

**MARZO  
2025**



# **MAYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



MARZO  
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 cual 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:** The Orion Nebula (also known as Messier 42) is one of the brightest nebulae in the night sky. It is approximately 1300 light-years away and is the closest region of active star formation to Earth. This November 2016 photo is a stack of 6 x 60 second exposures from Big Bend National Park, Texas, USA, by **Quinn Passey and Steven Kogucki**.

**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 Angel Valencia Flores** (M.C.). Ingeniero Geólogo y Maestro en Ciencias en Geología, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura-Unidad Ticomán. Ha trabajado en el IMP, Pemex Activo Integral Litoral de Tabasco, Schlumberger, Paradigm Geophysical, Comisión Nacional de Hidrocarburos, Aspect Energy Holdings LLC, actualmente es académico del IPN (posgrado y licenciatura) y la UNAM (licenciatura) impartiendo las materias de Evaluación de formaciones, Caracterización de yacimientos, Geología de yacimientos, Geoquímica, entre otras del ramo petrolero. Cuenta con experiencia de 20 años trabajando en diversos proyectos de planeación y

perforación de campos, pozos costa afuera, petrofísica, geomodelado y caracterización de yacimientos entre ellos: Cantarell, Sihil, Xanab, Yaxche, Sinan, Bolontiku, May, Onixma, Faja de oro, campos de Brasil, Bolivia y Cuba. Como Director General Adjunto en la CNH fue parte del equipo editor técnico en la generación de los Atlas de las Cuencas de México, participó como ponente del Gobierno de México en eventos petroleros de Canadá, Inglaterra y Estados Unidos. Es Technical Advisor del Capítulo estudiantil de la AAPG-IPN.

[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com)



**Bernardo García-Amador** obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM en 2024. Su geo-pasión es entender la evolución tectónica de Centroamérica, así como del sur y este de México antes, durante y posterior a la fragmentación de Pangea. Además imparte el curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería

de la UNAM. Bernardo ha publicado parte de su trabajo de doctorado en las revistas Tectonics y Tectonophysics, además de ser coautor de otros artículos científicos de distintos proyectos.

[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



**Ramón López Jiménez** 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



**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

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)

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)

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 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)



**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 Alejandre** 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 Petroleo 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 inició dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

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



**Despedida de una de nuestras colaboradoras.**

**A través de este espacio nos gustaría dedicarle unas palabras a **María Guadalupe Cordero Palacios**, una de nuestras colaboradoras en México de la Revista Maya de Geociencias (RMG) y, quien a partir del número de septiembre 2023, participó en la RMG.**

**María Guadalupe, de nueva cuenta te agradecemos el apoyo y dedicación brindados a lo largo de este periodo en cada número de la RMG. Sin duda, tu entusiasmo y esfuerzo, como el del resto de las/los colaboradores, han sido cruciales para divulgar y difundir las Ciencias de la Tierra en México, Latinoamérica, y el resto del mundo. El equipo de la RMG te expresa un sencillo "hasta luego" esperando volvernos a encontrar en el camino y seguir juntos nuevas etapas de la vida.**

**Visítanos en Revista Maya de Geociencias**

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



# CONTENIDO

MARZO  
2025

Semblanzas.....	<a href="#">9</a>
Obituarios.....	<a href="#">29</a>
Miscelanea de imágenes.....	<a href="#">31</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">32</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">42</a>
Temas de interés.....	<a href="#">45</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">68</a>
Notas geológicas.....	<a href="#">70</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">123</a>
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	<a href="#">124</a>
Día mundial de los glaciares – Congreso.....	<a href="#">125</a>
CCUS – IMAGE meetings in 2025.....	<a href="#">126</a>
Venezuelan American Petroleum Association.....	<a href="#">127</a>
Convencion Internacional de Minería–México.....	<a href="#">128</a>
Consortios de investigación.....	<a href="#">130</a>
Caverna del Arte.....	<a href="#">131</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">135</a>
La casa de Homo sapiens.....	<a href="#">136</a>
The Bernese Overland – Switzerland.....	<a href="#">137</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">138</a>

# SEMBLANZAS

## Arturo Hellmund Tello: 1898 - 1958

ARTURO HELLMUND TELLO (1898-1958) UN  
MULTIFACÉTICO CARAQUEÑO

**José Antonio Rodríguez Arteaga**

Colaborador de la Revista Maya de Geociencias, México

### RESUMEN

Arturo Hellmund Tello (1898-1958) (Foto 1) se presenta en una muy corta semblanza biográfica como autor, compilador y ensayista dotado de una enorme sed de aventura y destreza y quién recorre la selva venezolana describiendo la misma en cinco tomos con diferentes títulos; uno de ellos, dedicado de manera especial al terremoto de 1812. Una faceta poco conocida de su persona lo lleva a captar y ofrecer al presidente de la época, “Benemérito” General Juan Vicente Gómez, la cinta cinematográfica por el filmada sobre los destrozos provocados por el terremoto de Cumaná del 17 de enero de 1929, fenómeno natural acaecido en el estado Sucre, al nororiente de Venezuela y antecesor al sismo de Cariaco de 1997.

