb <sup>2+</sup>                    | SNC, hueso, sangre     | Inhibe síntesis de hemo, desplaza Ca <sup>2+</sup> | Déficit cognitivo, anemia            |
| As       | As <sup>3+</sup> / As <sup>5+</sup> | Piel, hígado, pulmones | Interfiere en la producción de ATP, genera ROS     | Cáncer, diabetes, lesiones cutáneas  |

Tabla 2: Metales pesados tóxicos y sus mecanismos de toxicidad.

En el contexto actual de creciente contaminación ambiental, la exposición a metales pesados se ha intensificado por actividades industriales, minería, uso de fertilizantes e insecticidas, y procesos de urbanización. Esto plantea desafíos no solo para la salud humana, sino también para la sostenibilidad de los ecosistemas.

Elementos esenciales: la metalómica como brújula biomédica

La metalómica, una subdisciplina de la metabolómica, se enfoca en el estudio integral de la distribución,

especiación, interacción y función de los metales y metaloides en sistemas biológicos. Esta área transdisciplinaria se relaciona estrechamente con la genómica, proteómica y bioinorgánica, ya que los iones metálicos participan en procesos fundamentales como la catálisis enzimática, la regulación génica, el transporte de electrones y la señalización celular.

Para investigar estos procesos, se emplean herramientas analíticas avanzadas que permiten una caracterización espacial y química precisa:

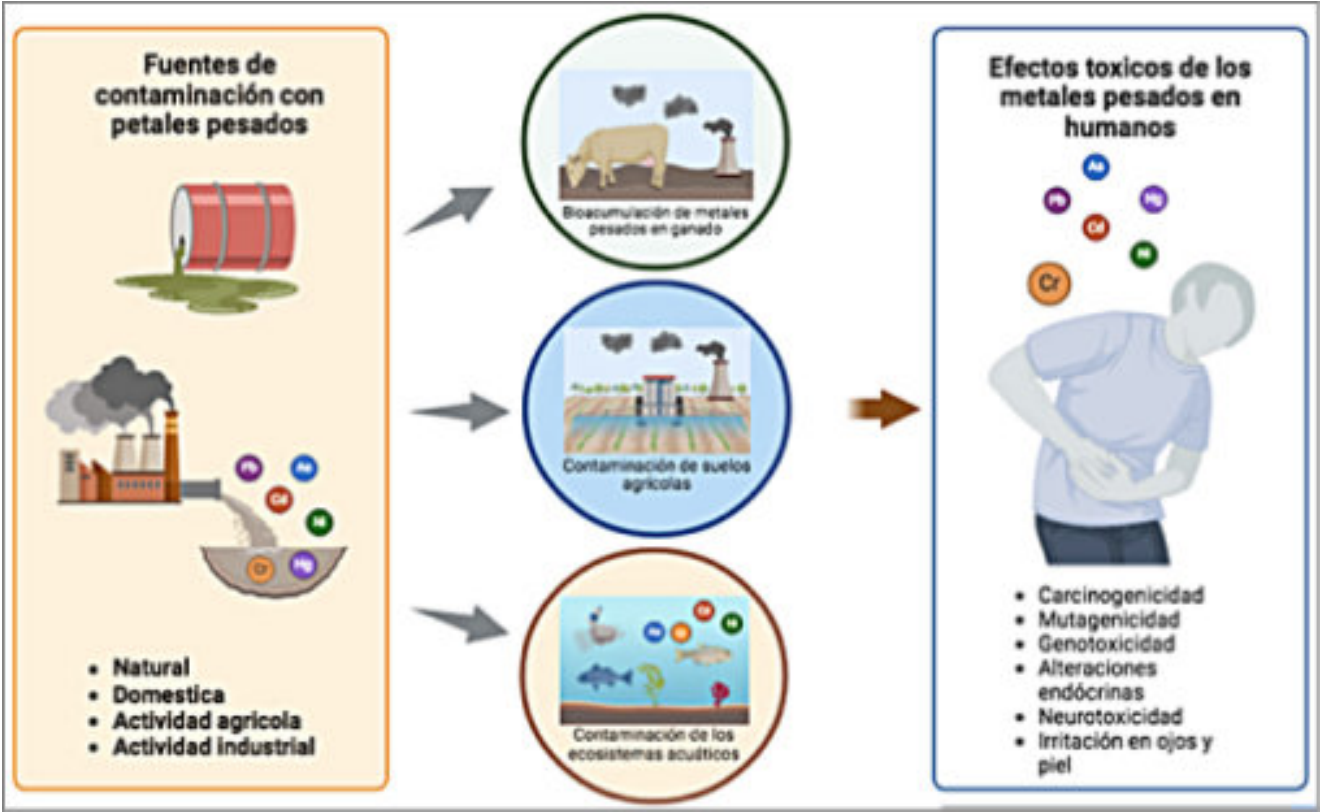


Figura 1. Efectos de la contaminación por metales pesados en el ambiente y el ser humano. Imagen creada en BioRender.com. Crédito: Jaqueline J. Jiménez-Jiménez & Randy Ortiz-Castro.

- ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente): permite detectar metales en concentraciones ultra-traza, con alta sensibilidad y resolución isotópica.
- Microscopía de fluorescencia de rayos X (XRF): ofrece imágenes elementales de tejidos y células, revelando la distribución de metales en contextos fisiológicos o patológicos.
- LA-ICP-MS (ICP-MS con ablación láser): combina ablación localizada con espectrometría de masas, ideal para mapear la especiación metálica en tejidos biológicos o muestras ambientales.

Conclusión

Los metales pesados son parte integral del metabolismo humano, pero pueden volverse peligrosos si se alteran sus niveles. Los metales esenciales sustentan funciones enzimáticas, estructurales y de señalización, mientras que los metales tóxicos interfieren con la homeostasis. Mantener niveles óptimos mediante una dieta adecuada, una regulación fisiológica eficiente y la prevención de exposiciones ambientales es crucial para la salud. Los

avances en técnicas analíticas han revolucionado el diagnóstico clínico y la investigación biomédica, permitiendo identificar desequilibrios metálicos asociados a enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson.

Referencias

Finney, L. A., & O'Halloran, T. V. (2003). Especiación de metales de transición en la célula: perspectivas desde la química de los receptores de iones metálicos. *Science*, 300(5621), 931–936.

Jaishankar, M. et al. (2014). Toxicidad, mecanismos y efectos en la salud de algunos metales pesados. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.

Kim, B. E., Nevitt, T., & Thiele, D. J. (2008). Mecanismos de adquisición, distribución y regulación del cobre. *Nature Chemical Biology*, 4(3), 176–185.

Maret, W. (2013). Bioquímica del zinc: de una sola enzima de zinc a un elemento clave de la vida. *Advances in Nutrition*, 4(1), 82–91.

Valko, M., Morris, H., & Cronin, M. T. D. (2005). Metales, toxicidad y estrés oxidativo. *Current Medicinal Chemistry*, 12(10), 1161–1208.



**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 en estancia Posdoctoral en Centro de Geociencias UNAM-Juriquilla. 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). También es docente en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES-UNAM Juriquilla).

[dcalvo@geociencias.unam.mx](mailto:dcalvo@geociencias.unam.mx)



**Luisa Fernanda Rueda Garzón.** Geóloga de la Universidad Industrial de Santander, Maestra y Doctora en Ciencias y Tecnología del Agua por la Universidad de Guanajuato. Actualmente realiza una estancia posdoctoral en el Instituto de Geociencias de la UNAM. Ha investigado la contaminación y movilidad de metal(oid)es en

suelos y sedimentos afectados por minería. Fue docente en la Universidad de Guanajuato y actualmente se enfoca en geoquímica, especialmente en el uso de isótopos estables de Zn y Cu para rastrear fuentes de contaminación y comprender los procesos geoquímicos que influyen en la calidad de los recursos naturales.



**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 al a Unidad 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 inicio 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](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)



**Eduardo González Partida** Se graduo de Ingeniero Geólogo (UNAM) en 1977 y en 1979 se graduado de Ingeniero Experto en Exploración y Valorización de Recursos Naturales en la Escuela Nacional Superior de Geología de Nancy, Francia, obteniendo posteriormente, los grados de Doctor Ingeniero en Materias Primas Minerales y Energéticos en 1981 y Doctor de Estado en Ciencias en 1985. Actualmente tiene 41 años de antigüedad docente/académico en la UNAM, es nivel III en el SNI. En 2020-21 fue Co-fundador y nombrado Rector de la Universidad Polotécnico de Nochixtlan Abraham Castellano. En su aportación científica y tecnológica cuenta con 350 productos. En la formación de recursos humanos ha dirigido 86 tesis, de las cuales 58 son de Licenciatura, 21 de Maestría y 7 de doctorado. Sus campos de acción son los yacimientos minerales y energéticos: geotermia, carbón, hidrocarburos.

## A Global Biodiversity Crisis: How NASA Satellites Help Track Changes to Life on Earth

Climate change plays an increasing role in the global decline of biodiversity—the variety of life on Earth. Scientists use NASA data to track ecosystem changes and to develop tools for conserving life on land, in our ocean, and in freshwater ecosystems.

Many of us associate the sound of a singing bird with the beauty of nature. In recent years, though, fewer chirps, tweets, and birdsong have been heard. It isn't because birds have stopped singing, but because there are fewer of them. A 2019 study from Cornell's Lab of Ornithology estimated that we've lost about 3 billion wild birds in North America, leaving 29% fewer than in 1970. Human actions are the principal reason. It's not just the birds. A report from the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services estimates that about one million plant and animal species are threatened with extinction. Woody Turner, program scientist for NASA's Biological Diversity Research Program, stated: "We are really at a global biodiversity crisis, losing not only entire species but also seeing decreases in the number of plants and animals that are important for natural ecosystems."

A biodiverse planet means life has many different ways to survive and thrive. But human actions are affecting the natural balance of life on Earth. This includes habitat loss from deforestation, land use changes, and climate change. Rising global temperatures, a more acidic ocean, and extreme weather events — from heat waves and droughts to floods and wildfires — are rapidly changing global ecosystems. Larger organisms often take thousands to millions of years to evolve and adapt to new climates. Earth's climate is now changing faster than many species can handle.

NASA is working with partners worldwide to monitor biodiversity changes in near real-time, linking satellite data to on-the-ground measurements. Through these measurements, scientists are working swiftly to learn what is happening and its impact on the planet.

Source: By Angela Colbert, Ph.D., NASA's Jet Propulsion Laboratory

<https://science.nasa.gov/earth/climate-change/a-global-biodiversity-crisis-how-nasa-satellites-help-track-changes-to-life-on-earth/>

[https://www.youtube.com/watch?v=4\\_iql4iByQM&t=7s](https://www.youtube.com/watch?v=4_iql4iByQM&t=7s)



**Here's how NASA satellites contribute to environmental protection:**

1. Monitoring Climate Change:

Earth System Observatory:

NASA's upcoming Earth System Observatory will provide high-resolution data to study sea-level rise, landscape changes, and other climate-related phenomena.

**PREFIRE mission:**

This mission focuses on studying heat emissions at Earth's poles, which is crucial for understanding how ice, seas, and weather will change in a warming world.

**NISAR (NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar):**

This satellite, jointly developed with India, can detect movements of land and ice surfaces, aiding in disaster response and infrastructure monitoring.

**Aura, Aqua, Terra satellites:**

These satellites monitor greenhouse gases, aerosols, and other atmospheric components to understand and address climate change.

**Multi-Angle Imager for Aerosols (MAIA):**

This mission will study particulate matter in the atmosphere, helping researchers understand the impact of air pollution on human health.

2. Tracking Biodiversity Changes:

Monitoring marine ecosystems:

NASA satellites, combined with field data and models, help track how climate change affects marine ecosystems and phytoplankton.

Global biodiversity crisis:

Satellites are used to monitor changes in biodiversity and understand the impact of climate change on various species.

3. Disaster Response and Mitigation:

Early warning systems:

NASA satellites provide data for early warning systems for severe storms, floods, and other natural disasters.

Disaster impact assessments:

Satellites help assess the impact of disasters on communities and infrastructure.

Monitoring volcanic eruptions and ash plumes:

Satellites can detect volcanic eruptions and track the spread of ash and sulfur dioxide.

4. Improving Air Quality:

Aerosol monitoring: NASA satellites, including Aqua, Terra, and Suomi-NPP, provide data on aerosols, which are tiny particles in the air that can affect human health.

Air quality forecasting: This data is used by forecasters to predict air quality and issue alerts.

**In summary, NASA satellites are vital tools for understanding and addressing environmental challenges. Their data helps scientists, policymakers, and the public make informed decisions to protect our planet and its inhabitants, according to NASA Science.**

**PIONEROS DE LA SISMOLOGÍA EN VENEZUELA  
EN EL SIGLO XIX: UNA VISIÓN PERSONAL**

**José Antonio Rodríguez A.**

[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)

**Colaborador de la Revista**

**RESUMEN**

El tema de los sismos se torna en disciplina durante el siglo XIX en Venezuela con la participación de 9 profesionales cuya activa presencia llevará su impronta con estudios, artículos y colaboraciones. La memoria sismológica nativa se inicia con las actividades de Adolfo Ernst en 1868 junto a Arístides, Rojas, J. M. Tébar y J. M. Martel, los cuales compartirían sus experiencias y saberes concentrándose en el estudio de los sismos. Entre ellos, serán identificados otros actores como Lino de Revenga y Alejandro Ibarra Blanco quienes participarían de algún modo en el tratamiento de la sismicidad nacional. En este ensayo se han incorporado algunos aspectos biográficos de estos científicos que los vinculan con el tema tratado. Finalizando el siglo XIX, la sismicidad estará incorporada indirectamente a la firma del decreto presidencial de Juan Pablo Rojas Paúl quién dará vida al Observatorio Astronómico y Meteorológico de Caracas y en el que harán irrupción “subversiva” los terremotos, haciendo uso de muy escasos datos cercanos a 1901 y desconociéndose las razones de ello. Los sismos y su interpretación fueron regularmente reseñados en la prensa nacional y extranjera, con la ayuda de un particular artefacto: el telégrafo. Entrelazados en fechas y quehaceres, se unirán a Ernst y su “equipo”: Wilhelm Sievers, Henry Lord Boulton y Francisco de Paula Álamo quienes estudiarán directa o indirectamente los sismos de 1812, 1894 y 1900. De allí partirá el estudio primigenio de la geofísica autóctona unida a otros temas de reciente factura como son los estudios en geología de terremotos.

**Palabras claves:** Adolfo Ernst, Siglo XIX, Observatorio Astronómico y Meteorológico de Cagigal, Sismología.

**PIONEERS OF VENEZUELAN SEISMOLOGY  
IN THE 19<sup>th</sup> CENTURY: A PERSONAL VISION**

**ABSTRACT**

The topic of earthquakes became a discipline during the 19th century with the participation of 9 professionals whose active presence will bear their mark with studies, articles and collaborations. The “native seismological memory” beginnings with the activities of Adolfo Ernst in 1868 with Arístides Rojas, J. M. Tebar and J. M. Martel, who would share their experience and knowledge concentrating on the study of earthquakes. Among them, other actors will be identified such as Lino de Revenga and Alejandro Ibarra Blanco who would participate in some way in the treatment of Venezuelan seismicity. Thus, in this essay, some biographical aspects of these scientists have been incorporated that link them to the topic discussed. At the end of the 19th century, seismicity will be indirectly incorporated into the signing of the presidential decree of Juan Pablo Rojas Paul who will give life to the Astronomical and Meteorological Observatory of Caracas and in which earthquakes will make a *subversive* irruption using very scarce data close to 1901, being unknown the reason unknown. The earthquakes and interpretation were regularly reported in the national and foreign nineteenth-century press, with the help of a particular device, the telegraph. Intertwined in dates and tasks, they will join Ernst and “*team*”: Wilhelm Sievers, Henry Lord Boulton and Francisco de Paula Alamo who will directly or indirectly study the earthquakes of 1812, 1894 and 1900. From there the original study of geophysics will begin autoctonous together with recent topics such as studies in geology of earthquakes.

**Kew words:** Adolfo Ernst, 19th Century, Cagigal Astronomical and Meteorological Observatory, Seismology.

## INTRODUCCIÓN

Durante la primera mitad del siglo XIX toda actividad científica en Venezuela estará caracterizada por su desarticulación, discontinuidad y escasa producción (Bolet 2016:3), efecto de los cambios y convulsiones político-sociales y la devastación provocada por la guerra.

Con este poco halagüeño panorama, la nación carecía de condiciones que le procurasen un desarrollo discursivo coherente en ciencias naturales y mucho menos en sismología, tema técnico escasamente conocido y cultivado solo por algunos individuos.

Sus inicios venían cargados de herencias coloniales y acompañados de crónicas eclesiásticas. Era natural que cualquier cambio en la normalidad de un recinto religioso implicase la elaboración de una reseña de lo sucedido y los sismos y sus efectos lo eran.

Los necesarios espacios que la ciencia abriría en pro de la nación y en beneficio de propios y extraños, se sucederían en tiempos del Guzmanato, del Ilustre Americano autoritario y civilizador, como solía ser llamado.

Los aires del positivismo soplarán a favor de Venezuela con la llegada al país del alemán *Adolfo Ernst* quien desembarca en el puerto de La Guaira en 1861 y cuya llegada producirá una etapa de cambios al fundar en 1867 una sociedad científica pluridisciplinaria en la ciudad capital.

Así, la ciencia comenzaría a desarrollar relacionales activas, afectivas y efectivas con la cultura, conscientes sus primeros protagonistas de la necesidad de desarrollar un necesario espacio técnico-científico en el que cabrían múltiples ideas. Así pues, se contaba con títulos como el *Eco Científico de Venezuela* en 1857; la *Revista Científica del Colegio de Ingenieros* en 1861 y la *Gaceta Científica de Venezuela* del año 1877 u otras (Bolet, 1986: 11, Sánchez, 2012).

No es de interés particular en este ensayo elaborar la historia de las instituciones científicas nacidas durante el siglo XIX en una nación donde la ciencia marchaba a trompicones, pero interesa sí, hacer énfasis en aquellos ilustrados hombres que iniciarán la sismología y sus actividades.

Los datos manejados ilustran en visión amplia los comienzos de los estudios sismológicos venezolanos. A partir de la información recogida, revisada y ordenada es posible hacer algunas consideraciones sobre las primeras producciones científicas en sismos con sus errores y aciertos -producto de las ideas decimonónicas imperantes, hasta recalar en los tiempos de la formalización de un servicio sismológico promovido con la participación de Luis Ugueto (Grases, *et al.*, 2012: 4)

La visión que nos hemos propuesto no mantiene un criterio cronológico, pero sí de temas junto a la evaluación de los documentos que hemos consultado y una necesaria pesquisa en la correspondencia conservada por la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias entre 1991 y 2000 -actualmente *en línea*- y en papel hace 25 años máximos, la cual recomendamos para su revisión y análisis.

Así, entre casi una decena de naturalistas de los que hemos de los que hemos citado sus semblanzas -para algunos profusa y detallada- para otros hemos incluido apenas una referencia escueta. En orden citemos: Adolfo Ernst, Aristides Rojas, Jesús Muñoz Tébar, José María Martel, Wilhelm Sievers, Henry Lord Boulton, Francisco de Paula Álamo, y Alejandro Ibarra Blanco. Ello constituye una visión personal del autor, sin menoscabo de la existencia de otros geocientistas.

## EL INICIO DE LA SOCIEDAD DE CIENCIAS NATURALES DE CARACAS

Un grupo de hombres de letras, cuya finalidad era fundar una sociedad científico-literaria subdividida en diferentes secciones según los diferentes ramos del saber humano, se reunirá en la sede del Colegio Vargas, propiedad del médico, educador, diplomático y periodista Gerónimo E. Blanco (1819-1887) casi a finales de 1850.

Esta asociación científica no mantendría por mucho tiempo su denominación de origen pues en la sesión correspondiente a las ciencias físicas y naturales extendería su existencia en el tiempo dando origen a la *Sociedad de Ciencias Naturales de Caracas* (...) (Ernst, 1868 (I): 8)

El 18 de marzo de 1867 previo, reunidos en la casa del Adolfo Ernst, en compañía de Aristides Rojas, Francisco de Paula Acosta, Manuel Vicente Díaz, Lino Revenga, Elías Rodríguez y Teófilo Rodríguez, conformarían un pequeño círculo de intelectuales con el objeto de mantener observaciones y discusiones sobre la historia natural del país.

La primigenia sección de ciencias dará origen a una Sociedad de Ciencias Naturales activa, cuyo nombre sería modificado en reunión del 7 de noviembre de 1867 (...) *para dar más campo a los trabajos científicos* (...) (*El Federalista*, 1868:8). (...), *no pudiendo faltar observaciones en seismología, siendo la región tan expuesta a los terremotos* (...) (Bruni Celli, 1968 (1): 21).

Dicha institución se denominaría en lo sucesivo *Sociedad de Ciencias Físicas y Náurales de Caracas* contando entre su directiva a Adolfo Ernst y en diferentes ocasiones con dos vicepresidentes, tres secretarios, un tesorero y un bibliotecario. (Vargasia, 1868 1(1,2,3): 8; Villavicencio, 1894).

Una revisión general de su reglamento (*léase* Vargasia, 1868 I: (1-3): 8) evidencia la falta de formalidades propias de una institución científica: registro de membrecías; agendas previas por reunión además de sede propia -las reuniones se efectuaban todos los lunes en la casa de habitación de Ernst- siendo la única condición para que la reunión se llevase a efecto: la participación de por lo menos 7 miembros -artículo 5° del reglamento de la corporación-, sesión del 27 de enero de 1867 (Vargasia 1868 I, (1-3): 8). Ello no fue obstáculo para que entre 1867 a 1879, dicha institución contara con 196 miembros residentes, 82 corresponsales, 57 extranjeros y 19 honorarios (Bruni Celli, 1968 1: 10-15), destacando entre estos últimos y en materia sismológica el historiador, compilador de catálogos y sismólogo francés, *Alexis Perrey* (1807-1882).

Si bien en el siglo XIX no faltaban difusores de las ideas sismológicas junto a episodios aislados de una “*tierra sujeta a los temblores*” (Bruni Celli, 1968 I: 21), en el seno de *Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas*, se abriría un novedoso y pequeño espacio donde ésta apenas tendría escasa participación de sus miembros. De 272 sesiones, sólo en 14 fue tratado y discutido el tema y sus resultados fueron publicados, representando apenas el 5,1% de todas las actividades tratadas, distinguiéndose en ello principalmente, la participación de 4 miembros, en contraste con el nutrido grupo de asociados que trataban otros temas de las ciencias naturales.

## SEMBLANZA DE CUATRO NATURALISTAS Y SISMÓLOGOS DECIMONÓNICOS

Vargasia, órgano técnico-informativo de esta sociedad de ciencias (**Figura 1**), según los 3 primeros números de 1868, contaba entre sus miembros a Adolfo Ernst, Aristides Rojas, Jesús Muñoz Tébar y José María Martel, quienes tratarán la sismicidad venezolana a mediados del siglo XIX con actuaciones que se entrecruzan en sus sesiones ordinarias y en su boletín técnico. De ella se publicarán sólo 7 ejemplares entre 1868 y 1870 (Bruni Celli, 1968 1: 3) y se mantendrá en prensa de manera muy irregular - probablemente por razones económicas -, siendo divulgados los siguientes ejemplares: 1ª a 3ª de enero a marzo, 1868; el 4º de abril de 1868; el 5º de mayo de 1868; el 6º de septiembre de 1869 y el 7º y último número en 1870 sin precisión del mes.

Hasta el presente solo se conoce el contenido del primer ejemplar, *en-línea* subdividido en 3 números y publicado como un único ejemplar contentivo de un índice, 48 páginas en artículos y apenas un trabajo sismológico en el cual se incluyó originalmente un mapa a color, actualmente poco legible. Dicho artículo fue redactado por Aristides Rojas con el título “*Sobre la tempestad sísmica de las Antillas de 1867 a 1868*” (Rojas, 1868, I: 39-49).

El archivo PDF completo puedes descargarlo del siguiente link:

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/08/PIONEROS-SISMOLOGIA-VENEZUELA.pdf>

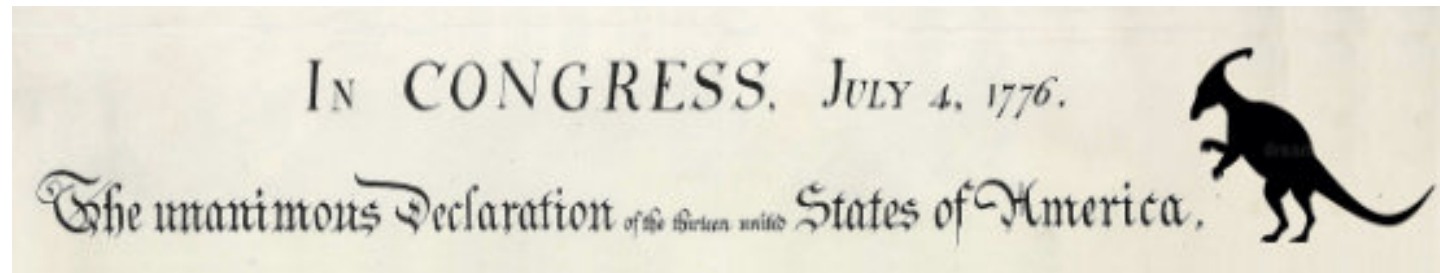
Feel free to download the complete paper (PDF) from the link below:

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/08/PIONEROS-SISMOLOGIA-VENEZUELA.pdf>

## THE DECLARATION OF INDEPENDENCE AND THE FIRST REPORTED DESCRIPTION OF A DINOSAUR IN THE USA, HOW THESE TWO SUBJECTS CAN BE RELATED?

**JHONNY E. CASAS**

Escuela de Petróleo y Escuela de Geología, Minas & Geofísica, Universidad Central de Venezuela



For the American citizens, the 4th of July or, semantically, the Declaration of Independence is the foundational document that defines the fundamentals, principles and ideals of American identity, freedom, and governance. However, for the earth scientist's community, curiously, it holds extra relevance due to its connection with the first recorded description of a dinosaur in the US territory.

### THE FIRST ENGLISH DINOSAURS

The first ever description of a dinosaur fossil had been assigned to Robert Plot (1640-1696) who was an English naturalist and antiquarian, the first professor of chemistry at the University of Oxford, and who also was the first director and keeper of the Ashmolean Museum at Oxford in 1683. In 1677 he published *The Natural History of Oxfordshire*, and in this work, he described the first known illustration of a dinosaur bone. The fossil was the distal end of a femur, found in the village of Cornwell in Oxfordshire, but Plot identified it as the thigh bone of a human giant (later recognized as the femur of *Megalosaurus*).



Portrait painting of Robert Plot (1640–1696) by an unknown artist. Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Robert\\_Plot#/media/File:ROBERT\\_PLOT.webp](https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Plot#/media/File:ROBERT_PLOT.webp)

In 1824 William Buckland (1784-1856) as a president of the Geological Society of London, described a suite of fossil bones from the village of Stonesfield (Oxfordshire), giving Plot's creature the name of *Megalosaurus* (meaning Great Lizard), and wrote the first full account of what would later be called a dinosaur. Enough fossil material was preserved to show that *Megalosaurus* was a flesh-eating giant reptile. Buckland's publication was the first modern description of dinosaur remains in a scientific journal, even though he thought it was just a giant lizard.

The second non-avian dinosaur genus was accomplished by paleontologist Gideon Mantell (1790-1852) who by 1819, collected fossils with his wife Mary Ann, in the Tilgate Forest region of Sussex, and mentioned his findings in his book *Fossils of the South Downs*, first published in 1822, as the teeth, vertebrae and bones of "an animal of the Lizard Tribe of enormous magnitude". Mantell identified the animal as a plant-eating reptile and named it *Iguanodon anglicus* (because of the resemblance of its teeth to those of a living iguana).



Silhouette of Prof. William Buckland, his wife and his son, collecting fossils - Artist Mary Buckland. Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/William\\_Buckland#/media/File:Buckland\\_family\\_silhouette.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/William_Buckland#/media/File:Buckland_family_silhouette.jpg)



Gideon Mantell (detail of an engraving). The Mansell Collection, N.Y. Source: <https://www.britannica.com/biography/Gideon-Algernon-Mantell>

The study of these "great fossil lizards" soon became of great interest to European and American scientists, and in 1842 the English paleontologist Sir Richard Owen (1804-1892), first director of the Natural History Museum in London, coined the term "dinosaur", using it to refer to the saurian reptiles that were then being

recognized in England and around the world. The term is derived from Ancient Greek δεινός (deinos) "terrible" and σαῦρος (sauros) "lizard or reptile". Owen used three genera to define the dinosaurs: the carnivorous *Megalosaurus*, the herbivorous *Iguanodon* and armoured *Hylaeosaurus*, specimens uncovered in southern England.



Portrait of English anatomist and paleontologist Richard Owen with the skull of a crocodile (1856). Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Richard\\_Owen#/media/File:Richard\\_Owen\\_1856.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Owen#/media/File:Richard_Owen_1856.jpg)

### THE FIRST AMERICAN DINOSAURS

In 1853 Joseph Mellick Leidy (1823-1891) an American paleontologist and anatomist, studied some fossils discovered initially by paleontologist Ferdinand Vandiveer Hayden (1829-1887) in the Badlands of the Judith River (Nebraska Territory at that time). As soon as Joseph Leidy received the Judith River fossils, he compared them directly with the already known European forms.

The description by Leidy of the new *Deinodon horridus* (today *Albertosaurus*), a carnivorous form, was based on nine specimens of teeth. For Leidy, *Deinodon* resembled the teeth of *Megalosaurus*. Leidy also described a herbivore: *Trachodon mirabilis*, with leaf-shaped teeth, pointing out the similarity to the *Iguanodon* (today *Trachodon* teeth compared with the

dinosaur genus *Corytosaurus* but also with *Prosaurolophus*. *Troodon formosus* was interpreted and named by Leidy as a lizard in his publication, but re-classified as dinosaur in 1901. His descriptions and interpretations from Judith River were finally published in 1856 with the title: Notices of remains of extinct reptiles and fishes, discovered by Dr. F. V. Hayden in the Bad Lands of the Judith River, Nebraska Territory.

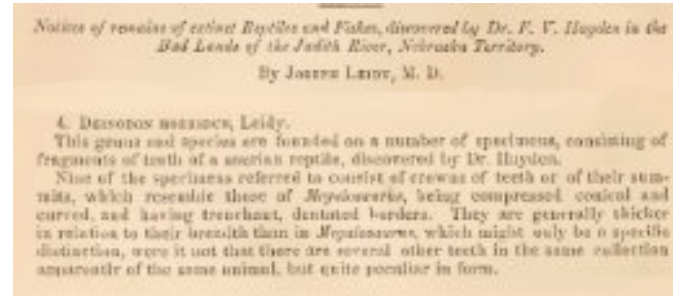


Portrait of Joseph M. Leidy (1860). Source: <https://archives.upenn.edu/exhibits/penn-people/biography/joseph-mellick-leidy/>

Also, in 1856 Joseph Leidy studied some fossils found initially by John E. Hopkins and William Parker Foulke (1816-1865) on a small tributary of the Cooper River in Haddonfield, New Jersey. Foulke and Leidy studied the fossils together. In 1858 Leidy formally described and named *Hadrosaurus foulkii* in honor of his collaborator, but because the American Civil War (1861-1865), the publication was delayed until 1865. Leidy recognized that the bones were from a dinosaur because of their similarity to those of *Iguanodon*, discovered in England some decades before but, at the time, the skeleton of *Hadrosaurus* was one of the most complete dinosaur skeletons known at that time.

Leidy reconstructed *Hadrosaurus* as a biped, in contrast to the view at the time that such dinosaurs were quadrupedal. The entire skeleton was completely assembled by a team, including English sculptor and naturalist Benjamin Waterhouse Hawkins (1807-1894), in 1868, and was put on display at Philadelphia's

Academy of Natural Sciences. It was the first-ever mounted dinosaur skeleton. In 1879 a copy of the *Hadrosaurus foulkii* mounted skeleton was constructed and shipped to the Royal Scottish Museum in Edinburgh, Scotland, where it became the first dinosaur mount ever displayed in Europe.



Extract from Leidy's original publication (1856), describing *Deinodon horridus*. Source: Proceedings of the Academy of Natural Sciences 8:72-73.



Mounted *Hadrosaurus* skeleton (by Benjamin W. Hawkins, who stands beside it), the first ever mounted dinosaur, Source: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Hadrosaurus\\_foulkii.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Hadrosaurus_foulkii.jpg)

## THE DECLARATION OF INDEPENDENCE

Back in time, on July 4th, 1776, the independence of the thirteen United Colonies was adopted unanimously by the 56 delegates to the Second Continental Congress, who convened at Pennsylvania State House, in the colonial capital of Philadelphia. The delegates who signed the Declaration of Independence came to be known as the nation's Founding Fathers. Some of the most notables names signing the Declaration were: John Hancock, Thomas Jefferson, John Adams, Benjamin Franklin and Robert R. Livingstone, among others. The best-known version of the Declaration is the signed copy displayed at the National Archives Building in Washington, D.C., which is popularly regarded as the official document. This copy was ordered by Congress on July 19, and signed primarily on August 2, 1776.



Declaration of Independence. Second Continental Congress; reproduction: William Stone. Source: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=621811>

Thomas Jefferson (1743-1826) largely wrote the Declaration of Independence in isolation between June 11 and 28, 1776, but that's not his handwriting on the vellum page above John Hancock's signature and the other 55 Founding Fathers. The neat, elegant script of the Declaration signed by Congress, belongs to Timothy Matlack (1736-1829), a brewer and beer bottler established in Pennsylvania, who emerged as a popular

leader and a military officer (colonel), in the American Revolutionary War. Matlack, served as a clerk to the Second Continental Congress, and was known for his excellent penmanship. Matlack's handwriting can be also recognized in the George Washington's commission as Commander-in-Chief of the Continental Army of the United Colonies.



Thomas Jefferson portrait in a postal stamp. Source: [https://postalmuseum.si.edu/object/npm\\_1980.2493.5540](https://postalmuseum.si.edu/object/npm_1980.2493.5540)

## THE AMERICAN PHILOSOPHICAL SOCIETY

Matlack was named a trustee of the University of the State of Pennsylvania in 1779, and in 1780, was elected a member of the American Philosophical Society, serving as its secretary from 1781 to 1783. The American Philosophical Society was founded in Philadelphia in 1743 for the promotion of useful knowledge and growth of the American society.

But Timothy Matlack should be better known for a totally different subject to the Declaration of Independence, because he co-authored with physician Caspar Wistar (1761-1818), the first written report of a dinosaur fossil finding in the US, presented formally to the American Philosophical Society, during a meeting, on October, 5th, 1787.



Portrait of Timothy Matlack. Painting By Charles Peale - Museum of Fine Arts, Boston. Source:

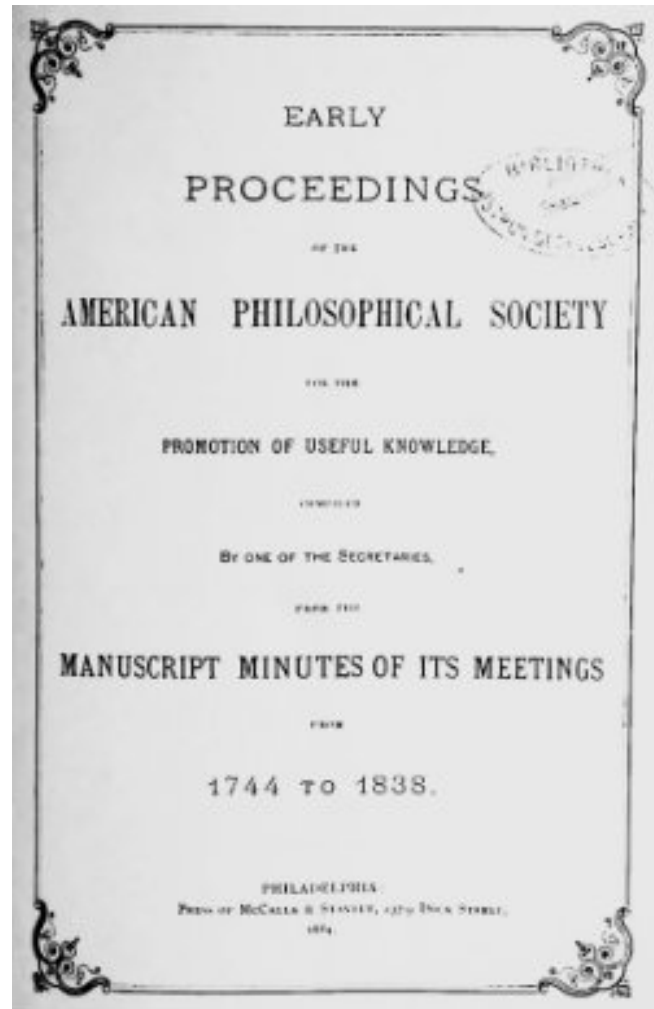
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4023540>

His co-author, Caspar Wistar was a physician and educator, that corresponded frequently with Thomas Jefferson, the third US president (1801-1809), on scientific and other subjects from 1791 until Wistar death. He received medical degrees from the University of the State of Pennsylvania in 1782 and Edinburgh University in 1786. Wistar was elected to the American Philosophical Society in 1787, eventually succeeding Thomas Jefferson as its president in January 1815. He was one of the scientists charged with preparing Meriwether Lewis for the famous Lewis and Clark Expedition (1804-1806).

#### **WAS REALLY LEIDY'S PUBLICATION IN 1856 THE FIRST SCIENTIFIC REPORT FOR DINOSAUR REMAINS IN THE US?**

Joseph Leidy's is still the first publication only by default, because as mentioned previously, back to 1787, Timothy Matlack and Caspar Wistar found a fossilized bone near Woodbury Creek in Gloucester County, New Jersey. They wrote up a proper scientific report and presented it to the American Philosophical Society in Philadelphia, along with the bone itself. The minute of the October 5th, 1787 meeting at the Society, which

recorded only the subject of the presentation stated: "A large thigh bone found near Woodbury creek in Gloucester (sic) county, N.J. was described in a paper by Mr. Matlack and Dr. Wistar; who, with Dr. Rodgers, were requested to search for the missing part of the skeleton". The American Philosophical Society meeting of that day was presided by Benjamin Franklin (1706-1790), along with the presence of 15 members.



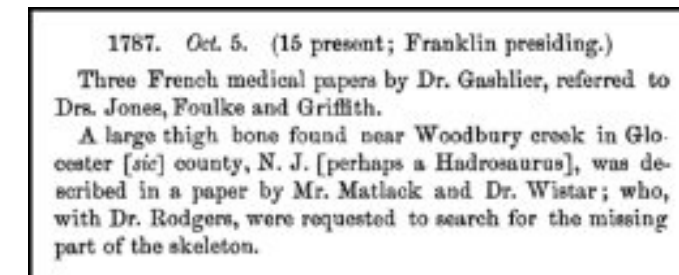
Cover of the Proceedings of the American Philosophical Society. Manuscript Minutes of Its Meetings from 1743 to 1838. Source:

[https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS\\_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=fal](https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=fal)

According to modern paleontologists who have read the report, it seems more likely that they would actually found a metatarsal (one of the bones of the mid-foot). The creek where Matlack and Casper found the bone runs not far from where, 70 years later, the first associated remains of a dinosaur were excavated and described by Joseph Leidy as *Hadrosaurus* an herbivore like Iguanodon.

Unfortunately, there is no way to confirm exactly if Matlack and Caspar found a bone from *Hadrosaurus* near Woodbury Creek, because the bone itself has been missing for a long time. Their report is all we have today, which means we are lucky that they thought to write it down (and in such impressive handwriting, as in the Declaration of Independence). Because of this, it can be reasonably assumed that this metatarsal bone was the first reported discovery of an American dinosaur. It would be nice to think that the bone still exists in a box, storage in some museum and appear in the future.

So, when you look at the Unanimous Declaration of the Thirteen United States of America, you can also be thinking about dinosaurs.



Record of the meeting held on October 5, 1787 at the American Philosophical Society. Source: Early Proceedings of the American Philosophical Society. Manuscript Minutes of Its Meetings from 1743 to 1838. Source:

[https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS\\_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=fal](https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=fal)

#### **GENERAL REFERENCES**

Leidy, J. 1856. Notices of remains of extinct reptiles and fishes, discovered by Dr. F. V. Hayden in the Bad Lands of the Judith River, Nebraska Territory. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences* 8: 72-73.  
[https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS\\_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.ve/books?id=ZUXajS_1pl0C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false)  
<https://explorepahistory.com/hmarker.php?markerId=1-A-156>  
<https://founders.archives.gov/documents/Jefferson/03-01-02-0090>  
<https://hsmcpa.org/timothy-matlack-free-quaker/>  
<https://membib.amphilsoc.org/member/pub/395>  
<https://www.americanscientist.org/article/american-dinosaurs-who-and-what-was-first>  
<https://www.forbes.com/sites/kionasmith/2019/06/30/americas-first-paleontologist-hand-wrote-the-declaration-of-independence/>  
<https://www.nyhistory.org/blogs/who-wrote-the-declaration-of-independence>



Timothy Matlack died in Holmesburg, Pennsylvania, on April 14, 1829, and was interred in the Free Quaker Burial Ground on South Fifth Street in Philadelphia. In 1905, his remains were removed and reinterred in Wetherill Cemetery opposite Valley Forge. Source:

<https://benedictarnold.smugmug.com/Enemies-of-Benedict-Arnold/Timothy-Matlacks-Grave/i-9nzkvc>

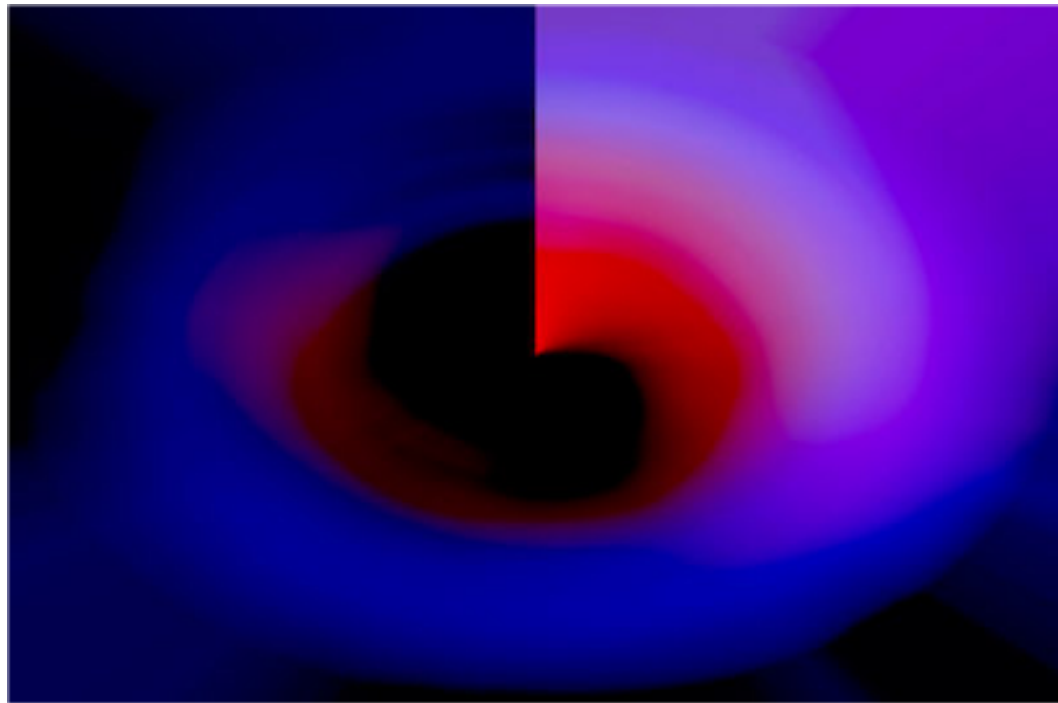


[jcasas@geologist.com](mailto:jcasas@geologist.com)

**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 38 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 61 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 mas de 49 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 Counselor para AAPG LACR (2023-2026).



**La vida es la suma de todas las decisiones.**

**Albert Camus**

## EL KARST COMO DENOMINADOR COMÚN EN LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CUBA

**Leslie F. MOLERO-LEÓN**

INVERSIONES GAMMA, S.A. (Cuba)

Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba

E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com)

ORCID 0000-0001-9667-2258

### RESUMEN

*El karst constituye el medio acuífero más importante de Cuba. Se extiende sobre una superficie aproximada de 72 630 kilómetros cuadrados (66,1% del área total del país) y tributa el 80-85% de la demanda total de agua para todos los usos. En la gestión del recurso siguen dominado conceptos y métodos de medios homogéneos e isótropos que limitan la comprensión y el tratamiento de los fenómenos hidrológicos que tienen lugar en ellos, situación que se agudiza en las prevalecientes y crecientes condiciones de no equilibrio identificadas desde fines de la década de 1980 en los principales acuíferos del país. Esta contribución resume y discute algunos de los problemas identificados desde entonces y el modo en que un cambio de paradigma basado en los principios de la hidrogeología de karst puede garantizar una mejor gestión de los recursos hídricos. Una versión de este ensayo fue presentado al XI CONGRESO DE GESTIÓN AMBIENTAL de la Convención Internacional Medio Ambiente y Desarrollo, celebrado en La Habana, Cuba, recientemente.*

**Palabras clave:** *aguas subterráneas, anisotropía, Cuba, karst, no-equilibrio, seguridad hídrica,*

### ABSTRACT

*Karst constitutes Cuba's most significant aquifer system, covering approximately 72,630 km<sup>2</sup> (66.1% of the country's total area) and supplying 80-85% of the total water demand for all uses. Current resource management remains dominated by homogeneous and isotropic media concepts and methods, which limit understanding and treatment of hydrological phenomena in these systems. This limitation is exacerbated by the prevailing and increasing non-equilibrium conditions observed since the late 1980s in the nation's principal aquifers. This contribution summarizes and discusses key problems identified since that period and examines how a paradigm shift based on karst hydrogeology principles could ensure improved water resource management. A preliminary version of this work was presented at the XI Environmental Management Congress of the International Convention on Environment and Development, held recently in Havana, Cuba.*

**Key words** *Karst aquifers, non-equilibrium hydrology, Cuba, water security, anisotropic media*

### INTRODUCCIÓN

El karst constituye el medio acuífero más importante de Cuba y como espacio geográfico, domina el territorio nacional (Fig. 1). Es un geosistema particular y según nuestra más reciente evaluación<sup>1</sup>, se extiende sobre una superficie aproximada de –hasta ahora- 72 630 kilómetros cuadrados, un poco más del 66% del área total del país, de los cuales 64 587 km<sup>2</sup> corresponden a tierra firme (10 882 a las zonas montañosas y 61 748 llanuras). Se incluyen 2 839 km<sup>2</sup> de sistemas o aparatos sin regionalizar hidrogeológicamente que corresponden, 1 336 km<sup>2</sup> al karst de los cayos e isletas del archipiélago y el resto (1 503) a zonas de elevaciones. El 42% de la población cubana se abastece de fuentes de agua en el karst.

<sup>1</sup> Que mejora la establecida en Molerio (1974), en cuya oportunidad nuestros compañeros Rafael Feitoo y Ramón Sardiñas, bajo la supervisión de Juan Bobes Consuegra asumieron la planimetría de los espacios regionalizados. Núñez, Panos y Stelcl (1968) dan un área mayor: “tres quintas partes de terrenos calcáreos, principalmente de rocas carsificadas de varias clases y edades”

En los territorios de karst de llanuras, se concentran numerosos núcleos poblacionales urbanos y rurales, industrias, centros educativos, de turismo y recreación, instalaciones agrícolas y ganaderas, y otros que, en mayor o menor grado, requieren del empleo racional y suministro de agua potable cualitativa y cuantitativamente correspondientes con sus necesidades actuales y perspectivas. De estas llanuras cársicas acuíferas, la mayor parte forman karsts litorales, permanentemente amenazadas por el avance, tierra adentro, de la intrusión marina.