### INTRODUCCIÓN

Desde su fundación, Cumaná se ha enfrentado con los terremotos y sus devastadores efectos los cuales se han ido multiplicando a través del tiempo por: (1) la concentración poblacional; (2) la densidad de edificaciones construidas; (3) la disposición geográfica citadina y, (4) por el establecimiento de la misma y otras poblaciones de importancia en uno de los sistemas de fallas sismogénicas más activas de Venezuela: el sistema Cuaternario activo de El Pilar.

Una ligera ojeada a las publicaciones periódicas de Venezuela, entre otros documentos, muestra al investigador interesado hechos de notable transcendencia: el volumen apreciable de sismos que han afectado ciudades y poblaciones en el eje San Cristóbal-Barquisimeto-Caracas-Cumaná. De éste, la evidencia sísmica oriental del país surge entre los documentos oficiales consultados, permitiendo describir los sucesivos eventos ocurridos en la región oriental venezolana,



**Arturo Hellmund Tello, de joven.**  
(Fuente: Schubert Hellmund, 2009).

aproximándose a las condiciones sociales y del entorno de *Nueva Toledo* de Gonzalo de Ocampo (Rodríguez, 1985:50).

La naturaleza de los terremotos determina que la información derivada de ellos sea puntual como ellos mismos, hecho históricamente demostrado solamente en los casos de terremotos catastróficos en la que se localizan datos tal es el sismo cumanes del 29'. La historia sísmica cumanesa, que se encuentra en zonas de alta actividad mantiene en algunos casos: papeles oficiales, cartas, telegramas, registros, libros, prensa y tradiciones orales en referencia a los temblores, entre otros testimonios; junto con éstos es necesario incluir el registro fotográfico y el filmico, muchas veces sin soporte físico, siendo las cintas cinematográficas la más rara por su inexistencia física pero no por ello menos importante, tal como la película de los daños causados en California, EEUU por el sismo de 1900 de la que se desconoce su existencia física en el presente siglo.

### La imagen como testimonio

Ilustraciones, grabados, fotografía, cine, cada uno de ellos ha tenido su época de aparición, su manifestación general en Venezuela y en algunos casos su desarrollo desigual en

la historia nacional. Un simple paseo por ellos destaca para Venezuela: *Caracas compasiva* (imagen impresa en una hoja suelta. Según Iván. Drenikoff, (1982: 15) referido en Abreu, C. (1990: 247-248) hasta los cortometrajes cinematográficos de los hermanos Trujillo Durán en Maracaibo el 28 de enero de 1897 (Fundación Polar, 1988:72).

No obstante, aun cuando no todas las manifestaciones del ímpetu de la naturaleza, se convierten en desastres (OPS, 1994:21), en el análisis de daños producidos por sismos la imagen constituye un aporte importante al conocimiento de la actividad de la Tierra. En el país la fotografía de los daños ocasionados por los sismos se inicia probablemente con el terremoto de Cumaná en 1853 hecho aún no verificado, desconociéndose al creador de las imágenes (Dorronsoro, 1981:51). Cronológicamente le seguirán las fotos del *Sismo de los Andes*, 1894 de 18945 en el estado Mérida que muestran entre otros daños los producidos en la Iglesia Matriz de Ejido, la Iglesia de Milla, la Catedral de Mérida, el Seminario de Mérida, la Iglesia de Belén, la Iglesia de Tovar, el Seminario de Mérida, la Plaza Bolívar y la Calle Zea. Es continuada en algunos medios impresos como *El Cojo Ilustrado* para el sismo de Caracas del 29 de octubre de 1900, *El Nuevo Diario* y *El Universal* para Cumaná en 1929 empleada por el geólogo Sidney Page (1930) en un estudio de la Cumaná derruida en 1929 que constituye el primer informe técnico realizado en Venezuela para evaluar los daños por sismos (Rodríguez, 1995:51); año en que es elaborada la cinta cinematográfica de Arturo Hellmund Tello a la edad de 31 años.

#### EL AUTOR DE LA CINTA CINEMATOGRAFICA

Nace Arturo en Caracas el 29 de Julio de 1889 en la ciudad de Caracas. Hijo de Federico Gregorio Hellmund Cuello, holandés y de Elvira Tello, natural de las Islas Canarias. Muy poco se conoce se conoce de sus primeros años y de sus estudios en general, solamente es conocido que era un asiduo viajero, políglota con 6 idiomas manejados a la perfección. Sus ansias de fortuna, lo mantienen estudiando y trabajando en temas de la selva desde 1944. Fue un consumado escritor y ensayista que dio respuesta a sus correrías selváticas con temas como *El Bajo Orinoco* 1944.45 y 47); *Antarajú* (1945); *Kai-hiá-mai*; *vida de los guayquerías a la llegada de Colón* (1946-1947) *Antara-ju* (ante toda nobleza) (1947); *Leyendas indígenas pariaras* (1946; 1947); *Leyendas indígenas del Bajo Orinoco* (1948) y *Leyendas indígenas guajiras* (1951).

En una tónica diferente escribirá *Luces y sirenas* (1948); *Pétalos; pétalos humanos, pétalos divinos* (1948, entre pétalos y glosas), Para 1957 destaca sus conocimientos

con monografías y ensayos en 5 tomos, cuyo título será *Cumbres de gloria*, obra de alto contenido bolivariano. Fallece el 24 de Julio de 1958, a los 60 años de edad en su ciudad natal. (Arturo Schubert Hellmund, *com. pers.* 1996). Entre las curiosidades que en alguna de sus obras se pueden encontrar, están algunas portadas elaboradas por el artista plástico Pedro Centeno Vallenilla, hijo del cumanés Melchor Centeno Graü, autor del libro *Estudios Sismológicos* y pionero de la sismología en Venezuela (Foto 2).



(izq. Pedro Centeno Vallenilla; der. Arturo Hellmund Tello (Fuente: Schubert Hellmund, 2009)

#### ...Y volvió a temblar en Cumaná

La región oriental de Venezuela se ha distinguido por una alta sismicidad, cuyas fechas se han distinguido entre 1530 a 1929 (10 de septiembre de 1530; 4 de mayo de 1684; 15 de julio de 1853 y 17 de enero de 1929), con una especial tormenta sísmica ocurrida en 2018 cuya región epicentral se ubica en la localidad de Yaguaraparo y fue sentida en la ciudad de Maracaibo, región noroccidental del país.

El evento motivo de este ensayo y que impulsa la presencia de Hellmund será iniciado con un primer telegrama: (...) *Telégrafos Federales Vía vapor Commejine [sic]. Radio, Cumaná Urgente 17 de Enero de /929.* "Cumpro doloroso deber comunicarle a las 7 amo de hoy ocurrió esta ciudad horroroso terremoto, quedando la totalidad de las casas destruidas y calculando que los muertos y heridos son de bastante consideración. Como aquí no quedó medicinas, le agradezco despachar vapor con ellas, alimentos y médicos. Detalles minuciosos después. Amigo y subalterno, José Garbi (...) [presidente del estado Sucre].

(Archivo Histórico de Miraflores), Telegramas, Caja 1066T, 16-31 de enero, 1929).

Ese día la apacible calma citadina se convirtió en trágica escena de la que ya han pasado 96 años En citado

telegrama de auxilio enviado al "Benemérito General Juan Vicente Gómez, por el presidente del estado Sucre, levantó al país entero. **Commewijne.** -pese al error de transcripción del telegrafista- vapor holandés anclado en Puerto Sucre transmitió el primer reporte del sismo por la caída de las comunicaciones vía telégrafo: (...) La respuesta general de recuperación fue inmediata: auxilio de presidentes de estado, palabras de condolencia de legaciones extranjeras acreditadas en el país, órdenes de medicinas, envíos de tropa en auxilio, médicos, de Juntas de Socorro, colectas del dinero en efectivo, etc. (...) (El Universal, 23 de enero de 1929, N° 7078).

#### LA EXISTENCIA DE UN FILM, SU HALLAZGO Y CONFIRMACIÓN

Los antecedentes generales de los sismos en Venezuela muestran en las cintas cinematográficas documentos testimoniales. Sus inicios en función de la investigación, se inicia muy probablemente con el terremoto de Caracas del año 1967, referencia obligada a nivel mundial de los estudios sismológicos, al igual que los manifestados en videos de televisión. No obstante, un telegrama encontrado entre las cajas archivadoras de documentación esclareció la existencia de una cinta cinematográfica, la del 17 de enero de 1929 en la ciudad de Cumaná.

#### El telegrama y su historia

En el curso de investigaciones sobre riesgo sísmico de la región nororiental de Venezuela realizado por el *staff* de la Unidad en Sismología Histórica del otrora Departamento de Ciencias de la Tierra actualmente Departamento de Geología de Terremotos (2017- ) hacia finales del siglo XX, fue hallado en la prensa del Archivo Histórico de Miraflores el primer antecedente que dio pistas para el estudio de la cinematografía venezolana con fines documentales y de investigación en sismos. Se trataba de la noticia de un *film* realizado por Arturo Hellmund Tello con la intención de dirigirla al entonces presidente de la nación. Dice así:

(...) *Telégrafos Federales. De Caracas, el 25 de enero de 1929, 10 am. Señor Gral. J. V. Gómez. En valle [Valle] de La Pascua de paso para Cd. Bolívar supe la fatal noticia del terremoto, Cumaná. Apresúreme seguir por las vías de comunicación que a ud. debe la república llegué a Barcelona embarcando Cumaná. Tomé allí películas del desastre que hoy apena la Patria. Obtenido éxito, estoy arreglando la película y para el próximo domingo [enero 27 o febrero 3]estará...[lista]. Me permito ofrecérsela para*

*que sea ud. el primero en verla. Su amigo. Arturo Hellmund (...)*  
(Documento original. Arch. Hist. Miraflores, caja I066T. 16 al 31 de enero. 1929).