De los 6,3 km<sup>3</sup> de recursos de agua subterráneas de que se estima dispone el país (la evaluación oficial disponible de Berri et al. 1975 se ha conservado prácticamente intacta), casi el 80% se encuentra en estos territorios donde se distribuye el 95% de las cuencas hidrogeológicas cubanas. Por su relación con los ecosistemas que crea, sostiene o interactúa, es transversal a la mayor parte de la sociedad, la economía y el medio ambiente. También en él se encuentran yacimientos de petróleo, importantes minerales útiles, la mayor parte de los suelos agrícolas del país y prácticamente las cuatro quintas partes de la población del país se sirve o aprovecha sus recursos naturales.



Fig. 1. Esquema general de distribución de las áreas cársicas de Cuba (basado en la distribución geográfica de las rocas carsificables, básicamente carbonatadas, según el Atlas Nacional de Cuba, 1989).

Como fenómeno esencialmente hidrológico, ya que sin el agua en movimiento el sistema se torna inerte y no se desarrolla el karst, la base de la tipificación es el modo en que el espacio ha sido jerarquizado (Tabla 1) por la evolución del drenaje superficial y subterráneo en las comarcas cársicas (Molerio, 1985). Considerar el karst como una sucesión de espacios interrelacionados dinámicamente y no como objetos individuales permite distinguir la singularidad hidrodinámica y termodinámica que produce, en correspondencia con las condiciones iniciales y de borde, sustentar la impresionante variedad de formas cársicas en los más variados entornos geológicos, geomorfológicos, climáticos e hidrológicos del mundo.

El karst se produce como consecuencia de complejos procesos de intercambio de materia y energía que tienen lugar en macizos de rocas esencialmente carbonatadas y con el medio exterior que los limita. Se trata de un sistema termodinámico abierto con producción creciente de entropía en el que, en magnitud variable, se desarrollan procesos de transporte de masa, momento y energía, donde el agente de transferencia es el agua.

Tabla 1. Espacios constitutivos del sistema cársico (según Molerio, 1985)

| CATEGORÍAS      |                                           |                 | DENOMINACIÓN DEL ESPACIO                                   | VOLUMEN RELACIÓN CON AL SISTEMA | LONGITUD CARAC-TERÍSTICA | RÉGIMEN DE FLUJO                         | DIÁMETRO      |
|-----------------|-------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------------------|---------------|
| E S P A C I O S | M A C R O D I S C O N T I N U I D A D E S | A G R A C I O S | 1. Cavernas                                                | $V \leq 1\%$                    | km.                      | No lineal de alta velocidad              | m             |
|                 |                                           |                 | 2. Grietas y discontinuidades en general (macrofracturas): | $1\% \leq V \leq 5\%$           | km.                      | No lineal de alta velocidad              | mm - m        |
|                 |                                           |                 | - Fallas                                                   |                                 | km.                      | Lineal                                   | m             |
|                 |                                           |                 | - Diaclasas.                                               |                                 | km.                      | Lineal                                   | mm-cm         |
|                 |                                           |                 | - Planos de estratificación.                               |                                 | km.                      | Lineal                                   | cm            |
|                 |                                           |                 | - Planos de esquistosidad.                                 |                                 | cm                       | Lineal                                   | mm            |
|                 | M I C R O D I S C O N T I N U I D A D E S | C A R S I C O S | 3. Poros de la matriz rocosa (microfracturas):             | $5\% < V \leq 40\%$             | mm                       | No lineal de baja velocidad (microflujo) | $\leq 0,1$ mm |
|                 |                                           |                 | - Exfoliación                                              |                                 | mm                       |                                          | 0,1 mm        |
|                 |                                           |                 | - Esquistosidad                                            |                                 | mm                       |                                          | 10 $\mu$      |
|                 |                                           |                 | - Clivaje                                                  |                                 | mm                       |                                          | 0,1 $\mu$     |
|                 |                                           |                 | 4. Matriz sólida                                           | $V > 40\%$                      |                          | No lineal de baja velocidad (no flujo)   | $< 1$ mm      |

De acuerdo con estos criterios (Molerio, 1985), el karst puede definirse como un medio acuífero peculiar caracterizado por las siguientes propiedades:

- ☐ Es un sistema termodinámico abierto, es decir, en interacción con el medio exterior;
- ☐ Las variables del campo de propiedades físicas exhiben anisotropía tridimensional progresiva;
- ☐ El espacio que constituye el medio acuífero se presenta rigurosamente jerarquizado;
- ☐ La existencia de dominios de flujo inherentes a cada espacio;
- ☐ Un campo de propiedades físicas que se define y estructura para cada espacio;
- ☐ La fuerte influencia del efecto del factor de escala sobre el campo de propiedades físicas;
- ☐ La elevada dependencia respecto al tiempo de las propiedades físicas;
- ☐ La formación y desarrollo de estructuras auto reguladas de disipación de energía;
- ☐ Un cierto valor de inercia del sistema (memoria), esto es, la modulación de las respuestas a los estímulos inducidos natural o artificialmente, que dependen, sobre todo, de su estado inicial, y, finalmente,
- ☐ La irreversibilidad del proceso de carsificación, es decir, su evolución unidireccional.

### PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA HIDROGEOLOGÍA DEL KARST EN CUBA

Salvo contadas excepciones, muchos problemas conceptuales intrínsecos del karst han sido considerados muy ligeramente o no han sido considerados en lo absoluto para orientar la exploración, desarrollo y gestión integrada de los recursos hídricos en el país. La conceptualización incompleta lleva a la aplicación de metodologías incorrectas y, de ahí, a un notable incremento de la incertidumbre en la administración del recurso.

Ello ha sesgado el conocimiento de detalle de muchos sistemas acuíferos, incluidos aquellos de crucial importancia científica, social, política y económica y, sin dudas, han constituido barreras importantes para la gestión eficiente de los recursos hídricos. Algunos de estos problemas típicos de la hidrogeología cársica se resumen en esta presentación; a saber:

- ☐ Los límites y condiciones de borde de los sistemas acuíferos y las conexiones hidráulicas subterráneas y superficiales entre sistemas contiguos
- ☐ La presencia de niveles de cavernamiento escalonados y su papel como reguladores de flujo permanente, estacional o episódico
- ☐ Las variaciones tectonofaciales de las rocas acuíferas responsables de la heterogeneidad del acuífero y el modo en que es estructura el campo de propiedades físicas y, por ende, los tipos de anisotropía, la organización y la dirección del flujo subterráneo además de la diferenciación de la acuosidad del sistema
- ☐ Definición de los tiempos de residencia de las aguas
- ☐ Definición de los procesos de adquisición de la composición química e isotópica de las aguas

### LÍMITES Y CONDICIONES DE BORDE

Es una necesidad imperiosa proceder a la delimitación de los sistemas menores de flujo. Continuar trabajando bajo límites regionales o basados en la hidrología superficial desvirtúa completamente el conocimiento del sistema, reduce la efectividad de su explotación sostenible, enmascara las señales de agotamiento o sobreexplotación tanto como las de recarga y reduce la capacidad de pronosticar el uso sostenible. Una regionalización eficiente y realista en acuíferos cársicos requiere equilibrar teoría (jerarquía de flujos, dualidad o multiplicidad de dominios de flujo) y métodos prácticos (trazadores, SIG). Es vital para evitar modelos sobresimplificados que subestimen la conectividad de conductos o la vulnerabilidad a contaminantes.

En regiones como Artemisa, Mayabeque, La Habana o Matanzas, donde el karst coexiste con presiones de abasto doméstico, municipal, industrial, agrícolas y climáticas, esta herramienta es clave para asegurar agua a las futuras generaciones. Ello se debe a que se trata de sistemas cársicos distinguidos por la heterogeneidad de la estructura geológica, la estrecha relación entre relieve (paleorelieve) y drenaje superficial y subterráneo y la diferenciación de las

zonas de recarga y descarga. Las condiciones de borde no están definidas al detalle de la escala que permita identificar efectivamente para cada pozo de abasto y de observación qué parte real del acuífero está caracterizando y explotando.

Se requiere, con estas acciones: a) validar modelos conceptuales, b) unificar escalas y c) precisar la evolución de los sistemas cársicos y pronosticar su respuesta a diferentes tipos de estrés, como los asociados al cambio climático. Constituye la base para la gestión sostenible del recurso, la mitigación de riesgos, la planificación territorial y el aseguramiento del cumplimiento normativo, al proveer la base científica para regulaciones en acuíferos transfronterizos o vulnerables.

### NIVELES DE CAVERNAMIENTO

Las zonas saturada y de fluctuación estacional de la superficie piezométrica de los acuíferos cársicos son dominios activos de desarrollo de cavernamiento que explican toda la variedad de procesos que tienen lugar en el karst subterráneo. Dependiendo de los factores locales de control, sobre todo del que ejerce la variación de la posición de los niveles de base, estos conductos pueden estar integrados y ramificados a diferente profundidad en el acuífero y, también, a lo largo una misma línea de flujo.

Altura preferencial de desarrollo del cavernamiento es el término que, por su alcance geológico, hidrológico y geomorfológico es preferible para satisfacer la necesidad de conocimiento que requiere resolver problemas ingenieros en el karst, de acuerdo con Zötl (1958) la cuestión concerniente a la relación entre las bases de erosión y el desarrollo de un sistema de aguas cársicas. es un problema fundamental de la hidrología del karst. Nivel de cavernamiento (Figs. 2-4) será, entonces, la suma de todos aquellos conductos y cavidades bajo la influencia de un mismo nivel de base y que, por tanto, forman una unidad cronológica y genética (hidrológica), siguiendo la definición final de Bögli (1980).

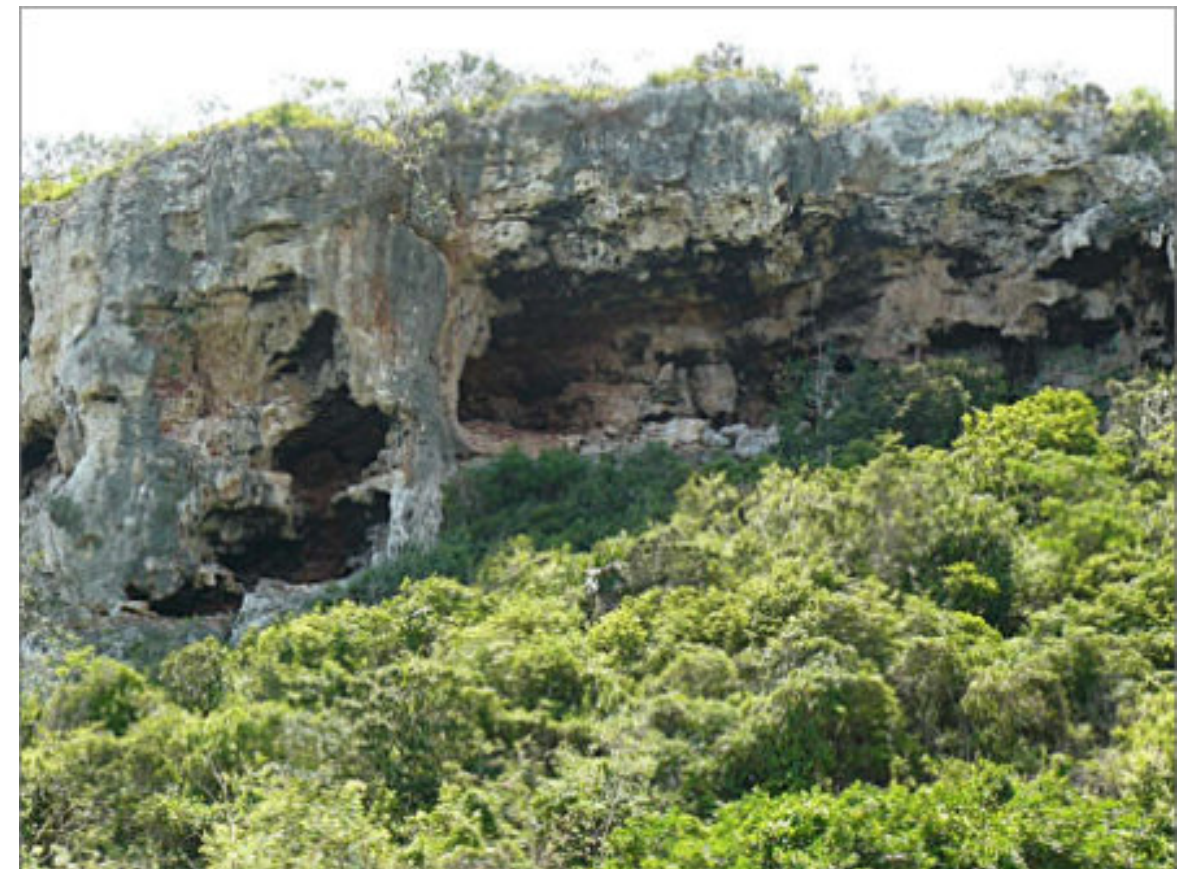


Fig. 2. Cuevas escalonadas en cliffs marinos abandonados (Foto del autor)

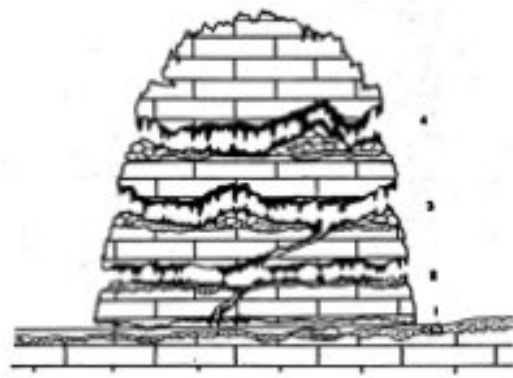


Fig. 3. Niveles de cuevas superpuestas en la Sierra de los Organos (Acevedo, 1971).

El concepto fue esbozado por Bock ya en 1913 y la primera explicación de sus causas descrita por Swinnerton en 1932 en un intento por solucionar algunos vacíos que Davis (1930) encontró en su clásica teoría sobre el origen de las cavernas.

En efecto, en el karst se encuentran dos fenómenos y procesos que, diferenciadamente, forman los que ahora sí, con la definición anterior, pueden ser llamados “niveles de cavernamiento”; a saber:

- Los que están conectados con la superficie piezométrica actual o pretérita (Sawicki, 1909)
- Los que han sido formados por la acción de un río, como continuidad subterránea de su valle, homólogos a los sistemas de terrazas fluviales superficiales
- Donde pueda reconocerse un circuito de drenaje, línea singular, que enlace puntos singulares: el término fuente con el término sumidero

El patrón general del cavernamiento suele ser el agrietamiento del sistema. Los patrones de drenaje definidos a partir de las hidroisohipsas deben ser modificados adecuadamente a partir de las direcciones de anisotropía del sistema, previniendo el efecto distorsionador del efecto de escala sobre el campo de propiedades físicas (Kiraly, 1975; Molerio, 1984). No pocos problemas se derivan de no considerar ese tema en la hidrogeología de Cuba.

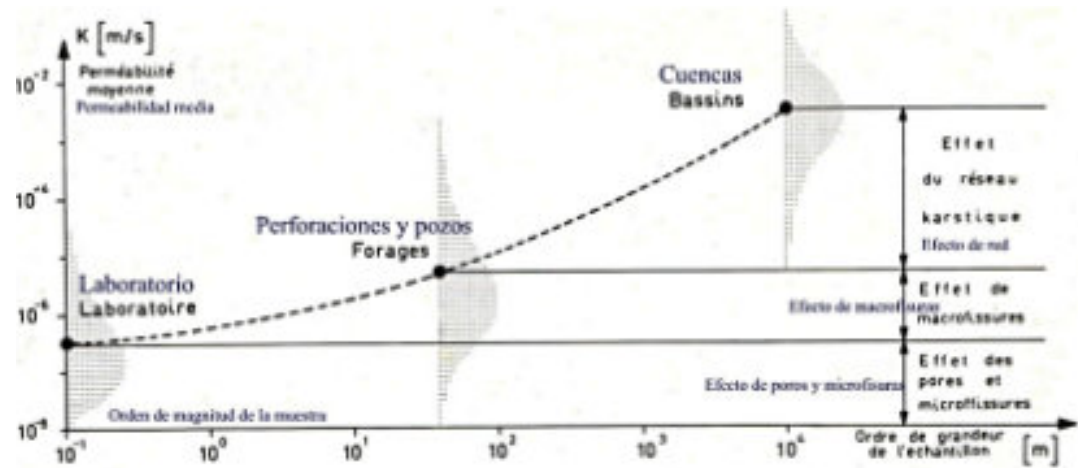
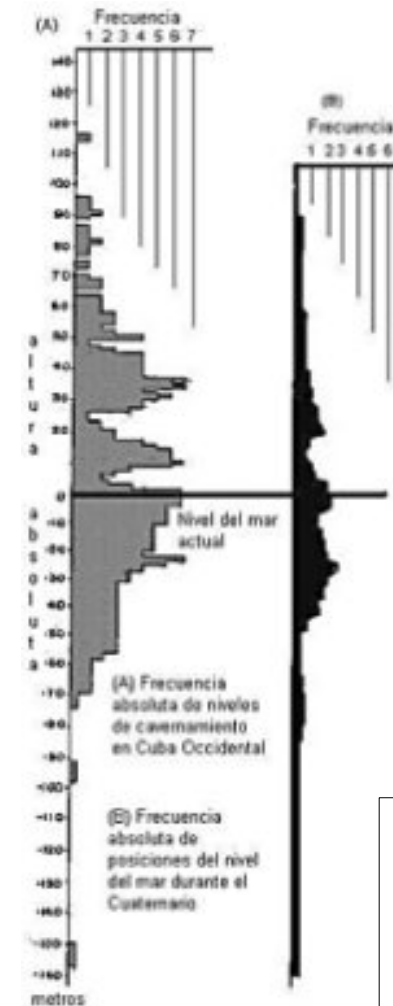


Fig. 4. Efecto de escala sobre la estructura del campo de propiedades físicas (Kiraly, 1975; Molerio, 1984).

Ignorar la distribución y tipo de agrietamiento en acuíferos cársicos puede generar múltiples complicaciones en la gestión, calidad y dinámica de las aguas subterráneas. Los sistemas cársicos dependen de la estructura de fracturas, diaclasas y conductos para definir su comportamiento hidrogeológico y químico.

Las principales consecuencias de no considerar estos factores son las siguientes:

- Flujos preferenciales no identificados
- Sobrestimación/Subestimación de la recarga:



- Variabilidad espacial ignorada de la composición química del agua
- Contaminación no predecible, como es el caso de los contaminantes
- Vulnerabilidad a la contaminación mal evaluada,
- Problemas en la gestión de recursos hídricos como la sobreexplotación
- Impacto en ecosistemas dependientes
- Limitaciones en la remediación de contaminantes
- Riesgos geotécnicos no anticipados
- Cambios en la química del agua por mezcla no controlada

Fig. 5. Niveles de cavernamiento identificados en el karst cubano (Molerio y Flores, 1997).

## HETEROGENEIDAD Y ANISOTROPÍA

Los sistemas cársicos están distinguidos por la heterogeneidad de la estructura geológica, la estrecha relación entre relieve (paleorelieve) y drenaje superficial y subterráneo y la diferenciación de las zonas de recarga y descarga. Las condiciones de borde no están definidas al detalle de la escala que permita identificar efectivamente para cada pozo de abasto y de observación qué parte real del acuífero está caracterizando y explotando y en absoluta dependencia del del correspondiente efecto distorsionador de escala y del área o volumen investigado (Fig. 6).

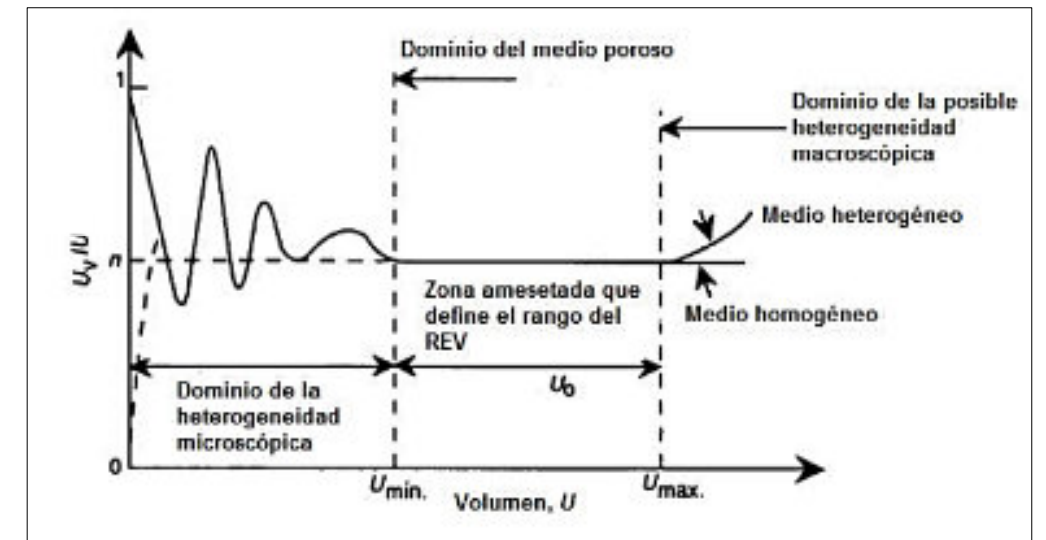


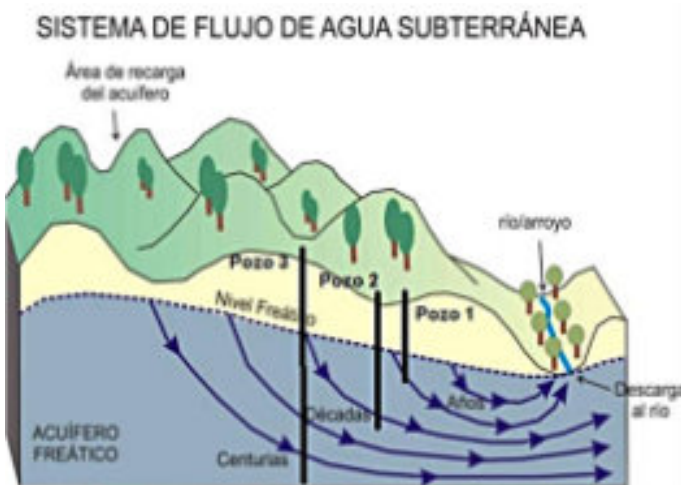
Fig. 6. Representación de Bear y Bachmat (1990, traducido) de la variación de la porosidad en la vecindad de un punto en función del tamaño del volumen promediado. Las propiedades microscópicas que pueden promediarse continuamente en volúmenes, longitudes o áreas hasta convertirse en propiedades macroscópicas en función de la variación del límite del dominio sin perder su identidad física, aunque varíe su magnitud, constituyen componentes no aleatorias de caracterización del dominio en las que prevalece la componente de tendencia como indicador del cambio de límite del dominio. La variación en magnitud con este cambio es una de las consecuencias más importantes del efecto del factor de escala sobre la estructura del campo de propiedades físicas en el caso de los acuíferos en rocas fracturadas.

Aunque la heterogeneidad y la anisotropía modifican los detalles del patrón de flujo (Freeze y Witherspoon, 1967), las propiedades básicas de la geometría del flujo permanecen sin cambio bajo estas condiciones (Tóth, 1970, 2009). La heterogeneidad geológica es de gran importancia debido a que ejerce un efecto trascendental sobre el flujo de agua subterránea regional y afectar:

- la interrelación entre sistemas locales y regionales;
- el patrón superficial en zonas de recarga y descarga; y
- el volumen de flujo descargado a través de los sistemas.

### TIEMPOS DE RESIDENCIA DE LAS AGUAS

En su recorrido subterráneo, desde las zonas altas donde la lluvia recarga el manto acuífero hasta las zonas de descarga naturales a un río, lago o al mar; o artificiales, pozos fundamentalmente, las aguas subterráneas describen patrones curvos debido al campo gravitacional de la tierra.



Cuanto más largo sea el recorrido, el tiempo de llegada a las zonas de descarga será mayor para cada línea de flujo subterráneo. Aun con las diferencias locales de velocidad, las aguas que yacen a mayor profundidad llevan mayor tiempo viajando por el acuífero que las que están en la parte más alta. Esta propiedad es la que se conoce como “tiempo de residencia” o “tiempo de tránsito” de las aguas, cómoda pero mal llamada “edad” de las aguas (Fig. 7).

Fig. 7. Esquema general de los tiempos de tránsito de las aguas subterráneas.

En tiempos prolongados de escasez de lluvia (en el caso de Cuba), comienzan a predominar componentes muy antiguas en las aguas extraídas, recargadas muchos años atrás y que incluso, pueden llegar a quedar fuera del ciclo hidrológico actual como ocurre en los sistemas acuíferos que descargan naturalmente en los Manantiales de Ojo de Agua de Catalina o el Acueducto El Gato, los Manantiales Bello en Matanzas (Molerio et al., 1993) y los Manantiales de Vento (Molerio, Pin y Guerra, 2007) sistemas acuíferos en condiciones de no equilibrio aun antes de 1990. Donde el volumen de extracción supera la tasa de renovación produciendo el minado del acuífero y se llega al punto comprometedor de que las aguas dejan de ser un recurso renovable para convertirse en uno no renovable.

### PROCESOS DE ADQUISICIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA E ISOTÓPICA

La regionalización hidrogeológica en acuíferos cársicos busca delimitar unidades con comportamientos hidráulicos y químicos homogéneos, identificando sistemas locales, intermedios y regionales de flujo. Su complejidad exige integrar teoría y métodos adaptados a la dualidad matriz-conductos y la anisotropía espacial.

Los principios teóricos se basan en la Teoría de la Jerarquía de Flujos (Tóth, 1962, 1963, 1970, 2009), la Secuencia Geoquímica de Chebotarev (1955) y Kamensky (1958), los principios de Facies Geoquímicas de Back (1960) y Hanshaw y Back (1985) y de la Jerarquización del Espacio y los Dominios de Flujo (Molerio, 1985, 2020a, 2020b, 2020c, 2023, 2024e). Tóth establece tres niveles jerárquicos para la organización del flujo y la hidrodinámica geoquímica de los acuíferos; a saber (Figs. 8 y 9):

- Sistemas locales: Flujos someros influenciados por topografía local, con tiempos de residencia cortos (días-meses).
- Sistemas intermedios: Flujos subsuperficiales controlados por estructuras geológicas (fallas, estratificación), con recarga regional.
- Sistemas regionales: Flujos profundos conectados a descargas en manantiales o zonas costeras, con tiempos de residencia largos (años-siglos).

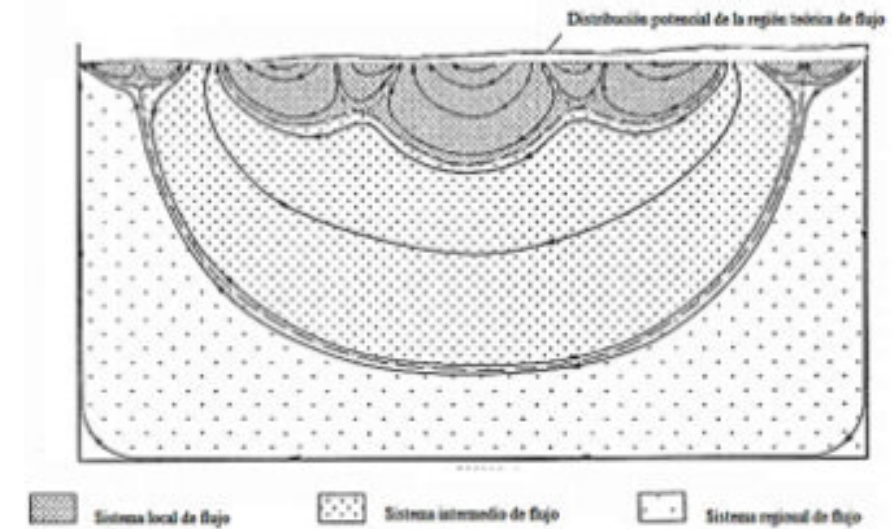


Fig. 8. Sistemas de flujo establecidos por Tóth (1963, ligeramente modificado).

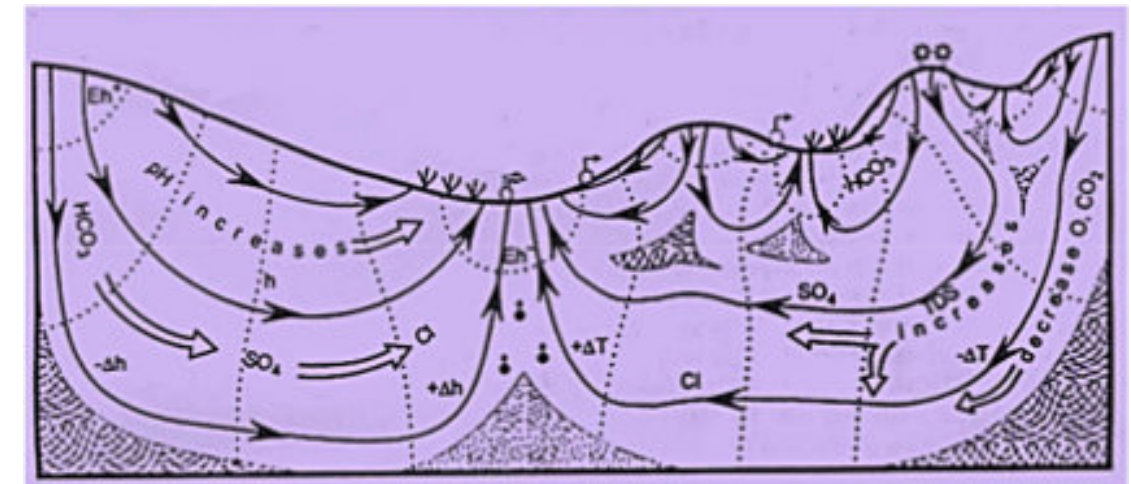


Fig. 9. Tipos de flujos geoquímicos de acuerdo con Tóth (1963).

### NOTA FINAL

El ordenamiento sostenible de los recursos hídricos subterráneos debe mejorarse reduciendo las fuertes componentes de incertidumbre geológica de los sistemas acuíferos. Esas componentes de incertidumbre no resueltas se expresan en:

- La distribución y extensión de las facies carbonatadas (horizontales y verticales) de las rocas acuíferas. La heterogeneidad y la imprecisa distribución de los límites de los sistemas acuíferos a escala de mayor detalle que las llamadas “cuencas” subterráneas, que impide el adecuado reconocimiento de la extensión, forma, límites y condiciones de contorno de los sistemas locales de flujo de los cuales se abastecen las obras de toma
- La variable anisotropía (y de los tipos de anisotropía) de las propiedades físicas y de la propia estructura del campo de propiedades físicas que distorsiona la posición y dirección de las líneas de flujo, la forma y extensión de las zonas de protección sanitaria y los límites de los radios de influencia de las captaciones
- Los caudales de explotación y abatimientos de diseño y su relación con los niveles de cavernamiento (=flujo) drenados en la actualidad
- La mezcla de aguas de diferente fuente de origen y tiempo de tránsito en los sistemas acuíferos, que afecta de manera sustancial el balance hídrico, los recursos disponibles, la calidad de las aguas y la explotación sostenible del sistema

- Los efectos del Cambio Climático sobre la posición y grado de actividad de las zonas de recarga natural, los abatimientos de explotación y los efectos de los cambios en el uso de la tierra y las aguas en los acuíferos que nutren las captaciones actuales
- El deficiente control de explotación de las aguas subterráneas y su consistencia con los programas de extracciones, abatimientos y caudales de diseño
- El escaso conocimiento de la hidrodinámica geoquímica de los sistemas acuíferos, más allá de la identificación puntual y no sistemática de los problemas de cumplimiento o violación de las normativas establecidas

## RECONOCIMIENTOS

La fundamentación de estos criterios es el resultado de años de trabajos de campo y gabinete que he tenido la fortuna de compartir con muchos colegas y amigos en muchas regiones del mundo. La larga lista no puede obviar a algunos que ya no nos acompañan y en ellos expreso toda mi deuda de gratitud a todos. Manuel Acevedo, Jesús F. de Albear, Dionisio Amor de Paz, Mercedes Arellano, William Back, Juan Bobes, Pedro L. Dorticós, Adolfo Eraso, Juan R. Fagundo, Roberto Gutiérrez, Alexander Klimchouk, José R. Luege, Karl Mais, Piotr Maloszewski, Antonio Núñez Jiménez, Vladimir Otero, Vladimir Panos, Aftandil Tzirekitze y Yavor Shopov.

## REFERENCIAS

Acevedo González, M. (1971): **Contribución al estudio de la evolución geomorfológica de la Sierra de los Órganos, Pinar del Río, Cuba**. Tecnológica, VIII (2), Marzo-Abril: 16-34

Back, W. (1960): **Origin of hydrogeochemical facies of ground water in the Atlantic coastal plain**. Geochemical Cycles: 21st International Geologic Congress, Part 1, :87–95

Bear, J. y Y. Bachmat (1990): **Introduction to Modeling of Transport Phenomena in Porous Media**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 553:.

Bear, J., C.F. Tsang, G. de Marsily (1993): Flow and contaminant transport in fractured rock. Academic Press, 560:

Berri, I., K. Loskutov, A. Díaz, R. Varela (1975): **Principios Fundamentales del Esquema General del Aprovechamiento Complejo de los Recursos Hidráulicos y agrarios de la República de Cuba. Tomo 3: Condiciones Hidrogeológicas**. Grupo Hidráulico Nacional, D.A.P., La Habana, inédito, Archivo Inst. Nac. Rec. Hidráulicos, 292:+Anexos

Bögli, A. (1980): **Karst Hydrology and Physical Speleology**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 284:

Bock, H. (1913): **Der Karst und seine Gewasser**: Mitt. Hohlenkunde, 6(3)

Chebotarev, I. I. (1955): **Metamorphism of natural waters in the crust of weathering—1**. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 8, Issue 1-2, pp.22-32

Cuba, Academia de Ciencias (1989): **Atlas Nacional de Cuba**. La Habana, 132:

Davis, W.M. (1930): **Origin of limestone caves**. Bull.Geol. Soc. Amer., 41:475-628

Freeze, R.A., P.A. Witherspoon (1967): **Theoretical analysis of regional groundwater flow, 2. Effect of water table configuration and subsurface permeability variations**. Water Resour. Res. 3:623

Hanshaw, B.B., W. Back (1985): **Deciphering hydrological systems by means of geochemical processes**. Hydrological Sciences — Journal des Sciences Hydrologiques, 30, 2, 6/1985: 257-271

Kamensky, G.N. (1958): **Hydrochemical zoning in the distribution of underground waters**. Proc. Sympp. Ground Water, Pub. 4,:281

Kiraly, L. (1975): **Rapport sur l'etat actuel des connaissances dans le domaine des caracteristiques physiques des roches karstiques**. In: Burger, A. & Dubertret, L. (eds) Hydrogeology of Karstic Terrains. International Association of Hydrogeologists, Paris, 53-67.

Molerio León, Leslie F. (1974): **Esquema geoespeleológico preliminar de Cuba**. Depto. Hidrogeol.. Inst. Hidroeconomía. 58:

Molerio León, Leslie F. (1984): **El Efecto del Factor de Escala en la Interpretación del Campo Físico de las rocas carsificadas**. Resumen. XXVII Internatl. Geol. Congr., Abril 4-14, 1984, Moscú, Vol VII, Secc. 16,:468-469. Véase, Voluntad Hidráulica 75:19-26

Molerio León, Leslie F. (1985): **Dominios de Flujo y Jerarquización del Espacio en Acuíferos Cársicos**. Simp. XLV Aniv.Soc. Espel. Cuba, La Habana: 54; In/Núñez Jiménez, A. (1990): **Medio siglo explorando a Cuba. Historia documentada de la Sociedad Espeleológica de Cuba**. Tomo II, Imprenta Central de las FAR, La Habana, :322, <https://www.researchgate.net/publication/344398777>

Molerio-León, L.F. (2020a): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: 3. Composición isotópica de las aguas de lluvia**. Gota a gota, nº 22: 70-82

Molerio-León, L.F. (2020b): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: I. Aplicaciones del nomograma modificado de Schoeller**. Gota a gota, 21: 81-88. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.).

Molerio-León, L.F. (2020c): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: II. Aplicaciones del nomograma modificado de Schoeller – Metodología e Interpretación**. Gota a gota, (22): 13-17.

Molerio León, L.F. (2024a): **Hidrología del Cinturón de Poljes Ariguanabo-Cañas-¿San Juan? (Cuba) y el problema de la gesQón ordenada de sus recursos hídricos**. Mundo Subterráneo 10 (2024):10-49.

Molerio León, L.F. (2024e): **Resumen conceptual del modelo termodinámico de desarrollo del karst (MTDK)**. Argenřna Subterránea 24 (56):41-64

Molerio-León, L.F., y Flores-Valdés, E., 1997. **Paleoclimas y paleocarsos: los niveles de cavernamiento y la variabilidad del clima tropical en el Golfo de México y el Caribe**. En: Arellano, D.M., Gómez-Martín, M.A., y Antigüedad, I., (Editores) **Investigaciones Hidrogeológicas en Cuba**. Eibar, País Vasco, pág. 225-232.

Molerio León, Leslie F.; P. Maloszewski; M.G. Guerra Oliva; O. A. Regalado; D. M. Arellano Acosta; C. March Delgado & K. del Rosario (1993): **Dinámica del Flujo Regional en el Sistema Cársico Jaruco-Aguacate, Cuba**. in/ **Estudios de Hidrología Isotópica en América Latina 1994**, IAEA TECDOC-835, Viena, :139-174

Molerio León, L.F., M. Pin, M.G. Guerra (2007): **Diseño de la Red de Monitoreo de Tritio en las Aguas Subterráneas de la Cuenca de Vento, Habana, Cuba**. Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra, Madrid, Octubre-Noviembre, 32:

Núñez-Jiménez, A., V. Panos, O. Stelcl (1968): **Carsos de Cuba**. Serie Espeleológica y Carsológica, 2: 1-47.

Sawicki, L.S. (1909): **Ein Beitrag zum geographischen Zyklus im Karst**. Geogr. Z. 15, 185-204,259-281

Swinerton, A.C. (1932): **Origin of limestone caverns**. Bull. Geol. Soc. Amer. 43:663-694

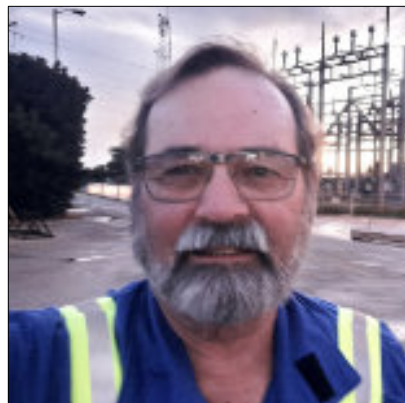
Tóth, J. (1962): **A theory of ground water motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada**. J. Geophys. Res. 67:4375

Tóth, J. (1963): **A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins**. Journ. Geophys. Res., 68:4795-4812.

Tóth, J. (1970): **A conceptual model of the groundwater regime and the hydrologic environment**. J. Hydrol.:164

Tóth, J. (2009): **Gravitational systems of groundwater flow. Theory, Evaluation, Utilization**. Cambridge Univ. Press, New York, 297:

Zotl, J. (1958): **Beitrag zu den Problemen der Karsthydrographie mit besonderer Berücksichtigung der Frage des Erosionsniveaus**. Mitt. Geogr. Ges. Wien, 100,101-130 (1958)



**LESLIE F. MOLERO LEÓN.** Geólogo de Yacimientos Minerales e Hidrogeólogo-Hidrotécnico, cubano, MSc. en Hidrología Isotópica con pre y posgrados y docencia en universidades y centros de Investigación europeos y latinoamericanos. Ex-Director del Servicio Hidrogeológico de la República de Cuba y del Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas, Consultor Ambiental, Especialista Principal en Proyectos e Ingeniería (INVERSIONES GAMMA, S.A.), Especialista en Obras Subterráneas y Auditor Ambiental titulado. Experto para agencias de Naciones Unidas, del sistema interamericano y consultoras internacionales de varios países. Con 57 años de vida laboral activa, ha participado en unos 490 proyectos de su especialidad en 50 países. Autor o coautor de unos 370 artículos científicos y de 19 libros de su especialidad.

# FOTOGRAFÍAS



Glaciar Sawyer del fjord Tracy Arm en Alaska. Photo by **Joshua Rosenfeld**.



Ptygmatic folds in gneiss. Manchester, New Hampshire, USA.

Photo by **Joshua Rosenfeld**.



El icónico Cerro de la Silla, de 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 volcaniemento. Su núcleo está abierto en rocas del Jurásico Superior, principalmente de la Formación La Casita (Lut.-Ars.) y algunos asomos de la subyacente Formación Zuloaga (Clz. de plataforma). En secuencia estratigráfica ascendente, le continúan las formaciones del Cretácico Inferior: Taraises (Clz.-Lut. con su tercio inferior de Lut.-Ars.), Cupido (Clz. de plataforma), La Peña (Lut.-Clz.), Tamaulipas Superior (Clz. de mar abierto); y del Cretácico Superior, las formaciones: Cuesta del Cura (Clz. con bandas de pedernal), Agua Nueva (Clz.-Lut.), San Felipe (Lut.-Clz.) y Méndez (Lut.-Mgs.). 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), cubriendo a la secuencia anterior, afloran sedimentos aluviales del Cuaternario.

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/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.

Interpretó: Ing. Armando García Reynoso

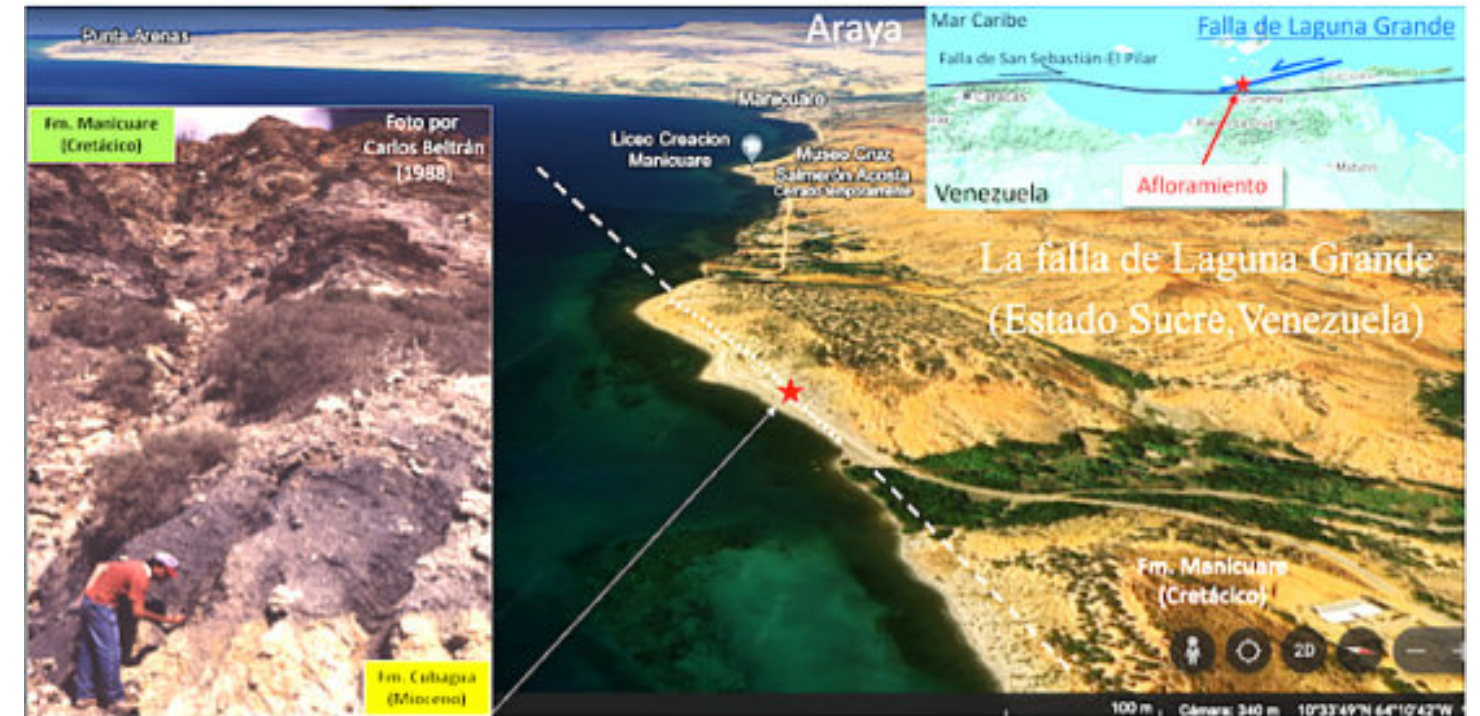
Foto: @\_mayguzman in <https://m.facebook.com/MonterreyEnImágenes/>



Ostrácodos estuarinos preservados en ámbar estratificado del Mioceno temprano (23 Ma), Formación La Quinta, Campo La Granja, al sur de Simojovel, Chiapas (Matzke-Karasz, R., Serrano-Sánchez, M. de L., Pérez, L., Keyser, D., Pipík, R., Vega, F.J., 2019. Abundant assemblage of Ostracoda (Crustacea) in Mexican Miocene amber sheds light on the evolution of the brackish-water tribe Thalassocypridini. *Historical Biology* 31 (2), 65–100).



Goblins"/hoodoos at Goblin Valley State Park in southern Utah, off State Route 24 between Green River and Hanksville. The hoodoos here developed by erosion of terrigenous clastics of the Middle Jurassic Entrada Formation. Photo by **Jon F. Blickwede**.



The Laguna Grande fault outcrop picture from 1988, and Google Maps satellite image (**Giraldo, 2024**; Afloramiento de la falla de Laguna Grande (1988) e imagen satelital de Google Maps).

[https://www.researchgate.net/publication/381992411\\_Reviewing\\_outcrops\\_with\\_geographic\\_geolocation\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/381992411_Reviewing_outcrops_with_geographic_geolocation_tools)

More details in **Giraldo and Beltran (1988)**:

[https://www.researchgate.net/publication/323357299\\_Quaternary\\_Tectonics\\_related\\_to\\_the\\_Laguna\\_Grande\\_Fault\\_Peninsula\\_de\\_Araya\\_Sucre\\_State\\_Venezuela\\_and\\_stress\\_field](https://www.researchgate.net/publication/323357299_Quaternary_Tectonics_related_to_the_Laguna_Grande_Fault_Peninsula_de_Araya_Sucre_State_Venezuela_and_stress_field)

#### **Reviewing outcrops with geographic geolocation tools. Carlos Giraldo Ceballos (2024).**

The fundamental importance of carrying out an exhaustive analysis of the outcrops is highlighted, as part of an ideal geological reconnaissance. Thanks to public satellite images, which allow outcrops or areas of interest to be geolocated, remote areas can be analysed from the office, and field missions can be optimised. Furthermore, in some cases outcrops are described with a certain level of detail, thanks to "Street View" images. Some outcrops are shown in which, in addition to carrying out field work, the observations are complemented with images that allow the possible geological models to be refined. The evaluated outcrops are in: Kota Kinabalu (Malaysia), Guayllabamba (Ecuador), Eastern Venezuela, and Madrid Miocene Basin.