Este telegrama indicaba que los daños del terremoto se filmarían en tan solo pocos días, ignorándose la salida de Hellmund T. desde Caracas, pero si sus planes y la misión que se había propuesto estaría presta para su entrega. Este provenía de Caracas y a la fecha aún se desconoce: (1) la salida de Hellmund a Cumaná; (2) los días de filmación; (3) el material empleado - cámaras físicas y número de cintas entre otros detalles; (4) la fecha de retorno del autor con sus equipos, y (5) la probable recepción de *La Revista de Cumaná* por J. V. Gómez.

Es necesario advertir que los primeros días del sismo fueron de mucha confusión y se movilizaron personas y enseres con relativa facilidad pese al estricto control que se llevaba de los viajeros, según dan cuenta los telegramas del 29' además de la circunstancia por demás especial, pues a partir del día 20 de enero, se inicia el proceso de vacunación contra la viruela en previsión de una epidemia en la capital del estado, lugar en la que se aíslan los "variolosos" (Rodríguez, J. A. y Chacín, C., 1996: 13). Ya el 25 de enero, fecha del telegrama, había viruela en la población y la vacunación era obligatoria girándose estrictas instrucciones a las agencias de "vapores" para no permitir la salida ni la entrada a la ciudad de personas provistas de su certificado de vacunación.

#### La Casa Hellmund desde 1862

Nombre de la empresa de productos cinematográficos que comercializaba la familia Hellmund desde mediados del siglo XIX. La intensión inicial, averiguar los nexos familiares y la existencia o no de este valioso y primigenio registro cinematográfico-documental. Por ello se recurrió a los que se suponían parientes de Arturo quien presuntamente no se dedicaba al trabajo en la empresa. Su búsqueda motivó el envío de correspondencia y en efecto, A. Hellmund Tello era familiar (primo-hermano) de Carlos Hellmund Winckelman el cual mantenía vínculos comerciales con dicha casa comercial. De la película, los Hellmund incluido su nieto Arturo Schubert Hellmund, con quien el autor de este ensayo mantuvo una entrevista cercana a 1996, se mostraron sorprendidos; ninguno de ellos conocía de *La Revista del Terremoto de Cumaná*.

#### ¿Dónde está la película?

El Archivo Histórico de Miraflores ha sido la institución venezolana encargada de conservar, custodiar y divulgar los documentos recibidos y producidos por las distintas gestiones presidenciales del siglo XX, con acceso a todo

público sobre todo a investigadores. No obstante, quedaba la duda si la cinta había llegado a manos del presidente, tal como era señalado en el telegrama de Hellmund a Gómez. Por insinuación de Guillermo Moreno, quien fuera director de la institución se recondujo la investigación del archivo hacia un grupo de cuadernos denominados *borradores* en los cuales eran llevadas escritas las respuestas presidenciales. En uno de estos, fue encontrada una nota manuscrita a lápiz en la parte superior derecha de una hoja-documento fechada 26 de enero de 1930.

(...) *Gracias. Telegrama. Arturo Hellmund. Caracas. Estimo atenta participación y le doy las gracias por su ofrecimiento, pero siento decirle que en Maracay actualmente no se exhiben películas como manifestación de duelo por la catástrofe de Cumaná. Su amigo. JVG. (...)* [Por Juan Vicente Gómez].

(Arch. Hist. De Miraflores Borrador N° 402-B. 1929, enero 20-31.

Legajo correspondiente al 26-01-1929, venido de Maracay).

Con ello se puede colegir que la película presuntamente no fue enviada a Gómez o éste no la recibió, respondiendo en forma cortés pero enérgica y manifestando no estar interesado en la misma por luto, pese al conocimiento mostrado del gran interés que mantuvo J. V. Gómez hacia el cine y de la que existen aún algunos ejemplares donde aparece con familia y de la cual no se tratará al respecto.

#### ¿Dónde se encontraba el film?

La no aceptación del trabajo de Hellmund volvió a reorientar la investigación y ello condujo a revisar 2 diarios de Caracas en diferentes números: *El Universal* y *El Nuevo Diario* verificando en ellos que la cinta a “falta de probable interés” por el primer mandatario, fue exhibida a finales de enero y hasta la primera quincena de febrero de 1929 en 3 salas cinematográficas de Caracas, muy cercanas a la Plaza Bolívar.