#### **Quaternary Tectonics related to the Laguna Grande Fault, Peninsula de Araya ( Sucre State, Venezuela ) and stress field.**

**Carlos Giraldo Ceballos and Carlos Beltrán (1988).**

Laguna Grande Fault has been documented as having a Pliocene ? - Quaternary ? activity. Outcrop evidences: overthrusting Miocene sediments and showing left-lateral strike-slip movement.



Secuencia de lutitas negras de cuenca con intercalaciones muy delgadas de areniscas turbidíticas de edad Ordvícico, área cerca de Quebec, Canadá. Fotografía por **Claudio Bartolini**.



This large recumbent fold is highlighted by Early Jurassic thin bedded dolomites above Bourg d'Oisans in the French Alps (just east of Grenoble). This fold verges to the southwest, suggesting it is the result of the earliest (Eocene) west-southwest-directed episode of Alpine compression. This photo, along with many others, are part of the Western Alps geo-tour described in **Prost, G.L.**, in press (expected publication date in 2026), Western Europe's Natural Wonders, CRC Press.



**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.**

*Benioff Siempre*

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

**Comunícate con**

**Bernardo García-Amador**  
[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)

**quien está a cargo de organizar esta información.**

# NOTAS GEOCIENTÍFICAS

## Extraterrestrial Remote Sensing and Planetary Processes

**Gary Prost\***

**G.L. Prost GeoConsulting of El Cerrito, California**

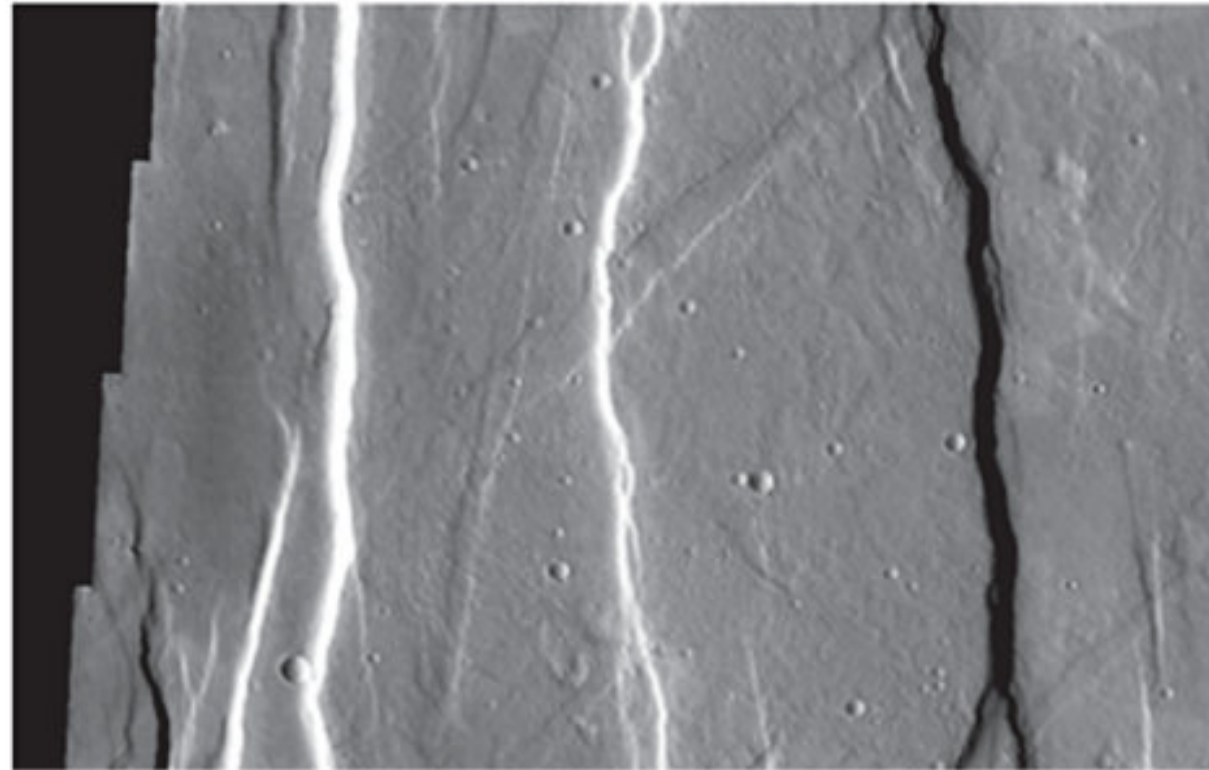
It turns out that landforms on other planets and moons are strikingly similar to landforms on earth. The surface materials and atmospheres may be different, with temperatures and pressures differing as well, but the processes are remarkably alike. Astrogeology is the ultimate in remote sensing: the analysis of geologic systems from afar with little or no chance of field work. It is all about understanding planetary processes remotely. Earth-based analogs suggest explanations for planetary landforms. Planetary landforms, on the other hand, provide almost pure endmembers for Earth processes such as wind-driven dunes, stream channel erosion, mass wasting, impact structures, fold structures, and other erosional, depositional, and structural features found on Earth. Whereas features on Earth are often obscured by the atmosphere, vegetation, and soil, and sometimes snow, ice, and water, there is no vegetation and little atmosphere, soil, liquids or ice on other planetary surfaces.

There was a time when heated debate existed about whether lunar craters were the result of impacts or volcanism. Scientists wondered whether the lunar surface was solid rock or consisted of rock powder that would swallow up a lunar lander. It was once thought that there could be no water on the moon, and probably none on Mars. These questions at last have been answered, and mostly by remote sensing. Did Mars ever have an Earth-like atmosphere and an ocean? Did life emerge on Mars? Do other planets have a form of plate tectonics? These questions are slowly being answered by remote sensing and in rare cases, landers.

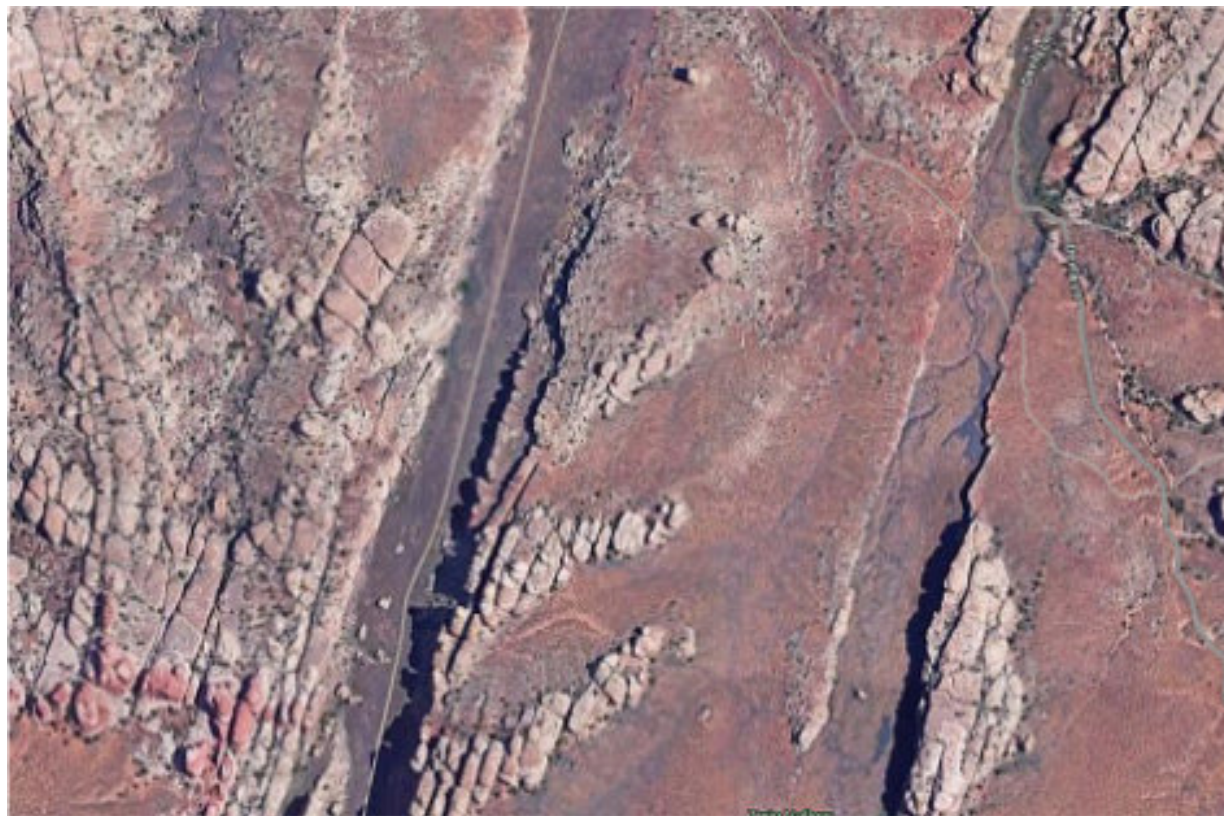
Fifty-five years ago, we got the first grainy, black and white images of the Moon and Mars. We now have geologic maps, derived from high-resolution radar and multispectral images, of the entire Moon and many parts of Mars. Cloud-shrouded Venus has been exposed by radar imagery. We have probed the moons of Jupiter and Saturn. The following images show some examples of extraterrestrial landforms and the geological processes they represent.

For a more in-depth discussion of these processes, please see Prost (2025).

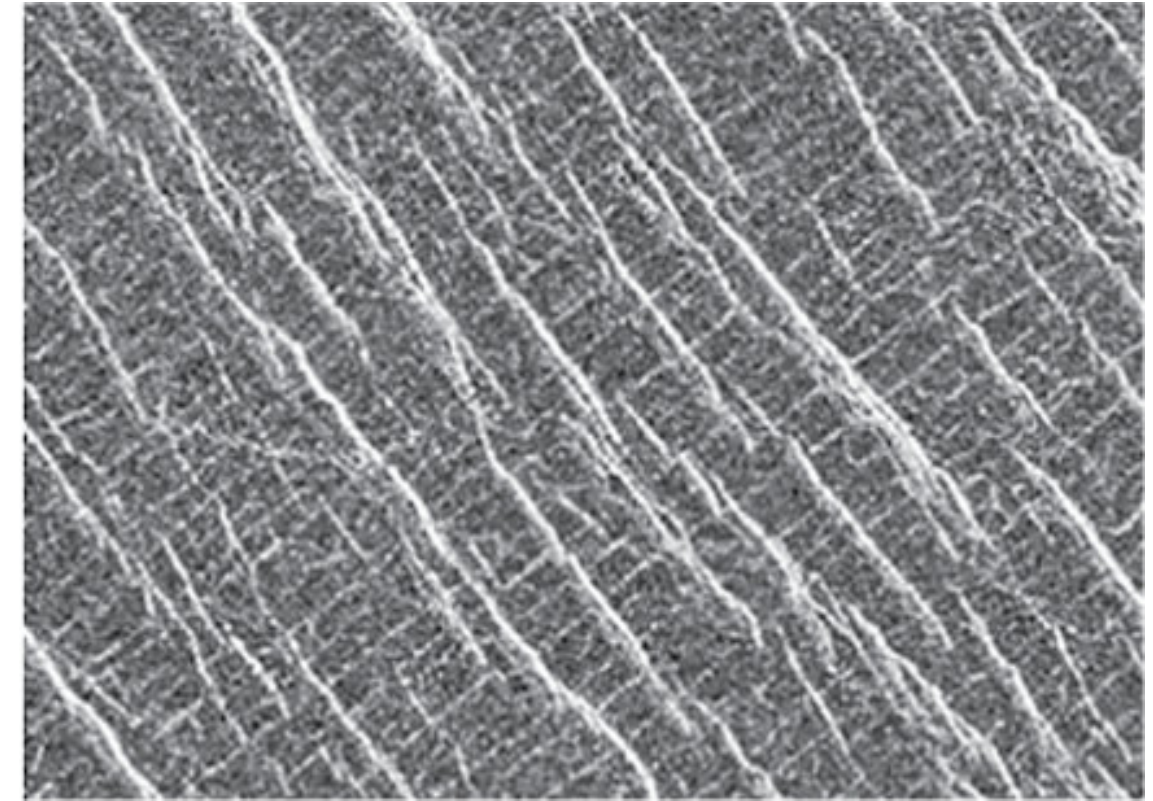
\*[garyprost01@gmail.com](mailto:garyprost01@gmail.com)



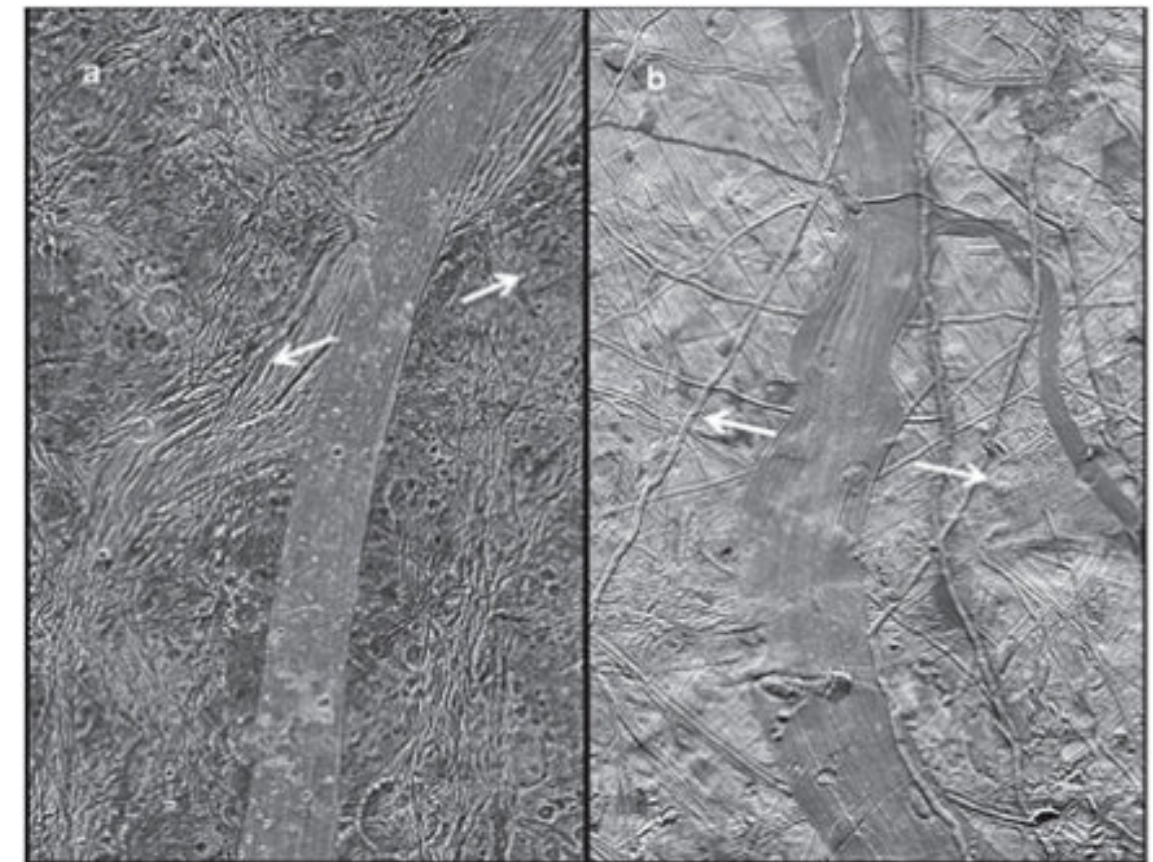
THEMIS image of normal faults, grabens, and relay ramps in the Alba Patera region, Mars. Taken by the Mars Odyssey spacecraft. Courtesy of NASA/JPL-Caltech/Arizona State University.



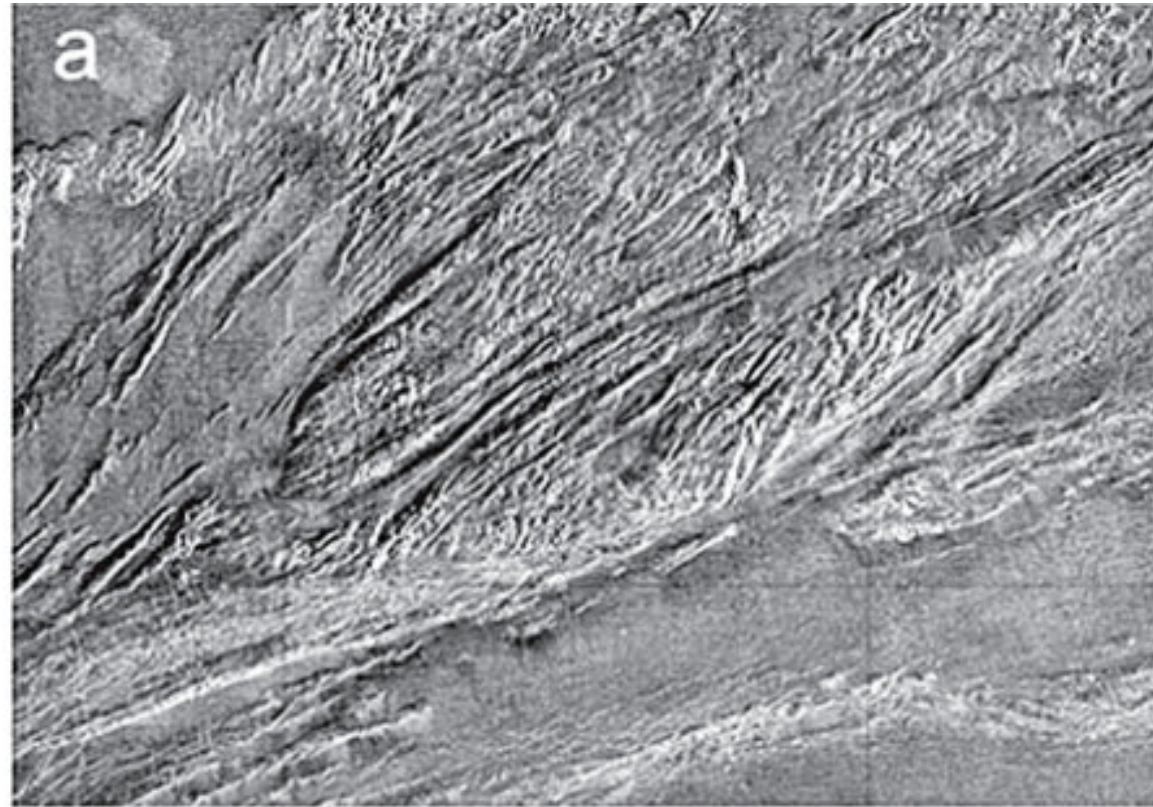
The Grabens, Canyonlands National Park, Utah. Google Maps ©2025 Airbus, Maxar Technologies.



Gridded plains of Sedna Planitia in the Lakshmi region of Venus are thought to be normal faults related to uplift and extension. Fainter lines are spaced at about 1 km and may represent jointing. North is at the top of the image. Magellan image courtesy of NASA.



Possible icy spreading centers. (a) Arbela Sulcus on Ganymede shows about 65 km transtensional strike-slip offset. (b) A band on Europa (right) apparently formed by crustal spreading. Both images were acquired by the Galileo spacecraft and are at the same scale. Courtesy of NASA/JPL.



A striking example of a dextral wrench-fault system can be seen along the Thetis Boundary Shear zone of Venus. (a) Magellan SAR image of the eastern segment, Thetis Boundary Shear Zone. (b) Structural interpretation of the SAR image. NASA image. Interpretation from Kumar (2005).

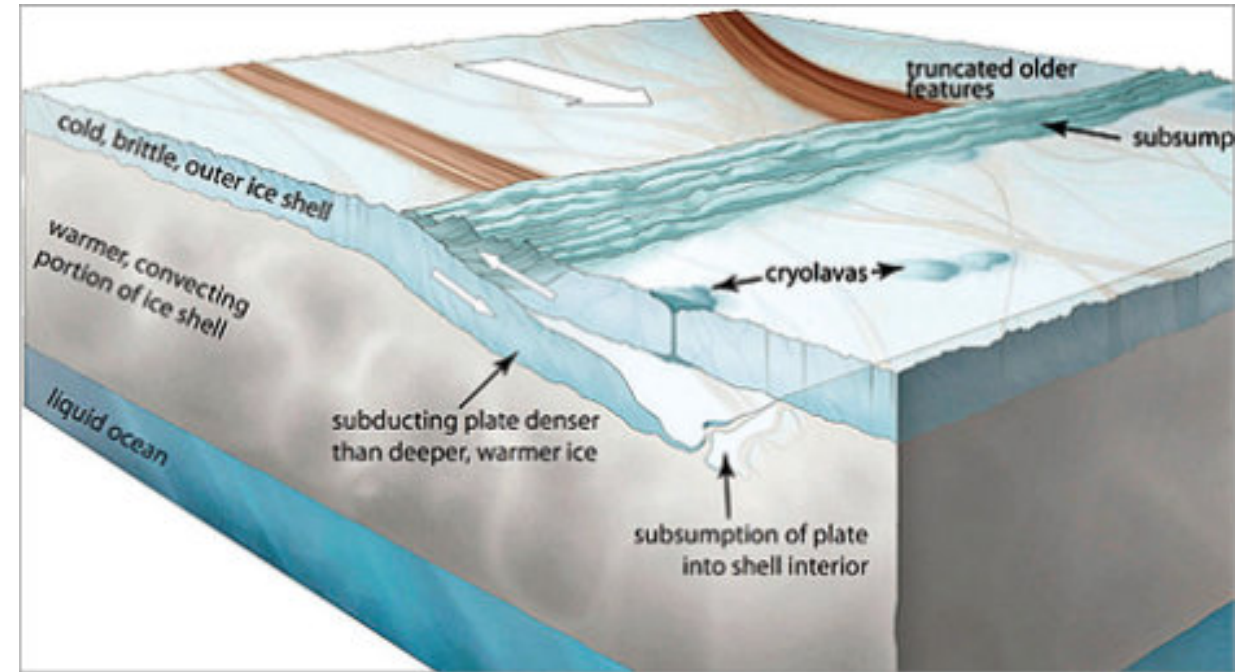


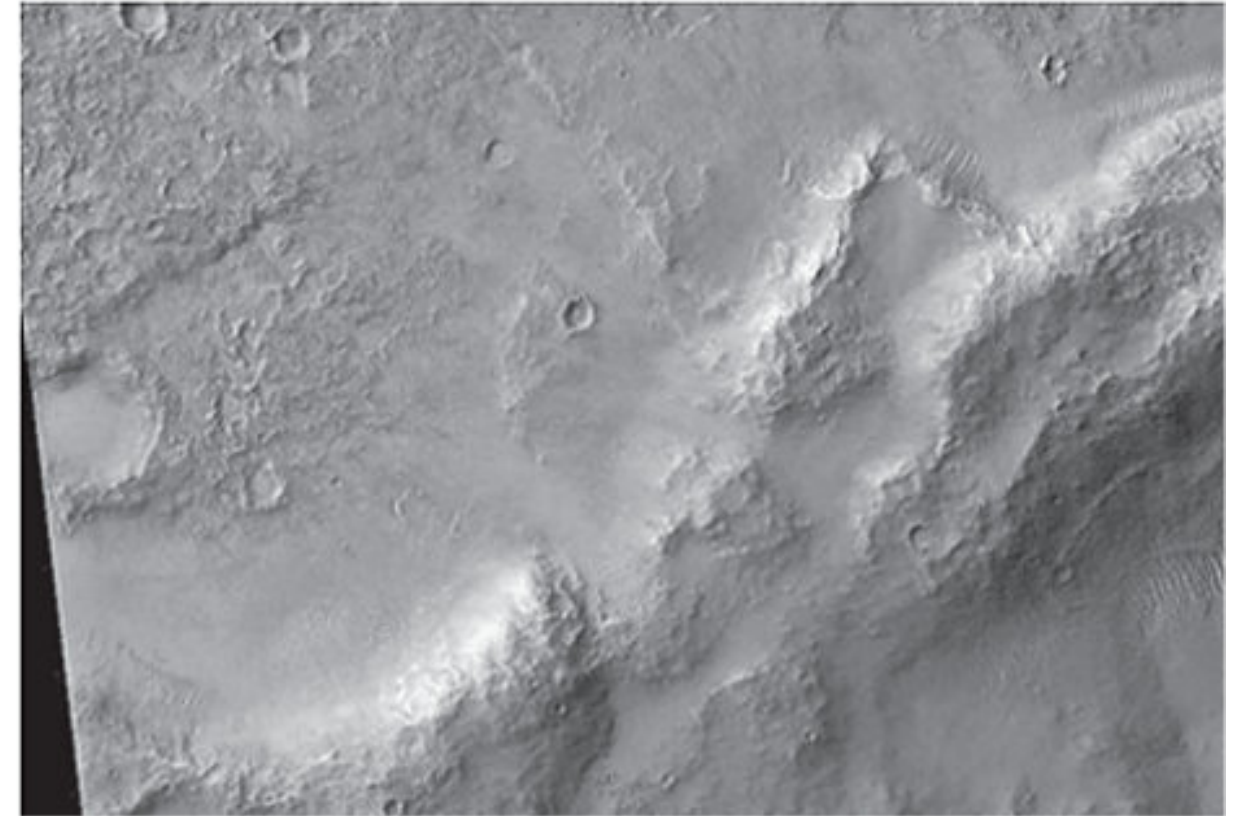
Diagram showing how plate tectonics may work on Europa. From NASA/JPL, 2014.



Ridges in icy crust of Europa are offset by strike-slip faults. Spreading centers and thrust or subduction zones are indicated. This image is  $\sim 12 \times 15$  km. The interpretation is the author's. The image was acquired by the Galileo spacecraft. Courtesy of NASA.



Ovda Regio, Venus. This image measures 300 by 225 km. Note the similarity to the figure below that shows thrust folds on the Tibetan Plateau. Taken by the Magellan spacecraft. Courtesy of NASA.



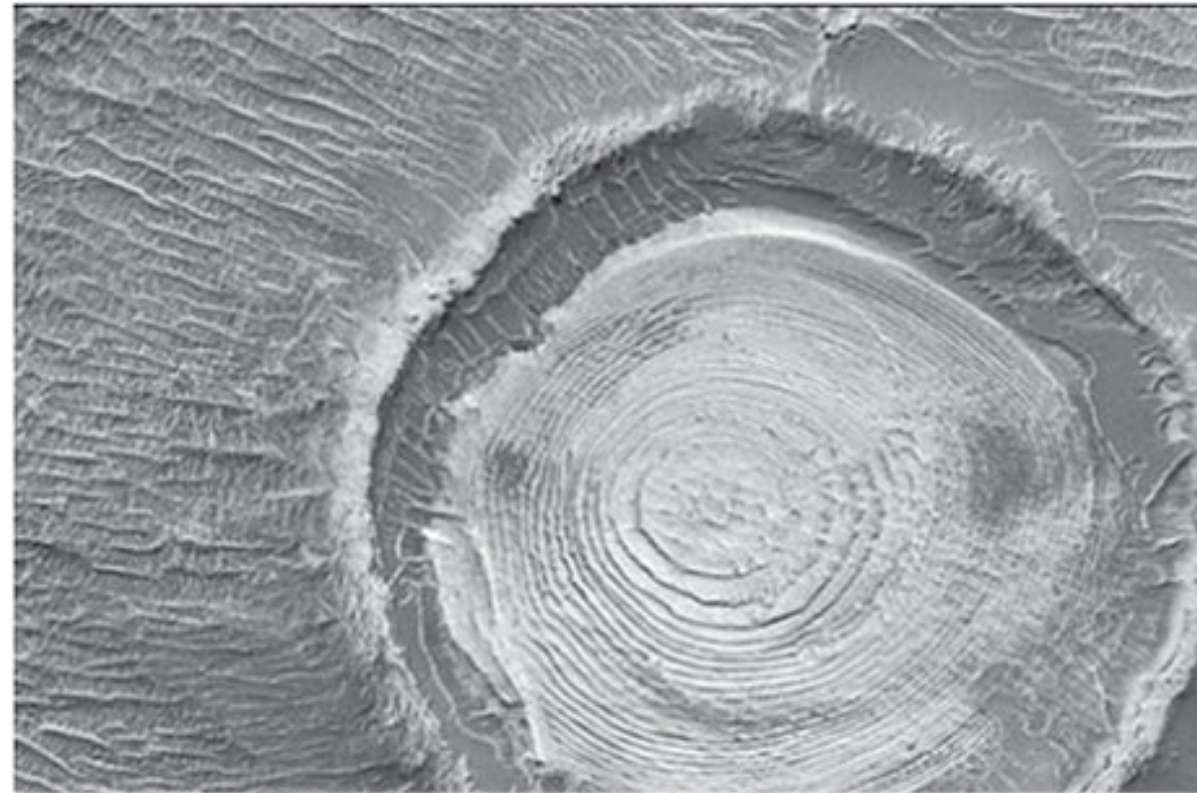
Fold at Solis Planum, Mars. HiRISE image, Mars Reconnaissance Orbiter. Courtesy of NASA.



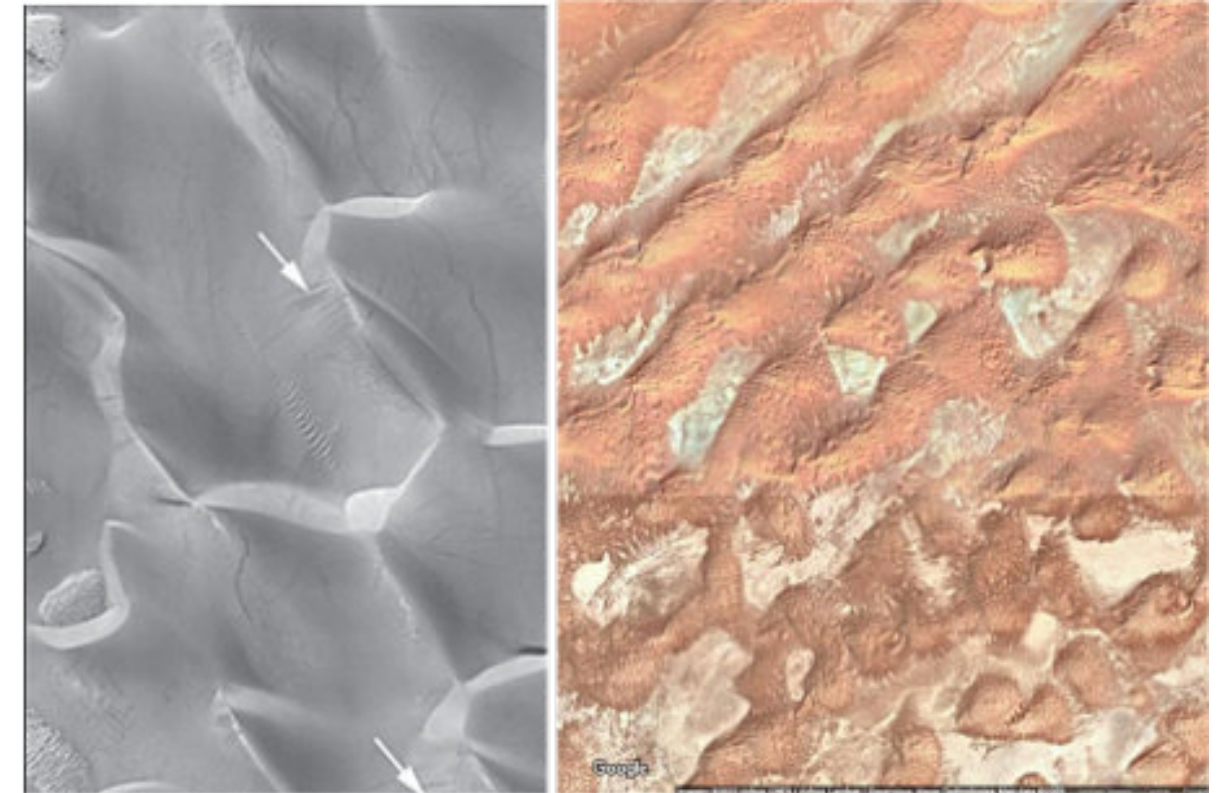
True color image of part of the Tsaidam Basin, Tibetan Plateau, China, illustrating multiple northeast-directed thrust sheets with leading-edge anticlines. Image courtesy of CNES/SPOT Image and Google Earth, © 2012 Google.



Mare Imbrium "wrinkle ridge" (fold), the Moon. Apollo 15 photo courtesy of NASA.



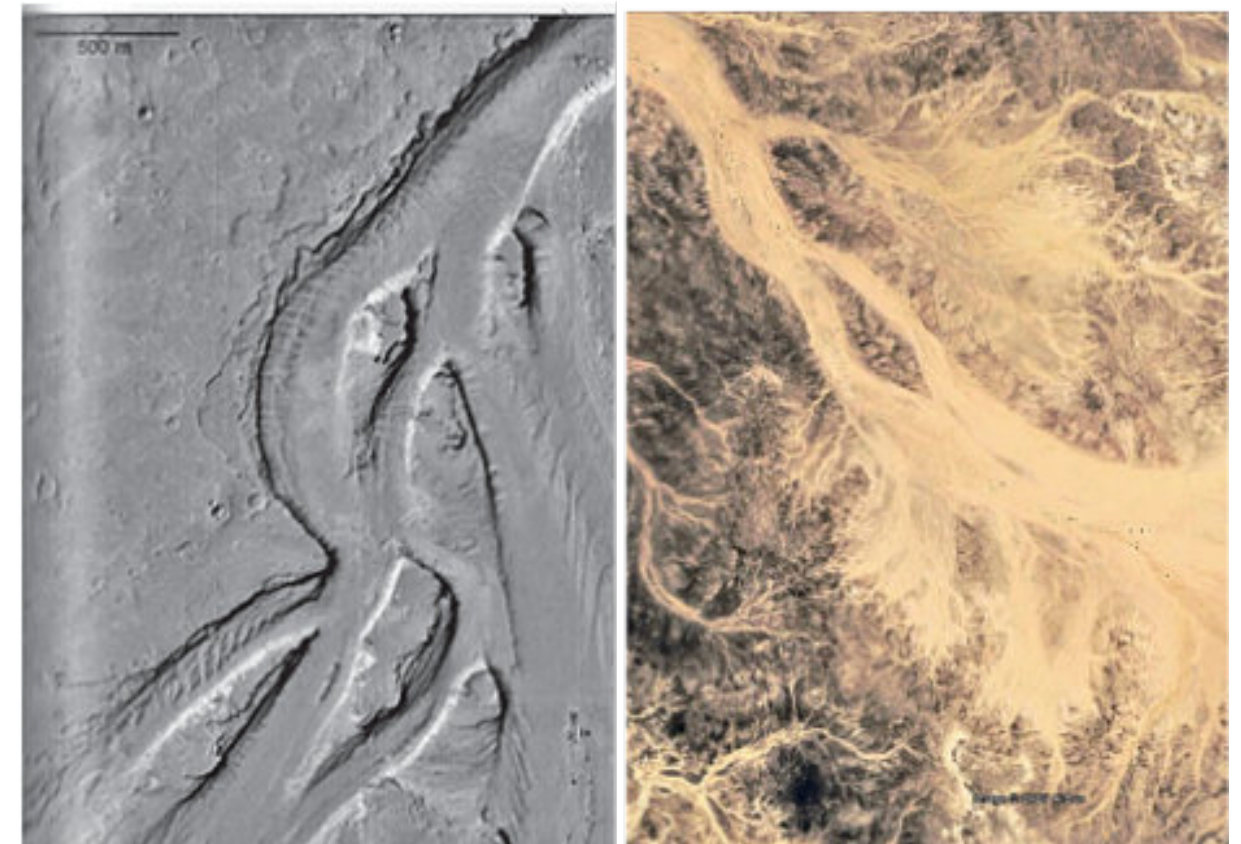
Schiaparelli Crater, Mars, in layered sediments. Note the similarity to the Richat impact structure, Mauritania (below). Mars Global Surveyor image courtesy of NASA/JPL/Malin Space Science Systems.



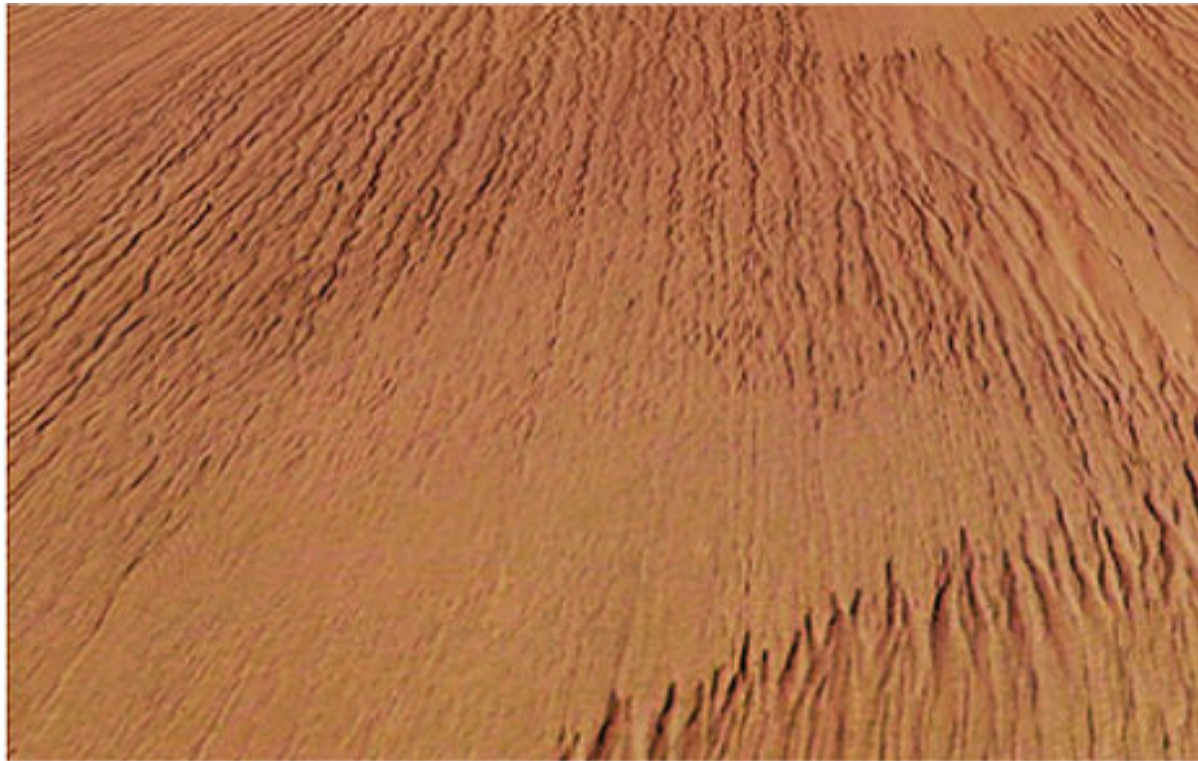
Left: Dune field in Rabe Crater, Mars. Arrows indicate wind direction. Mars Global Surveyor image, courtesy of NASA, Jet Propulsion Lab, and Malin Space Science Systems. Right: Dune field in the Rub al Khali, Saudi Arabia. Google Maps image, ©2025 Airbus, CNES/Airbus, Landsat/Copernicus, Maxar Technologies.



Oblique view toward the east over the Richat impact structure in the barren Gres de Chinguetti Plateau, central Mauritania. Banding is due to uplifted Paleozoic sedimentary layers. International Space Station image, courtesy of NASA.



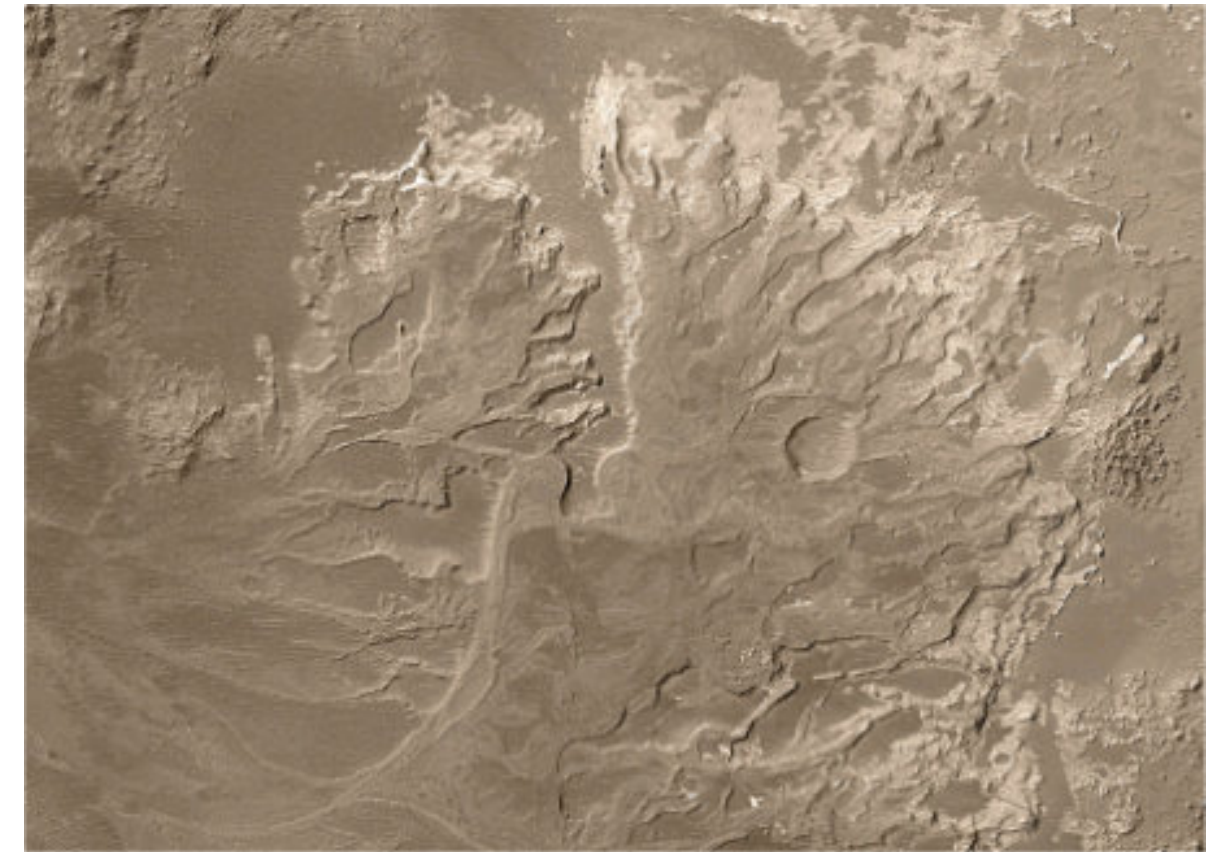
Left: Cerberus Fossae floodwater channels in the Athabasca part of the Marte Vallis system. Mars Orbiter Camera courtesy of NASA/Malin Space Science Systems. Right: Google Earth image of the Wadi Stum area, Oman. ©2025 Airbus.



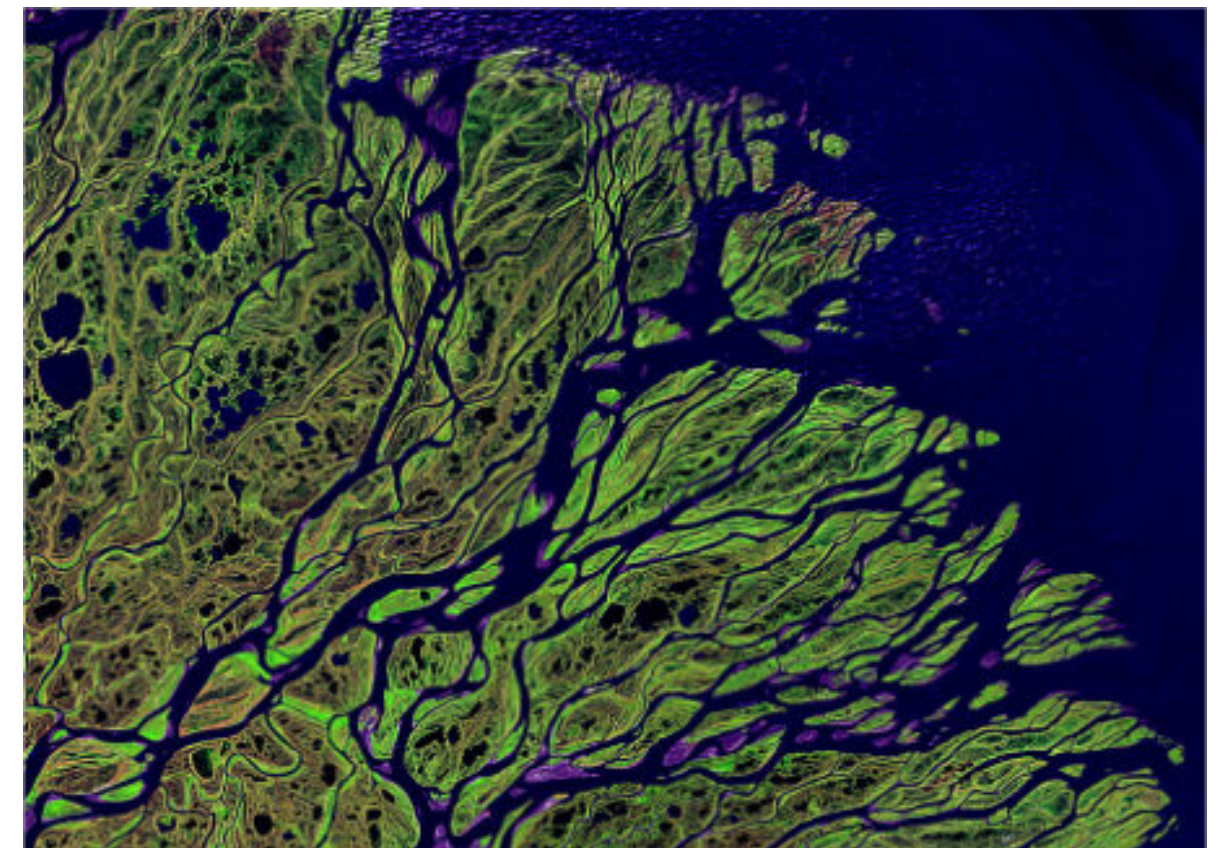
Yardangs near Olympus Mons acquired by Mars Express spacecraft. These are long sharp ridges cut by wind erosion that may have accentuated fractures. Courtesy of European Space Agency.



Oblique view northeast at yardangs (joint-controlled fins of rock) in the Jurassic Kayenta and Wingate sandstones of the San Juan Arm of Lake Powell, Utah. Joints are etched by eolian abrasion. Image courtesy of USDA Farm Service Agency, TerraMetrics, and Google Earth, © 2012 Google.



The Eberswalde delta complex, Eberswalde crater, Mars. Mars Global Surveyor, Mars Orbiter Camera. Image courtesy NASA/JPL/Malin Space Science Systems.



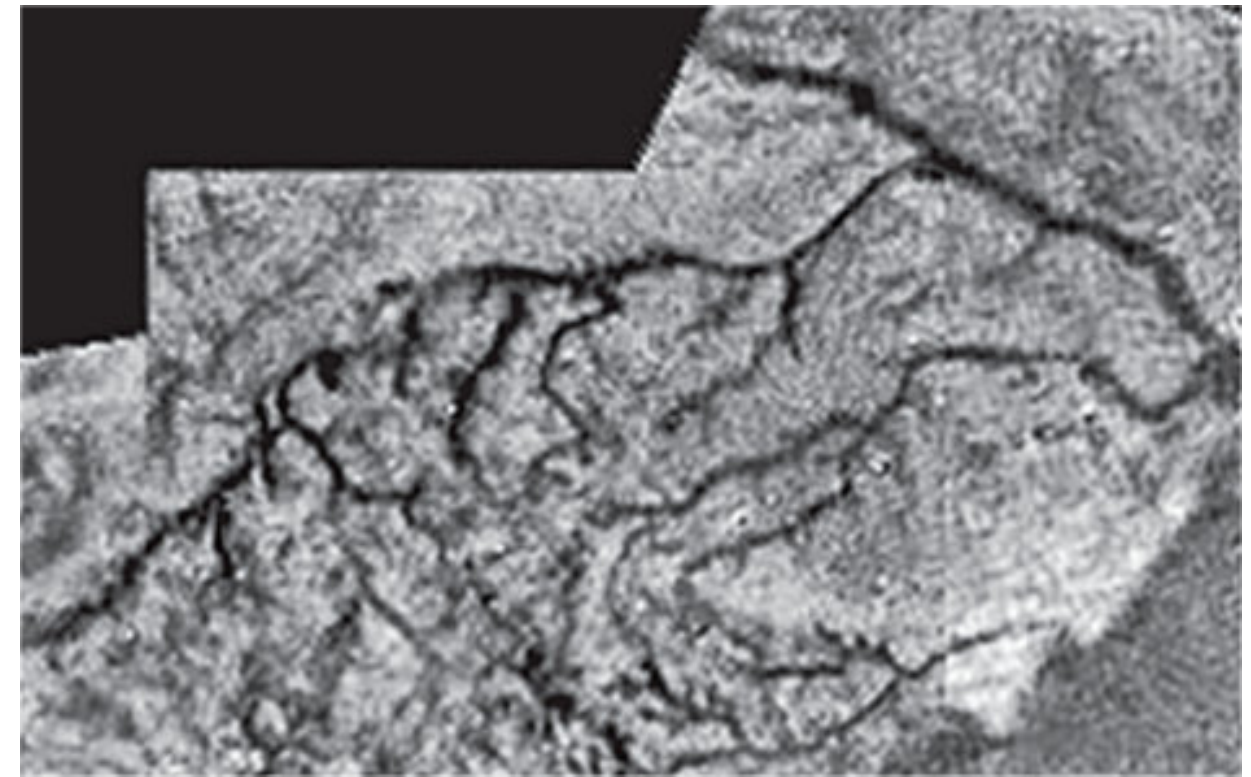
Lena River Delta, Russia. False-color Landsat image courtesy of NASA Visible Earth.



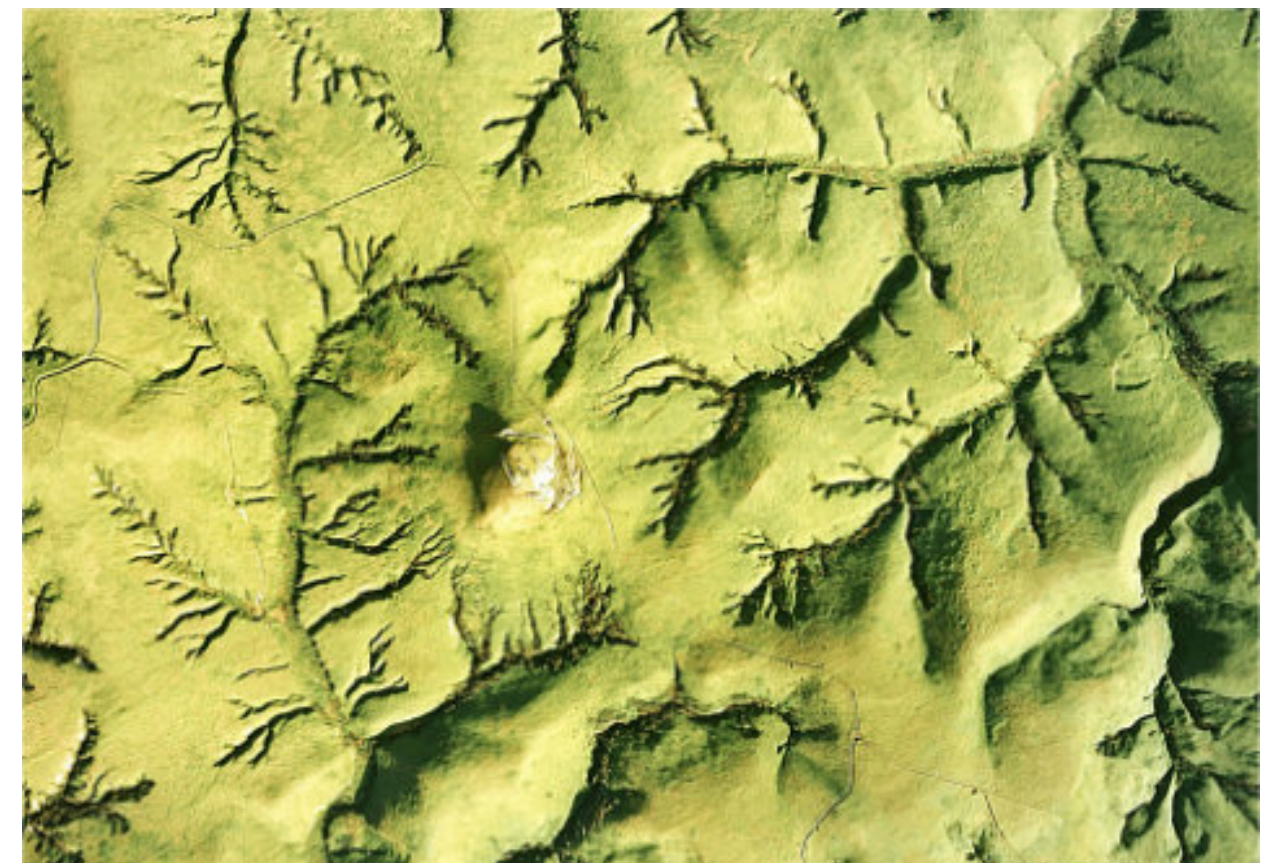
A cut off meander in lava channels, Sedna Planitia, Venus. Magellan radar mage courtesy of NASA.



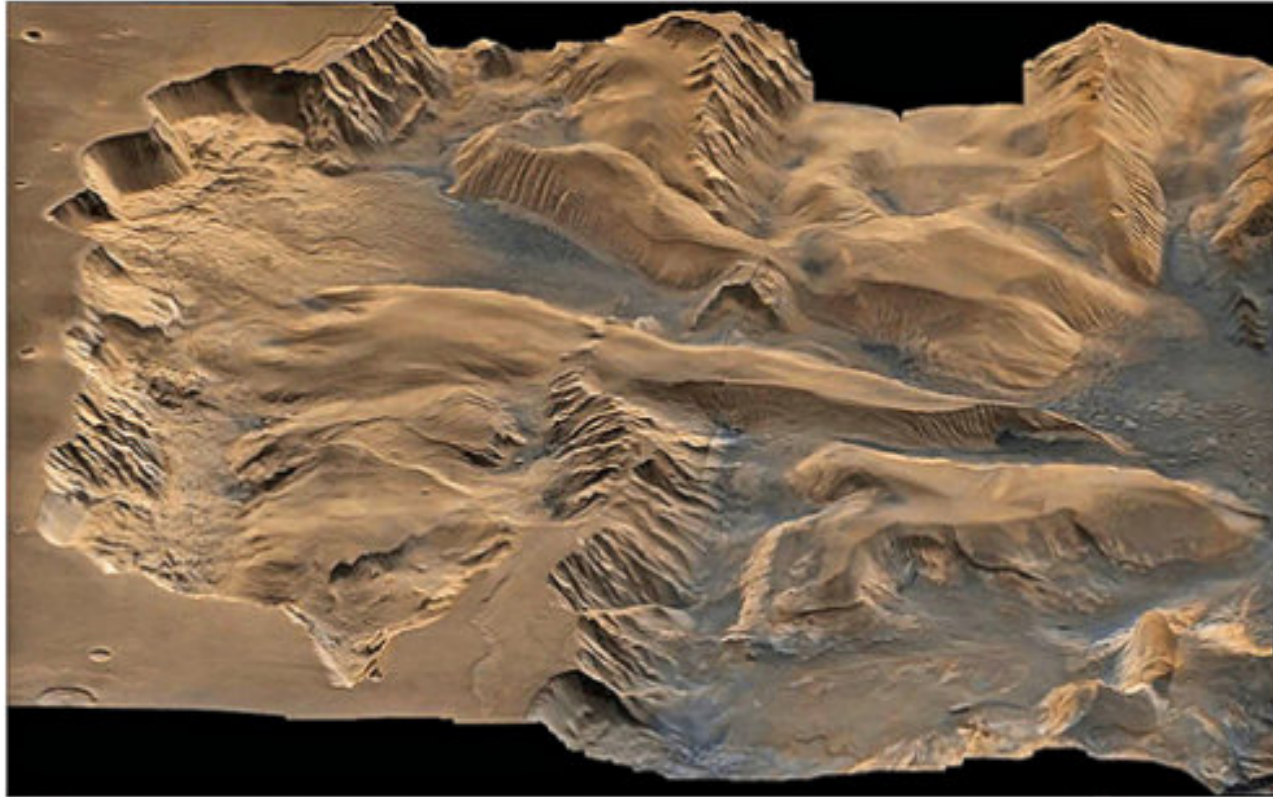
Meander cutoffs along the Mississippi River between Louisiana and Mississippi. Google Maps.



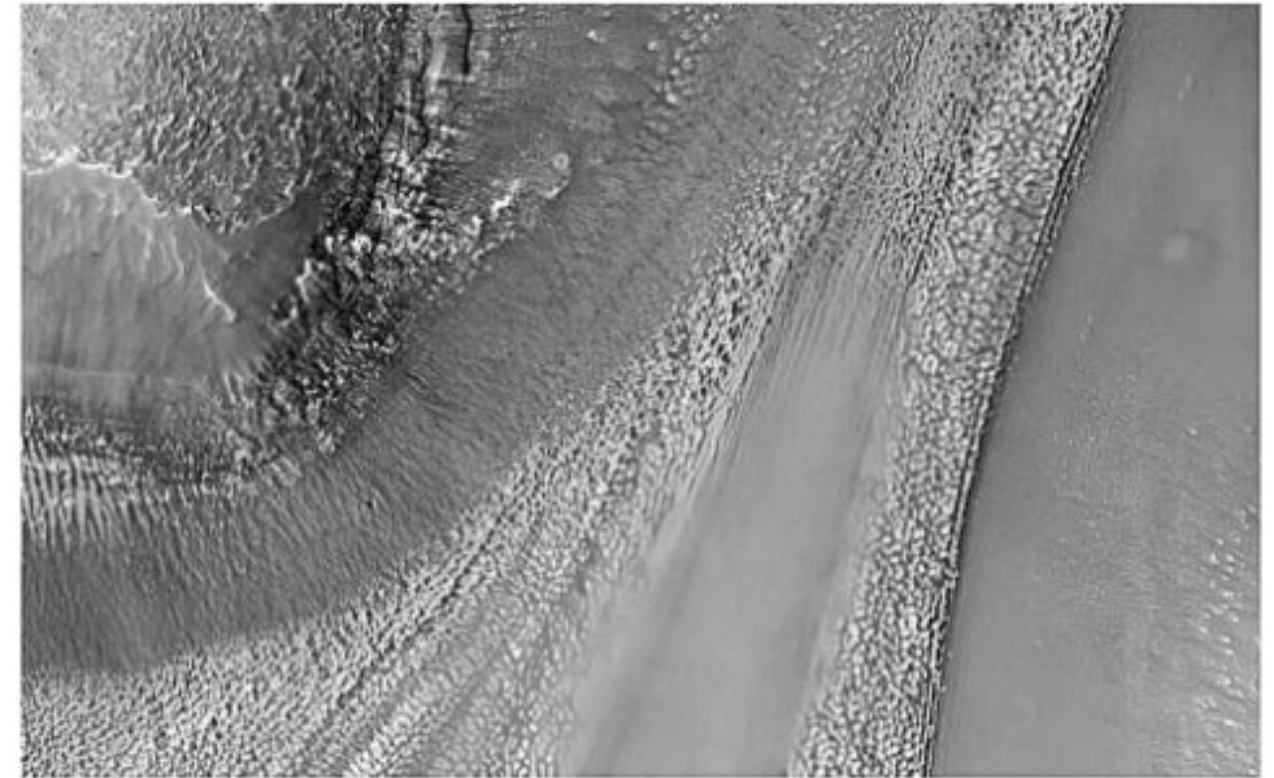
River channels and a lakebed on Titan. This image mosaic is from the Huygens Descent Imager/Spectral Radiometer on the Cassini-Huygens mission. Image credit: NASA/JPL/ESA/University of Arizona.



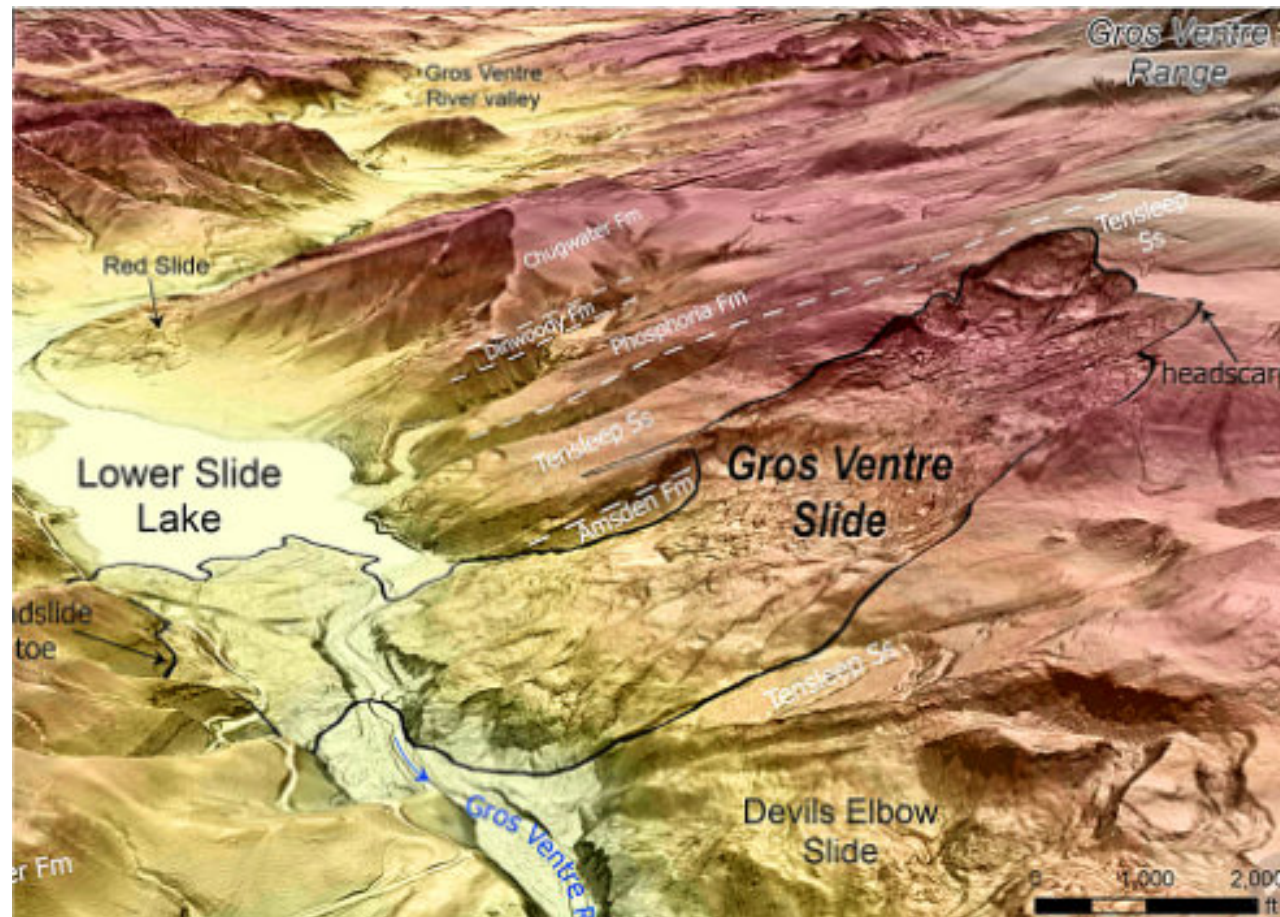
Airphoto of tundra with dendritic drainage, Soya Hill, China. Courtesy of 国土交通省,  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soya\\_Hill\\_Periglacial\\_Landforms\\_Aerial\\_Photo.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soya_Hill_Periglacial_Landforms_Aerial_Photo.jpg)



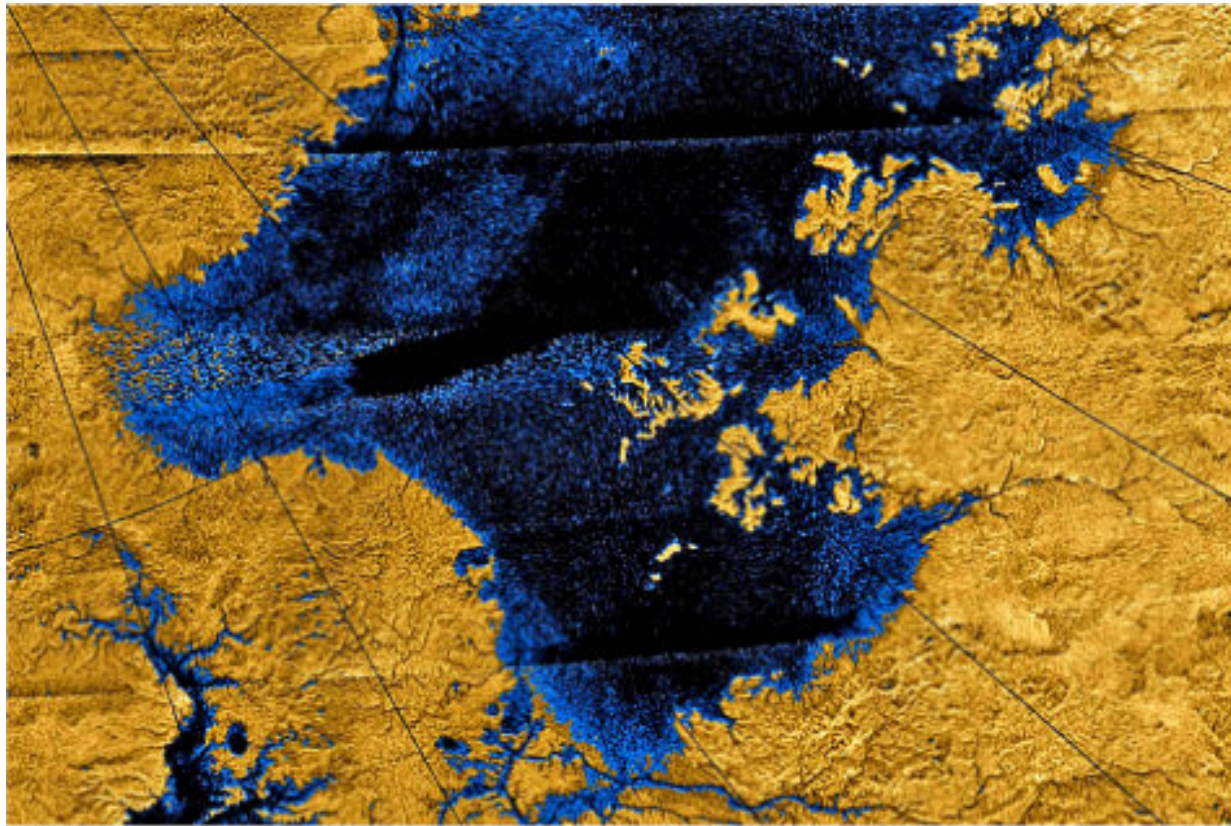
Oblique view of a landslide in Ophir Chasma (left) and Candor Chasma (right), Valles Marineris, Mars. This Viking mission image was produced by U.S. Geological Survey.



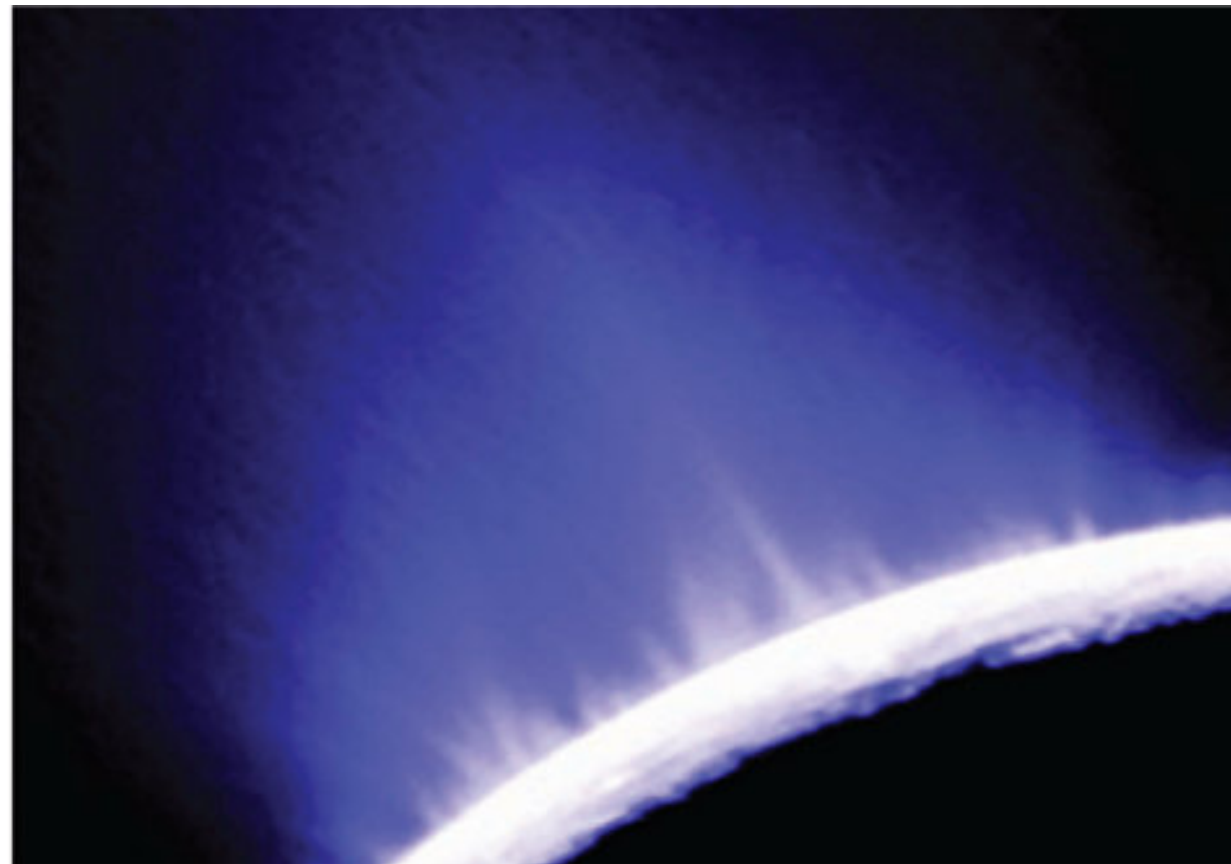
Glacial moraines on Mars and Earth share similar morphologies. Top: Mars Reconnaissance Orbiter image of ridged lines carved onto Mars' landscape by the movement of ice. Image courtesy of NASA/Caltech/University of Arizona. Bottom: Lateral and medial moraines mark the surface of a valley glacier, Wrangell-St. Elias National Park, Alaska. Courtesy of National Park Service/James W. Frank.



Oblique lidar shaded relief map looking east up the Gros Ventre River valley, Wyoming. The Gros Ventre Slide, which occurred on June 23, 1925, is outlined in black. Image courtesy of the U.S. Geological Survey.



Cassini-Huygens radar image of Ligeia Mare Saturn's moon Titan. The blue-black lakes and rivers look just like rivers and lakes on Earth, but here they consist of liquid methane. Image courtesy of NASA/JPL/USGS.



Geysers or volcanism? This image shows water ice erupting from the surface of Enceladus. Cassini image courtesy of NASA/JPL/ESA.

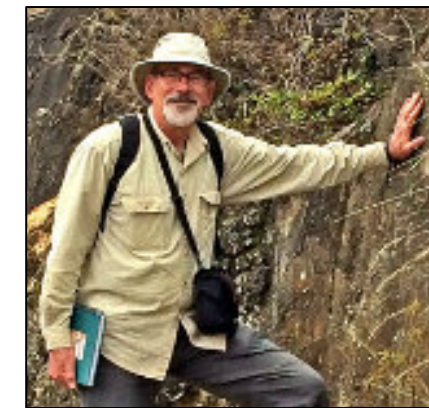
#### References

Kumar, P.S. 2005. An alternative kinematic interpretation of Thetis Boundary Shear Zone, Venus: evidence for strike-slip ductile duplexes. JGR v. 110, EO7001: 10 p.

NASA/JPL. 2014. Scientists find evidence of 'Diving' tectonic plates on Europa.  
[www.jpl.nasa.gov/news/scientists-find-evidence-of-diving-tectonic-plates-on-europa](http://www.jpl.nasa.gov/news/scientists-find-evidence-of-diving-tectonic-plates-on-europa).

Prost, G.L. 2025. Remote Sensing for Geoscientists – Image Analysis and Integration 4<sup>th</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, 637 p.

#### Gary L. Prost (Ph.D.) Consulting Geologist



**Gary L. Prost** obtained his BSc in geology from Northern Arizona University and an MSc and PhD in geology at Colorado School of Mines. Over the past 45 years, he has worked for Norandex (mineral exploration), Shell (petroleum exploration), the U.S. Geological Survey (geologic mapping, coal), the Superior Oil Company (mineral and oil exploration), Amoco Production Company (oil exploration, remote sensing, and structural geology), Gulf Canada (international new ventures), and ConocoPhillips Canada (Arctic exploration, gas field development, oil sands development). He spent 20 years working as a satellite image analyst searching for hydrocarbons and minerals in over 30 countries. He has been involved in 2 field discoveries as well as oil and gas field development. His most recent work is leading field trips and educating the public on topics of geological interest. He is the principal geologist for G.L. Prost GeoConsulting of El Cerrito, California. He has published eight books: Remote Sensing for Geoscientists: Image Analysis and Integration (fourth edition, Taylor & Francis, 2025); Rocks and Riches - Exploring California's Stunning Geology; the geological tours of the world series South America's Natural Wonders (Taylor & Francis, 2024); The United Kingdom's Natural Wonders (Taylor & Francis, 2023); and North America's Natural Wonders (2 volumes; Taylor & Francis, 2020); The Geology Companion: Essentials for Understanding the Earth (Taylor & Francis, 2018); and the English-Spanish and Spanish-English Glossary of Geoscience Terms (Taylor & Francis, 1997). He is currently working on Geologic Tours of the World – Western Europe's Natural Wonders, and North Africa-Middle East's Natural Wonders.

<https://garyprostgeology.com/publications>

<https://www.researchgate.net/profile/Gary-Prost>

<https://www.linkedin.com/in/gary-prost-64287a16>

## Estrategia de Exploración para México 2025 – 2030

**Alfredo E. Guzman**  
Consultor Internacional

Con 50 años de conocimiento del sector “*upstream*” nacional e internacional y con la intención de aportar para superar la crisis en la que se encuentra la industria actualmente (caída de la producción e insuficiencia de capital) me atrevo a proponer una estrategia exploratoria para los siguientes 5 años que permitiría superar estos problemas.

Aunque la mayoría de la gente lo desconoce, México (Figura 1) posee una de las mayores acumulaciones de petróleo del mundo, similar a la Faja del Orinoco de Venezuela y a la Cuenca Pérmica del Oeste de Texas. Estos son hidrocarburos que están en yacimientos muy compactos (baja permeabilidad), llamados “no-convencionales” pues requieren técnicas de perforación que no son las convencionales, y que no están entrapados por condiciones estructurales, o por contactos agua – aceite y cuyos límites

característicamente no están bien definidos haciéndolos difíciles de cuantificar.

En México no se ha difundido el valor de estos recursos, debido a que:

- no han sido explotados (solo se ha extraído menos del 0.5%, de Chicontepec),
- a que la tecnología para producirlos económicamente es reciente (15 años),
- y a que no se les ha considerado como reservas puesto que su cuantificación como tales tiene implicaciones legales y económicas y las empresas certificadoras, con contadas excepciones, no se han dedicado a certificar este tipo de yacimientos.

México puede incrementar su producción en un plazo muy corto a partir de estos recursos. Los pozos para producir estos yacimientos son someros (2 a 3,500 m), requieren tener un tramo horizontal (de 2 a 3 km) y fracturas hidráulicas (40 - 50 etapas). En el Oeste de Texas los están haciendo en paquetes de hasta 64 pozos al mismo tiempo,

con solo 4 equipos de perforación, dando producciones iniciales por pozo de 1,000 a 1,500 bd en tan solo 90 días.

Desarrollar este tipo de yacimientos tiene importantes ventajas:

- i) Ya están descubiertos, se conocen y ya están probados y evaluados;
- ii) No hay riesgo geológico (de no encontrar),
- iii) Los pozos son menos costosos (\$ 7 – 10 MMUSD),
- iv) Están en áreas donde ya hay infraestructura de producción,
- v) Se puede producir de inmediato, y hacerlo no afecta al yacimiento,
- vi) No hay rechazo de la población, ésta tiene más de 100 años conviviendo con la industria.

Estos yacimientos se encuentran principalmente en el Norte de Veracruz, en formaciones sumamente ricas en petróleo: Chicontepec y lutitas orgánicas.

Tan solo en el área del paleocañón de Chicontepec (~ 3,000 km<sup>2</sup>) (Figura 2), Pemex ha certificado 64 mil MMb de petróleo crudo equivalente y se estima que, bajo la misma área, las lutitas que generaron todo el petróleo de la cuenca y que subyacen al paleocañón, tienen 230 mil MMbpce, o sea un total para esa área de 294 mil MMbpce, (más de 4 veces los 68 mil MMbpce que México ha producido desde 1904). Si extrajéramos 1 MMbd durante 10 años produciríamos tan solo un poco más del 1%.

La mejor prueba de que es factible desarrollar este tipo de rocas la encontramos en la Cuenca Pérmica del Oeste de Texas a unos cuantos kilómetros de la frontera norte, que produce 6.2 MMbd y 25 mil MMpcd, a partir de rocas con características y riqueza de aceite y gas idénticas a las del Norte de Veracruz.

En Argentina, la Cuenca de Neuquén ha crecido 400 mil bd y 3,800 mmpcd a partir de este tipo de yacimientos y ya se recuperó de la crisis por falta de producción.



Figura 1. Cuencas de petróleo y gas de México.

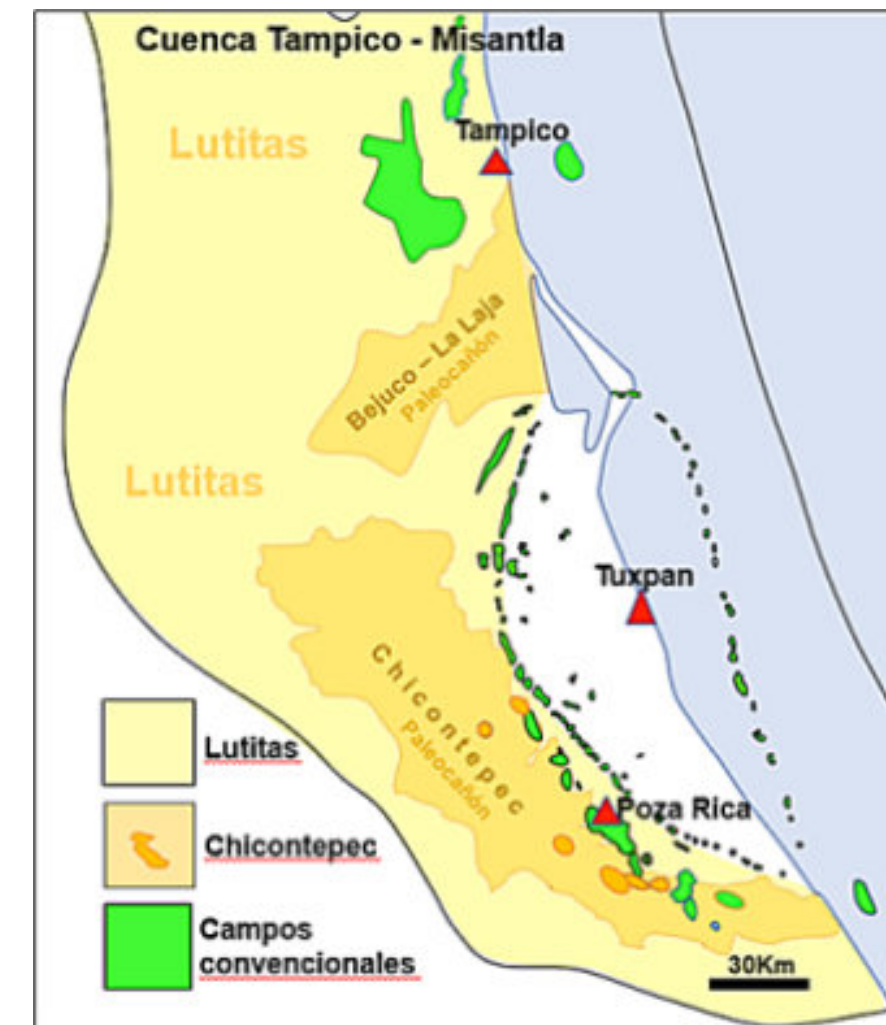


Figura 2. Campos de gas y petróleo en la Cuenca Tampico-Misantla.

Desarrollar estos recursos es costoso pero no se compara con lo que cuesta desarrollar yacimientos convencionales, con la diferencia de que los no convencionales pueden generar ingresos de inmediato.

México tiene magníficas oportunidades exploratorias en yacimientos de buena permeabilidad, tanto en aguas profundas como en la plataforma continental y en tierra, en el Sur de Veracruz y en las cuencas del Sureste, pero prácticamente todas ellas requieren de, al menos, 3 a 5 años para poder ponerlas en producción.

Dada la situación actual de México la mayoría de estas oportunidades se pueden diferir mientras se desarrollan los no convencionales, ya que:

- 1) Casi todas son oportunidades que aún no han sido descubiertas,
- 2) Muchas tienen profundidades que exceden los 5,000 m,
- 3) Requieren muchísimo tiempo para ser exploradas y probadas,
- 4) Una vez descubiertas requieren ser delimitadas,
- 5) Dependiendo de su tamaño, pueden llegar a requerir varios pozos.
- 6) No se pueden poner en producción hasta que estén todos los pozos so pena de quitarle presión al yacimiento y perder reservas,
- 7) Casi todas las oportunidades en el mar y muchas de las

de tierra no cuentan con infraestructura de producción cercana y las del mar requieren mandarse a construir, cosa que no se puede hacer sin tener el yacimiento delimitado.

Todo lo anterior además de llevarse años, requiere enormes cantidades de inversión, misma que no empieza a recuperarse hasta que inicia la explotación, mientras que la producción de los yacimientos de baja permeabilidad puede crecer de inmediato como se ha visto en otras cuencas.

Pemex E&P debe ser sumamente selectiva y en el corto plazo solo perforar aquellas oportunidades convencionales que:

- a) Ofrezcan las mayores probabilidades de éxito,
- b) Puedan ponerse en producción en el corto plazo,
- c) Complementen algún requerimiento o satisfagan alguna necesidad urgente,
- d) Tengan un valor estratégico,
- e) Ayuden a resolver el problema de la insuficiencia de gas,.

La excepción de todo lo anterior sería solo para el gas no asociado ya que aunque los yacimientos de baja permeabilidad pueden aportar cantidades importantes, se necesita dejar de ser dependientes del gas importado. México tiene un enorme potencial de gas por lo que es sumamente importante diseñar una estrategia que permita satisfacer las necesidades del país. La estrategia aquí propuesta es solamente temporal mientras los yacimientos de baja permeabilidad permiten estabilizar la producción por arriba de los 1.8 – 2.0 MMbd.

#### Referencias utilizadas

2002, Chris J. Cheatwood, Pioneer Natural Resources Company and Alfredo E. Guzman, Pemex E&P; Comparison of Reservoir Properties and Development History: Spraberry Trend Field, West Texas and Chicotepec Field, Mexico: SEPM International Petroleum Conference, Mexico.

CNH, 2021, Reporte de reservas. Ene. 2021. <http://www.hidrocarburos.gob.mx/estadisticas/>

EIA, 2021, Energy Information Administration, <http://www.eia.gov>

Escalera, A., 2013, Potencial en México y estrategia exploratoria de los plays no convencionales en Conferencia tecnológica temática para la exploración y explotación de aceite y gas de lutitas, AMGP, Abril 4, 2013.

Guzman, A. E. 2021, Unconventionals in Mexico. GeoExPro, en edición Junio 2021.

Guzman, A. E., 2021, Tampico - Misantra a Super Basin. AAPG Bulletin en edición, Dic 2021.

HIS Markit, 2017, As Mexico's deepwater beckons E&P companies, new 'Super Basin' analysis from IHS Markit says onshore Tampico-Misantra Basin has large, untapped potential. In <http://www.businesswire.com/news/home/20170303005842/en/>

Pemex, 2011, Reporte de reservas, Publicación de Pemex.



#### ALFREDO EDUARDO GUZMÁN

Nació en la Cd. de México y obtuvo sus grados de licenciatura (1971) y maestría (1973) en Geología en Texas Tech University.

Su experiencia laboral la inició en el Instituto Mexicano del Petróleo (1972 – 1973), continuando en Pemex Exploración y Producción (1974 – 2007), en la Comisión Nacional de Hidrocarburos (2009 – 2010) y en diversas empresas internacionales de exploración y producción (2008 – 2021)

Es miembro de la AAPG, desde 1967 donde fue vicepresidente internacional y candidato a la presidencia; de la AMGP, donde fue presidente de la Delegación Poza Rica y presidente nacional; de la AIPM donde fue presidente de la Delegación Poza Rica y es Académico de Número de la Academia Mexicana de Ingeniería.

Múltiples premios y reconocimientos.

Ha sido catedrático en las universidades:

- Texas Tech, 1971 - 1972
- De Sonora, 1979 - 1980
- Autónoma de Chihuahua, 1982 - 1984
- Autónoma de San Luis Potosí, 1986 - 1989

Y es autor, coautor y ha sido conferencista de cientos de publicaciones y presentaciones.

# “METODOLOGÍA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE CERTIDUMBRE EN ESTUDIOS INTEGRADOS DE YACIMIENTOS”. CAMPO VOLVE, Mar del Norte. Caso de Estudio.

**Tesista:** Gabriel Rosario (1)

**Asesor Académico:** Geo. Rosario Rivadulla (1)

**Asesor Industrial:** Alfonso Quaglia (2)

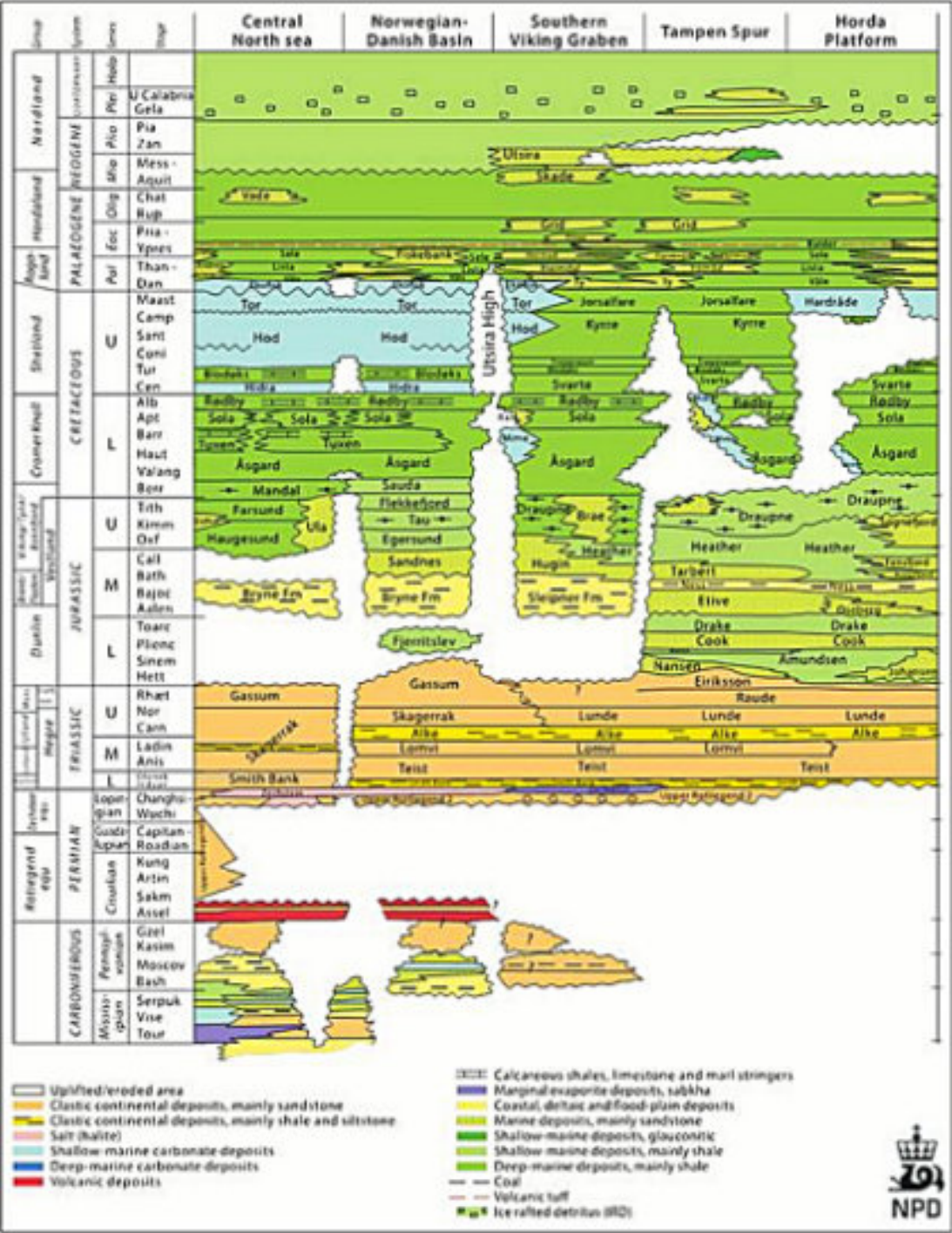
(1) Universidad de Oriente, Núcleo de Bolívar. Escuela de Ciencias de la Tierra.

(2) Inter Rock USA. Manager Director. Director VAPA. Coordinador programa VAPAResPro (2022-2025)

## Resumen

El estudio propone una metodología para la generación de mapas de certidumbre en estudios integrados de yacimientos, enfocándose en la evaluación de la cantidad y calidad de datos disponibles antes de iniciar el análisis de un reservorio. La metodología se desarrolló con base en la organización y clasificación de datos de 24 pozos del campo VOLVE, ubicado en el Mar del Norte, agrupándolos en tres categorías: registros de pozos, análisis de núcleos y datos de producción. Posteriormente, se establecieron parámetros y criterios para evaluar su cantidad y calidad, asignando valores porcentuales según el tipo de proyecto: petrofísico o geocientífico. El proceso se apoyó en la construcción de matrices ponderadas que permitieron generar mapas de certidumbre, los cuales muestran la distribución de clases de información en el campo, facilitando la selección de pozos clave y optimizando la ejecución de estudios de yacimientos. Esto permitió reducir tiempos de trabajo sin comprometer la calidad de los resultados. En términos generales, el uso de mapas ha sido esencial para la evolución de la geología y la exploración de hidrocarburos. Aunque existen diversos tipos de mapas en la industria del petróleo y gas (geológicos, de propiedades, de calidad de reservorios, etc); los mapas de certidumbre representan una herramienta novedosa para mejorar la precisión en la toma de decisiones. Gracias a los avances tecnológicos, se busca optimizar flujos de trabajo, minimizar la incertidumbre y mejorar la integración entre plataformas digitales y equipos multidisciplinarios.

El campo VOLVE, consta de una serie de formaciones arenosas del Triásico-Jurásico como se observa en la columna litoestratigráfica de la **Figura 1**, está ubicado en el Mar del Norte y fue elegido para este estudio debido a la disponibilidad de datos públicos, su ubicación estratégica y su importancia como reservorio de petróleo en la formación **Hugin**. Con una profundidad de entre 2,700 y 3,100 metros, su producción inició en 2008 y concluyó en 2016. Las unidades prospectivas están formadas por importantes yacimientos arenosos en secuencias jurásica y cretácica, intercalados con lutitas de buena capacidad sellante. La estructura del campo, influenciada por movimientos de sal y sedimentación marina, presenta desafíos en la conectividad de sus fallas, lo que lo convierte en un caso de estudio ideal para la aplicación de mapas de certidumbre. Esta metodología agilizaría la toma de decisiones y facilitaría la selección de pozos clave, garantizando una mayor confiabilidad en la construcción de modelos geológicos y petrofísicos.



**Figura #1.** Columna Geológica del Estudio.

## Antecedentes:

La escasa bibliografía sobre la elaboración de mapas de certidumbre y la metodología implementada para su generación hace de este flujo de trabajo propuesto por el grupo técnico de Inter-Rock, algo muy relevante, debido a la experiencia acumulada en este tema y al tiempo invertido en la documentación de esta materia. Por ello, la publicación de este trabajo será una referencia importante en el futuro, como herramienta innovadora para el uso y la optimización de la

información, basándose en su cantidad y calidad, en estudios integrados de yacimientos. Desde su fundación en 2003, Inter-Rock ha incorporado información clasificada en informes de proyectos anteriores en una base de datos organizada y optimizada, donde se considera la cantidad y calidad de los datos disponibles para la elaboración de mapas de certidumbre, utilizando principalmente datos de registros de pozos, análisis de núcleos, datos de producción e informes técnicos.

Los mapas de certidumbre se basan fundamentalmente en la cantidad y calidad de la información, lo que permite representar, según escalas predeterminadas, la variación en la certidumbre de los datos disponibles para un área de estudio. Los mapas de certidumbre se generan mediante una matriz donde los datos se ponderan en función de los objetivos principales del estudio para el que se utilizarán. En el caso de estudios geológicos o de yacimientos, las principales fuentes de información son los datos de registros de pozos, las muestras de roca, los datos de producción y los estudios previos realizados en el área de interés. (Quaglia, A., 2004)

#### Metodología de trabajo:

Debido a que los mapas de certidumbre han sido creados para utilización de carácter interno por grupos de investigación como el grupo técnico de Inter-Rock, patrocinante de este trabajo, resulta en un temapoco compartido y publicado. Esto cataloga esta investigación como exploratoria, ya que está orientada a diseñar una metodología para la construcción de mapas de certidumbre, mediante la creación de una matriz conformada por diversas categorías de información como datos de registros de pozos, análisis de núcleos, datos de producción e informes técnicos. Tras un riguroso inventario, la metodología propuesta consta de las siguientes actividades principales:

1. Clasificación de las categorías de información y la cantidad de datos disponibles a partir de los cuales se generan los mapas de certidumbre.
2. Establecer los criterios de certidumbre por pozo, formación o yacimiento para los cuales se generarán los mapas de certidumbre correspondientes.
3. Determinación de los parámetros de calidad de la información tomando en cuenta las categorías de datos disponibles.
4. Diseñar una matriz donde se puedan asignar los valores de ponderación y la calificación correspondiente a cada dato de cada categoría, en función de su cantidad, calidad, tipo y objetivos de cada estudio.
5. Generar mapas de certidumbre por pozo/formación/yacimiento; a partir de la matriz de certidumbre total, en función de la cantidad y calidad de los datos disponibles.
6. Clasificar los pozos según la puntuación obtenida en la matriz de certidumbre, según los criterios aplicados y la distribución del área, con el fin de seleccionar los pozos clave para los modelos geológicos y petrofísicos en Estudios Integrados de Yacimientos.
7. Documentar un flujo de trabajo para la generación de mapas de certidumbre, utilizando una matriz ponderada de categorías de información.