#### El sismo en exhibición caraqueña

La administración de Empresas Unidas, ubicada en los altos del cine *Rívoli*, estrena la película del sismo en día miércoles 30 de enero en la noche. Hecho muy particular eran los nombres con que se distinguían cada sala donde era mostrada la cinta así: El cine *Rialto*, anunciaba que sus películas eran expuestas en “*intermedia y con orquesta*”, el cine *Metropolitano*, era “*el teatro al aire libre*”, y el *Rívoli*, “*el local de la aristocracia*”. El preestreno aparece en el *Nuevo Diario* del 29 de enero así:

(...) *Mañana. Se estrenará simultáneamente en el Rialto, Rívoli y Metropolitano. Revista del Terremoto de Cumaná. ¡Con todos los detalles del siniestro, recogidos por la cámara cinematográfica! Caracas, que ha llorado con la ciudad mártir su desgracia, no puede dejar de ver esta revista para comprender toda la magnitud de la tragedia (...).*

(Nuevo Diario, 5767: 7.)

El *Universal*, en una relación de las salas de cine señala: (...) *El Terremoto de Cumaná. En la mañana de ayer atendiendo a una amable invitación de Empresas Unidas asistimos al cine Rívoli y allí a la exhibición privada de una cinta cinematográfica hecha por el Sr. Arturo Hellmund en la cual recogió la lente fotográfica diversos aspectos de Cumaná en ruinas, a los pocos días del terremoto que deploramos. Ante la pantalla pudimos apreciar la magnitud del desastre ocurrida en la Primogénita del Continente, especialmente en los sitios siguientes; Museo Sucre, Avenida Bermúdez, Castillo de San Antonio y Catedral. Felicitamos al Sr. Hellmund por su trabajo (...)*

(El *Universal*, 7092:12)

Desde ese día la película sólo es anunciada “en estreno” el día 13 de febrero en el cine *Rialto*, en el *Metropolitano* y el *Rívoli* de acuerdo al *Nuevo Diario*. Es necesario mencionar que en el anuncio publicado en *El Universal* para el cine *Rialto*, aparece la frase:

(...) *se estrenará una nueva Revista...o la nueva Revista (...)* además de la siguiente nota:

(...) *Esta noche. Estreno-Estreno. Rívoli. Rialto. Metropolitano. El Terremoto de Cumaná. Funciones dedicadas a todo aquel que con su grano de arena contribuyó a aliviar el dolor del hermano cumanés; especialmente a las señoritas de la Cruz Roja que unieron sus dádivas a la acción, abandonando sus comodidades y placeres para imponerse a una obra samaritana. 46 escenas distintas de la ciudad mártir: Producción: Film Venezolano. Estreno-Estreno. (...)*

(El *Universal*, 7097:14)

Luego de estas presentaciones, el 14 de febrero es mostrada en el *Rívoli*, el 15 en el *Rialto* y el 16 en los 3 cines, saliendo de cartelera muy probablemente por la pérdida del aspecto “noticioso” del terremoto, para la fecha y/o ante la disminución de espectadores, a mediados de la segunda quincena de febrero.

#### Posibles características de la cinta cinematográfica empleada por Hellmund

Este valioso documento de la “filmografía sísmica” nacional no ha podido ser encontrado, por lo que sería comprometedor especular sobre sus características. Sin

embargo, de acuerdo a los sitios en donde la cinta fue expuesta, el material ha debido tener formato de 35 mm., con base de nitrato de celulosa, altamente combustible y muy degradable (Vinsi, G. *com. pers.*, 1997).

Salvo que de la cinta hayan existido copias “mejoradas” para mantener la integridad de la misma y sus imágenes, se puede poner en tela de juicio su existencia física. En todo caso sería de material flexible y transparente que permitiese depositar una fina película de sales de plata sensibles a la luz, inestable por naturaleza, con el paso del tiempo provocaría que se desprendiera, dando cuenta que la cinta de nitrocelulosa al cabo de muchos años se escompone reduciéndose a polvo con olor azufrado (M. Dale, 1982: 78-79).

#### A MANERA DE CONCLUSIONES

En este ensayo sobre la obra cinematográfica de este polifacético caraqueño se ha presentado un buen número de indicios por la que bien puede ser considerada como la primera cinta cinematográfica post-terremoto realizada en Venezuela. Si duda alguna las evidencias existen de su exhibición en un mínimo de 3 salas de cine en la ciudad de Caracas, las cuales constituyen información válida para el manejo de los sismos orientales venezolanos no limitando la información en un simple informe de la población afectada.

Desde el punto de vista cinematográfico dadas las características de los textos consultados, es eminentemente descriptiva y complementa las referencias históricas existentes del terremoto cumanés del 17 de enero de 1929 cuya información se encuentra en archivos y centros de investigación como el inicialmente nombrado. La cinta de existir físicamente contribuiría a una mejor y mayor “reconstrucción” de los destrozos ocurridos en aquellos lugares de la capital cuya información es abundante en la prensa.