Es importante resaltar que para el parámetro de calidad de la categoría de **registros**, la geometría del agujero del pozo representa un factor importante, ya que cada herramienta tendrá una profundidad de investigación específica en el pozo de registro. Esta puede verse afectada en mayor o menor medida, resultando en datos alterados, directamente proporcionales a la(s) sección(es) del pozo defectuoso. Para la categoría de **núcleos**, el informe del protocolo de gestión de núcleos proporciona el soporte necesario para gestionar la fiabilidad y credibilidad de los datos de núcleos disponibles. Para ello, cabe mencionar los principales factores que afectan a los datos de núcleos: Métodos de extracción de muestras, Alteración de la mojabilidad, Daño a la arcilla, Evaluación de la porosidad, Compresibilidad del volumen de poros, Manejo y gestión en el laboratorio e informes de laboratorio. Para la categoría de **producción**, se aprovecha al máximo la experiencia del intérprete al analizar los datos disponibles, considerando si las pruebas iniciales se realizaron correctamente, en qué momento de la vida del campo se realizaron los análisis PVT, y si el muestreo de agua y los análisis fisicoquímicos cumplen con los protocolos.

Específicamente para este trabajo, a cada categoría de datos (registros, núcleos y producción) se le asigna un peso según el tipo de proyecto. Asimismo, en la hoja de Certidumbre Total del Pozo, en la columna "Certidumbre Total", se asignan valores porcentuales de peso a cada una de las tres categorías según el proyecto, de modo que la suma resulte en el 100 %. Además, para esta investigación, se establecieron dos tipos de proyectos: uno para petrofísica y otro para geociencias. Estos pesos se asignaron con la asesoría de profesionales experimentados de la consultora Inter-Rock. Tanto para el proyecto petrofísico como para el de geociencias, los valores porcentuales resultantes que representa cada categoría para el cálculo de la certidumbre total se muestran en las **tablas 1 y 2**. Estos pesos porcentuales se consideran variables o "modificables" según la naturaleza de cada proyecto, siempre con base en un consenso multidisciplinario. Las ponderaciones asignadas y los resultados de certidumbre por ítem dentro de cada categoría se muestran en las tablas de datos para registros, núcleos y producción respectivamente. Si el pozo cuenta con los datos mencionados, se ingresa el valor entero designado; en su ausencia, se deja en blanco.

| WELL       | FIELD | TOP  | BASE | THICKNESS | BOTTOM X  | BOTTOM Y   | LOGS  | CORES | PRODUCTION | TOTAL CERTAINTY |
|------------|-------|------|------|-----------|-----------|------------|-------|-------|------------|-----------------|
| 19 A       | VOLVE | 3900 | 4125 | 525       | 434890.64 | 6478116.29 | 44.25 | 51    | 33         | 52.04           |
| 19 B & BT2 | VOLVE | 3100 | 4250 | 1150      | 434005.75 | 6478128.95 | 62.72 | 38.7  | 30         | 58.73           |
| 19 S & SR  | VOLVE | 3300 | 3510 | 1810      | 432089.81 | 6478054.56 | 47.96 | 46    | 45         | 46.30           |
| F-1        | VOLVE | 200  | 3910 | 3410      | 434826.87 | 6478468.94 | 59    | 0     | 54         | 55.10           |
| F-1 A      | VOLVE | 200  | 3700 | 3500      | 434890.63 | 6478433.95 | 45    | 0     | 30         | 35.75           |
| F-1 B      | VOLVE | 200  | 3650 | 3450      | 435451.85 | 6478290.76 | 58    | 0     | 30         | 40.30           |
| F-1 C      | VOLVE | 200  | 4100 | 3600      | 435584.59 | 6478496.93 | 54    | 0     | 30         | 38.90           |
| F-4        | VOLVE | 200  | 3900 | 3800      | 435653.83 | 6477677.55 | 55    | 0     | 30         | 42.75           |
| F-5        | VOLVE | 200  | 3900 | 3800      | 436403.37 | 6478703.52 | 55    | 0     | 20         | 27.75           |
| F-7        | VOLVE | 150  | 1090 | 940       | 434870.27 | 6478554.57 | 34    | 0     | 0          | 11.90           |
| F-9        | VOLVE | 150  | 1090 | 940       | 435134.04 | 6478577.55 | 33    | 0     | 0          | 10.90           |
| F-9 A      | VOLVE | 425  | 1205 | 780       | 434890.84 | 6478116.29 | 34    | 0     | 0          | 11.90           |
| F-10       | VOLVE | 200  | 3300 | 5100      | 437989.58 | 6476538.58 | 51    | 0     | 30         | 32.85           |
| F-11       | VOLVE | 150  | 390  | 230       | 435048.59 | 6478596.82 | 30    | 0     | 0          | 10.90           |
| F-11 A     | VOLVE | 200  | 3790 | 3590      | 435347.13 | 6478268.32 | 38    | 0     | 30         | 35.30           |
| F-11 B     | VOLVE | 200  | 4750 | 4550      | 436551.04 | 6478395.76 | 53    | 0     | 20         | 22.25           |
| F-11 T2    | VOLVE | 200  | 4900 | 4700      | 436161.11 | 6478140.84 | 60.6  | 0     | 30         | 36.28           |
| F-12       | VOLVE | 250  | 3900 | 3650      | 435335.43 | 6478201.68 | 62.89 | 0     | 30         | 42.28           |
| F-14       | VOLVE | 150  | 3710 | 3560      | 436028.64 | 6478876.44 | 70    | 0     | 30         | 44.30           |
| F-15       | VOLVE | 200  | 4100 | 3600      | 434106.23 | 6476755.50 | 71    | 0     | 30         | 28.95           |
| F-15 A     | VOLVE | 200  | 4100 | 3600      | 433807.93 | 6478045.88 | 53    | 0     | 30         | 35.35           |
| F-15 B     | VOLVE | 1400 | 3900 | 2100      | 434312.59 | 6477890.22 | 55    | 0     | 30         | 37.75           |
| F-15 C     | VOLVE | 2990 | 3290 | 690       | 434791.85 | 6477854.38 | 51    | 0     | 30         | 37.85           |
| F-15 D     | VOLVE | 3000 | 4700 | 1700      | 436649.73 | 6478716.25 | 55    | 0     | 20         | 24.60           |

**TABLA #1.** Matriz de Certidumbre Total resultante. Proyecto Petrofísico.

| WELL       | FIELD | TOP  | BASE | THICKNESS | BOTTOM X  | BOTTOM Y   | LOGS  | CORES | PRODUCTION | TOTAL CERTAINTY |
|------------|-------|------|------|-----------|-----------|------------|-------|-------|------------|-----------------|
| 19 A       | VOLVE | 3500 | 4125 | 625       | 434980.94 | 6478116.25 | 32.2  | 44    | 40         | 42.68           |
| 19 B & BT2 | VOLVE | 3100 | 4250 | 1150      | 434005.75 | 6478128.95 | 52    | 25.2  | 75         | 47.39           |
| 19 S & SR  | VOLVE | 3200 | 4610 | 1410      | 432089.81 | 6479084.56 | 45.6  | 22    | 50         | 35.64           |
| F-1        | VOLVE | 200  | 3810 | 3610      | 434926.97 | 6479468.94 | 49    | 0     | 54         | 27.70           |
| F-1 A      | VOLVE | 200  | 3700 | 3500      | 434690.53 | 6479433.95 | 40    | 0     | 60         | 25.00           |
| F-1 B      | VOLVE | 200  | 3600 | 3400      | 435451.85 | 6479290.76 | 62    | 0     | 85         | 37.55           |
| F-1 C      | VOLVE | 200  | 4100 | 3900      | 435584.59 | 6479486.93 | 64    | 0     | 85         | 39.35           |
| F-4        | VOLVE | 200  | 3800 | 3600      | 435653.93 | 6477677.55 | 68    | 0     | 85         | 32.95           |
| F-5        | VOLVE | 200  | 3800 | 3600      | 436403.37 | 6478703.52 | 68    | 0     | 25         | 32.95           |
| F-7        | VOLVE | 150  | 1090 | 940       | 434970.27 | 6478554.57 | 46    | 0     | 0          | 19.60           |
| F-9        | VOLVE | 150  | 1090 | 940       | 435134.04 | 6478577.55 | 43    | 0     | 0          | 17.20           |
| F-9 A      | VOLVE | 425  | 1205 | 780       | 434980.94 | 6478116.25 | 46    | 0     | 0          | 12.40           |
| F-10       | VOLVE | 200  | 5300 | 5100      | 437989.58 | 6476538.58 | 59    | 0     | 60         | 32.60           |
| F-11       | VOLVE | 150  | 290  | 240       | 435048.59 | 6478566.82 | 43    | 0     | 0          | 17.20           |
| F-11 A     | VOLVE | 200  | 3750 | 3550      | 435347.13 | 6479269.32 | 62    | 0     | 60         | 32.80           |
| F-11 B     | VOLVE | 200  | 4750 | 4550      | 436551.04 | 6478359.76 | 59    | 0     | 60         | 32.60           |
| F-11 T2    | VOLVE | 200  | 4500 | 4300      | 436161.11 | 6479140.84 | 63.65 | 0     | 60         | 34.65           |
| F-12       | VOLVE | 200  | 3600 | 3400      | 435335.43 | 6478201.68 | 65.65 | 0     | 85         | 39.97           |
| F-14       | VOLVE | 150  | 3710 | 3560      | 436028.84 | 6478876.44 | 80    | 0     | 85         | 44.75           |
| F-15       | VOLVE | 200  | 4100 | 3900      | 434105.23 | 6476759.50 | 76    | 0     | 60         | 32.40           |
| F-15 A     | VOLVE | 200  | 4100 | 3900      | 433807.93 | 6478045.88 | 57    | 0     | 60         | 31.80           |
| F-15 B     | VOLVE | 1400 | 3600 | 2100      | 434312.59 | 6477860.22 | 68    | 0     | 60         | 36.20           |
| F-15 C     | VOLVE | 2580 | 3220 | 660       | 434791.85 | 6477854.38 | 56    | 0     | 85         | 35.15           |
| F-15 D     | VOLVE | 3000 | 4700 | 1700      | 436549.73 | 6478716.25 | 62    | 0     | 25         | 28.55           |

TABLA #2. Matriz de Certidumbre Total resultante. Proyecto Geociencias.

Discusión de Resultados:

Para este trabajo, se consideraron dos casos de estudio: un proyecto petrofísico y un proyecto geológico. De esta manera, tras la generación de los mapas de certidumbre, fue posible no solo diferenciarlos, sino también demostrar la eficacia de esta herramienta. En ambos casos, se utilizaron las mismas categorías de información y parámetros de calidad para cada tipo de información; la diferencia radica en la ponderación asignada a cada dato según el tipo de estudio y a como influiría cada ítem en la naturaleza de cada investigación. En estas circunstancias, la ponderación asignada fue lo más fiel posible a las características de los casos de estudio.

Las diferencias en los mapas de certidumbre resultantes para cada categoría, y entre los mapas de certidumbre total para cada caso de estudio, se deben a los objetivos específicos de ambas disciplinas: la petrofísica y la geología. Figuras 2 y 3.

Los mapas de certidumbre también pueden utilizarse en el diagnóstico temprano del potencial de hidrocarburos y en la evaluación de prospectos, además de servir como guía para mostrar dónde se encuentran disponibles los datos de mejor calidad y cantidad en un campo. Sin duda, brindarán la oportunidad de ahorrar y, en muchos casos, evitar pérdidas. Los mapas de certidumbre son especialmente útiles en el desarrollo de proyectos para campos muy grandes y presupuestos limitados, ya que funcionan como una herramienta para optimizar el tiempo y la inversión. Es posible localizar pozos o áreas donde la cantidad y calidad de informaciones mayor o menor, según el caso, los objetivos específicos y el tipo de estudio realizado, para identificar qué áreas del campo no representan una buena perspectiva o podrían requerir una inversión adicional para la captura de datos.

El flujo de trabajo de los mapas de certidumbre se puede resumir comenzando con un inventario general de la información disponible, seguido del análisis y establecimiento de las categorías de información y los criterios de clasificación de los datos disponibles, determinando los parámetros de cantidad y calidad para cada categoría y estableciendo los criterios de aplicación

correspondientes para cada parámetro. Finalmente, se crea una matriz ponderada para la calificación correspondiente de cantidad, calidad y tipo de estudio; seguida de los mapas de certidumbre para cada categoría de información y la certidumbre total según el tipo de estudio, y finalizando con la clasificación de los pozos clave con base en las puntuaciones obtenidas a lo largo de todo el proceso. Evidentemente, en este procedimiento de generación de mapas de certidumbre, es posible comprobar que este flujo de trabajo es 100 % compatible con el aprendizaje automático. La inteligencia artificial, mediante aprendizaje automático, podría incluso, sin duda, generar numéricamente los pozos clave a partir de un cierto límite de certidumbre, sin necesidad de generar los mapas. Sin embargo, conocer la ubicación de los pozos o las zonas de yacimiento con mayor o menor certidumbre es tan importante como la propia clasificación de pozos o yacimientos según las zonas más favorables o desfavorables, y la mejor o peor calidad de la información. Por ello, los mapas son esenciales para determinar la ubicación y las razones de las variaciones de certidumbre. En un proyecto como este, la ubicación geográfica de los pozos representa un factor crítico.

Se recomienda promover la implementación de mapas de certidumbre como una valiosa herramienta de diagnóstico de los datos disponibles antes de la ejecución de cualquier estudio integrado de yacimientos. Este procedimiento permitirá mejorar la planificación para la captura de datos nuevos y faltantes. Obviamente, la participación de profesionales experimentados en equipos multidisciplinarios sería pertinente para asignar ponderaciones a las categorías y subcategorías de información en las matrices correspondientes para la generación de mapas de certidumbre según la naturaleza del estudio. Tener la posibilidad y la capacidad de seleccionar los pozos clave para estudios integrados de yacimientos generaría resultados sólidos y modelos más fiables.

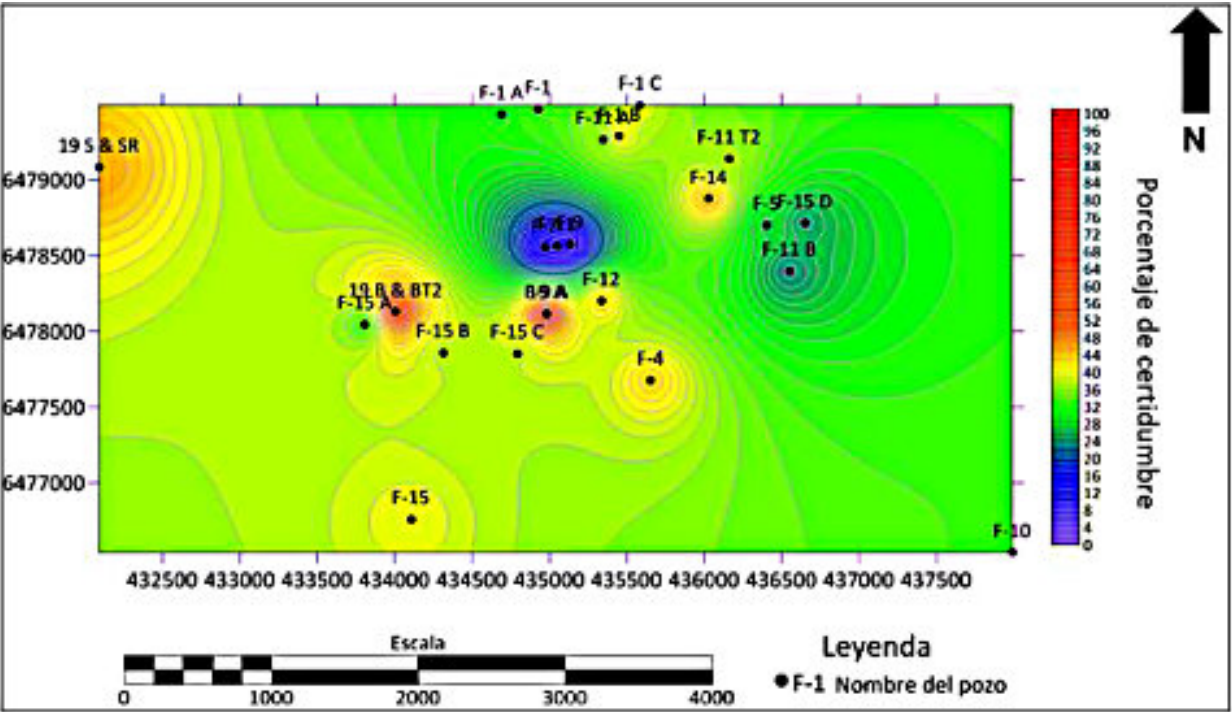
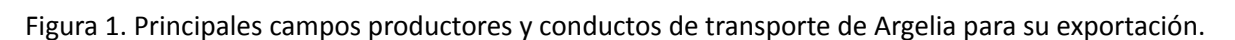


Figura 2. Mapa de Certidumbre Total. Campo Volve. Proyecto Petrofísico.



Udemy. (2020). **CARTOGRAPHY AND MAPPING WITH SURFER** [Cartografía y mapeo con *Surfer*]. 15 de mayo de 2022 de: <https://www.udemy.com/course/cartography-and-mapping-with-golden-software-surfer/>

vital importancia para gran parte de la unión europea, especialmente para Italia, España y Francia (Figura 1). Desde el punto de vista geológico, Argelia comprende más de dos mil millones de años de evolución tectónica y sedimentaria que ha generado una serie de cuencas sedimentarias y estructuras que albergan algunos de los sistemas petroleros más prolíficos del continente. Comprender cómo se formaron estas cuencas y cómo los procesos tectónicos, climáticos y sedimentarios interactuaron a lo largo de las eras es clave para entender por qué Argelia es hoy un productor líder de hidrocarburos.



Las cuencas productoras de Argelia se localizan en el dominio sahariano, un vasto territorio conformado por un basamento precámbrico recubierto por espesos sedimentos del Paleozoico y Mesozoico. A lo largo de la historia geológica, sucesivas fases extensivas y

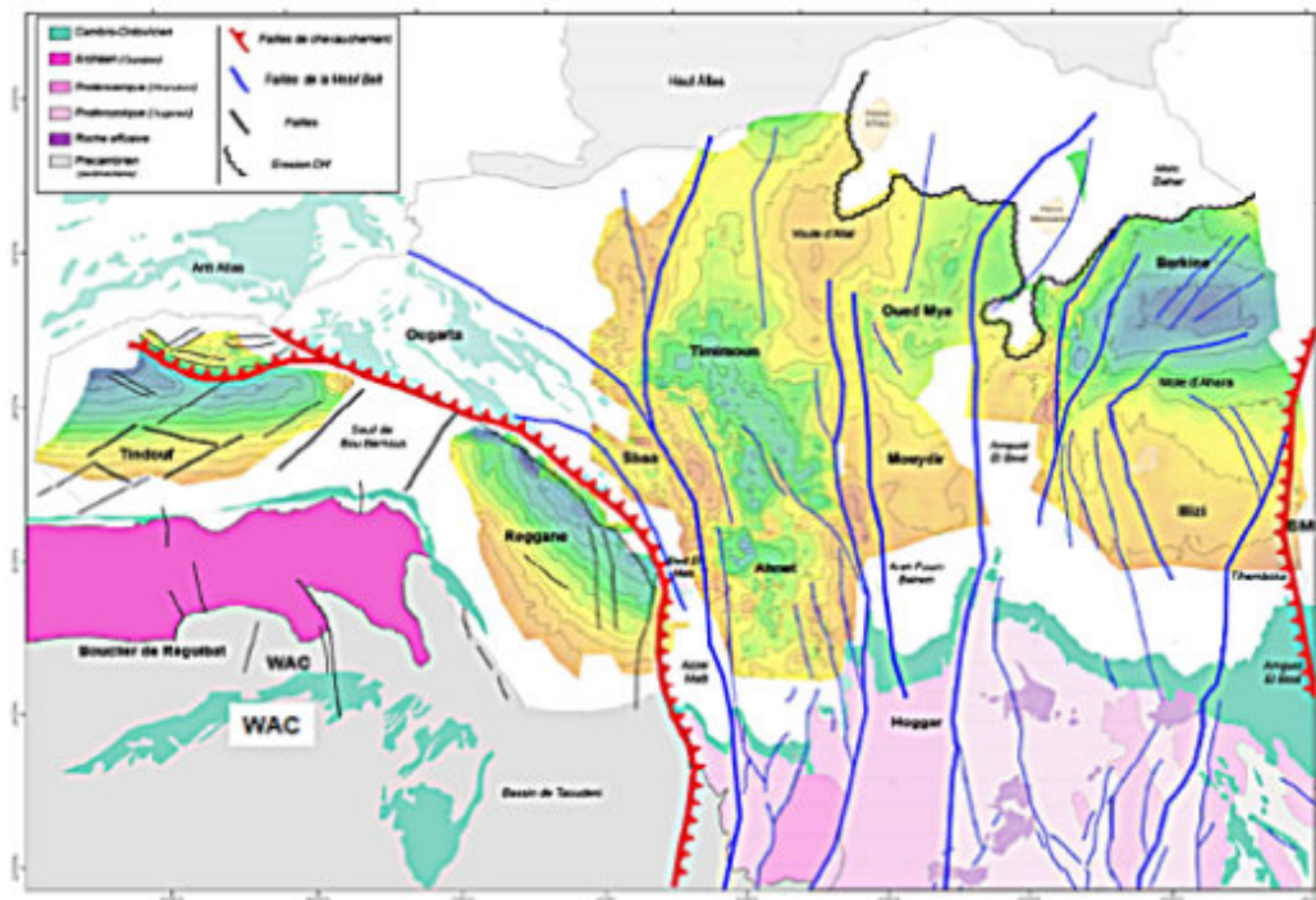


Figura 2. Mapa con los elementos estructurales principales de las diferentes cuencas del Sahara argelino, inmediatamente al sur del Atlas (Fuente: web de Alnaft en colaboración con Beicip-Franlab).

compresivas generaron un conjunto de cuencas intracráticas y pericráticas, separadas por elevados estructurales.

Las principales cuencas argelinas, Timimoun, Ahnet, Sbaa, Mouydir, Béchar/Abadla y parte de Oued Mya, forman parte de un sistema petrolero de gran extensión, con sedimentos generadores clave del Silúrico y del Devónico medio a superior (Figura 3).

Este contexto estratigráfico explica la existencia de múltiples sistemas petroleros en el Sahara argelino. Estos sistemas petroleros se pueden agrupar en cuatro “geo-regiones” saharianas que albergan estas cuencas:

Cuencas pericráticas (Tindouf, Reggane, Sbaa). El Tindouf, por ejemplo, acumuló hasta 8 km de sedimentos desde el Cámbrico hasta el Carbonífero, con potencial aún poco explorado. Estas cuencas, localizadas en los bordes del Cratón Oeste Africano, tienen espesores extremos y relieves estructurales derivados de la orogenia hercínica.

Cuencas intracráticas (Ahnet, Timimoun, Oued Mya, Mouydir, Illizi, Berkine). En regiones como Ahnet y Mouydir se ha documentado un desarrollo complejo tipo *basin and range* del Devónico medio-superior, con condiciones anóxicas intermitentes que favorecieron la formación de rocas madre. En Oued Mya se localiza el campo de Hassi R'Mel, supergigante gasífero alojado en areniscas triásicas bajo un sello evaporítico. Illizi, con unos 100.000 km<sup>2</sup> de extensión, contiene acumulaciones significativas de gas y condensado, mientras que Berkine es una de las cuencas más prolíficas del Sahara por sus reservorios triásicos y paleozoicos cubiertos por evaporitas triásico-liásicas.

Amguid–Messaoud. Alberga el campo gigante de Hassi Messaoud, cuya producción se concentra en areniscas y cuarcitas cámbricas, además de potencial adicional en formaciones ordovícicas.

Bechar–Abadla. Una cuenca paleozoica muy subsidente, con potentes depósitos carboníferos y deformaciones

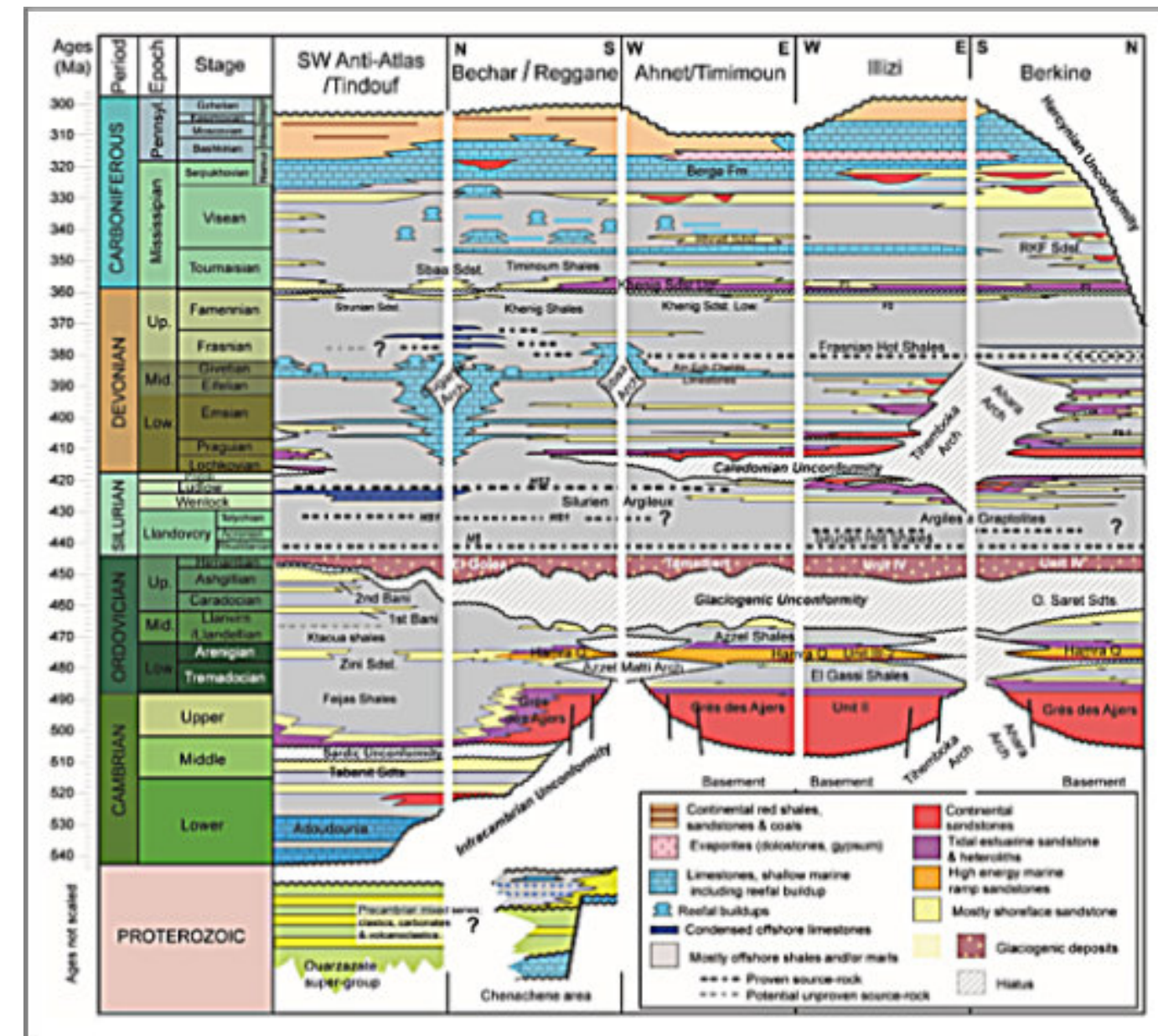


Figura 3. Tabla cronoestratigráfica de las cuencas del Sahara Argelino (Fuente: web de Alnaft).

hercínicas, cubierta por sedimentos mesozoicos de carácter evaporítico.

#### Pasado, presente y futuro del potencial argelino

La exploración de hidrocarburos en el Sahara argelino comenzó a inicios de los años 50, especialmente cerca de Hassi R'Mel (ver en el centro del mapa de la Figura 1). El primer pozo relevante registró indicios en areniscas triásicas, lo que motivó la realización de estudios sísmicos y nuevas perforaciones. En 1956–57 se descubrió el

gigantesco campo de gas de Hassi R'Mel, y la producción comenzó en 1961.

Se estima que las reservas recuperables del campo ascienden a unos 2.415 billones de metros cúbicos, equivalentes a aproximadamente 90 Tcf (trillones de pies cúbicos). Además, un campo adyacente podría contener entre 3,5 y 12 Tcf adicionales. Hassi R'Mel es, además, una de las principales fuentes del gas argelino exportado y conecta con Europa (España, Italia...) mediante importantes gasoductos como el Magreb-Europa, Trans-Mediterráneo, Medgaz y Galsi.

También se han identificado volúmenes significativos de condensado asociado y un “oil rim” con reservas estimadas en hasta 1.000 millones de barriles de crudo ligero. Décadas después de su descubrimiento, Hassi R'Mel sigue siendo un eje estratégico para Sonatrach y para la producción nacional. Se calcula que las reservas restantes probadas rondan el 30 % de las recuperables inicialmente, y proyectos recientes de compresión han permitido estabilizar la producción.

El hallazgo de Hassi R'Mel movilizó la exploración hacia zonas vecinas como Berkine, Oued Mya e Illizi, perforándose decenas de pozos en las décadas siguientes, con hallazgos en reservorios triásicos, devónicos, carboníferos y jurásicos; sin embargo, ninguno alcanzó la escala de Hassi R'Mel.

Sonatrach, la empresa estatal argelina, ha intensificado la exploración mediante sísmica 3D y un mayor número de pozos exploratorios, aunque la densidad media de perforación sigue siendo baja, lo que indica que existe un margen considerable para nuevos descubrimientos. En áreas de exploración relativamente reciente, como el Benoud Trough, se han identificado sistemas productivos en carbonatos jurásicos que abren la posibilidad de nuevas opciones exploratorias. En la cuenca de Berkine, recientemente se han puesto en marcha proyectos de desarrollo en asociación con empresas internacionales,

que contemplan importantes inversiones y volúmenes de producción estimados en cientos de millones de barriles equivalentes de petróleo. Estos acuerdos confirman que la industria global continúa apostando por el potencial de las cuencas saharianas.

Se puede concluir que la extensión y el número de cuencas productoras de Argelia respaldan su capacidad para incrementar su producción en el futuro. El gas argelino se perfila fundamental para la seguridad energética europea en las próximas décadas. La proximidad geográfica, la infraestructura de gasoductos existente y las reservas probadas del Sahara argelino sitúan a Argelia como un proveedor estratégico en un contexto de transición energética europea. Este es un escenario donde el gas natural actúa como combustible de respaldo para la integración de energías renovables. El papel de Argelia se vuelve particularmente relevante debido la flexibilidad y estabilidad de los sistemas eléctricos europeos. Además de la generación de electricidad, el gas argelino sostiene a sectores industriales clave, como la petroquímica, la siderurgia o la producción de fertilizantes, que requieren un suministro seguro. En este sentido, Argelia no solo aporta hidrocarburos al mercado europeo, sino que también aspira a consolidarse como un socio estratégico principal en la diversificación de fuentes energéticas, reduciendo la dependencia de otros productores menos

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](mailto:r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk)



**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, México, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en

## FÓSILES URBANOS: LAS CIUDADES COMO CANTERAS GEOLÓGICAS

**Jesús S. Porras M.**

Geólogo Consultor ([porrasjs@yahoo.com](mailto:porrasjs@yahoo.com))



### Introducción

Las ciudades, comúnmente percibidas como entornos inertes y artificiales, no solo albergan sistemas vivos y dinámicos, sino que también resguardan, en sus edificios, monumentos y espacios públicos, un valioso registro fósil, testimonio de antiguos ecosistemas y procesos geológicos del pasado. Muchos de los materiales pétreos que configuran el paisaje urbano, extraídos de canteras, afloramientos y formaciones geológicas, conservan huellas de organismos que habitaron la Tierra hace millones de años.

Esta presencia inadvertida y silenciosa de fósiles en la arquitectura convierte a las ciudades en auténticas “canteras urbanas”, donde el pasado geológico se hace visible en fachadas, pavimentos, escaleras y ornamentos y donde cada fósil es una ventana que conecta la historia natural con el desarrollo e identidad de las sociedades. Representan, los fósiles, un vestigio del pasado que trasciende el tiempo y enriquece el patrimonio de la comunidad.

El estudio de los fósiles urbanos permite no solo conocer el origen y la historia de las rocas utilizadas en la construcción, sino también promover la valoración del patrimonio geológico y su integración en las estrategias de

conservación, divulgación y educación. Este enfoque multidisciplinario, que vincula la geología, la paleontología, la arquitectura y la gestión patrimonial, revela que las ciudades no solo son espacios de modernidad, sino también espacios al aire libre donde el pasado geológico sigue presente y accesible y, en muchos casos, desapercibido.

Reconocer y valorar este patrimonio geológico oculto en el entorno edificado es fundamental para comprender cómo la historia natural se integra en la vida urbana. Este trabajo propone un recorrido por ese patrimonio fósil, abordando su origen, características, distribución y su relevancia científica, educativa y cultural como parte integral de la memoria colectiva de las ciudades. Se define con mayor precisión qué entendemos por fósiles urbanos, cuáles son sus características y cómo se manifiestan en el paisaje arquitectónico de las ciudades.

### ¿Que son los fósiles urbanos?

Se entiende por fósiles urbanos a los restos, moldes o huellas de organismos que vivieron en el pasado geológico y que hoy se encuentran integrados en el entorno urbano. Se localizan principalmente en rocas ornamentales, mayoritariamente sedimentarias, utilizadas en fachadas, pavimentos, escaleras, monumentos, columnas y otros

elementos que conforman el paisaje arquitectónico (Padula y Lazo, 2021; Porras, 2023, 2024).

Estos fósiles no son originarios del lugar donde se asienta la ciudad, sino que provienen de rocas extraídas de canteras, ubicadas a decenas, cientos o incluso miles de kilómetros de distancia. Es habitual encontrar edificios revestidos con losas fosilíferas obtenidas a partir de rocas provenientes de otros países o de regiones geográficamente muy alejadas. Según Quintana (2013), al encontrarse fuera de su contexto geológico original, los fósiles urbanos carecen de valor estratigráfico y sedimentológico preciso, lo que limita su utilidad en estudios científicos formales para la determinación de la edad, posición estratigráfica y contexto sedimentológico, paleogeográfico y paleoambiental en los que se formaron.

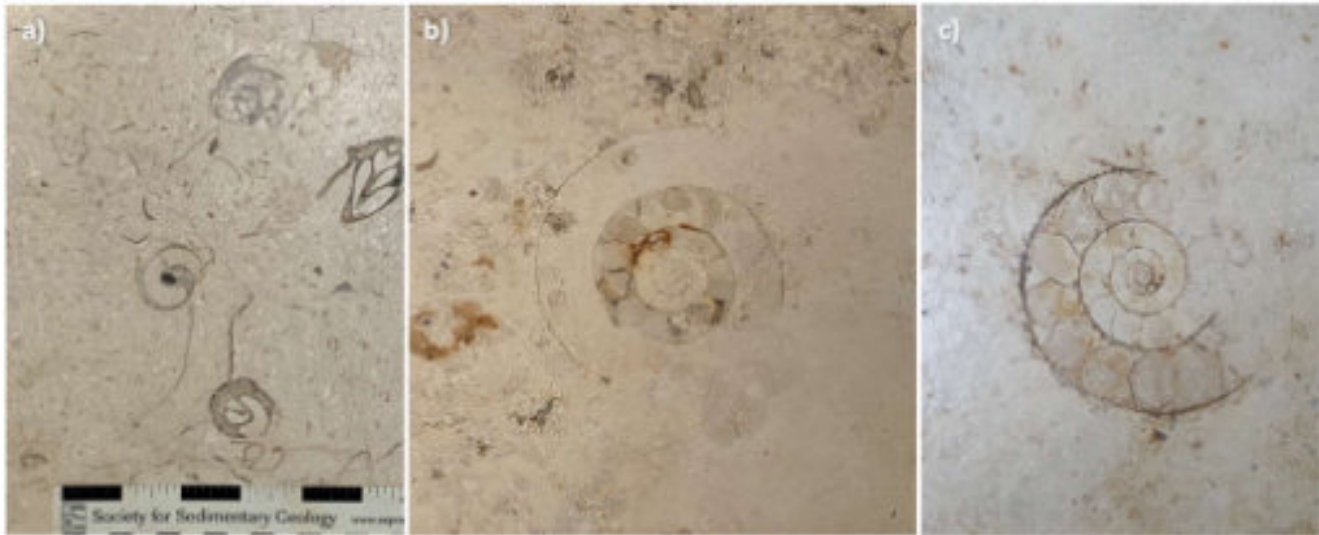


Figura 1. Fósiles en losas marmóreas de diferentes zonas de la ciudad de Buenos Aires: a) gastrópodos y bivalvos en pisos del DOT Shopping b) ammonoideos en pared de edificio residencial de Belgrano c) ammonoideos en baldosas de piso de edificio residencial de Puerto Madero (Foto J. Porras).

Además de su función constructiva y ornamental, estas rocas representan una forma accesible de patrimonio geológico y paleontológico, visible a simple vista en el espacio urbano.

#### Origen de los fósiles urbanos

Los fósiles presentes en materiales pétreos urbanos provienen mayoritariamente de rocas sedimentarias formadas en antiguos ambientes marinos: plataformas carbonáticas, arrecifes, lagunas someras y fondos oceánicos, donde las condiciones eran óptimas para la fosilización. Son menos frecuentes los fósiles procedentes

Sin embargo, esta descontextualización no disminuye su valor patrimonial, educativo y divulgativo.

Los fósiles urbanos más comunes corresponden a restos, moldes o impresiones de organismos marinos como corales, amonites, bivalvos, braquiópodos, crinoideos y trilobites, así como restos vegetales y microfósiles. También son frecuentes las estructuras sedimentarias biogénicas o icnofósiles, como perforaciones, huellas, galerías y madrigueras.

Estos fósiles suelen identificarse y conservarse principalmente en rocas sedimentarias utilizadas en la arquitectura urbana, tales como calizas, mármoles (calizas recristalizadas), areniscas, cuarcitas, travertinos y conglomerados.

de ambientes continentales (fluviales, lacustres o costeros), que suelen limitarse a microfósiles, icnofósiles o impresiones vegetales.

Estas rocas fosilíferas, son posteriormente extraídas de canteras tanto locales como remotas, incluyendo, en muchos casos, regiones situadas a cientos o miles de kilómetros de distancia, e incluso de otros países. Tras su extracción, son transportadas, cortadas, pulidas y empleadas como materiales ornamentales y de construcción en entornos urbanos como revestimientos de fachadas, pisos, paredes, elementos escultóricos,

monumentos y diversas estructuras arquitectónicas, y en la pavimentación de calles, caminerías y aceras.

De este modo, los fósiles, originalmente generados en contextos naturales muy diferentes, pasan a formar parte

del paisaje construido. Es esta incorporación no intencionada en el entorno urbano lo que da origen al concepto de "fósiles urbanos" ya que su condición urbana deriva de su presencia visible en los espacios públicos.



Figura 2. a) Caliza bioclástica en muro de residencia de Fredericksburg, Tx b) Losa de banco de piedra caliza conchífera (Cordova Shell Limestone) con múltiples moldes de *Trigonina*, Houston, Tx c) Fragmentos de madera petrificada dispuestos como elemento ornamental y de construcción en edificación de Glen Rose, Tx d) Caliza conchífera con moldes de turritelas y bivalvos de los géneros *Trigonina* y *Exogyra* sp. en bloques de paredes del Memorial Drive Presbyterian Church, Houston, Tx. (Foto J. Porras).

Tabla 1. Fósiles Comunes en Entornos Urbanos

| Tipo de fósil        | Descripción                                                                | Ejemplos                                                                                            |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Somatofósiles        | Restos directos de organismos, principalmente partes duras.                | Amonites, bivalvos, gastrópodos, corales, braquiópodos, crinoideos, trilobites, vértebras de peces. |
| Icnofósiles          | Huellas de actividad biológica preservada en el sedimento.                 | Huellas, rastros, galerías, madrigueras, perforaciones, huellas de dinosaurios (excepcionales).     |
| Microfósiles         | Restos microscópicos de organismos.                                        | Foraminíferos, radiolarios, ostrácodos, nanofósiles calcáreos.                                      |
| Fósiles vegetales    | Impresiones o moldes de partes de plantas.                                 | Hojas, tallos, moldes de raíces, musgos y algas (en travertinos).                                   |
| Impresiones fantasma | Contornos difusos de fósiles eliminados por recristalización o disolución. | Sombras de conchas, ammonites o corales en mármoles y calizas recristalizadas.                      |

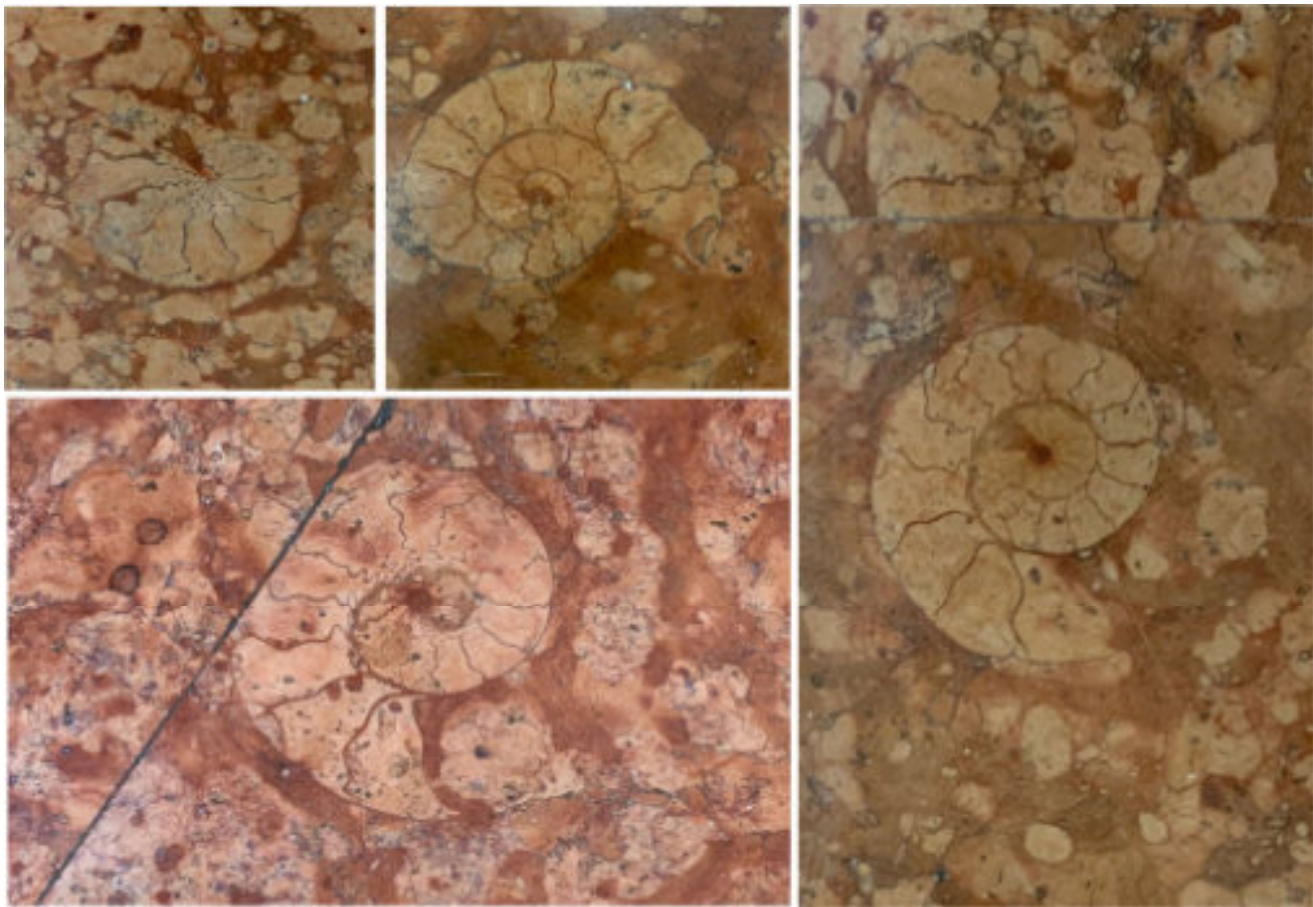


Figura 3. Ammonites y Nautiloideos en losas de caliza Rosso Ammonítico del piso del lobby del Hotel Tequendama, Bogotá, Colombia (Foto J. Porras).

**Rocas ornamentales y potencial fosilífero**

Las rocas ornamentales poseen características propias que condicionan la preservación de los fósiles. Su capacidad fosilífera depende tanto del ambiente de formación de la roca como de procesos geológicos posteriores (compactación, diagénesis, metamorfismo, recristalización) y del tratamiento industrial aplicado (esculpido, pulido, corte). También depende del estado de conservación y exposición en el entorno urbano, factor que puede acentuar o borrar la presencia de fósiles (Carrillo y Gisbert, 1993).

**Rocas sedimentarias**

Son las que presentan mayor abundancia y diversidad de fósiles. Se formaron en ambientes marinos, lacustres, fluviales o costeros mediante la acumulación de sedimentos y restos orgánicos. En este grupo se incluyen:

-Calizas fosilíferas y arrecifales: formadas en plataformas marinas someras, arrecifes o lagunas, son las más ricas en

fósiles visibles. Contienen corales, bivalvos, braquiópodos, crinoideos, amonites, belemnites, etc.

-Calizas micríticas y margas: originadas en ambientes marinos más profundos, contienen principalmente microfósiles como foraminíferos y radiolarios. Algunas variedades nodulares pueden contener amonites.

-Areniscas: preservan principalmente icnofósiles (huellas, galerías) e impresiones vegetales.

-Travertinos: rocas carbonáticas de origen continental, con moldes de vegetación, algas y microorganismos.

-Conglomerados: ocasionalmente conservan fósiles redepositados o fragmentados.

**Rocas metamórficas (Mármoles)**

Los mármoles, o calizas metamorizadas, pierden casi totalmente su contenido fósil por recristalización, por lo

que los fósiles en mármoles son extremadamente escasos o inexistentes. Solo pueden reconocerse impresiones muy tenues y poco definidas, conocidas como “impresiones fantasmas” (Carrillo & Gisbert, 1993).

Tabla 2. Rocas ornamentales, origen geológico y potencial fosilífero

| Tipo de Roca                | Origen geológico / Ambiente de formación                               | Potencial fosilífero                                                 |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Calizas fosilíferas         | Plataformas carbonatadas someras, lagunas marinas, arrecifes           | Muy alto: conchas, corales, crinoideos, bivalvos, ammonites          |
| Calizas arrecifales         | Arrecifes coralinos fósiles                                            | Alto: corales, briozoos, esponjas, crinoideos                        |
| Calizas micríticas / margas | Fondos marinos profundos (pelágicos)                                   | Medio: microfósiles (foraminíferos, radiolarios), ammonites          |
| Areniscas                   | Ambientes costeros, marinos someros o fluviales                        | Variable: icnofósiles (huellas, galerías), impresiones vegetales     |
| Conglomerados               | Ambientes de alta energía (playas, ríos, taludes submarinos)           | Bajo: fósiles redepositados, fragmentados                            |
| Travertinos                 | Ambientes continentales (manantiales, aguas termales)                  | Medio: moldes de raíces, vegetación, algas, microorganismos          |
| Mármoles                    | Calizas metamorizadas (pérdida del ambiente original por metamorfismo) | Muy bajo: fósiles destruidos o transformados en impresiones fantasma |



Figura 4. Losas de pared ornamental del Mirador El Morro, Salinas, Ecuador, elaborada con calizas arenáceas, fosilíferas, bioclásticas y coquinas provenientes de la Formación Tablazo (Pleistoceno Inferior) (Foto J. Porras).

## Abundancia de fósiles

La abundancia y visibilidad de fósiles en el entorno urbano depende de la roca, el tratamiento superficial aplicado a la roca (pulido, corte, desgaste) y la disponibilidad y uso de ciertos materiales pétreos en el mercado de la construcción. Se expresa según la clasificación siguiente:

- Extremadamente raros: visibles solo en casos excepcionales, como improntas de huesos, huellas de dinosaurios, dientes, cráneos, o elementos esqueléticos (costillas, vértebras) de animales superiores, incluidos peces, como los casos que se detallarán más adelante.
- Raros: muy difíciles de encontrar en el entorno construido. Su presencia es excepcional y requiere una búsqueda minuciosa. ej. Amonites en calizas variedad Rosso Ammonítico y Amarillo Siena, y calizas de estromatolitos.
- Poco comunes: son visibles tras una búsqueda cuidadosa en fachadas, pavimentos o interiores. Pueden encontrarse algunos ejemplares dispersos (1-2 especímenes). ej. amonites en calizas tipo Rosso Ammonítico, generalmente poco comunes o raros, según la disponibilidad. Pueden incluirse en este grupo los corales, solitarios o en colonias, equinoideos (erizos de mar), nummulites y crinoideos.
- Comunes: relativamente fáciles de observar en ciertos tipos de rocas ornamentales ampliamente utilizadas en la arquitectura urbana. ej. gastrópodos, braquiópodos y bivalvos en “mármoles” e icnofósiles (galerías, perforaciones), presentes en ciertas areniscas ornamentales.
- Abundantes: forman parte significativa del patrón visual de la piedra. Se encuentran en grandes cantidades en losas, muros o pavimentos. ej. amonites en losas de calizas de revestimientos exteriores y pavimentos, conchas marinas y microfósiles o restos mal preservados, aunque menos perceptibles a simple vista.

Algunos hallazgos destacan por su excepcionalidad, ya sea por la naturaleza del fósil, su tamaño, antigüedad o por lo inusual de su integración en elementos arquitectónicos. Estos casos, considerados extremadamente raros, incluyen restos de vertebrados fósiles, huellas de dinosaurios o grandes moldes esqueléticos cuya presencia en materiales constructivos es altamente inusual. Entre ellos se encuentran los peces fósiles del Devónico, de unos 400

millones de años, impresos en losas de aceras en Glasgow y Edimburgo (Reino Unido), que representan registros biológicos significativamente más antiguos que los dinosaurios (The Telegraph, 2024). Un hallazgo similar corresponde al fósil de un manatí marino del género *Protherium*, datado en 40 millones de años (Eoceno), identificado en losas de calizas del pavimento urbano de Girona (España) (Voss et al., 2019, 2023).

Las conocidas huellas de dinosaurios en las aceras de Greenfield (Massachusetts, EE.UU.), descubiertas en 1935, son otro ejemplo singular. Datadas en el Jurásico (200 millones de años), constituyen un testimonio directo de la actividad biológica del pasado preservado en el espacio urbano (Nash Dinosaur Tracks, 2024). La ciudad de Araraquara (Brasil) constituye un caso singular de paleontología urbana. Desde inicios del siglo XX, se han utilizado lajas de eolianitas de la Formación Botucatu (Cretácico Inferior) para el pavimento de aceras y espacios urbanos. Estas rocas conservan icnofósiles de gran valor, como huellas de invertebrados, mamíferos primitivos y dinosaurios, que hoy se encuentran distribuidos en las aceras de la ciudad (Francischini et al., 2020)

En Zapala (Neuquén, Argentina) se documentó el molde fósil de un hueso de pterosaurio, de aproximadamente 150 millones de años (Jurásico), visible en una laja de caliza utilizada en el pavimento (Quintana, 2013; Diario Río Negro, 2009). Otro hallazgo excepcional es el fósil incrustado en la balaustrada del altar mayor de la Catedral de Vigevano (Italia), que corresponde posiblemente a parte del cráneo de un dinosaurio, incluyendo dientes y lóbulos nasales. Durante siglos permaneció inadvertido y fue inicialmente interpretado como un ictiosaurio (Paleo, 2010).

Más allá de estos casos extremadamente raros, existen ejemplos notables de fósiles más comunes, aunque igualmente valiosos desde una perspectiva patrimonial y uso extensivo. Destaca la “Pedra de Girona”, una caliza numulítica del Eoceno (48-41 millones de años), utilizada ampliamente en construcciones medievales y contemporáneas en Cataluña. Sus superficies exhiben claramente grandes foraminíferos del género Nummulites (Geology is the Way, 2024). Otras variedades europeas destacadas por su valor comercial y patrimonial, aunque poco comunes por la abundancia relativa de fósiles, son las calizas micríticas “Rosso Ammonítico”, de tonalidad rojiza y abundantes amonites, ampliamente utilizadas en revestimientos arquitectónicos, y las calizas arrecifales de

rudistas, conocidas como Rojo Bilbao o caliza de Ereña, del Cretácico del País Vasco, muy apreciadas en la arquitectura histórica por su resistencia y riqueza paleontológica (Porras, 2024).

Un ejemplo emblemático en América es la Caliza Indiana (Bedford limestone o Salem limestone), explotada masivamente entre finales del siglo XIX y mediados del siglo XX en Estados Unidos y Canadá, llegando a representar entre el 60 y el 80% de las edificaciones construidas en ese período. Esta roca del Mississippiano (330 millones de años), llamada erróneamente como “caliza oolítica”, presenta abundantes fósiles de foraminíferos (*Endothyra baileyi*), crinoideos, briozoos, ostrácodos, gastrópodos y braquiópodos, además de icnofósiles y espículas de esponjas (Shaffer, 2019). Según la Indiana Limestone Quarrymen’s Association (1920), se la

definía como una roca conformada por abundantes restos biológicos diminutos, ostras, bivalvos, conchas y caracoles, completos o fragmentados, de textura variable, entre fina y granular.

Otro caso particular es el de Guane (Santander, Colombia), donde los fósiles no forman parte del material constructivo en sí, sino que fueron incorporados como elementos decorativos en plazas, aceras y pisos. Proceden de afloramientos cretácicos cercanos y abarcan principalmente amonites y bivalvos, aunque en la región se han encontrado tortugas marinas, plesiosaurios y restos de dinosaurios.



Figura 5. Amonites diversos, bivalvos, nódulos, concreciones fosilíferas y septarias, incorporados a la decoración de la plaza principal del poblado de Guane, Departamento de Santander, Colombia. A la derecha, detalle.

## Las ciudades como canteras del pasado

Los fósiles más comunes en materiales pétreos urbanos, principalmente calizas y areniscas, son improntas de amonites y conchas marinas, visibles en lajas y losas, tanto pulidas como rústicas. En superficies pulidas, estos moldes

fósiles presentan mayor definición y detalle. De manera más ocasional, los amonites aparecen en calizas nodulares micríticas rojizas, como la variedad “Rosso Ammonítico” (Porras, 2023) o “Giallo di Siena” (Amarillo Siena) (Porras, 2024)



Figura 6. Moldes parciales de ammonites en lajas de calizas litográficas empleadas para pavimentos, caminerías y veredas de la ciudad de Buenos Aires. Las canteras de calizas se localizan por excelencia en Zapala (Neuquén) y en las provincias de Río Negro y La Pampa. El ejemplar de la derecha pudiera ser un *Catutosphinetes rafaeli* (Jurásico Sup) (Foto J. Porras).

También son frecuentes las losas de calizas recristalizadas o marmóreas, comercializadas como “mármoles”, que contienen abundantes fósiles de gastrópodos y fragmentos de bivalvos. Lazo y Padula (2025) indican que

calizas de este tipo, por su estética y belleza arquitectónica, han sido ampliamente utilizadas en la ornamentación de palacios y edificios históricos o de importancia cultural.



Figura 7. Losa pulida de caliza marmórea fosilífera de la Formación Chachao (Cretácico) en placa conmemorativa-histórica de la fachada del Hospital Militar y detalle de placa. La caliza está compuesta principalmente por bivalvos de gran tamaño, aunque se reconocen amonites, gastrópodos, serpulidos, pelecípodos, corales, equinodermos, trazas fósiles y microfósiles (Foto J. Porras).

Según Castaño de Luis et al. (2011), los fósiles urbanos más habituales son somatofósiles, principalmente partes duras de organismos como conchas, caparazones, huesos, dientes o estructuras esqueléticas coloniales. Estos restos se encuentran, en su mayoría, mineralizados o reemplazados por minerales como calcita, aragonito, sílice o pirita, lo que ha favorecido su preservación a lo largo del tiempo.

A ellos se suman los icnofósiles, que registran huellas, madrigueras y rastros de actividad biológica, entre los que se incluyen rastros de locomoción, perforaciones y galerías. También están presentes microfósiles, fundamentalmente foraminíferos, radiolarios y ostrácodos visibles en cortes pulidos de ciertas calizas, y los fósiles vegetales, como impresiones de hojas y moldes de raíces.

En algunas rocas muy recristalizadas, como los mármoles, es posible observar las “impresiones fantasmas”, vestigios difusos de organismos cuyos restos fueron alterados o destruidos por procesos geológicos posteriores.

Los hallazgos fósiles en entornos urbanos demuestran cómo las ciudades funcionan como auténticas canteras urbanas, donde materiales pétreos de diversa procedencia geológica preservan valiosos registros paleontológicos. Estos fósiles, provenientes de formaciones de distintas edades y contextos sedimentológicos o paleogeográficos, son incorporados en elementos arquitectónicos sin ningún criterio estratigráfico, conformando un registro heterogéneo y descontextualizado, pero accesible, que mantiene su valor científico, educativo y patrimonial, por lo que constituyen una ventana abierta al pasado geológico.

#### Valor científico y patrimonial de los fósiles urbanos

Los fósiles presentes en entornos urbanos, si bien no reflejan la historia geológica local del lugar donde se encuentran, poseen un significativo valor científico,

paleontológico y patrimonial. Constituyen una sólida referencia de antiguas especies, ambientes sedimentarios y condiciones paleoclimáticas, por lo que su estudio permite reconstruir aspectos clave de la historia geológica de la Tierra.

Generalmente incorporados de manera no intencional en materiales de construcción y ornamentación, estos restos conforman un registro paleontológico excepcional en el contexto urbano. En algunos casos, descubrimientos fortuitos han llevado incluso a la identificación de especies fósiles hasta entonces desconocidas, lo que destaca su valor científico.

Un ejemplo destacado, y el primero descrito en un edificio modernista de Barcelona, España, es el hallazgo del icnotaxón *Lapillitubus montjuichensis* en rocas del Mioceno medio. Este fósil, correspondiente a madrigueras cilíndricas aglutinadas con litoclastos y atribuidas a anélidos excavadores, fue identificado en areniscas ornamentales extraídas del monte Montjuïc. El descubrimiento resalta el valor paleontológico de los fósiles urbanos, especialmente en entornos donde los afloramientos naturales son escasos o inexistentes (Belaústegui y Belaústegui, 2017)

Desde la perspectiva de la geología urbana, se trata de un recurso visible, accesible y de gran potencial educativo. Su presencia en el paisaje urbano facilita el acercamiento del público a la paleontología, fomenta la valoración del patrimonio natural y favorece la integración del conocimiento científico en la vida cotidiana.

Más allá de su relevancia paleontológica, su estudio permite también comprender los procesos históricos de extracción, comercialización y uso de las piedras naturales en la construcción y arquitectura, revelando la interrelación entre el patrimonio geológico y la cultura arquitectónica urbana

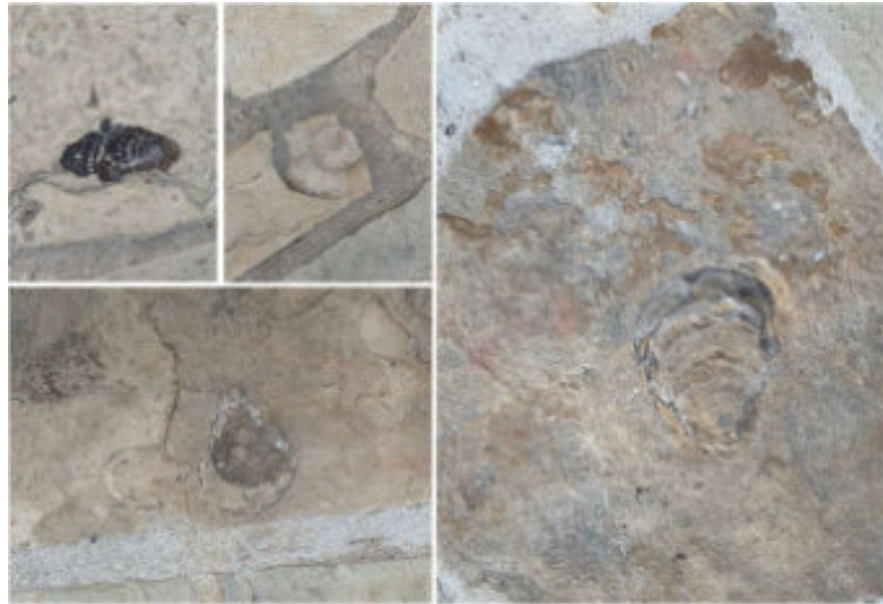


Figura 8. Diferentes vistas de losas de caliza fosilífera, masiva, grisácea a beige, utilizada en caminerías de viñedo en las afueras de Fredericksburg, Texas. La caliza contiene principalmente bivalvos (ostras, almejas) y gastrópodos, entre otros. (Foto J. Porras).

### Conclusiones / Valoración y Conservación

Los fósiles presentes en entornos urbanos constituyen un patrimonio paleontológico de gran valor científico, educativo y cultural; sin embargo, enfrentan serios desafíos asociados al deterioro físico, poca notoriedad y la falta de reconocimiento social e institucional, factores que dificultan su conservación y limitan su potencial como herramienta de divulgación.

Preservarlos implica no solo su reconocimiento como elementos geológicos de interés, sino también su integración activa en estrategias de educación, comunicación y gestión patrimonial. Para ello, es fundamental aplicar criterios de estricto rigor paleontológico, combinados con enfoques didácticos adaptados a los distintos públicos (Ordiales et al., 2016).

Una de las propuestas más efectivas es la creación de recorridos geourbanos, en los que los fósiles visibles en pavimentos, muros, fachadas y monumentos se integren a circuitos interpretativos accesibles a residentes, estudiantes y visitantes. La instalación de señalización informativa, el diseño de materiales educativos, así como visitas guiadas, talleres y otras actividades didácticas, son herramientas clave para poner en valor estos registros paleontológicos insertos en el espacio construido. Iniciativas divulgativas de este tipo han funcionado con éxito en León (España) donde se han utilizado tanto técnicas tradicionales (libro guía, trípticos y rutas guiadas) como modernas de comunicación (páginas interactivas, redes sociales, websites) (Fernández-Martínez et al., 2011).

Desde el ámbito institucional, se recomienda que municipios, universidades y museos asuman un rol activo en su identificación, registro y monitoreo, desarrollando programas de conservación preventiva y protocolos de actuación ante eventuales daños, intervenciones o remociones. La colaboración entre los sectores académico, educativo y cultural resulta esencial para una gestión sostenible y socialmente significativa de este patrimonio.

En conjunto, estas acciones convierten los fósiles urbanos en una valiosa herramienta de divulgación científica, integrando la geología y la paleontología al paisaje cotidiano y promoviendo una conciencia patrimonial más amplia en la ciudadanía.

### Bibliografía / Referencias

- Belaústegui Barahona Z. y Belaústegui A., 2017. Modernist architecture in Barcelona reveals a new trace fossil from the Miocene of Montjuïc (NE Spain). *Geologica Acta*, 2017, vol.VOL 15, núm. 3, p. 169-86, <https://raco.cat/index.php/GeologicaActa/article/view/328012>.
- Carrillo Vigil L. y Gisbert Aguilar J., 1993. Guía de Rocas Ornamentales. Ed. Ayuntamiento de Zaragoza. Servicio de Medio Ambiente, Tres tomos, 144 p.
- Castaño de Luis R., García Ortiz de Landaluce E., García Parada L., Molero Guerra J. y Fernández Martínez E., 2011. Fósiles urbanos de León. *Recorridos*

paleontológicos desde el Campus de Vegazana hasta el Albéitar. 78 p.

Quintana C., 2013. Fósiles Urbanos: museos ocultos a la vista de todos. *Revista Boletín Biológica* Nº 30 - Año 7 – 2013, p 19-24. Universidad de León, Oficina Verde.

Fernández-Martínez E., Castaño de Luis R., García Parada L., Molero Guerra, J. y García Ortiz de Landaluce E., 2011. Viejas y Nuevas Formas de Divulgar el Patrimonio Paleontológico: el Caso de los Fósiles Urbanos de León, en Fernández-Martínez, E. y Castaño de Luis, R. (Eds.) 2011. *Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España*. Actas de la IX Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico (Sociedad Geológica de España). Universidad de León. 346 pp.

Francischini H., Adorna Fernandes M., Kunzler J., & Rodrigues R., Leonardi G. y de Souza Carvalho I., 2020. The Ichnological Record of Araraquara Sidewalks: History, Conservation, and Perspectives from This Urban Paleontological Heritage of Southeastern Brazil, *Geoheritage* (2020) 12:50 <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00472-5>

Lazo D.G. y Padula H., 2025. Fósiles Urbanos en Calizas de Origen Nacional. Parte 1: El Caso De La Piedra Laja Jurásica de Catutos y Parte 2: El Caso de las Calizas Cretácicas de Chachao, 4tas Jornadas Argentinas de Geoturismo, 22 al 26 de abril 2025.

Ordiales A., Martínez García B. y Murelaga Bereicua X., 2016. Los fósiles de las rocas ornamentales de Bilbao (Bizkaia, N de España) como herramienta para la didáctica de la paleontología. *Actas de las XXXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología / Sociedad Española de Paleontología* (aut.), Guillermo Meléndez Hevia (dir.), Alizia Nuñez (dir.), Marta Tomás (dir.), 2016, ISBN 978-84-9138-016-0, págs. 251-255

Padula H. y Lazo D.G., 2021. Fósiles urbanos: Paleontología entre Edificios y Calles, Libro Digital VII Semana de la Arqueología y la Paleontología, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, p 158-167.

Porras J.S., 2023. Buenos Aires: legado geológico de sus calles y edificios. *Revista Maya de Geociencias*, Noviembre 2023, p 59-67.

Porras J.S., 2024. Mármoles y Fósiles del Teatro Colón, Buenos Aires, Argentina. *Revista Maya de Geociencias*, Dic 2024, p 65-72.

Indiana Limestone Quarrymen's Association, 1920. *Indiana Limestone: The Aristocrat of Building Materials*, Vol. 1, Sixth Edition, June 1920, Bedford, Indiana, booklet recompiled by Peggy B. Perazzo, 2012, Email: [pbperazzo@comcast.net](mailto:pbperazzo@comcast.net) September 2012

Paleo, 2010. *Boletín Paleontológico del Grupo Paleo Contenidos*. Año 8. Número 52. Diciembre de 2010.

Shaffer N.R., 2019. *Indiana Limestone: America's Building Stone*, in Geological Society, London, Special Publications 486, *Global Heritage Stone: Worldwide Examples of Heritage Stones* Edited By: J. T. Hannibal, S. Kramar, and B. J. Cooper, p 77-101.

Nash Dinosaur Track <https://nashdinosaurtracks.com/>

The Telegraph 2024 (<https://www.telegraph.co.uk/news/2024/09/03/fish-fossil-older-than-dinosaurs-found-in-city-centre/>)

Diario Rio Negro 2009 <https://www.rionegro.com.ar/inedita-pieza-paleontologica-en-el-centro-de-zapala-EYHRN1255488066136/>.

Geology is the Way, 2024. (<https://geologyistheway.com/urban-geology-nummulites-on-the-stone-walls-of-girona-catalonia/>)

Voss M., Hampe O., Mata Leonart R. y Ferrer López J., 2019. Fossil Sea Cow Remains (Mammalia: Sirenia) on Paving Stones in the City of Girona (Catalonia, Spain). *The European Association for Conservation of the Geological Heritage* 2019. *Geoheritage* <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00419-5>

Voss M., Hampe O., Mahlow K. y Vilanova J.C., 2023. New findings of *Prototherium ausetanum* (Mammalia, Pan-Sirenia) from paving stones in Girona (Catalonia, Spain)? *Fossil Record* 26 (1) 2023, 135–149 | DOI 10.3897/fr.26.99096



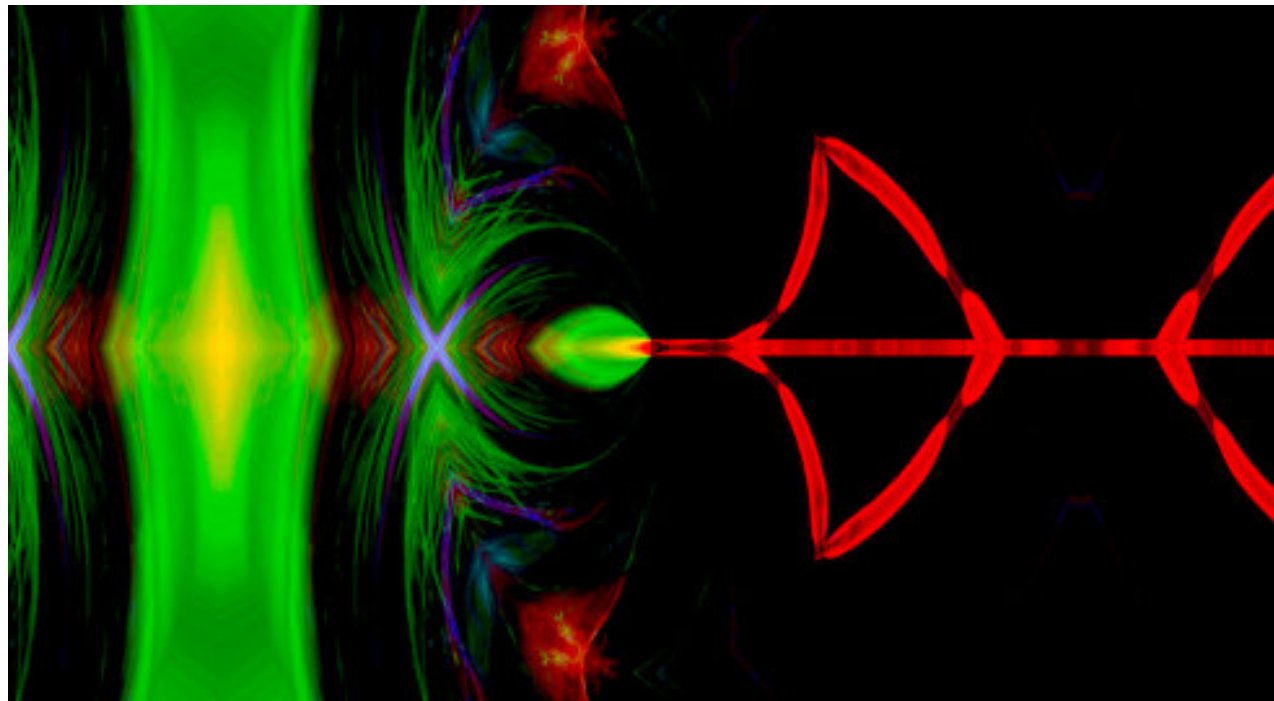
#### SOBRE EL AUTOR:

**Jesús S. PORRAS M.** es Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela.

Posee amplia experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos, tanto de exploración como de desarrollo, de reservorios convencionales y noconvencionales.

Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Senior liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales. Tiene particular interés en temas de patrimonio geológico, geodiversidad y geoconservación, comunicación en geociencias, geología urbana y geoturismo.

Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 60 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.



**El poder no cambia a las personas, solo revela quiénes son.**

**José Mujica**

## La Energía Nuclear

**Luis Angel Valencia Flores**  
Editor de la Revista

#### Resumen

En este trabajo se aborda la energía nuclear desde varios ángulos, incluyendo su estado actual, perspectivas futuras y aspectos técnicos como principales temas. La energía nuclear se posiciona como un tema de vital importancia en el debate energético global, debido a la necesidad de garantizar el suministro, avanzar hacia una economía con bajas emisiones de CO<sub>2</sub> y disponer de una industria que provea muchos recursos energéticos. El consumo mundial de energía primaria se triplicó desde 1973 hasta 2024, con una tendencia al alza en el consumo por habitante, lo que genera presiones energéticas y medioambientales. Ante la preocupación por los combustibles fósiles (su carestía, riesgo geopolítico y contribución al calentamiento global), existe una fuerte demanda social para sustituirlos por fuentes sostenibles. En este contexto, la energía nuclear, tanto por fisión como por fusión, es considerada una de las principales candidatas para contribuir a la descarbonización del mundo.

#### Abstract

This article approaches nuclear energy from several angles, including actual status, future perspectives and technical aspects. Nuclear energy is of vital importance in the global energy debate due to a need to guarantee energy supply, advance towards an economy with less CO<sub>2</sub> and as an industry that may provide abundant energy resources. Worldwide energy consumption tripled from 1973 to 2024, with a tendency toward per capita increase, thereby generating pressure on energy availability and the environment. With worries about fossil fuel prices, geopolitical risk and contributions to global warming there exists strong social demand for substitution with sustainable resources. In this context, nuclear energy, both fission and fusion, is considered one of the principal candidates for worldwide decarbonization.

#### Introducción

La energía nuclear se ha consolidado como un tema de importancia preponderante en el discurso energético a nivel mundial. Su relevancia emana de una serie de necesidades apremiantes que enfrenta la humanidad en el siglo XXI. En primer lugar, existe una imperiosa necesidad

de garantizar el suministro energético para una población global en crecimiento constante y con una demanda de energía per cápita en ascenso. En segundo lugar, es crucial avanzar hacia una economía con bajas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para mitigar los efectos adversos del cambio climático. Finalmente, la capacidad de la industria nuclear para proveer una multitud de recursos energéticos la posiciona como una pieza clave en la matriz energética futura.

La preocupación por los combustibles fósiles es diversa: se enfrentan a su carestía y agotamiento, conllevan un riesgo geopolítico inherente debido a la concentración de sus reservas en zonas volátiles, y son los principales contribuyentes al calentamiento global a través de la emisión de gases de efecto invernadero. Ante esta compleja realidad, existe una fuerte demanda social y política para sustituir estas fuentes tradicionales por fuentes sostenibles que aseguren un futuro energético más limpio y seguro. Es competitiva en términos económicos, especialmente cuando se consideran los costos a largo plazo. Y tal vez lo más significativo, es que prácticamente inagotable cuando se considera el potencial de los combustibles para la fisión y especialmente para la fusión. Actualmente, más de 400 centrales (reactores) nucleares distribuidas en 30 países proveen una porción fundamental de la energía eléctrica básica necesaria para sus poblaciones e industrias.



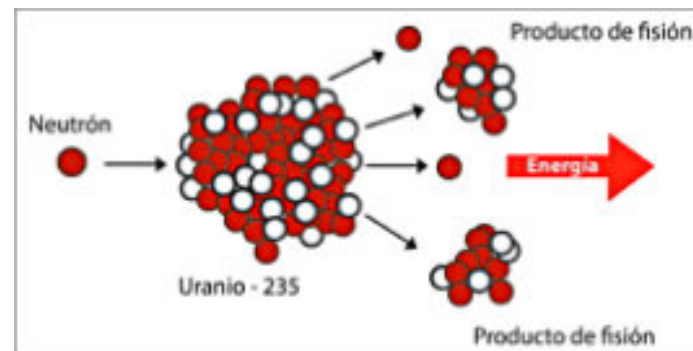
Reactores nucleares de última generación: un futuro con menos residuos y mayor seguridad.

#### Métodos para generar energía nuclear: Fisión y Fusión

La energía nuclear puede generarse principalmente a través de dos procesos fundamentales: "la fisión y la fusión". Aunque ambos procesos liberan vastas cantidades

de energía a partir de los núcleos atómicos, sus mecanismos y desafíos son distintos.

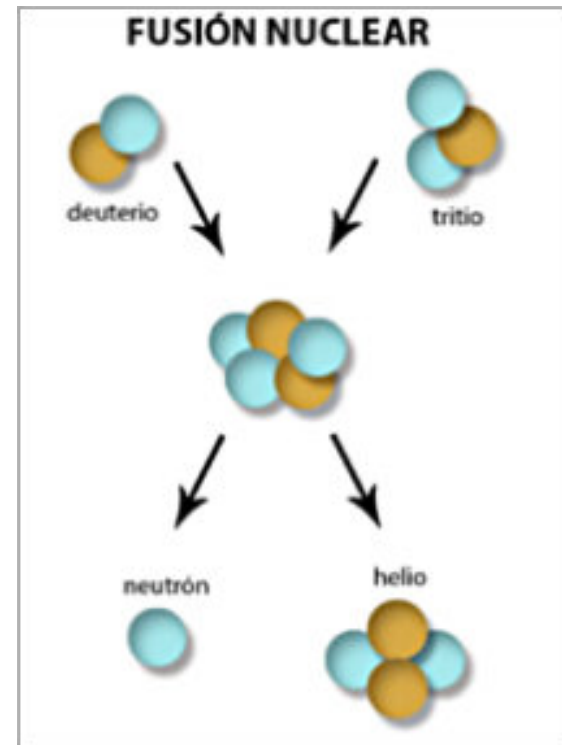
La **fisión** nuclear implica la fractura de átomos muy pesados, típicamente isótopos de uranio, para liberar energía. Este proceso es la base de la tecnología utilizada en las centrales nucleares actuales, donde se controlan las reacciones de fisión en cadena para producir calor, que a su vez se convierte en electricidad. El uranio, un isótopo específico que se utiliza en estos reactores, debe ser enriquecido para optimizar su rendimiento y la cantidad de energía liberada. La energía se libera principalmente en forma de calor, que luego se utiliza para calentar agua y producir vapor, el cual impulsa turbinas conectadas a generadores eléctricos.



Representación esquemática de la reacción de fisión nuclear

Para la generación de energía aprovechable y sostenible en la Tierra, el objetivo central de la investigación en **fusión** nuclear como una fuente de energía con la capacidad de proporcionar un suministro de electricidad continuo, sostenible y a gran escala. Para lograr este ambicioso fin, se requieren dos requisitos tecnológicos fundamentales y de extrema dificultad.

El primer requisito es alcanzar temperaturas extremas. Los núcleos ligeros, que son los combustibles de la fusión (como el deuterio y el tritio), poseen carga positiva y, por lo tanto, se repelen mutuamente debido a la fuerza electrostática. Para que la fuerza nuclear de atracción (que es mucho más fuerte, pero de muy corto alcance) pueda actuar y permitir la fusión, los núcleos deben moverse a velocidades suficientemente altas como para superar esta barrera de repulsión. Esto implica alcanzar temperaturas del orden de 100 millones de grados centígrados. A estas temperaturas inimaginables, la materia se encuentra en un estado exótico denominado plasma, donde los electrones se separan completamente de los núcleos atómicos, creando un "gas" ionizado de partículas cargadas.



El segundo requisito es el confinamiento. Una vez que la materia ha alcanzado el estado de plasma a temperaturas extremas, es esencial mantenerla encerrada en la cavidad del reactor durante el tiempo suficiente y con una densidad lo suficientemente alta para que se produzca un número adecuado de reacciones de fusión. Controlar este plasma supercaliente, que tiene una tendencia natural a expandirse y enfriarse al contacto con cualquier material, es uno de los mayores desafíos ingenieriles.

El principal combustible para los futuros reactores de fusión consiste en dos isótopos del gas hidrógeno: el deuterio y el tritio. Una ventaja notable es que el deuterio se puede obtener directamente del agua, que es una fuente prácticamente inagotable presente en lagos y océanos. El tritio, aunque no es abundante en la naturaleza, puede producirse dentro del mismo reactor a partir de litio mediante bombardeo neutrónico. Tanto el deuterio como el litio son abundantes en la naturaleza, lo que asegura un suministro de combustible casi ilimitado para la fusión nuclear durante millones de años.

#### Proyectos de investigación actuales y avances significativos

Entre los principales proyectos de investigación actuales a nivel mundial, el más destacado y ambicioso es el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). El objetivo principal del ITER es determinar la viabilidad tecnológica y económica de la fusión nuclear por confinamiento magnético como una fuente de energía a

gran escala y sin emisiones de CO<sub>2</sub>. El ITER, en su fase actual, no está diseñado para producir electricidad comercialmente, sino para demostrar la ciencia y la ingeniería de la fusión a una escala que no se ha logrado antes.

El proyecto ITER se está construyendo en el sur de Francia, específicamente en Cadarache, y es un esfuerzo de colaboración internacional sin precedentes que cuenta con la participación de 35 países, incluyendo a España a través de la Unión Europea. El costo total de construcción de esta gigantesca empresa se estima en unos 23.500 millones de euros. Un aspecto técnico fundamental del ITER es la necesidad de mantener sus bobinas magnéticas a temperaturas extremadamente bajas, alrededor de 4 K (aproximadamente -269 °C), para que puedan funcionar como superconductores y confinar el plasma de manera efectiva.

Otro proyecto importante que busca acelerar el desarrollo de la fusión es el SPARC (Scalable Processor ARChitecture), desarrollado por el MIT y Commonwealth Fusion Systems. Este proyecto se enfoca en una máquina de fusión experimental compacta que busca una ganancia energética superior en un tamaño más reducido. Su tecnología distintiva radica en el uso de campos magnéticos de elevada intensidad generados por una nueva tecnología de imanes superconductores de alta temperatura. Si el SPARC tiene éxito, podría significativamente acortar el plazo para la disponibilidad comercial de la energía de fusión.

La energía nuclear tiene grandes ventajas con respecto al uso de hidrocarburos. Se pueden producir enormes cantidades de energía con un pequeño volumen de combustible; una tonelada de combustible nuclear produce la misma energía que lo que producirían dos o tres millones de toneladas de combustibles fósiles. Esta tampoco emite dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero.

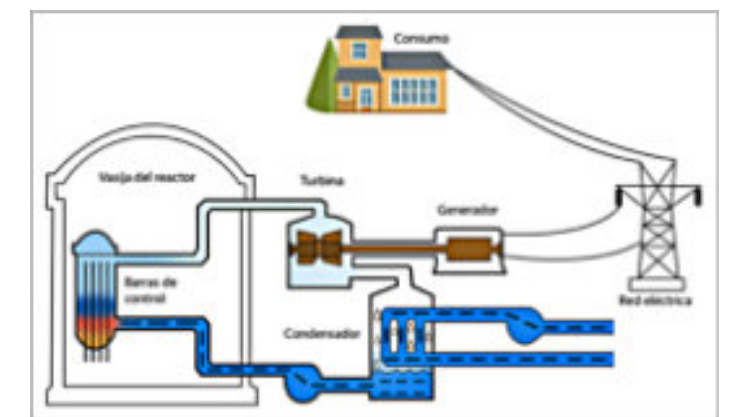
La fusión nuclear, a pesar de sus desafíos tecnológicos, cuenta con un conjunto de grandes ventajas que la posicionan como una de las soluciones más prometedoras para las necesidades energéticas futuras.

1. Seguridad: Una de las características más destacadas de la fusión nuclear es su seguridad. A diferencia de la fisión nuclear, la fusión no es una reacción en cadena que pueda descontrolarse. Esto significa que es imposible que se

produzca una pérdida de control o un evento descontrolado. La reacción de fusión se detiene de manera sencilla y segura con la simple acción de cerrar el suministro de combustible. En caso de cualquier anomalía, el plasma se enfriaría y la reacción se detendría automáticamente, sin riesgo de fusión del núcleo o liberación masiva de material radiactivo.

2. Combustible barato y abundante: La disponibilidad del combustible es una ventaja crucial. El deuterio, uno de los principales combustibles, se puede obtener en cantidades casi ilimitadas del agua presente en los lagos y océanos. El tritio se puede producir a partir de litio, que también es relativamente abundante. Esta abundancia significa que el combustible para la fusión nuclear podría satisfacer las necesidades energéticas del planeta durante millones de años, liberando a la humanidad de la dependencia de recursos finitos y volátiles.

3. Energía limpia: Desde una perspectiva ambiental, la fusión nuclear es excepcionalmente limpia. Los gases resultantes de las reacciones no contribuyen al efecto invernadero, ya que el principal producto es helio, un gas inerte. Además, la radiactividad de la estructura del reactor puede minimizarse significativamente mediante la elección cuidadosa de materiales de baja activación.



Componentes de una planta nucleoelectrica

#### Conclusiones

- El ciclo del combustible nuclear es un proceso integral y complejo que abarca desde la extracción del uranio hasta la gestión definitiva de los residuos radiactivos.
- La energía nuclear se fundamenta en la fusión del uranio, un isótopo que debe ser enriquecido para su uso en los reactores nucleares al liberar una gran cantidad de energía en forma de calor, utilizada para producir electricidad.

- La gestión de los residuos radiactivos es una etapa crucial y altamente desarrollada del ciclo. Aunque el combustible irradiado es inicialmente de alta actividad, existen tecnologías industriales y experiencia suficiente para su almacenamiento temporal seguro, ya sea en piscinas de enfriamiento en las propias centrales por al menos cinco años o en almacenes temporales individualizados.
- Sin duda la energía nuclear es una gran promesa para la generación de electricidad limpia en el mundo.

En definitiva, tanto la fisión como la fusión nuclear, con su inmenso potencial aún por materializar, representan una gran promesa para la generación de electricidad limpia en el mundo. La energía nuclear es un componente esencial en la estrategia global para la descarbonización y la seguridad energética, ofreciendo una alternativa robusta y de bajas emisiones frente a la creciente preocupación por los combustibles fósiles y sus impactos ambientales.

#### Referencias

Cayetano Garrido, E. A. (2018, noviembre). La energía de fusión nuclear  
Comby, B. (n.d.). Los beneficios de la energía nuclear. Environmentalists For Nuclear Energy.  
Consejo de Seguridad Nuclear. (n.d.). El combustible nuclear y su ciclo.  
Mínguez, E. (2011). Energía nuclear: necesidades de formación. En B. Y. Moratilla Soria, J. I. Linares Hurtado,

M. del M. Cledera Castro, & A. Cantizano González (Coords.), Energía nuclear: estado actual y perspectiva inmediata (pp. 139-148). Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI & Universidad Pontificia Comillas.  
Palacio, A. de. (2011). Análisis sobre la energía nuclear. En B. Y. Moratilla Soria, J. I. Linares Hurtado, M. del M. Cledera Castro, & A. Cantizano González (Coords.), Energía nuclear: estado actual y perspectiva inmediata (pp. 195-...). Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI & Universidad Pontificia Comillas.  
Peña Rodríguez, M. F. (n.d.). Ventajas y desventajas del uso de la energía nuclear.  
Varela, L. M. (2018). Fusión y fisión nuclear, baterías de litio y células de combustible: tendencias actuales y perspectivas en el horizonte 2050 (Documento de Investigación 16/2018). Instituto Español de Estudios Estratégicos.



Reactor nuclear, Laguna Verde, México



**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](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)  
[lvalenciaf@ipn.mx](mailto:lvalenciaf@ipn.mx)

## THE LAKE BOSUMTWI IMPACT STRUCTURE, GHANA

**JHONNY E. CASAS**

Escuela de Petróleo y Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela



[https://iugs-geoheritage.org/geoheritage\\_sites/lake-bosumtwi-impact-crater/](https://iugs-geoheritage.org/geoheritage_sites/lake-bosumtwi-impact-crater/)

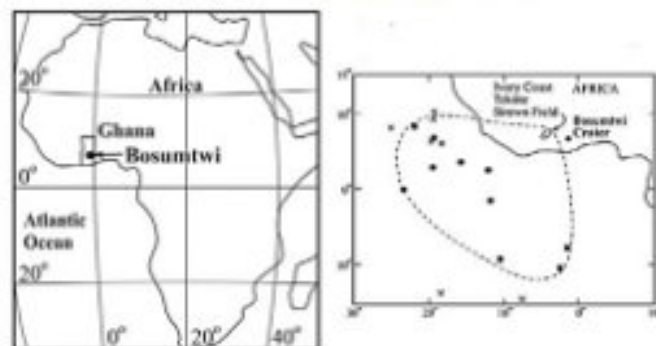
#### INTRODUCTION

Lake Bosumtwi, sometimes spelled Bosomtwe, is a beautiful, round lake tucked away in Ghana's Ashanti Region (Africa). Scientists believe it was formed about a million years ago when a meteor crashed into the earth. The lake is surrounded by steep hills and covered in thick forests around its shores,

Central Ghana is underlain by the Proterozoic metavolcanic and metasedimentary rocks of the Birimian Supergroup, which are the host rocks for the extensive Ghanaian gold deposits. The elevated Obuom Range borders the southeast part of the Lake Bosumtwi drainage basin (Figure 1), and consists of uplifted metavolcanic rocks. Other than the Obuom Range, the topography of the Lake Bosumtwi drainage basin follows the Pleistocene relief produced by the impact structure. Lake morphometry is that of a simple bowl-shaped depression, which developed from the accumulation of post-impact lacustrine and alluvial sediments. The well-defined crater was initially characterized as a caldera (Smit, 1964) and has an average rim elevation of ~250 to ~300 m above the lake surface. At a radius of 8-10.5 km, an outer ring can be identified by low-relief topography and also by a halo-shaped magnetic anomaly observed in high-resolution aeromagnetic data.

Initial suggestions of a meteorite impact origin for the Bosumtwi crater came from MacLaren (1931), and later on publications by Smit (1964) and others, present abundant evidence of a meteorite impact origin. The 1 Ma Bosumtwi Crater in Ghana (Figure 1) is a complex impact structure with a rim-to-rim diameter of 10.5 km. The crater is associated with the Ivory Coast tektite strewn field (Figure 1), an expansive region of distal, molten ejecta deposition to the SW of Bosumtwi. The crater is almost completely filled by Lake Bosumtwi, which measures 8 km in diameter and has a current maximum depth of about 80 meters. The crater rim rises about 250–300 m above lake level. It is the youngest and best preserved of the 95 terrestrial impact structures with diameter larger than 6 km formed in a crystalline target.

Because the impacting body struck a subaerial site in the continental interior, rather than a submerged continental shelf, no profound backwash effects distorted the structure following the impact. Also, no postimpact tectonic deformation of the structure has been observed later. Consequently, the Bosumtwi crater is an excellent case study for investigating the impact process on Earth.



**Figure 1.** Location of the Bosumtwi crater in western Africa with the Ivory Coast tektite strewn field (right). Modified from Artemieva *et al.* (2004)

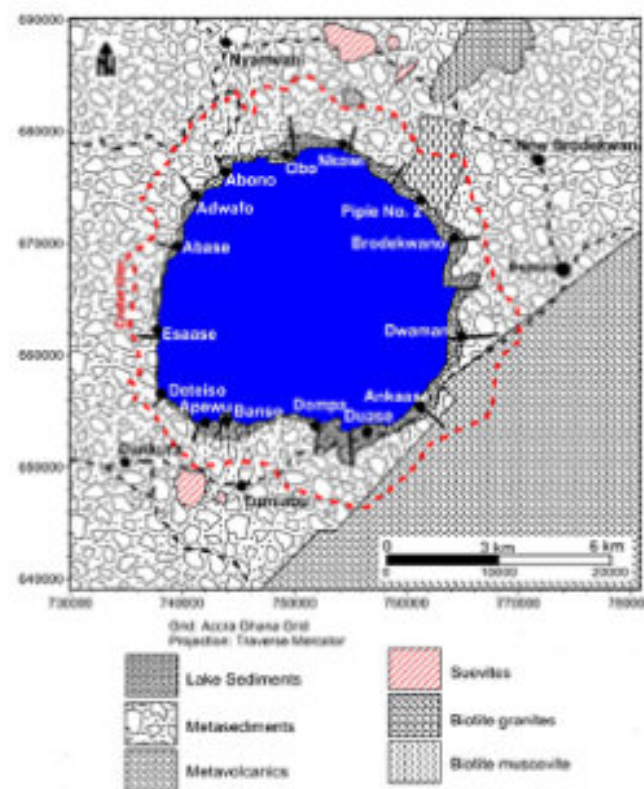
### GEOLOGICAL SETTING

The Bosumtwi crater was dug out in lower greenschist-facies supracrustal rocks of the 2.1-2.2 Gyr old Birimian Supergroup, comprising mainly metasediments and metavolcanics (Figure 2). The Birimian target rocks are made up of mica schists and banded schists with both micaceous and quartz-feldspathic bands, phyllite, metagreywacke, quartzite and sandstone, shale and slate, as well as meta-tuffs. Birimian meta-volcanic rocks (altered basic intrusives intercalated with some metasediments) occur in the southeastern sector of the Bosumtwi area. Graywackes predominate the surface exposures and are the most important clast type in many suevite samples.

Brecciated greywacke and phyllite dominate the geology immediately around the crater and locally intruded by small dikes and pods of granitic intrusives. Carbonates (previously unknown) were identified in high abundance in the analysis of drill cores and their origin is pre-impact (Aning *et al.*, 2013). Other than the Obuom Range to the southeast of the crater, the topography of the Lake Bosumtwi drainage basin follows the Pleistocene relief produced by the impact structure. Lake morphometry is that of a simple bowl-shaped depression, which developed from the accumulation of post-impact lacustrine and alluvial sediments.

The well-defined crater was initially characterized as a caldera (Smit, 1964) and has an average rim elevation of ~250 to ~300 m above the lake surface which is about 80–100 m below the terrain outside of the rim. Except for the terrain of the Obuom mountain range, and locations along some stream channels in the environs of the crater, exposure is generally very poor. Recent rock formations include the lake beds and the products of

weathering (laterites, soil) which can have thicknesses up to 10 m. Although no impact melt rock has been found around the crater, numerous breccia and suevite (Aning *et al.*, 2013).



**Figure 2.** Geological map of the Bosumtwi crater area showing the different types of rocks. Modified from Aning *et al.*, 2013

### THE CRATER

This crater was created by approximately 500 m wide chondrite (stone) meteorite, which entered the atmosphere with a speed of some 20 km per second. It approached from the east and hit the 2 billion years old rocks (quartzite, phyllite, slate, and granite) with extraordinary force. The extreme kinetic energy of the meteorite caused an explosion which most certainly was felt on the whole of Earth.

It is presumed that in those times western Africa was covered with rainforest, so forest was eliminated in a huge area, millions of lives of animals were erased in a moment and many more perished in coming months. This explosion created a 10.5 km wide and some 750 m deep complex crater. The physics of the Earth's crust caused the upheaval of the central part in the crater. This upheaval is covered with lake sediments now but it is elevated some 130 m above the original bottom of the crater. Such a complex crater is classified as a

medium-sized impact crater. Bosumtwi crater is the youngest and most likely the best-preserved medium-sized impact crater on Earth.