#### FUENTES CONSULTADAS

##### Bibliográficas

**ABREU, C. 1990.** La Fotografía Periodística: una Aproximación Histórica, Caracas: Consejo Nacional de la Cultura, 1990.

**CENTENO-GRAÜ, M. 1969.** Estudios Sismológicos. Caracas: Ed. Ministerio de Obras Públicas.

**DALE, M. 1982.** Amabilis Cordero Pionero del Cine Nacional, Caracas: Ed. de la Presidencia de la República.

**DICCIONARIO POLAR, 1988.** Los hermanos Trujillo Durán en Maracaibo. Fundación Polar, 1988:72

**DORRONSORO, J. 1981.** Significación Histórica de la Fotografía. Caracas: Ed. Equinoccio Fundación Polar.

**OPS. 1994.** Hacia un Mundo más Seguro frente a los Desastres Naturales, la trayectoria de América Latina y el Caribe, Washington: Administración de Desarrollo en Ultramar (ODA), Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA) y la Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (OFDNUVAID).

**PAIGE, S. 1930.** The earthquake at Cumana, Venezuela, January 17, 1929. Bulletin of Seismological Society of America, 20(1):10.

**RODRÍGUEZ, J. A. 1995.** “Aprender del pasado. cuatro huellas en la memoria sísmica del país, En Revista Inmuebles. (1995), 22: 44-52).

**RODRÍGUEZ, J. A. y CHACÍN, C. 1996.** Contribución al estudio del sismo de Cumaná del año 1929. Compilación y notas. Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela, 58(70).

##### Hemerográficas

*Nuevo Diario*, martes 29/01/29, No. 5767.

*El Universal*, miércoles 06/02/29, No. 7092.

*El Universal*, miércoles 13/02/29, No. 7097.

##### Documentales

**ARCHIVO HISTÓRICO DE MIRAFLORES.** 1929 Telegramas,

## José L. Lorenzo Bautista: 1921 - 1996

### José Luis Lorenzo Bautista, Pionero en estudios Criosféricos en México

Alejandro Carrillo-Chavez\*<sup>1</sup>, Hugo Delgado Granados<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Juriquilla, Juriquilla Qro.  
<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior CU, CdMx.

\*Autor de correspondencia:  
[ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)

**José Luis Lorenzo Bautista** (Madrid, 18 de agosto de 1921 - Ciudad de México, 23 de julio de 1996) fue un distinguido geólogo y arqueólogo español nacionalizado mexicano con importantes contribuciones a la investigación criosférica en México. Reconocido principalmente por su trabajo en geología del Cuaternario como actividad ineludible para los estudios de la prehistoria en México, contribución que formó parte del desarrollo de una red de laboratorios vinculados al departamento de prehistoria del INAH, entre otros avances para la aplicación de las ciencias en la arqueología. El Profesor José L. Lorenzo desempeñó un papel fundamental en el estudio de los glaciares del país, en particular los de las regiones volcánicas de gran altitud como el Citlaltépetl, Popocatepetl e Iztaccíhuatl.

#### Vida temprana y antecedentes académicos:

Desde pequeño recibió una educación liberal y laica. Sus estudios los realizó en el Instituto Escuela de Madrid, donde adquirió una sólida formación académica. A causa de la Guerra Civil Española, emigra a México en 1939, donde entre 1945 y 1950 cursa estudios en la Escuela Nacional de Antropología e Historia. En 1953-54, estudia en el Institute of Archaeology, University of London, bajo la guía de Vere Gordon Childe. Posteriormente cursa estudios de doctorado en Antropología en la UNAM (1962-64). En su práctica profesional usó la



aerofotografía, dándole importancia a la fotointerpretación, tanto para localizar restos de ocupación humana, como para conocer el paisaje y rasgos geomorfológicos como los glaciares de montaña. Creó y organizó laboratorios para el análisis de material arqueológico y los datos paleoclimáticos y geológicos. Fue un investigador notable en el estudio del Cuaternario. Estuvo vinculado al Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en la segunda mitad de los años 50. Sus conocimientos interdisciplinarios han servido de puente entre la geología, la paleoclimatología y la arqueología, contribuyendo a una comprensión más amplia de los cambios climáticos en el altiplano mexicano.

Entre los muchos intereses que tuvo el Profesor José Luis Lorenzo como arqueólogo se encuentra lo relacionado con la glaciología, pues desde su juventud practicó el alpinismo en México (Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Citlaltépetl). Ese interés por la glaciología también lo llevó a estudiar las dos grandes masas glaciares durante la glaciación Wisconsin de Norteamérica, el casquete Lauréntido y el de las Rocosas, todo en relación con el poblamiento del continente americano, pues los avances y retrocesos de esos glaciares volvieron favorable o

desfavorable el internamiento en el continente americano de aquellos primeros cazadores-recolectores-pescadores hacia el sur.