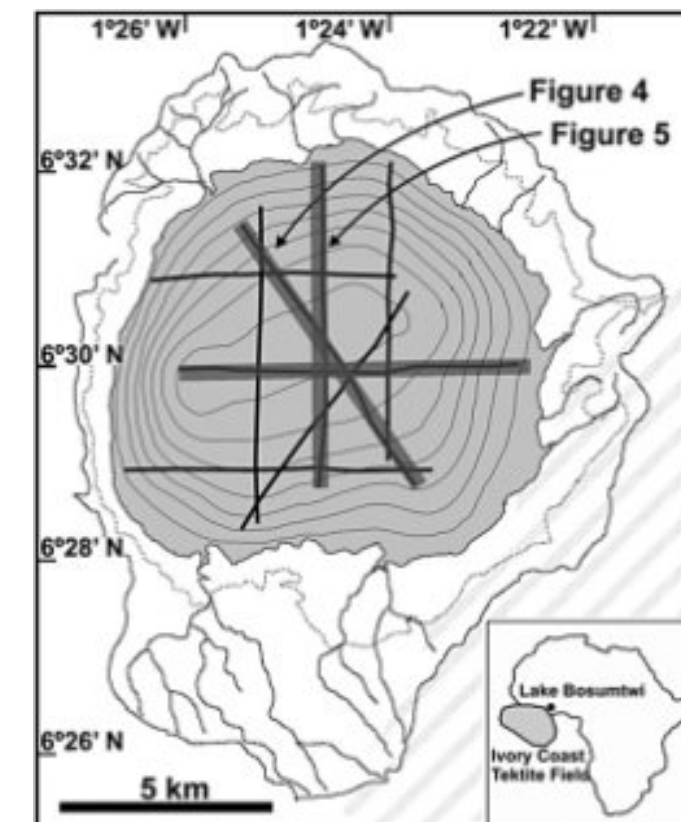
### MULTICHANNEL SEISMIC REFLECTION RESULTS

Airgun-sourced multichannel seismic reflection (MCS) data was acquired (Figure 3), and yield the most important results relevant to the morphology of the Bosumtwi impact structure. Significantly, none of the reflection data provide information below the contact between the post-impact sediments and the uppermost crater material. Additionally, considerable accumulation of biogenic gas in post-impact, organic-rich lacustrine sediments is evident on all vintages of data on the margins of the lake, which both obscures the near surface stratigraphy within sedimentary section in this area and induces numerous high amplitude water bottom multiples on all profiles, from the lakeshore to within ~2 km of the basin center. Whereas the imaging effectively failed on the edges of the lake, data acquired from the central basin of the lake are of excellent quality and both the lacustrine stratigraphy and impact material surface are well imaged in that locality (Scholz *et al.*, 2007).

The most significant set of features revealed in the MCS data set define a distinctive central uplift situated just northwest of the center of the lake and crater, and is observed on four radial images that cross-cross the center of the basin (Figures 3, 4, 5). The feature is 1.9 km in diameter, with a maximum height of ~130 m above the adjacent circular moat that surrounds the uplift and forms the deepest part of the crater floor. Above the crater floor, Scholz *et al.*, (2007) observed as much as ~310 m of post-impact lacustrine sediment, but the peak of the central uplift is within ~150 m of the lake bottom at one location. The maximum crater rim-to-floor height is 750 m, measured from the maximum elevation of the crater rim to the base of the post-impact lacustrine sediments. The sedimentary section in the basin center is well characterized with the lacustrine section observed as a set of continuous reflections.

The crater floor–post-impact sediment interface is easily identified on the MCS records as a moderate-low frequency, discontinuous, and high-amplitude package of irregular reflections, suggesting that the crater floor topography in the vicinity of the central uplift is broken and uneven (Figures 4, 5). At the peak of the central uplift, we observe a distinctive graben that has a maximum depth of over 50 m (Figure 4). Extending from

the uplift surface into the sediment column we observe a series of faults that appear to have their origins on the graben boundary, and then extend upward 100 m or more into the sediment section that overlies the uplift. Other than the graben structure, the uplift is broadly symmetrical but with a broken second order relief indicative of fractured and deformed materials (Scholz *et al.*, 2007).

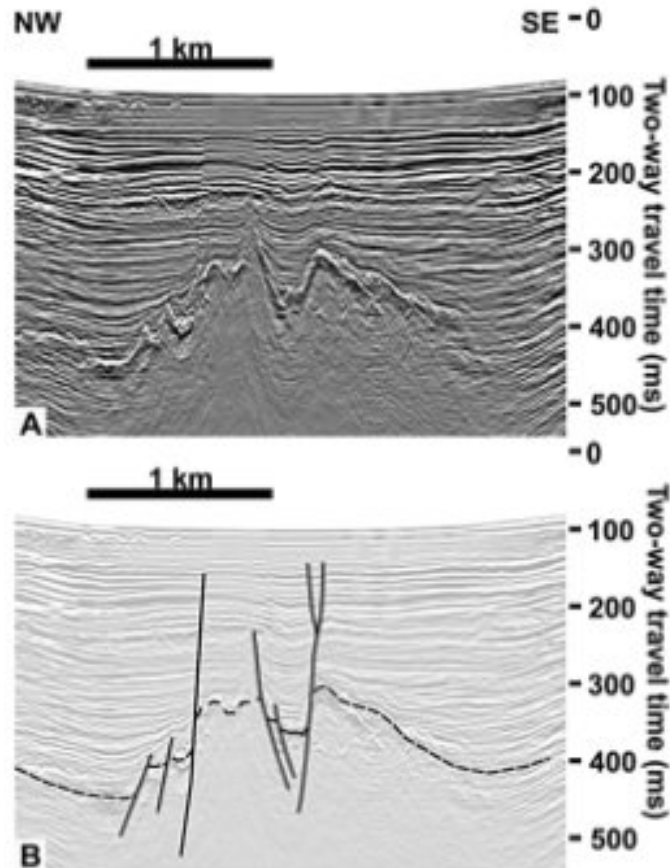


**Figure 3.** Bathymetry and drainage area of Lake Bosumtwi, with multichannel seismic reflection profile locations. Shaded lines (Figures 4 and 5) are presented below. Dotted line = overflow level. Shaded region in the lower right (southeast) part of the area shows the location of the Obuom Range. Inset shows the location of the Bosumtwi impact structure in Africa, along with the location of the Ivory Coast tektite field. Modified from Scholz *et al.* (2007).

### THE IMPACT OBLIQUITY

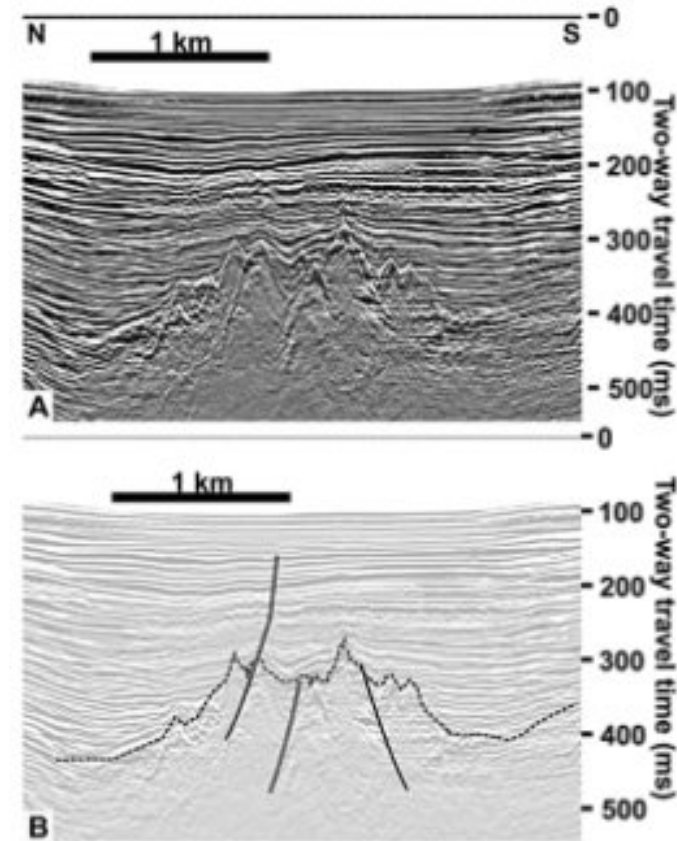
Most of the numerical results done were obtained for a vertical impact, although Artemieva *et al.*, (2004) believed that the Bosumtwi structure was produced by an asteroid impact with substantially shallower impact angle (probably in the interval 30-45°). The main indication of the obliquity is the ejecta distribution. The spatial distribution of distal ejecta formed at the beginning of the excavation stage is the most asymmetrical feature and is commonly used to determine an impact angle and direction. However, the

distal ejecta are the most short-lived feature (because of a small total thickness, a small fragment size distribution and a quick degradation due to weathering). Fortunately the Ivory Coast tektite strewn field aid in the reconstruction of the Bosumtwi impact event.



**Figure 4.** a) Uninterpreted and (b) interpreted MCS profile extending across the lake from northwest to southeast (central part of profile is shown). Note the pronounced crestal graben on the central uplift. The zone immediately beneath the central uplift is largely reflection-free, and is interpreted as mainly impact breccia. Several normal faults extend from the central uplift into the sediment section, and are interpreted as associated with post-impact compaction. The sediment-breccia interface is well imaged over most of the profile, and is characterized by a high-amplitude two-cycle reflection. Lower amplitude reflections observed beneath the sediment-breccia contact on the basin margins are mainly reverberations.

Modified from Scholz *et al.* (2007).



**Figure 5.** a) Uninterpreted and (b) interpreted profile extending across the central part of the lake from north to south. The crestal graben is not observed on this profile. Note several normal faults that extend up into the sediment section. The uppermost ~40 ms (TWTT) of sediment section contains distinctly lower amplitudes than the deeper sediment section reflections. This sequence is composed of high-water content lacustrine muds, sitting on top of a desiccation surface. The edge of the annular moat is observed on the margins of this profile. Modified from Scholz *et al.* (2007).

### TEKTITES

Bosumtwi Lake is surrounded by rainforest. In such conditions the soil erosion is faster than, for example, in dry deserts, and due to this crater has eroded and is covered with soil, there are no cliffs exposed. Due to this, the research of this impact crater is not that easy. To constrain the direction and angle of impact for the Bosumtwi crater, Artemieva *et al.*, (2004) monitored the fate of the distal ejecta in different oblique numerical model runs. This allows the authors to compare the model results with observational data from the tektite strewn field in the Ivory Coast. Ivory Coast tektites were first reported in 1934. The tektites were found in a region with a radius of about 40 km around the town of Qualle. Additional collections were made later, but the total number collected remains small (about 200).

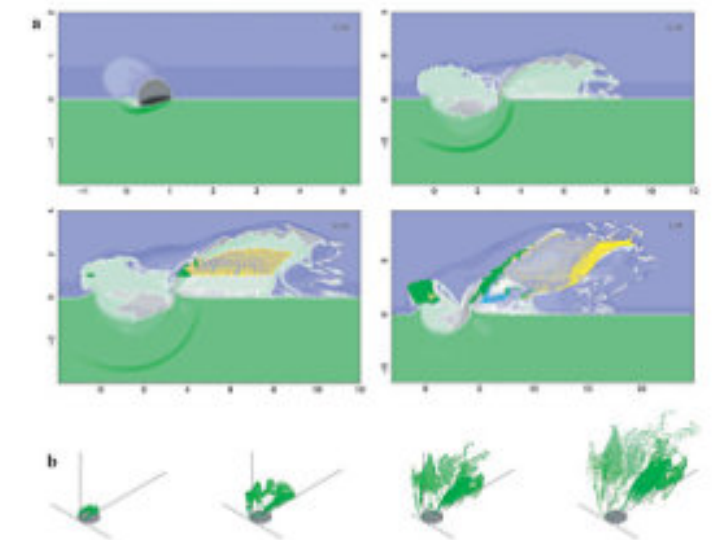
Age data, isotope studies and compositional data analyzed by Artemieva *et al.*, (2004), confirmed the tektites' origin from the Bosumtwi crater. Glass spherules and microtektites were found in deep-sea deposits from the equatorial Atlantic in 1967 (Glass *et al.*, 1991). The strewn field does not extend below 12°S and north of 9°N; the Eastern and western limits are not well defined. In total, the strewn field lies in the quadrant SW of the crater, showing preferable direction of the impact from ENE. Additional cores from the Atlantic must be studied before the shape and extent of the strewn field can be determined with any confidence. Previous modeling work suggests that the most suitable conditions for the tektites' origin arise in the case of high-velocity impact (20 km/s or higher) with impact angle in the range from 30° to 50° (Artemieva *et al.*, 2004).

Figures 6a and 6b by Artemieva *et al.*, (2004), show the early stage of a Bosumtwi-type impact at 30 and 20 km/s, including ejection of solid and molten materials, their disruption into particles, and the particles motion in the atmosphere. Only solid and molten particles larger than 1 cm in diameter are shown so as not to overload the figures. Molten particles from the target (i.e., potential tektites and microtektites) are shown in yellow, solid fragments are in green, and molten projectile is in cyan. One second after the impact, almost all of the molten and solid high-velocity material is ejected and broken into the particles, while intensive ejection of (either molten or solid) material from deeper layers continues for much longer (Artemieva *et al.*, 2004).

The initial ejection velocities of material are high, up to 10 km/s, which is close to the velocity of the expanding gas. As a result, the particles are not subjected to high dynamic pressures that otherwise would disrupt them into a fine dust immediately after ejection. The temperature of the entraining gas is rather high, in the range of 1000–2000 °K, so the particles do not cool quickly during the flight, allowing enough time to have them aerodynamically shaped (which is typical for tektites), and to lose volatiles like water (Artemieva *et al.*, 2004).

The Bosumtwi structure is not large enough to create worldwide ejecta; all of the ejected material is decelerated in atmosphere and deposited on the surface at the distances up to 2000 km from the crater. The majority of this material (80–85%), however, is

deposited in the vicinity of the crater, probably as a molten component of suevite (Figure 7). The rest may be identified as a tektite strewn field (Artemieva *et al.*, 2004).



**Figures 6a and 6b.** Early stage of a Bosumtwi-type impact at 30 and 20 km/s, including ejection of solid and molten materials, their disruption into particles, and the particles motion in the atmosphere. Molten particles from the target are shown in yellow, solid fragments are in green, and molten projectile is in cyan. Modified from Artemieva *et al.* (2004).



**Figure 7.** Outcrop of polymict impact breccia (suevite) north of crater rim at Bosumtwi. Modified from International Commission of Geoheritage (IUGS).

**THE LAKE AND THE CLIMATIC RECORD**

The bottom of the crater has been filled by a lake. Currently, Bosumtwi Lake has a diameter of some 8 km, it is up to 80 m deep. At the depth of some 15 meters, the water becomes anoxic. Bosumtwi Lake currently does not have any inlets or outlets – it is fed only by rain. Due to isolation here have developed endemic species of fish, a cichlid *Hemichromis frempongi* and subspecies of cichlids *Tilapia busumana* and *Tilapia discolor*. The bottom of the lake is covered with up to 310 m thick layer of sediments. Those sediments provide very important data about climate history in this part of Africa.

The analysis shows that this part of Africa on a regular basis experiences approximately 30-40 years-long droughts. The level of the lake falls per some 10-30 meters in such times. These droughts are caused by the changes in temperatures in the Atlantic (Atlantic Multidecadal Oscillation). During the droughts the bed of the crater is covered with forest, only in the central part remains a smaller lake. Sometimes though water filled the crater and was flowing out of it.

Climatic record of Lake Bosumtwi shows that approximately 70,000 years ago Africa experienced extreme drought. It is speculated that because this extreme drought, just a handful of humans survived and in a search of a better environment they left Africa and spread in Eurasia.

**THE ASHANTI LEGEND**

In some places trunks of giant trees stick out from the lake. This is a testimony of rather recent droughts when the site of the current lake was covered with a forest. Local legends have recorded these observations. There is a tale that Ashanti hunter Akora Bompe in the 17th century was chasing a wounded antelope in the forest (where the lake is now). Antelope jumped in the small pool in the center of the crater as if the lake wanted to save the antelope. Since then the lake is named Bosomtwe (antelope god).

Indigenous people consider that this is a sacred lake where souls of the dead come to bid a farewell to the god Twi. Due to local beliefs, it is allowed to fish only from wooden planks (padua) here – it is taboo to touch the water with iron. The most sacred place, a spiritual

center of the lake is Abrodwum Stone. When the fish in the lake are scarce, a cow is sacrificed next to the stor and the body of the animal is thrown in the lake. Locals then rush into the lake to get a piece of the meat. Lately this does not help anymore. Due to overpopulation and overfishing, fish is scarce in the lake.

**REMARKS**

At about 1 Ma old, Bosumtwi it is one of the best-preserved impact craters in the world and certainly the most recent of its size. For the better understanding of the cratering process and to verify numerical and geophysical models, it is necessary to drill the crater center and the deepest site of the crater. In the case of more than one borehole at the periphery, interesting information concerning asymmetric deposition of melt and projectile material may also be obtained. This information will give additional constraints of this kind of impact obliquity for future comparison with other impacts.

**REFERENCES**

- Aning, A., Tucholka, P. & Danour, S. (2013). The Bosumtwi meteorite impact crater, Ghana: New Results on the impact direction of the meteorite from 2D Electrical Resistivity Tomography (ERT) Survey. *International Research Journal of Geology and Mining (IRJGM)*, 3(4): 147-157.
- Artemieva, N., Karp, T. & Milkereit, B. (2004). Investigating the Lake Bosumtwi impact structure: Insight from numerical modeling, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 5(11): 1-20. doi:10.1029/2004GC000733
- MacLaren M. (1931). Lake Bosumtwi, Ashanti. *Geographical Journal*, 78:270-276.  
<https://www.jstor.org/stable/1784899?origin=crossref>
- Scholz, C., Karp, T. & Lyons, R. (2007). Structure and morphology of the Bosumtwi impact structure from seismic reflection data. *Meteoritics & Planetary Science* 42, 4(5): 549-560.
- Smit, A. (1964). Origin of Lake Bosumtwi (Ghana). *Nature*. 203:179-180.  
<https://www.nature.com/articles/203179a0>



[jcasas@geologist.com](mailto: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 38 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 61 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 mas de 40 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 Counselor para AAPG LACR (2023-2026).

## “De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

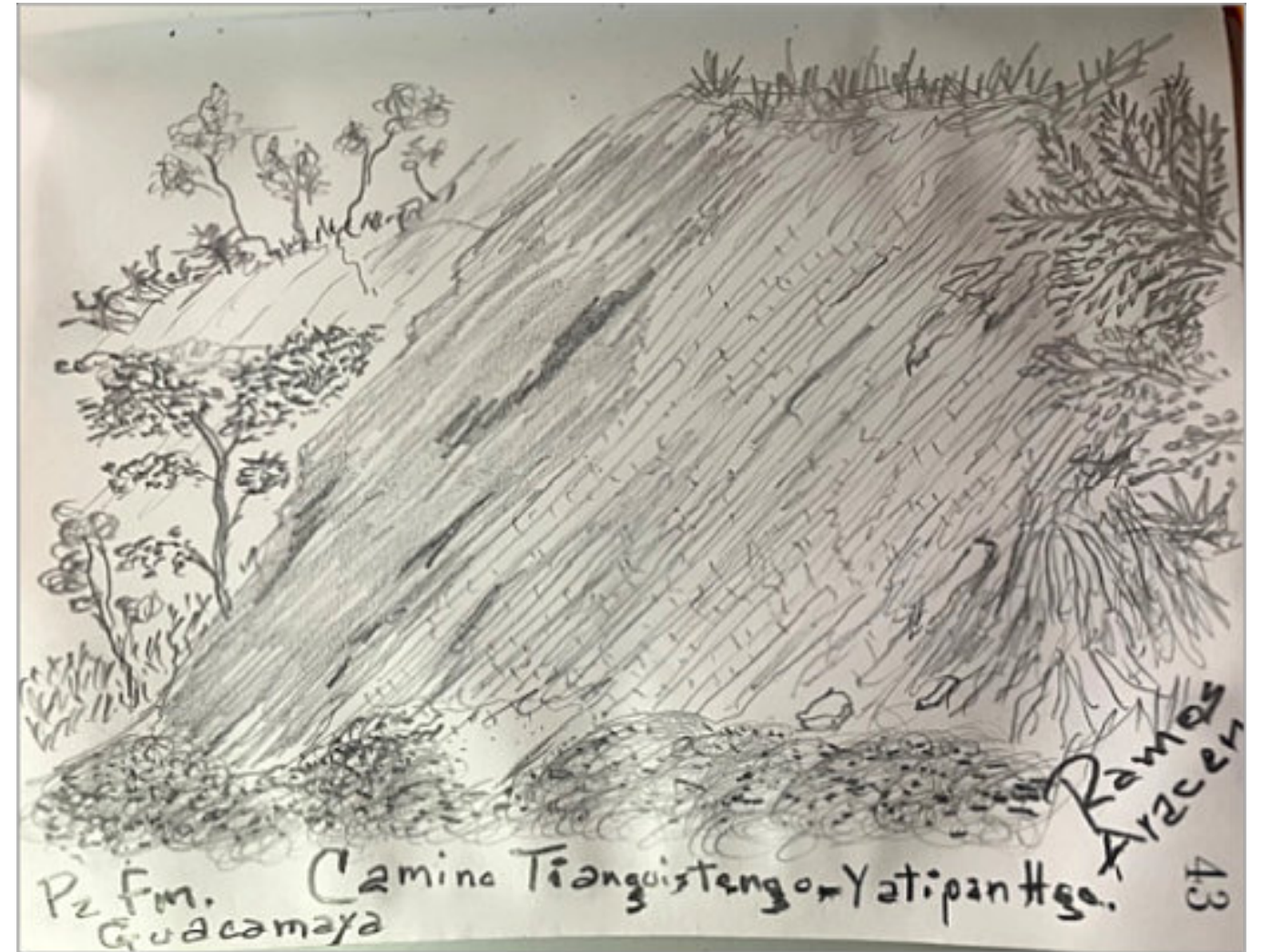
Ing. Rogelio Ramos Aracén

[ramosrogelio51@gmail.com](mailto:ramosrogelio51@gmail.com)



### De mis libretas de Campo en la S.M.O.

Mis principales trabajos de Geología de campo, siempre fueron para Pemex Exploración, así me inicié como ayudante midiendo estratigráficamente a la Formación Chicontepec, y registrando las estructuras sedimentarias desde las principales hasta los asombrosos Icnofósiles que fueron clave para interpretar que estas turbiditas se depositaron a más de 3,800 m de profundidad. Posteriormente hice semidetalle estructural y más mediciones estratigráficas en la Plataforma Valles S.L.P., y uno grandioso de Reconocimiento Regional de la Sierra Madre Oriental, cubriendo los estados de Nuevo León y Tamaulipas, donde los paisajes, los sobre esfuerzos a veces inhumanos, me sellaron mi pasión por esas majestuosas montañas, recuerdo cuando subimos el Cerro del Viejo en la región de Zaragoza N.L. donde iniciamos los trabajos como a las 8 am y llegamos a la cima a las 21 pm casi desmayándome, después supe que esa cima fue referencia del navegante español Cabeza de Vaca en su travesía marinas. Y fui jefe de Brigada a partir de 1981 con mi primer proyecto, (del cual pongo aquí mi primer dibujo) y a partir de aquí, continuo haciendo expediciones a la SMO con colegas y a veces solo en las sinuosas áreas de la Sierra Madre Oriental, en la regiones de Tamazunchale, Xilitla, Cd. Valles SLP, en la Sierra de Huizachal Peregrina, y en casi gran parte de la SMO desde Monterrey N.L. hasta Huachinango, Puebla, y también hago expediciones por mi cuenta de las cuales he realizado 3 excursiones para profesionistas y jóvenes pasantes, 2 en la Fm. Chicontepec y otra en las rocas cretácicas y jurásicas de tipo Shales donde tuve gran participación de profesionistas de la U.N.A.M. Y el IPN, Ingenieros Petroleros, Ingenieros Geólogos y pasantes de geociencias y dos doctores uno en Geoquímica y otro en Geofísica.



### Camino Tianguistengo a Yatipan, Hidalgo

#### Afloramiento en Formación Guacamaya.

**Localidad,** camino de Tianguistengo a Yatipan, Hidalgo.

**Título,** Formación Guacamaya.

**Desarrollo del trabajo:** En los continuos recorridos a los afloramientos en la Sierra Madre Oriental, en este caso en el camino de Tianguistengo a Yatipan en el estado de Hidalgo, observamos este excelente afloramiento de una serie de areniscas de color café claro en capas delgadas y planas y lutitas de aspecto y de tipo flysch de la Formación Guacamaya de edad Paleozoico Pérmico.

**Descripción del Dibujo.** En la figura 1, se observan una intercalación de capas delgadas de areniscas de color café claro en estratificación horizontal y plana, inter estratificadas con capas de lutitas laminares de color gris oscuro, como se conoce esta formación también se encuentra en los afloramientos de la región de Huizachal Peregrina en el área de Cd. Victoria, Tam. y en algunos afloramientos cerca de Huiznopala, Hgo, dentro de la misma Sierra Madre Oriental.



### Carretera Pachuca-Huejutla, Hidalgo.

**Localidad,** Carretera Pachuca-Huejutla, Hidalgo.

**Título,** Pliegue complejo inclinado al NE.

**Desarrollo del trabajo:** En los recorridos de Geología Regional., en la región ya dentro de la Sierra Madre Oriental, se observaron, las diferentes formas y estilos estructurales relacionados con anticlinales complejos y con los cabalgamientos regionales existentes en el área, en este caso se tiene un pliegue complicado constituido por calizas y lutitas de la Formación Santuario de edad Jurásico Superior con vergencia hacia el Noreste.

**Descripción del Dibujo.** En este dibujo se presenta un afloramiento de un Plegamiento complejo, formado por capas constituidas por calizas delgadas de color gris claro y gris oscuro con intercalaciones de lutitas delgadas a laminas gris oscuro correspondientes a la Formación Santuario de edad Jurásico Superior, es decir se trata del cambio de facies de las formaciones Pimienta y Taman de la región de Tamazunchale, S.L.P., hacia la Fm Santuario en estas localidades dentro de la Sierra Madre Oriental.



**Rogelio Ramos Aracén**, es geólogo petrolero egresado del IPN, con experiencia en geología de campo en superficie en la SMO y como geólogo de pozos de exploración y explotación.

En su primer proyecto en 1981 denominado El Limón, del área de Ciudad Mante Tamaulipas. Cambio drásticamente las interpretaciones estructurales de pliegues en abanico, modificándolos por fallas de Cabalgamientos y de desgarre o laterales, trabajo muy polémico en ese entonces, pero años después y ahora ya son conceptos triviales.

Efectuó trabajos de Geología Regional tanto de la Plataforma Valles, como de las regiones de los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla.

Una Invitación inesperada primeramente del Dr. Eduardo Aguayo, me involucra con geólogos internacionales de la SGA y de la AAPG, para excursiones en la región frontal de la SMO, en las sierras de El Abra, Xilitla, Ahuacatlan, Qro., y paso de invitado a protagonista y guía colaborador con los Drs. Paul Enos y Charles Minero con los cuales se convirtió en coautor del Libro *Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico*

Participó en el Symposium sobre Yacimientos Naturalmente Fracturados en Tampico al lado del Dr. Ronald Nelson. y en recorrido de campo a la SMO y curso de sedimentología de siliciclastos con el Dr. Paul Edwin Potter y en secciones regionales de la Cuenca Tampico Misantla con el Dr. A. W. Bally.

Ha impartido conferencias en congresos nacionales y fue invitado y embajador mexicano en el Pabellón Internacional celebrado en el congreso de la AAPG en Dallas Txs. en 1997

Fue Premio Nacional en el 3er Symposium de Exploración de Plays y Habitats de Hidrocarburos en Tampico Tam. en 2007.

Fue presidente de las delegaciones de Tampico y CDMX de la AMGP, en los bienios 1998-1999 y 2018-2020 respectivamente, y recientemente ex candidato a la presidencia nacional de la AMGP

Laboro en Pemex exploración, en el IMP como asesor y consultor con Ingeniería de Perforación de Pozos en las regiones del SE y N., y como analista sedimentológico del Jurásico Superior, recientemente ha efectuado trabajos como asesor con algunas empresas del sector energético en algunos de sus proyectos o adjudicaciones.

#### Co Autor del Libro

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Aracén. *"Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico"*, AAPG GUIDE BOOK FIELD TRIP AAPG DALLAS ANUAL CONVENTION 1997

#### Principales Conferencias Impartidas.

#### EN CONVENCIONES NACIONALES DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA, en los años:

**1984** "LOS CABALGAMIENTOS EN LA REGIÓN DE CD. MANTE TAM." VI CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL HOTEL MA. ISABEL SHERATON EN MÉXICO, D.F.

**1986** "EL ORIGEN DE LAS CONCRECIONES EN LA FM. LA CASITA" VII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL IMP EN MÉXICO, DF.

**1988** "LOS OLISTOLITOS DE LA FM. EL DOCTOR EN EL ÁREA DE ZIMAPAN, HGO". VIII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN LA CFE EN MÉXICO, DF.

**1990** "DEFORMACION ESTRUCTURAL EN EL FRENTE DE LA SMO ÁREA, XILITLA, TAMAZUNCHALE, SLP". IX CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL AUDITORIO BRUNO MASCANZONI DEL IMP EN MÉXICO, DF.

**1992** "EXPLORACION DE PETROLEO ASOCIADO A EL FRACTURAMIENTO REGIONAL EN LA PLANICIE COSTERA" X CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL CENTRO DE CONVENCIONES "EXPOVER" EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

**2021** "LA INVASIÓN MARINA SOBRE LOS BORDES CONTINENTALES DESDE EL CALLOVIANO AL KIMMERIDGIANO EN EL ORIENTE Y SURESTE DE MÉXICO. CDMX VIA ZOOM.

**2021** "PRINCIPALES OROGENIAS EN MÉXICO CON CATACTERISTICAS GEOLOGICAS. ESTILOS ESTRUCTURALES, CRONÓLOGIAS". CDMX. VIA ZOOM

## IMPORTANT CONTRIBUTIONS IN GEOSCIENCES PROMISE TO REVOLUTIONIZE O&G&M EXPLORATION. No 1/6.

**EDINSON ALVAREZ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Exploration Geologist, O&G&M Specialist,  
Researcher of tectonic and structurally complex areas.



**Complex Source Theory (Edinson Alvarez 2025):** A mechanism used by interdisciplinary groups of specialists in any field of science, where new concepts, new methodologies, new technology, and new knowledge are employed, obtaining new results, in order to resolve complex issues.. (Image Courtesy of Pixabay).

### INTRODUCTION

The Sinú San Jacinto SSJJ basin and the lower Magdalena Valley Basin, according to C-R Posada Saldarriaga et al. 2024, offer significant hydrocarbon prospectivity potential estimated for VIM at 3.18 tcf for Gas and 0.731 tcf Wet Gas, and a lower value than this range is estimated for SSJJ. According to ANH 2022, the values for Oil are 2,165 and 4,922 Mmboe respectively. Different studies by ANH 2012 and Explorasur 2012, among others, report important surface sources of crude oil and gas, in addition to the existence of important O&G fields in the area.

### METODOLOGY

These graphs show the prospective corridors of interest (buffer) published by the National Hydrocarbons Agency (ANH 2022) (gray, red, and purple areas in the graph) around the main producing fields.

This work uses innovative tools from Complex Source Theory (Edinson Alvarez 2025 Definition) to extend the prospective corridors proposed by the ANH 2022 (Figure 1).

In addition to traditional tools such as: Seismic interpretation, structural geology, geochemistry, stratigraphy, well information, reservoir information, flow lines, plays, and others..

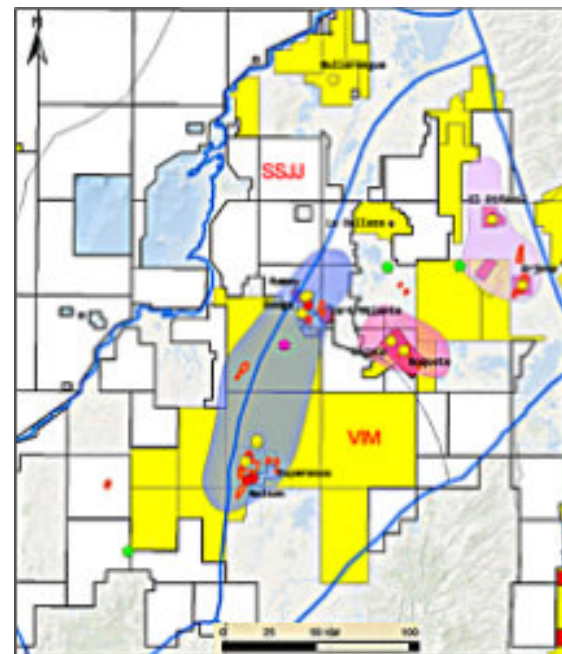


Figure 1. ANH 2022 prospective corridors, for the Sinú San Jacinto SSJJ and lower Magdalena Valley VIM basins.

### RESULTS

All this information has been integrated, allowing us to determine or establish the prospective corridor in dark yellow. This work was submitted to Ecopetrol in July 2022. (Figure 2).

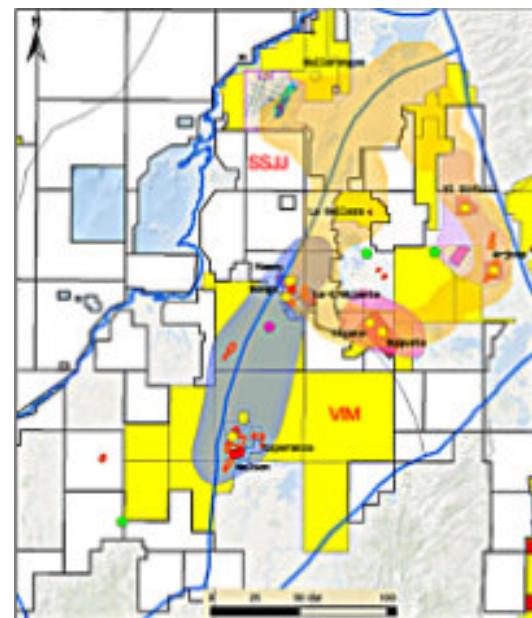


Figure 2. New prospective corridor proposed by the author, submitted to Ecopetrol in July 2022. Versus prospective corridors ANH 2022 for the Sinú San Jacinto SSJJ and Lower Magdalena Valley VIM basins. (Northern sector, Southern sector in the full report).

The good news came in 2023, when Canacol Energy reported the discovery of hydrocarbons in the DiviDivi1 well in January 2023 in the VIM basin, just within the new dark yellow predictive prospecting corridor, six months after it was presented to Ecopetrol. (Figure 3).

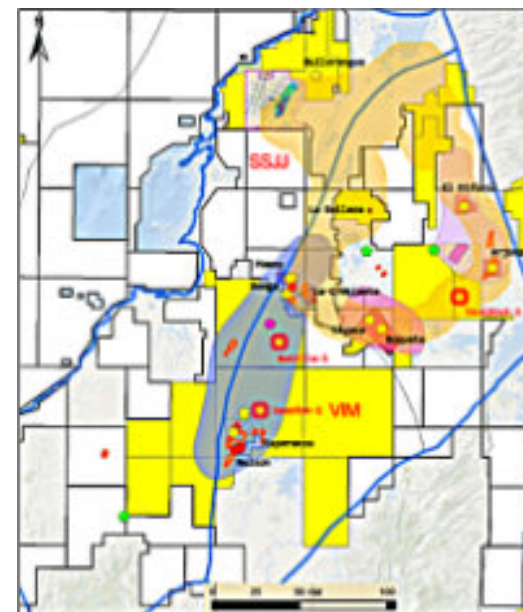


Figure 3. Canacol Energy announces the discovery of hydrocarbons in the DiviDivi1 well, within the proposed Dark Yellow prospect corridor in the VIM basin. Six months after the predictive model was presented.

Then, in December 2023, Lewis Energy-Hocol reported a new hydrocarbon discovery in the Bullerengue Oeste5 well in the Sinú San Jacinto Basin, on the edge of the proposed new predictive prospect corridor (dark yellow). This is 17 months after the model was submitted (Figure 4).

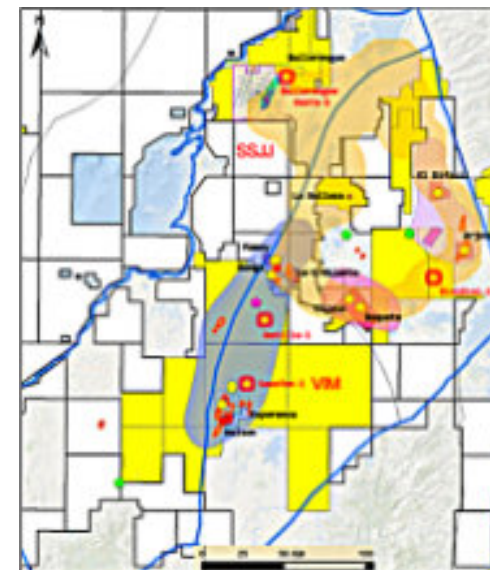


Figure 4. Lewis Energy-Hocol announces the discovery of a new hydrocarbon well, the Bullerengue Oeste5, within the Dark Yellow prospect proposed by the Author. In the

Sinú San Jacinto SSJJ basin. Seventeen months after the predictive model was presented.

These two hydrocarbon discoveries, made in 2023, after the predictive model was submitted to Ecopetrol in July 2022, demonstrate the effectiveness of the model with proven results.

The above discoveries are outside the area of interest proposed by ANH 2022 (gray, red, and purple areas), Figure 5. However, they are within the range of the predictive model proposed by Author 2022 (dark yellow area in Figure 4).

This also demonstrates a positive result in terms of the scope, value, and contribution of the Complex Source Theory (EA2025) tools. In this case, to expand hydrocarbon prospectivity corridors in these basins, Also points out other positive results obtained with this new tool.

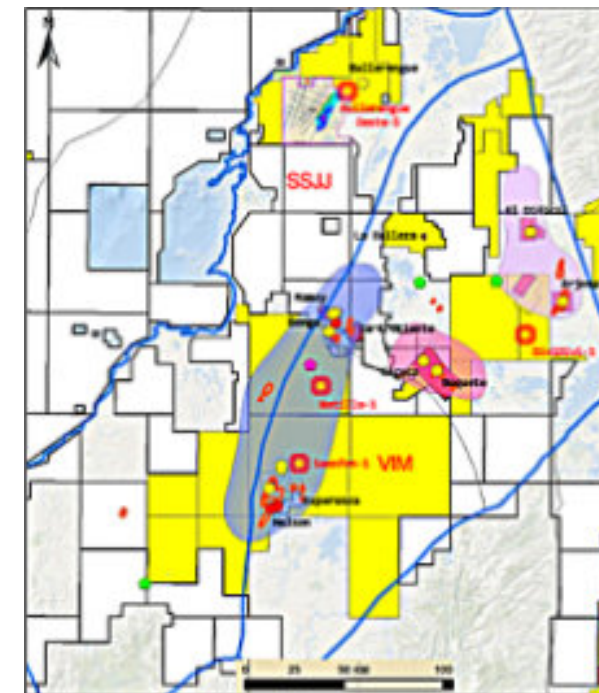


Figure 5. New discoveries by the companies Canacol Energy and Lewis Energy-Hocol, are located outside the ANH 2022 prospective corridors, for the Sinú San Jacinto SSJJ and lower Magdalena Valley VIM basins.

### DISCUSSION

It is important to highlight that the predictive model presented here requires rigorous analysis to identify the best prospects and exploration opportunities in order to obtain the best possible results. The structural aspect plays a very important role, which, according to various authors, is complex for the Sinú San Jacinto SSJJ basin and somewhat less complex for the VIM lower Magdalena Valley. Added to this is the difficulty in obtaining seismic

images with good quality information. This latter aspect has also been overcome with SCT.

A more detailed analysis and solution to problems of high structural complexity can be consulted with the author of this article.

### CONCLUSION

The above discoveries and/or results strengthen and help confirm the predictive model of a prospective corridor presented by Dr. Edinson Alvarez, a geologist specializing in exploration, Oil, gas and mining. This model, in addition to other results, will be included in a new release. Validating his Complex Source Theory,

It has deserved him recognition for his contributions to geoscientific knowledge in Colombia from the Institute of Stratigraphic Research (IIES) of the University of Caldas, PhD Andrés Pardo, Director; from the Master of Earth Sciences program at the University of Caldas, MSc Arley Gomez, Director; and from Clemencia Gómez, PhD, Professor of the Geosciences Department at the National University of Colombia.

### REFERENCES

Alejandro Mora-Hocol-Charla Youtube 2021, Formación y evolución del Valle Inferior del Magdalena y cuencas adyacentes.

ANH 2022. Assessment of Gas Prospectivity in Onshore Basins-47 p.

Bernal-Olaya, Rocio, Paul Mann, and Alejandro Escalona, 2015, Cenozoic Tectonostratigraphic Evolution of the Lower Magdalena Basin, Colombia: An Example of an Under- to Overfilled Forearc Basin, AAPG Memoir 108, 53p.

C-R. Posada-Saldarriaga, Et al 2024. "Prospective Gas Resources with Emphasis on Wet Gas in Onshore Colombian Basins", Revista Facultad de Ingeniería, vol. 33, no. 69, Eafit-ANH-2011. Geology And Hydrocarbon Potential Regional Geology Of Colombia-204p.

Explorasur-ANH 2012. Adquisición, Procesamiento E Interpretación De 308 Km De Líneas Sísmicas 2d

En La Cuenca Sinú San Jacinto - Montes De María, 47 P. Hermann D. Bermúdez et al 2009. Estratigrafía Y Evolución Geológica De La Secuencia sedimentaria Del Cinturón Plegado De San Jacinto 22p.

IIES-ANH 2020. Integración geológica, sistemas petrolíferos y prospectividad de la Cuenca Urbá, Sinú San Jacinto y la Subcuenca San Jorge en el Valle Inferior del Magdalena.. 318 p.

IIES-ANH-Colombian Round 2021. Geological Integration, Petroleum Systems And Prospectivity Of Colombia'S Frontier Basins: Lower Magdalena Valley – Plato Sub-Basin. 60p.

IIES-ANH-Colombian Round 2021. Geological Integration, Petroleum Systems And Prospectivity Of Colombia'S Frontier Basins: Sinú San Jacinto And San Jorge (Lower Magdalena Valley). 48p.

Jose Osorno ,Antonio Rangel.2015.ANH-Halliburton. Geochemical assessment and petroleum systems in the Sinú-San Jacinto Basin, northwestern Colombia, 15p.

Juan Pablo Marín et al.2010. Evaluación Geológica Y Prospectividad Sector Sinú – Urbá. 9p.

Mapa de tierras ANH 2022

Mora, J. A., Et al 2017. Linking Late Cretaceous to Eocene tectonostratigraphy of the San Jacinto fold belt of NW Colombia with Caribbean Plateau collision and flat subduction. 37 p.

Mora-Bohórquez, J.A., Et al. 2020. Formation and evolution of the Lower Magdalena Valley Basin and San Jacinto fold belt of northwestern Colombia: Insights from Upper Cretaceous to recent tectono-stratigraphy.59p.

Reyes, H. et al 2004. Tectonoestratigrafía Y Evolución Geológica Del Valle Inferior Del Magdalena. Ecopetrol, Instituto Colombiano del Petróleo. 18p.

SGC 2014. Anexo K Compilación De La Cuenca Sinú – San Jacinto 43p.



Exploration Geologist Specialist - Geophysicist, expert in O-&-G-Mining integrated studies (Colombia, Perú and México), Giving solutions to geoscientific problems, which have been in uncertainty for more than 5 decades. With important + economic implications.

The God's grace guide us to develop the "Complex Source Theory", a new mechanism that allow us increasing traditional O&G&M discoveries, production, reserves, as new energies and CCUS.

Geological mapping, surveys design, processor PSTM (Conv-3C-4C-TZ-OBC), geomodeller, seismic interpreter and reservoir characterization (Conventional-and-Unconventional Reservoirs). Stratigraphic sequence, seismic attributes, AVO analysis, fluids substitution, seismic inversion, risk and uncertainty, leads and prospects, reserves.

Discovery of New prospective corridors and O&G prospects, in Foothills, Llanos, Putumayo, VIM, VMM, GuajiraOff-Guajira, SSJJ, Colombia basin.

[edinson.alvarez@gmail.com](mailto:edinson.alvarez@gmail.com)

**God's grace allows us to solve mystery that has lasted more than 60 - 90 years.**

**11 proposed models,**  
fail to answer all the questions that still exist.

**Complex Source Theory** will generate a revolution, a radical transformation of the mining and energy industry, giving different solutions for increase O&G&M discoveries, reserves and production, in complex and normal areas.

Contact: [edinson.alvarez@gmail.com](mailto:edinson.alvarez@gmail.com)  
O&G and Mining Geoscientist Exploration Specialist

## ¿Existe un sistema petrolero en la Sierra Madre Occidental?

Samuel Eguiluz y de Antuñano

Consultor

[seguiluz662@gmail.com](mailto:seguiluz662@gmail.com)

### Introducción

Estudios previos en la Sierra Madre Occidental (SMO) concentran su descripción en la cubierta volcánica del Cenozoico y soslayan las características que tienen rocas más viejas (McDowell *et al.*, 1997; Aranda-Gómez *et al.*, 1997; Clark *et al.*, 1981; Henry, 2003; Ferrari, *et al.*, 2005; Nieto-Samaniego *et al.*, 2012, Ferrari *et al.*, 2020). En la colindancia de los estados de Durango y Sinaloa, bajo la cubierta volcánica del Cenozoico, hay una sucesión estratigráfica de rocas de ambiente marino y continental del Jurásico Medio, Jurásico Superior, Cretácico y Paleógeno (Eguiluz y Hernández, 2020; Eguiluz *et al.*, 2022), con más de 2000 m de espesor (Figura 1), depositadas en un ambiente tectónico de intra-arco y post-arco acorde a modelos de placas tectónicas convergentes. (Figura 1).

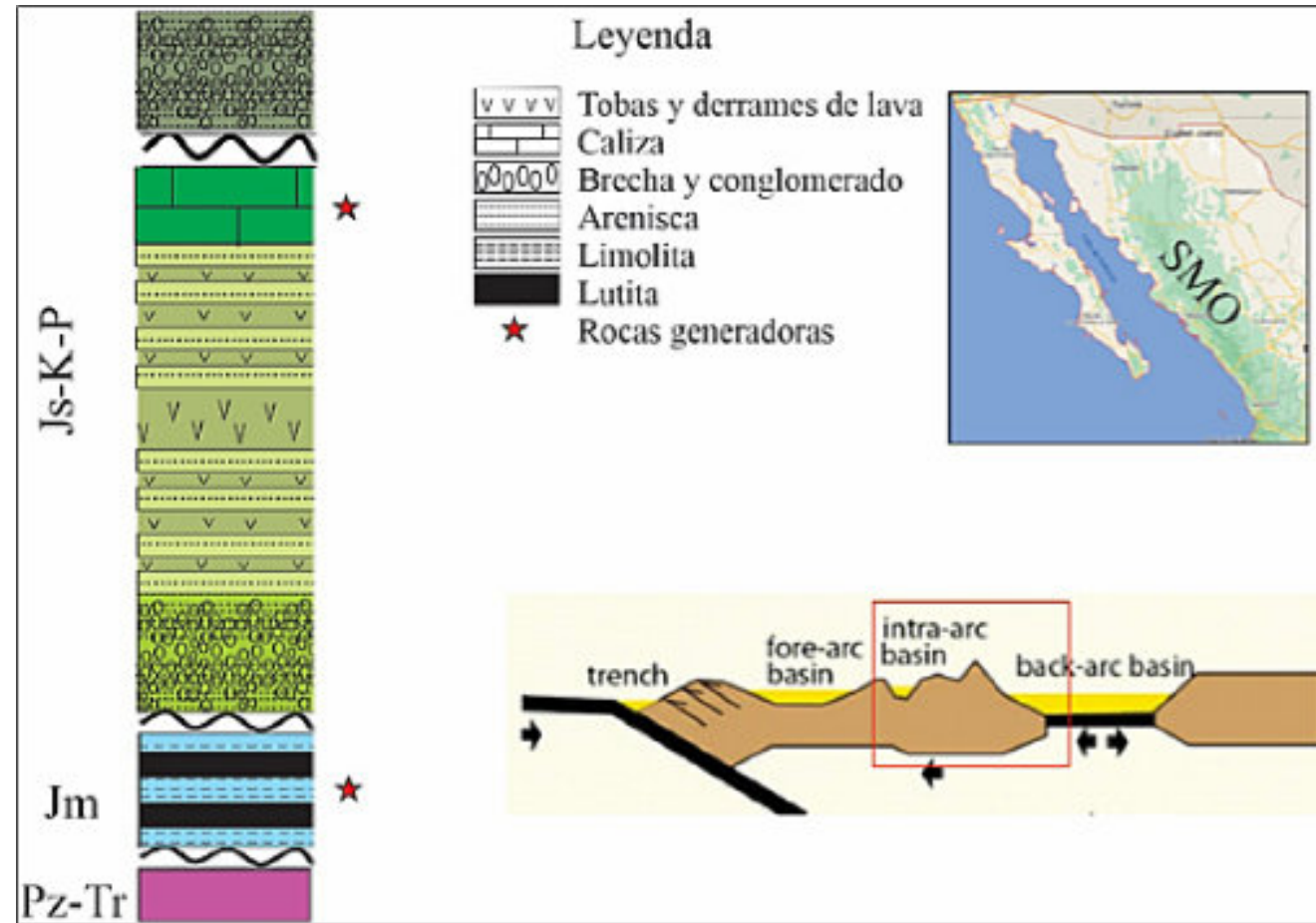


Figura 1. Localización del área en estudio en la Sierra Madre Occidental (recuadro superior). Columna estratigráfica generalizada con rocas del complejo basal Paleozoico y Triásico (Pz-Tr), cubierta sedimentaria con sedimentación del Jurásico Medio (Jm), Jurásico Superior, Cretácico y Paleógeno (Js-K-P) descritas en el texto. Modelo tectónico de placas convergentes (tomado de Sorkhaby, 2019).