En los años 50 fue comisionado por el INAH para participar en los trabajos y estudios que se llevaron a cabo con motivo del *Año Geofísico Internacional*. El Prof. Lorenzo, como personal del Instituto de Geofísica de la UNAM, junto con el Ing. Luis Blázquez del Instituto de Geología fueron asignados para llevar a cabo los trabajos de glaciología que se requerían para rendir el informe que se planteaba para el *Año Geofísico Internacional* en 1958. Al final, fue el Prof. Lorenzo quien llevó a cabo los trabajos de campo y condujo los trabajos de cartografía glacial y fue el principal autor del primer inventario glacial de México. Producto de esas investigaciones son algunas de sus publicaciones sobre Glaciología en México: *Los glaciares de México*, publicado como la Monografía No. 1 del Instituto de Geofísica, con dos ediciones.

Durante su paso por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, del Instituto de Geofísica y del Instituto de Geografía, ambas entidades de la UNAM, las contribuciones del Prof. Lorenzo al estudio de la Criósfera en México abarcaron los estudios sobre los glaciares de México (Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Citlaltépetl), sobre geología glacial en las montañas más altas del país (*Glaciología mexicana y Notas sobre geología glacial del Nevado de Colima por ejemplo*) y el ambiente periglacial (no sólo de las montañas con cobertura glacial).

Era tal su afición por las montañas y la glaciología, que sus cenizas fueron depositadas a los pies del Iztaccíhuatl, volcán que escaló en innumerables ocasiones. Su archivo de publicaciones y fotografías se encuentra resguardado por el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### Mi relación con el Prof. Lorenzo (Hugo Delgado Granados)

Conocí al Prof. José Luis Lorenzo en 1983 después de haber regresado de las dos expediciones al Himalaya en que participé. El Dr. José I. Lugo Hubp me había invitado a

realizar trabajos de glaciología en el Instituto de Geografía, en donde se estaban impulsando estudios del Cuaternario con la participación del Prof. Jean Tricart y el Prof. José Luis Lorenzo. El Prof. Lorenzo muy amablemente me invitaba a su casa para hablar de los glaciares de México y su perspectiva acerca de los problemas criosféricos que hacía falta estudiar en el país. Comentaba con frecuencia y con un dejo de melancolía, que los geólogos mexicanos desdeñaban los estudios de geología cuaternaria. La llegada del Prof. Tricart abría la posibilidad de continuar con los estudios de la geología glacial en México que el Prof. Lorenzo había iniciado. Debido a mis antecedentes como montañista, el Prof. Lorenzo me animaba a continuar con los estudios de los glaciares mexicanos. Además de los estudios que él mismo había desarrollado en los años 50, su amigo el Dr. Sidney White, de la Universidad de Ohio, había hecho algunos trabajos sobre los glaciares mexicanos, principalmente del Popocatepetl, documentando el avance glacial de los años 80. El Prof. Lorenzo me mostraba sus libros de glaciología, uno de los que más atesoraba era el de *Los Glaciares y Nieves de Chile* publicado por el Prof. Louis Lliboutry y me lo prestaba para introducirme en el tema de la Glaciología.

El entusiasmo del Prof. Lorenzo por conducirme y animarme a realizar investigación glaciológica era, en ocasiones, abrumador. No entendía el porqué entonces, sino hasta décadas después.

El trabajo glaciológico, particularmente en México, es una de las labores científicas más extenuantes que se pueden abordar. Se requiere combinar destreza y fortaleza de montañista con interés científico. Es común tener que realizar mediciones en condiciones bajo 0°C, o soportar tormentas para esperar la visibilidad necesaria para medir con instrumentos de topografía tradicional, entre otras vicisitudes. Esa era la razón por la que hubo un período muy grande entre los trabajos del Prof. Lorenzo y los trabajos glaciológicos que desarrollé en el Instituto de Geofísica a partir de 1984 y retomados con mayor ahínco a partir de 1995. En particular, la investigación científica más especializada requiere de instrumentación que necesita ser desplegada cuidadosamente sobre la

montaña, en condiciones extremas frecuentemente. Es necesario cuidar la instrumentación para que no se dañe y al mismo tiempo, cuidarse de no sufrir un accidente en las pendientes pronunciadas de nuestros glaciares. Durante mi trabajo de campo recordé siempre al Prof. Lorenzo quien realizó un trabajo titánico para realizar el primer inventario glacial de nuestro país.

Afortunadamente, hoy en día, existen nuevos recursos humanos bien capacitados para retomar los estudios criosféricos en México y continuar con el legado del Prof. Lorenzo.