\*A solicitud de varios colegas, estamos publicando este artículo de nuevo.

En la sucesión estratigráfica del Mesozoico y Paleógeno de la Sierra SMO este trabajo identifica elementos del Sistema Petrolero. Hay estratos de lutita y arenisca de origen marino del Jurásico Medio (Eguiluz *et al.*, 2022), con espesor de 200 m o más. Muestras de estas rocas obtenidas de afloramientos tienen datos preliminares ROCKEVAL con valores de COT variables, desde 0.3% a 1.41% wt, Ro desde 0.5% a 1.2%, con materia orgánica tipo II y III, e índices de hidrógeno de 5.8 a 1.42. Estas rocas subyacen con discordancia angular a una sucesión volcánico-sedimentaria del Oxfordiano-Tithoniano y Cretácico. En rocas de edad Albiano hay microbialitas que exudan aceite (Eguiluz, 2016; Eguiluz *et al.*, 2019) y este es otro posible sub-sistema generador de hidrocarburos (Figura 1). Mapas del flujo de calor estiman rangos de 100 a 200 mW/m<sup>2</sup> para la región estudiada (Prol-Ledesma y Morán-Centeno, 2019, Figura 2), lo que sugiere de forma preliminar condiciones favorables para que las rocas generadoras puedan entrar en la ventana de generación de gas y aceite ligero. En esta región hay paquetes de arenisca y caliza porosos con derrames de andesita interestratificada que está fracturada, con espesores gruesos que son posibles rocas almacén, así como numerosos cuerpos de lutita como factibles roca sello (Eguiluz y Hernández, 2020). Estas litologías tienen cambios de facies laterales y hay anticlinales poco deformados y bloques fallados de dimensión diversa, que son posibles trampas estratigráficas y estructurales y/o su combinación. No hay suficientes datos para realizar modelado que evalúe procesos del Sistema Petrolero.

En Columbia Británica, Canadá, hay rocas del Jurásico Medio con similitud litológica a la observada en la SMO que se identifican como potenciales *plays* de exploración petrolera (Ferri *et al.*, 2004). Cuencas de intra-arco y post-arco productoras de petróleo están en Punta Arenas, entre Chile y Argentina (Thomson, 2002; Folguera *et al.*, 2003, Montesinos, 2017); Indonesia (Bachman *et al.*, 1983; Ramadam-Sulistyo, 2016; Rice-Oxley y Abu-Bakar, 2022), islas Aleutianas (Geitz *et al.*, 1987) y Japón (Aoyagi, 1985; Inaba, 2016).

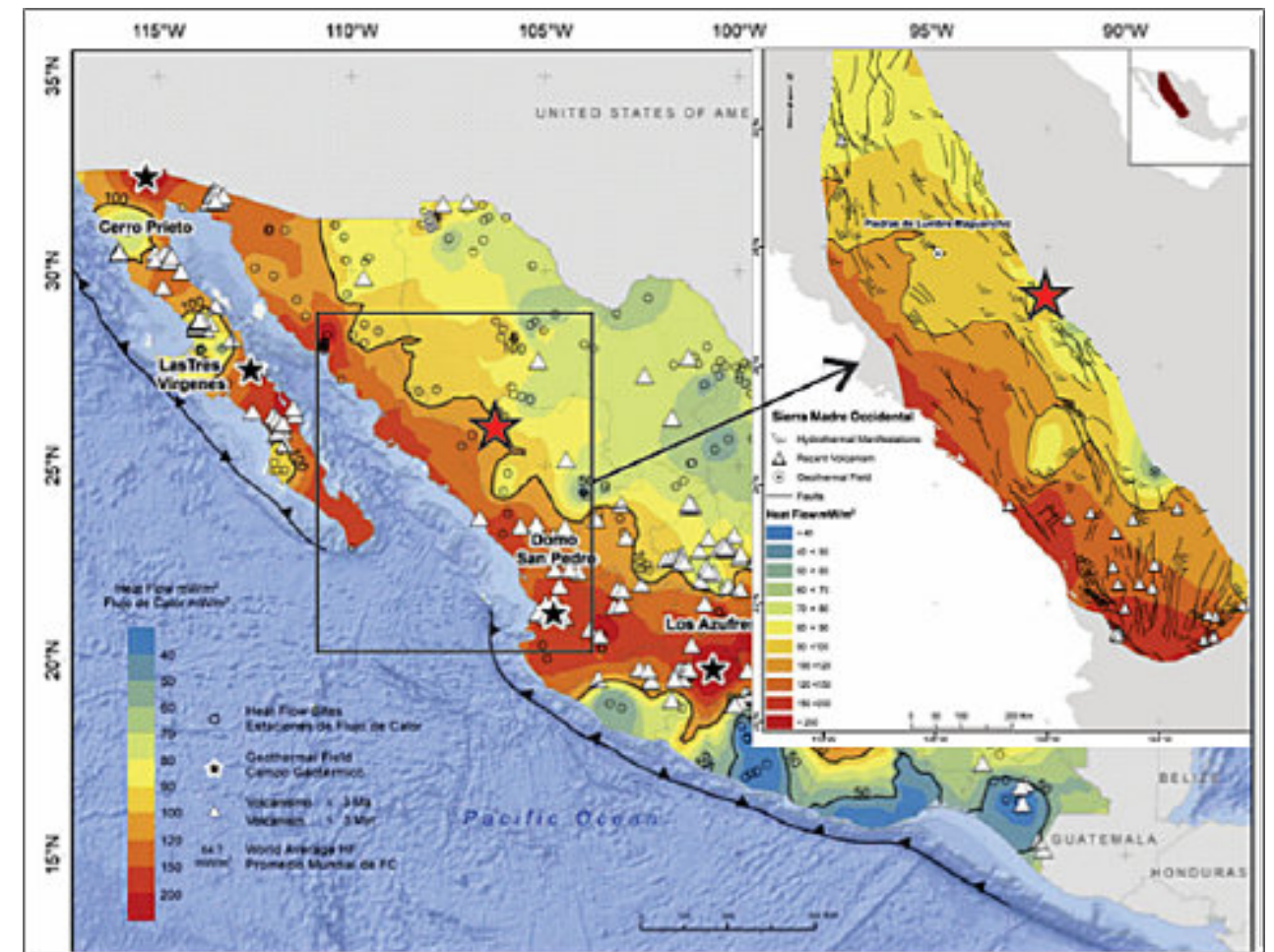


Figura 2. Mapa de flujo de calor de México y en recuadro la Sierra Madre Occidental, construido por interpolación de datos calculados del gradiente geotérmico en mediciones de fondo de pozos (Prol-Ledesma y Morán Centeno, 2019). Estrella área en estudio de este trabajo.

En México la Formación Alisitos se depositó en ambiente de intra-arco y en los pozos Cantina 1 y Bombas 1 hay hidrocarburos en sucesiones de turbiditas vulcano-sedimentarias (Madrid-Solís, 1980; Eguiluz, 2016; Eguiluz *et al.*, 2019). La fisiografía de la SMO y su evolución magmática hace a esta región muy compleja en su exploración petrolera, más, sin embargo, están adyacentes las planicies costeras de Sinaloa y parte sur de Sonora. Estas áreas carecen de estudios geológicos y geofísicos apropiados con enfoque petrolero, regiones en donde puede ser factible la adquisición sísmica y ubicar equipos de perforación. El NW de México requerirá el abasto de petrolíferos de ~900 MMpc/d de gas y ~166 Mbpce/d para el año 2032 (CNH, 2018). La producción de petróleo en Alaska y Alta California declina sustancialmente y la importación de este producto se incrementa para tener una refinación sostenida de  $\pm 650$  MMb/año (Figura 3). El precio actual del barril de petróleo es de ~100 USD y del gas por millar de pies cúbicos para usos residencial e industrial en EUA se incrementan notablemente (Figura 3). La crisis de la guerra Ucrania - Rusia afectará por tiempo indefinido el suministro y precio de los hidrocarburos, ya que este conflicto es en parte una guerra por este energético. Este trabajo es un avance sobre las investigaciones que el autor realiza en el occidente de México.

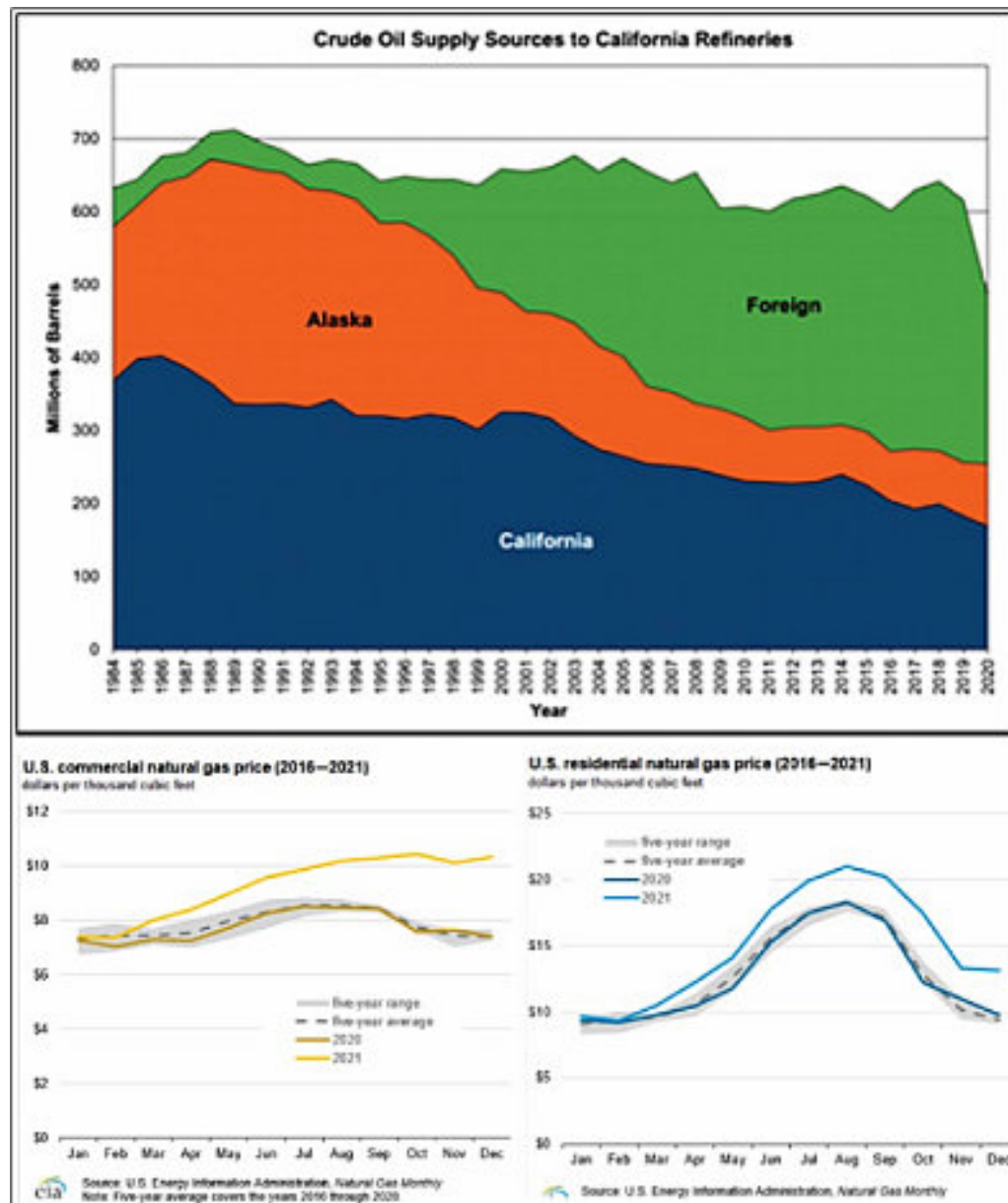


Figura 3. El cuadro superior muestra las fuentes de suministro en millones de barriles de petróleo anualizadas para las refinerías de California USA entre los años 1984 a 2020. Las gráficas muestran el incremento en los precios del gas natural por millar de pies cúbicos para usos industrial y doméstico en Estados Unidos durante los últimos cinco años (Energy Information Administration, marzo 2022).

## Conclusiones

Los datos preliminares que aquí se presentan sugieren hacer estudios de exploración para evaluar un posible Sistema Petrolero en la SMO que puede extenderse a la planicie costera inmediata al occidente.

## Referencias bibliográficas.

- Aoyagi K., 1985, Origin of the Miocene Carbonate Reservoir Rocks, Fukubezawa Oil Field, Akita Province, Northeast Honshu, Japan. In: Roehl P.O., Choquette P.W. (eds) Carbonate Petroleum Reservoirs. Casebooks in Earth Sciences. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5040-1\\_36](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5040-1_36)
- Aranda-Gómez, J. J., Henry, C.D., Luhr, J.F. y McDowell, F.W., 1997, Cenozoic volcanism and tectonics in NW Mexico a transect across the Sierra Madre Occidental volcanic field and observations on extension related magmatism in the southern Basin and Range and Gulf of California tectonic provinces, in G. J. Aguirre-Díaz, J. J. Aranda-Gómez, G. Carrasco-Núñez y L. Ferrari, eds., Magmatism and tectonics in the central and northwestern Mexico a selection of the 1997 IAVCEI General Assembly excursions, México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 41-84.
- Bachman B.S., Stephen D. Lewis, and William J. Schweller, 1983, The American Association Petroleum Geologists Bulletin, V. 67, No. 7, 1143-1162.
- Clark, K.F., Damon, P. E., Shafiquillah, M., Ponce, B.F. Cárdenas, D., 1981, Sección geológica-estructural a través de la parte sur de la Sierra Madre Occidental, entre Fresnillo y la costa de Nayarit: Asociación de Ingenieros Mineros, Metalúrgicos y Geólogos de México, Memoria Técnica XIV, 69-99.
- CNH, 2018, El sector del gas natural, algunas propuestas para el desarrollo de la industria nacional, 1-188.
- Eguiluz de Antuñano, S., 2016, Exploración petrolera en el occidente de México, Revista Ingeniería Petrolera, Vol 56, No. 6, 350-360.
- Eguiluz de Antuñano, S.; Moreno-Bedmar, Josep Anton; Amezcua, Natalia; Livas-Vera, Margarita; Puente Fragoso, Luis Ángel, 2019, Presencia de *Mortonicerias*? sp. en la Formación Madrid, Estado de Colima: su importancia en la evolución paleogeográfica del Albiano tardío en México, Paleontología Mexicana Volumen 8, núm. 2, 2019, p. 121 – 128.
- Eguiluz y de Antuñano, S., y Hernández Ocaña María I., 2020, Icnofósiles en una sucesión fluvio-lacustre en la Sierra Madre Occidental, Durango, México, Paleontología Mexicana, 9 (1), 17-30.
- Eguiluz y de A.S., Ana Bertha Villaseñor, Pablo David Ibarra-Bustos, Misael Centeno-Olivares, 2022, Record of ammonites and bivalves from Aalenian (early Middle Jurassic) in Canelas, Durango, western México, Journal of South America Earth Sciences, 114, 1-12.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S.E, 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario Temas Selectos de la Geología Mexicana, Tomo LVII, nú. 3, p. 343-378.
- Ferrari L., Gilles Levresse, José Jorge Aranda-Gómez, Christopher D. Henry, Martín Valencia-Moreno, and Lucas Ochoa Landín, 2020, Tectonomagmatic Pulses and Multiphase Mineralization in the Sierra Madre Occidental, Mexico, guidebook series of the society of economic geologists, inc. Guidebook 61, 1-47.
- Ferri Filippo, Kirk Osadetz, Carol Evenchiks, 2004, Petroleum source rock potential of Lower to Middle Jurassic clastics, intermontane basins, British Columbia, Resource Development and Geoscience Branch, Summary of Activities 2004, British Columbia Ministry of Energy and Mines, 87-98.
- Folguera, Andrés, Víctor A. Ramos y Daniel Melnick, 2003, Recurrencia en el desarrollo de cuencas de intra-arco. Cordillera Neuquina (37°30' - 38°S), Revista de la Asociación Geológica Argentina, 58 (1): 3-19.
- Geist, L. E., Jonathan R. Childs and David W. Scholl, 1987, Evolution and petroleum geology of Amlia and Amukta intra-arc summit basins, Aleutian, Ridge, Marine and Petroleum Geology, Vol 4, November, 334-357.

Henry, C.D., McDowell, F.W., and Silver, L.T., 2003, Geology and geochronology of granitic batholithic complex, Sinaloa, México: Implications for Cordilleran magmatism and tectonics, in Johnson, S.E., Paterson, S.R., Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., and Martín-Barajas, A., eds., Tectonic Evolution of Northwestern Mexico and the Southwestern USA: Geological Society of America Special Paper 374, p. 237–273.

Inaba Mitsuru, 2001, Basalt reservoir in the Yurihara Oil and Gas Field, northeast Japan [Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology](#) 66 (1), 56-67. DOI: [10.3720/japt.66.56](#)

Madird-Solis, A., 1980, Exploración geológica de Baja California, Revista Petróleo Internacional, p. 137-14.

McDowell, F.W., and Keizer, R.P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango city and Mazatlan, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 1479–1487.

Nieto-Samaniego Á. F., Constancio Iván Barajas-Gea, Juan Martín Gómez-González, Armando Rojas, Susana Alicia Alaniz-Alvarez y Shunshan Xu, 2012, Geología, evolución estructural (Eoceno al actual) y eventos sísmicos del Graben de Santiaguillo, Durango, México, Rev. Mex. Cienc. Geol. vol. 29, no.1, p. 115-130.

Prol-Ledesma R.M., Dante Jaime Morán-Zenteno, 2019, Heat flow and geothermal provinces in Mexico, Geothermics, volume 78, 183-200.

Ramadhan Sulisty, Z., 2016, Volcanostratigraphy of submarine volcano kumbang fm. in capar area, kuningan: implication to potential volcano-clastic play in west java basin, IPA16-3-G, Proceedings, Indonesian Petroleum Association Fortieth Annual Convention & Exhibition, May 2016, 9p.

Rice-Oxley E., and Azli Abu-Bakar, 2022, Historical and emerging super basins of Southeast Asia, AAPG Bulletin, v. 106, no. 3 (March 2022), pp. 633–653.

Sorkhabi Rasoul, 2019, Geological Basin Classification, GEOExPro, vol 16, No 2.

Thomson, S. N., 2002, Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 428S and 468S: An appraisal based on fission-track results from the transpressional intra-arc Liquiñe-Ofqui fault zone, *GSA Bulletin*; September 2002; v. 114; no. 9; p. 1159–1173.



**Samuel Eguiluz y de Antuñano** es ingeniero geólogo egresado de la Facultad de Ingeniería UNAM. Trabajó en exploración minera en Servicios Industriales Peñoles y en exploración petrolera en Petróleos Mexicanos. Ha sido catedrático de instituciones educativas y asesor de campo en actividades mineras y petroleras en México y el extranjero. Es miembro de diversas organizaciones de divulgación científica en donde ha escrito trabajos técnicos diversos.

<https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Eguiluz>

# 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.**

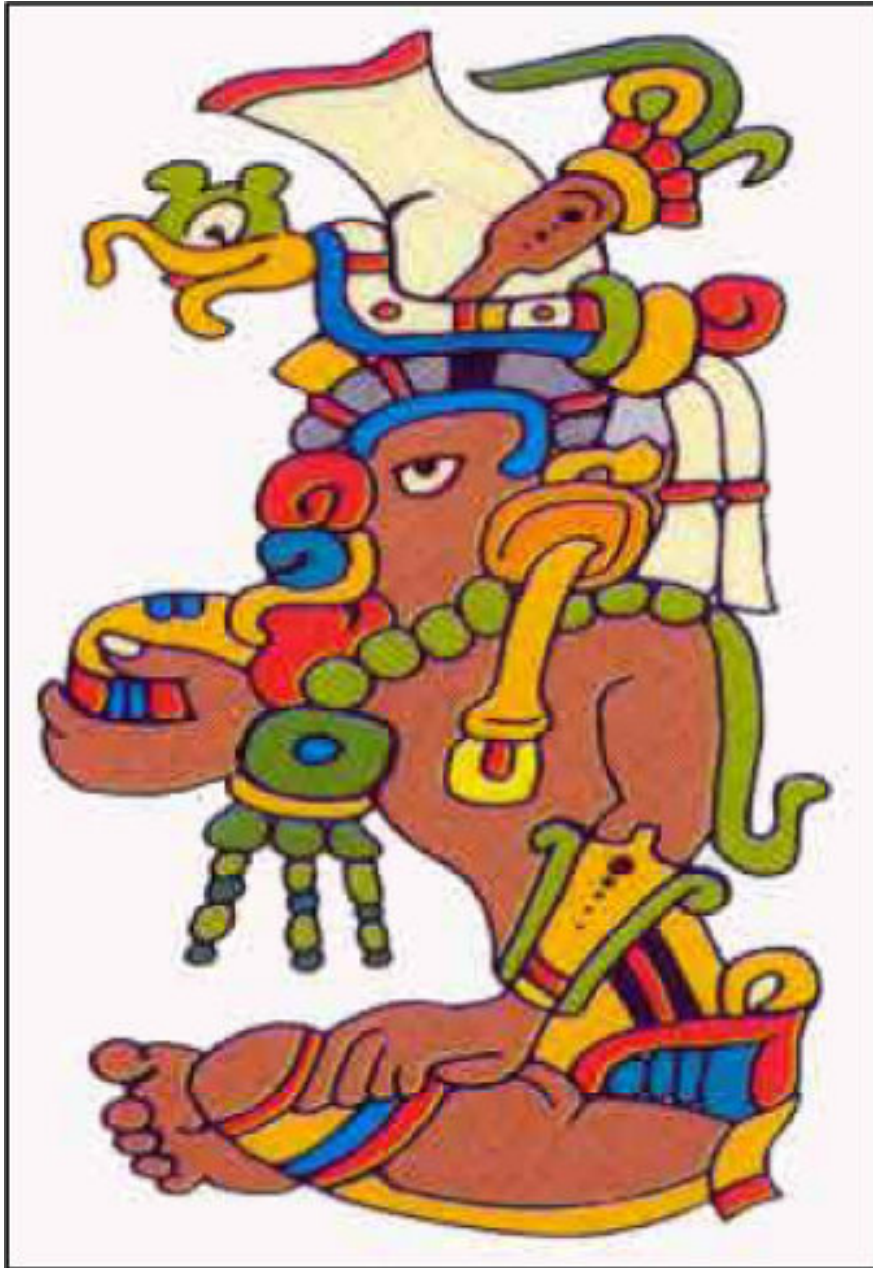
**Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.**

**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.**

# MISCELÁNEOS

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.

## Museo Argentino de Ciencias Naturales: Bernardino Rivadavia

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](https://bit.ly/GeoSeminarios2025)

**TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO FORMULARIO Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!**

**¡TE ESPERAMOS!**

@GeoLatinas

YouTube, LinkedIn, Facebook, Instagram



Transmisión

Checka nuestros GeoSeminarios en

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences



<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.

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT)



<https://www.ipicyt.edu.mx/>

La División de Geociencias Aplicadas (DGA) realiza investigación sobre problemas básicos y aplicados de la Geofísica, Hidrogeología, Hidrogeoquímica, Percepción Remota, Geomática, Climatología, Modelación Matemática y Computacional, Petrología Ígnea, Geoquímica, Vulcanología, Geología Regional, Geología Estructural y Tectónica. Con la finalidad de estudiar, modelar, analizar, evaluar los recursos naturales (agua y yacimientos minerales); así como, fenómenos climatológicos y ambientales. Esto mediante la realización de proyectos de investigación, asesorías y servicios al sector académico, social, gubernamental y privado, tanto a nivel regional, nacional e internacional. Además, a través de sus programas de maestría y doctorado, forma recursos humanos altamente calificados en las áreas de Exploración Geofísica, Hidrogeología, Integración de Geosistemas, Física de la Atmósfera y Tierra Sólida.

La División de Geociencias Aplicadas cuenta con un grupo interdisciplinario (de investigadores, técnicos y estudiantes) comprometido a ser líder en el desarrollo de proyectos de investigación y vinculación utilizando metodología de punta con infraestructura de vanguardia.

La División de Geociencias Aplicadas ofrece servicios de asesoría y consultoría en:

Estudios Integrales del Agua

Exploración Geofísica

Métodos potenciales de exploración geofísica

Métodos eléctricos y electromagnéticos de exploración geofísica

Geología Regional del Subsuelo

Geoquímica

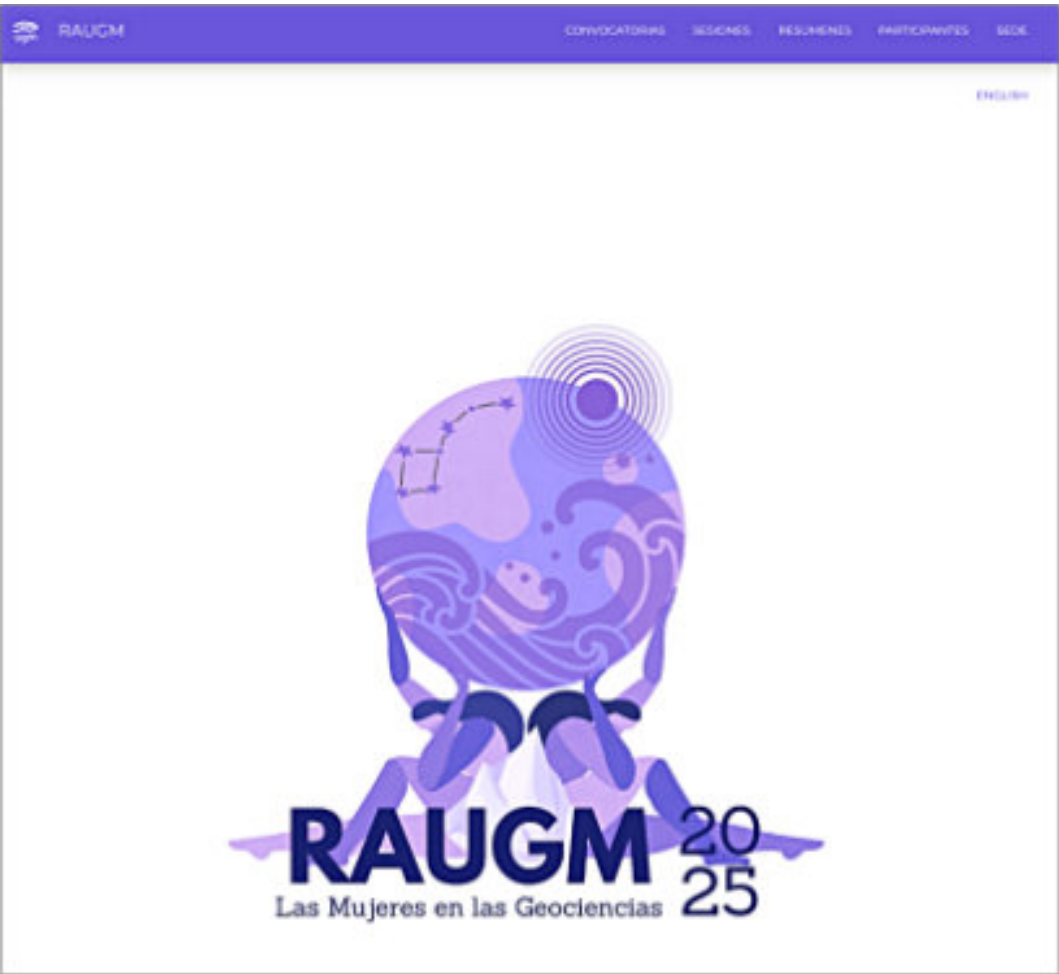
Hidrogeología

Hidrología

Meteorología

Minería

<https://raugm.org.mx/>



**DEL 26 AL 31 DE OCTUBRE DE 2025**

Hotel Sheraton Bugarvillas · Puerto Vallarta · Jalisco · México

**TEMAS**

Anqueometría · Climatología, cambios climáticos y atmósfera · Ciencias del suelo · Exploración geofísica · Física espacial · Geología estructural y tectónica · Geodesia · Geología y geofísica ambiental · Geología del petróleo · Geomagnetismo y paleomagnetismo · Geohidrología · Geoquímica y petrología · Modelación de sistemas geofísicos · Oceanografía costera · Oceanología · Paleontología · Riesgos naturales · Sedimentología y estratigrafía · Simología · Vulcanología

**FECHAS LÍMITE**

Propuesta de sesiones especiales y cursos: **1 de junio** · Registro de resúmenes: **10 de agosto** · Pre-registro de participantes: **7 de septiembre**

**Convocatorias**

**CN01** Propuestas de sesiones especiales

Fecha: Del 12 de abril al 1 de junio

Descripción

**CN02** Propuestas de cursos

Fecha: Del 12 de abril al 1 de junio

Descripción

**unión geofísica  
ugm mexicana a.c.**

**SESIÓN ESPECIAL (SE09)**  
**LA CIENCIA ABIERTA Y LAS  
REVISTAS DE GEOCIENCIAS EN  
MÉXICO:**

**RECOMENDACIONES PARA LA  
PUBLICACIÓN DE ARTÍCULOS DE  
RELEVANCIA INTERNACIONAL**

**DEADLINE: 10 DE AGOSTO**

**CONSULTA LAS BASES:**  
<https://www.raugm.org.mx>

**RAUGM 2025**  
Las Mujeres en las Geociencias

| Sesiones especiales                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SE01</b> Las geociencias en la sociedad: educación, difusión y divulgación                                                                                                            | <b>SE10</b> Métodos computacionales en Ciencias de la Tierra                                                                                 |
| <b>SE02</b> Limnología física                                                                                                                                                            | <b>SE11</b> Energías renovables y sistemas de energía: desafíos de modelación multi-escala                                                   |
| <b>SE03</b> Investigación integral del peligro sísmico: desde los procesos de ruptura hasta la mitigación de desastres compuestos                                                        | <b>SE12</b> La contribución de la cartografía digital a las geociencias: pasado reciente y perspectivas                                      |
| <b>SE04</b> 40 años del sismo de 1985: conmemoración y avances en la sismología mexicana                                                                                                 | <b>SE13</b> Ciencias especiales, química prebiótica y astrobiología                                                                          |
| <b>SE05</b> Medición de la calidad de aire y emisiones desde el espacio                                                                                                                  | <b>SE14</b> Redes de monitoreo e investigación en México                                                                                     |
| <b>SE06</b> Convergencia en instrumentación para las geociencias y ciencias especiales: innovación, desarrollo y aplicaciones                                                            | <b>SE15</b> A 15 años del sismo El Mayor-Cuicapa, Mx 7.2, ¿cómo ha evolucionado el conocimiento de la sismotectónica del noroeste de México? |
| <b>SE07</b> Geociencias con y para las comunidades: colaboración, reciprocidad y reflexión en la investigación geocientífica - un diálogo con el programa de AGU Thriving Earth Exchange | <b>SE16</b> Enjambres sísmicos y procesos asociados con la actividad volcánica y tectónica                                                   |
| <b>SE08</b> La región de Los Tuxtlas: una visión multidisciplinaria del estado actual de su conocimiento                                                                                 | <b>SE17</b> Expositores en la RAUGM 2025                                                                                                     |
| <b>SE09</b> La ciencia abierta y las revistas de Geociencias en México: recomendaciones para la publicación de artículos de relevancia internacional                                     | <b>SE18</b> Conferencias plenarias                                                                                                           |

**35**  
Aniversario  
INAGEQ

Más información del congreso  
<https://inageq2025.cicese.mx/>

**Segunda Circular  
XXXV**

**CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA 2025**

*Geoquímica en el Corazón del Valle: Innovación y Sostenibilidad para el Futuro*

**DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California**  
**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**

**DEL 6 AL 10 DE OCTUBRE DEL 2025**

<https://www.inageq.com/> <https://www.facebook.com/INAGEQ> <https://www.instagram.com/inageqmx/>

**INAGEQ** **CICESE** **Ciencia y Tecnología** **35**  
Instituto Nacional de Geoquímica Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

XXXV Congreso Nacional de Geoquímica (INAGEQ-CICESE 2025)

**CURSO 2** Teórico – Práctico Modalidad: Presencial

**Análisis de iones en Aguas: principios y práctica de la Cromatografía Iónica**

Este curso es una oportunidad para fortalecer tus habilidades analíticas, conocer y comprender la importancia de la Cromatografía Iónica (CI) como una herramienta analítica esencial para la caracterización de iones en matrices líquidas y su aplicación en la hidrogeoquímica. El programa aborda desde los fundamentos fisicoquímicos de la técnica de análisis y los componentes de un sistema de CI, hasta las aplicaciones de los resultados en la investigación y servicios analíticos.

 CICESE, Ensenada, Baja California

 6 y 7 de octubre de 2025

 6 horas

Número máximo de participantes: 8 participantes

 Más información del congreso  
<https://inageq2025.cicese.mx/>



**M.C. Ana Karina Espinoza Villalva**  
espinozv@cicese.mx  
Instructora

**Requisitos previos:**  
Afin a algún área de la geoquímica, estudiantes de posgrado de Ciencias de la Tierra

**Materiales o software requeridos para los participantes:**  
Ninguno



**XXXV Congreso Nacional de Geoquímica INAGEQ-CICESE 2025**  
*Geoquímica en el Corazón del Valle: Innovación y Sostenibilidad para el Futuro*

**35** **INAGEQ** **CICESE** **Ciencia y Tecnología**  
Instituto Nacional de Geoquímica Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

**1** — CONFERENCIA MAGISTRAL

**Estamos muy felices de presentarles a nuestro primer ponente magistral, especialista en geoquímica, mineralogía, aguas subterráneas, química ambiental y acuíferos.**

 06 al 10 de OCTUBRE

**PONENTE**  
**Dr. Yousif K. Kharaka**  
Investigador hidrogeólogo emérito del US Geological Survey



**INAGEQ** **CICESE** **Ciencia y Tecnología** **35**  
Instituto Nacional de Geoquímica Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

XXXV Congreso Nacional de Geoquímica (INAGEQ-CICESE 2025)

**CURSO 1** Teórico – Práctico Modalidad: Presencial

**Geocronología K-Ar aplicado a rocas magmáticas: desde la preparación de la muestra, hasta la medición de K por WDFRX**

El curso está diseñado para proporcionar al estudiante conocimientos sólidos sobre el método geocronológico K-Ar. El objetivo principal es que el alumno identifique las particularidades del sistema isotópico y sea capaz de preparar muestras geológicas para la medición de K y Ar mediante espectrometría de masas y FRX. Además, será capaz de determinar matemáticamente el cálculo de la edad geológica y su incertidumbre.

 CICESE, Ensenada, Baja California

 6 de octubre de 2025

 8 horas

Número máximo de participantes: 10 participantes

 Más información del congreso  
<https://inageq2025.cicese.mx/>



**Dr. Reneé González Guzmán**  
renee@cicese.mx  
Instructor

**Requisitos previos:** Haber cursado algunos semestres de geología o carreras afines. Dirigido a estudiantes de licenciatura y maestría que deseen obtener conocimientos teórico-práctico del método geocronológico K-Ar y/o análisis de elementos mayores mediante FRX







**Ciencia y Tecnología**  
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación



**XXXV Congreso Nacional de Geoquímica (INAGEQ-CICESE 2025)**

**CURSO 3** Teórico – Práctico
Modalidad: Presencial

**Termodinámica-química aplicada a la geotermometría de solutos**

El curso está orientado en dos secciones: la primera contempla un panorama (introducción) de los conceptos fundamentales de la termodinámica de reacciones químicas (ecuaciones de estado) para entender los procesos geológicos que se basan en reacciones químicas. La segunda sección contempla una revisión breve de la geotermometría de solutos y, a manera de ejercicio/práctico, el análisis geoquímico y desarrollo básico de un geotermómetro de solutos a partir de datos reales de la composición química de aguas hidrotermales de pozos geotérmicos de México.

 CICESE, Ensenada, Baja California

 6 de octubre de 2025

 8 horas

Número máximo de participantes: 20 participantes




Más información del congreso  
<https://inageq2025.cicese.mx/>



**Dr. Efraín Gómez Arias**  
gomezar@cicese.mx  
Instructor

**Requisitos previos:**  
Afín en alguna área de la geoquímica

**Materiales o software requeridos para los participantes:**  
Laptop, Excel, Fortran








# Caverna del arte

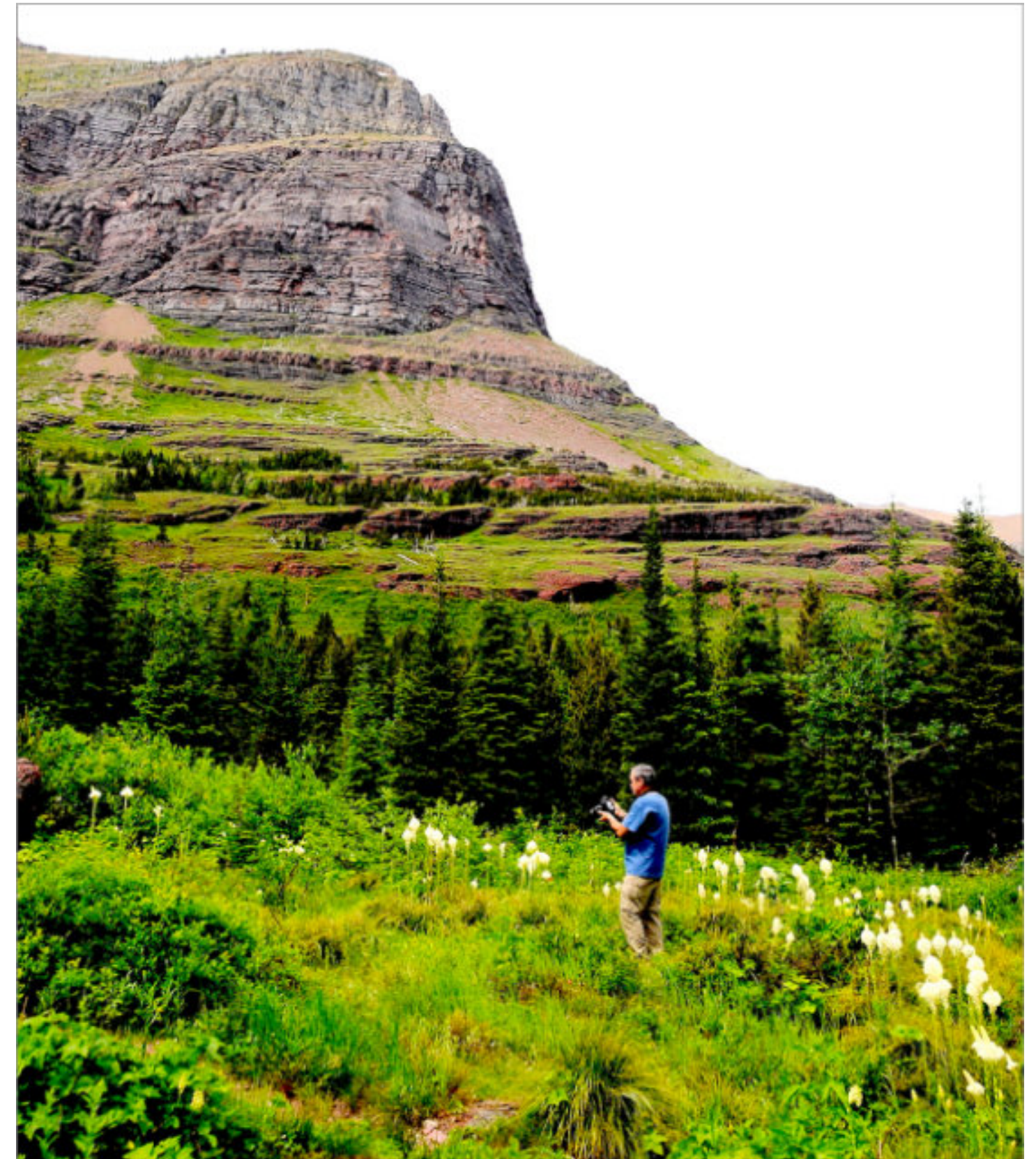
Bullseye: by Sebastian Bartolini (11 year old).

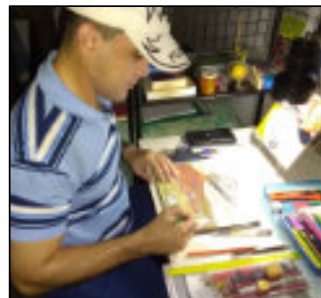


Pinturas de **Salvador Ortuño Arzate**  
Comisión Nacional de Hidrocarburos - México.



**Glacier National Park, Montana State, USA.**  
Photo by Gilda Yolid Muñoz.





M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: [wilmerperezgil5@gmail.com](mailto:wilmerperezgil5@gmail.com)

## La casa de los huracanes

<https://spaceplace.nasa.gov/hurricanes/en/>

<https://scijinks.gov/hurricane/>

<https://www.ready.gov/hurricanes>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical\\_cyclone](https://en.wikipedia.org/wiki/Tropical_cyclone)

<https://www.usgs.gov/special-topics/hurricanes>

<https://scied.ucar.edu/learning-zone/storms/hurricanes>

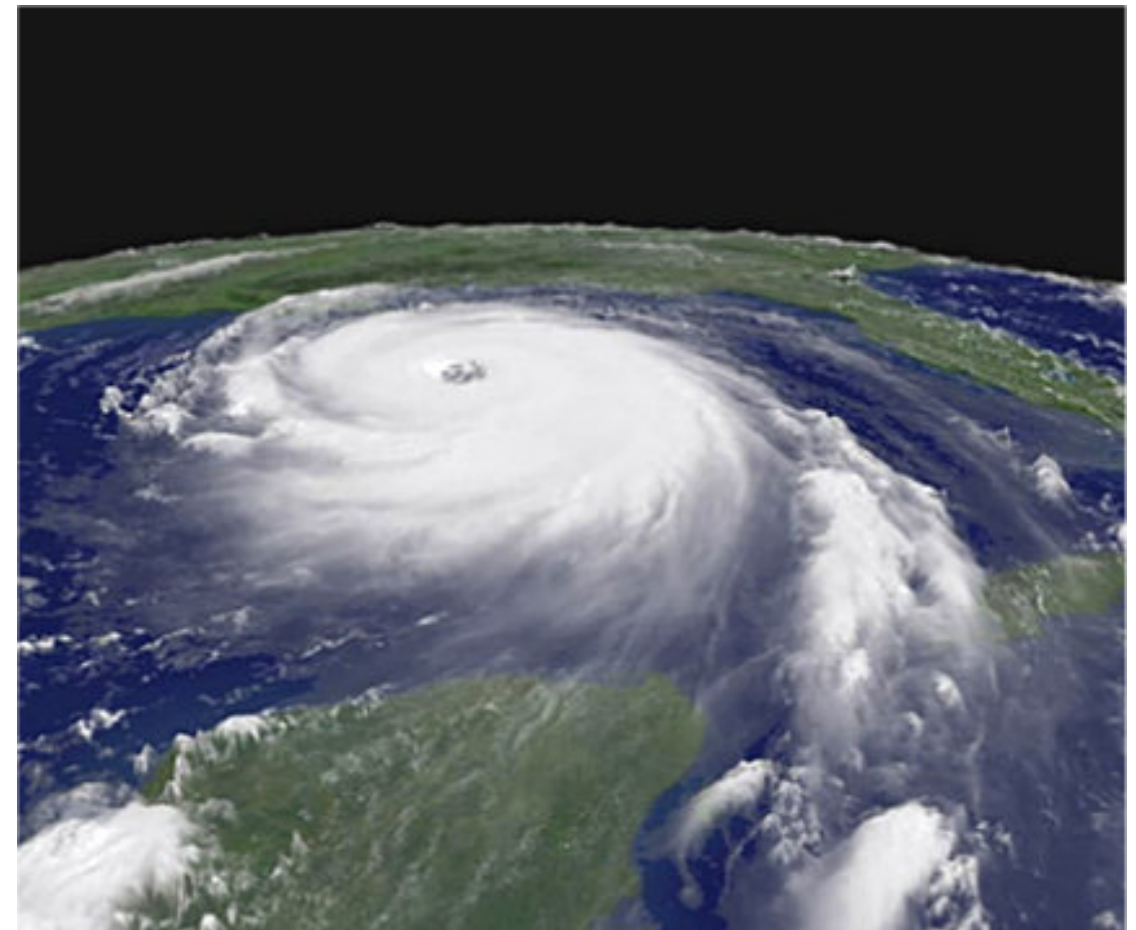
<https://oceanservice.noaa.gov/facts/how-hurricanes-form.html>

<https://www.c2es.org/content/hurricanes-and-climate-change/>

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/hurricanes-typhoons-cyclones>

<https://www.youtube.com/watch?v=LIXVikDkyTg>

<https://www.youtube.com/watch?v=4gkIpmlFMLw>



## Cappadocia, Turkey

Cappadocia, located in central Turkey, is a geological and cultural marvel that attracts millions of visitors every year. This region is known for its unique rock formations, fairy chimneys, and underground cities, as well as its rich history dating back thousands of years. The geologic formations found in Cappadocia are the result of millions of years of volcanic activity, erosion, and human habitation. In this article, we will explore the geological wonders of Cappadocia and the cultural significance of this remarkable region.

<https://whc.unesco.org/en/list/357/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cappadocia>

<https://www.kayakapi.com/cappadocia>

<https://www.britannica.com/place/Cappadocia>

<https://geologyscience.com/gallery/geological-wonders/cappadocia-turkey/>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/world-heritage/article/cappadocia>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/article/how-to-spend-weekend-cappadocia-turkey>

<https://www.youtube.com/watch?v=6oNoZb5Tzzg>

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](mailto: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/>



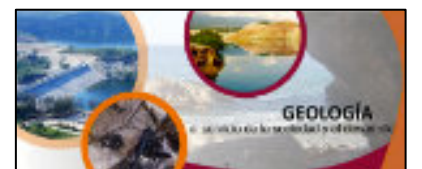
Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



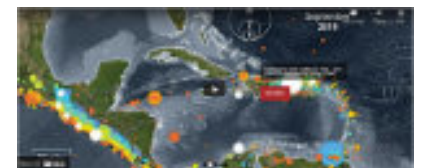
Sociedad Cubana de Geología

<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