#### Principales aportaciones al estudio de la Criósfera mexicana

1. Sus estudios sobre fenómenos periglaciares menores entre los altos volcanes de México en las décadas de 1960 y 1970 son considerados como esfuerzos pioneros en el campo (Lorenzo, 1969).
2. Destacó el impacto de la actividad volcánica y la variabilidad climática en los glaciares de México, particularmente sus patrones de retroceso.
3. Su trabajo fue uno de los primeros en realizar un inventario glaciológico sistemático de las formaciones de hielo a gran altitud en México, abordando la falta de datos exhaustivos.

#### Legado e impacto

Aunque la glaciología en México no estaba tan desarrollada como en otros países, los esfuerzos del Profesor Lorenzo pavimentaron el camino para generaciones posteriores de investigadores. Los estudios de Lorenzo Vázquez-Selem, de Hugo Delgado-Granados y sus discípulos (Patricia Julio, Miranda, Jorge Cortés-Ramos, Guillermo Ontiveros González y Víctor H. Soto Molina) son una continuación de su trabajo, integrando la teledetección moderna, el análisis geoquímico y la modelización climática. Actualmente lideradas por la UNAM varias universidades mexicanas continúan estudiando el aspecto cronológico, físico y químico de los glaciares de México. Sus estudios siguen siendo un punto de referencia para la investigación criosférica contemporánea en México, en particular para evaluar el impacto del cambio climático en los últimos glaciares que quedan en el país.

#### Algunas de sus Obras sobre la Criósfera en México

- Informe de la Sección de Glaciología, en "El año Geofísico Internacional", México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 1962, 125 p. (Monografía, 3), 6 figs., croquis.
- Las ciencias geológicas y su perspectiva en el desarrollo de México, México, Productividad, 1968, viii-120 p., mapas.
- Los glaciares de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 1958, 114 p. (Monografía, 1), 51 figs., 8 mapas.
- Los glaciares de México, 2a ed., México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, 1964, 124 p. (Monografía, 1), 60 figs., 8 mapas.
- Condiciones periglaciares de las altas montañas de México. Serie Paleoecología 4: 1969, México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 45 pp.
- Minor periglacial phenomena among the high volcanoes of Mexico. En: Troy L. Pewé (Ed.), The periglacial environment: past and present, Montreal: Arctic Institute of North America, McGill-Queen's University Press, pp. 161-175.
- Mamutes excavados en la cuenca de México (1952-1980), J. L. Lorenzo y L. Mirambell, coords., México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, Departamento de Prehistoria, 1986, 151 p., ils., mapas.
- Tlapacoya: 35 000 años de historia del lago de Chalco, J. L. Lorenzo y L. Mirambell, coords., México, Instituto Nacional de Antropología e Historia, 1986, 297 p., ils.

En el marco de la declaración de la UNESCO del año 2025 como el *Año Internacional de la Conservación de los Glaciares*, y en Memoria del Profesor José Luis Lorenzo Bautista, a 29 años de su muerte, la UNAM, la Universidad Veracruzana, la Academia Mexicana de Ciencias, el CICESE, la Agencia Mexicana de Estudios Antárticos y la UNESCO organizan el Simposio "*Glaciares y su entorno: estado actual*" a celebrarse el 21 de marzo de 2025 (Día Mundial de los Glaciares) en el Instituto de Geofísica UNAM, en Ciudad Universitaria. El programa incluye temas de Geología Glacial, Glaciares de México y otras regiones, Periglaciario, Ecología de Montaña (Geoquímica Glaciar Ambiental) y Estudios Polares, con varias charlas magistrales sobre estudios de los glaciares a nivel local y mundial.

## José Carrillo Bravo: 1928 - 2021



Por Ricardo José Padilla y Sánchez  
Universidad Nacional Autónoma de México

El Ing. **José Carrillo Bravo** nació en Zapotitlán Salinas, Puebla, en donde realizó su instrucción primaria y secundaria para después mudarse a la Ciudad de México y continuar su preparación en la Escuela Vocacional del Instituto Politécnico Nacional. Sus aspiraciones lo llevaron a elegir su futura profesión dentro del recién inaugurado campo de la Geología, en donde obtuvo con honores en 1951 el título de Ingeniero Geólogo de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

A partir de entonces, Don José, como le llamábamos cariñosamente sus amigos, se dedicó a trabajar arduamente en su profesión, pero, sobre todo, a aportar nuevas ideas e interpretaciones sobre la compleja geología mexicana como Ingeniero Geólogo contratado por Petróleos Mexicanos en 1952, empresa en donde laboró hasta su jubilación en 1989. A su ingreso trabajó un año en actividades de Geología del Subsuelo y fue ascendido a jefe de Brigada de Geología Superficial en 1953, puesto que ocupó hasta 1962, cuando fue nombrado jefe del Departamento de Geología Superficial de la Zona Norte hasta 1969. En 1970 fue designado jefe de Geólogos de la Zona Norte (1970-1972). Sus últimos años de trabajo en Pemex se desempeñó como Gerente de Exploración en la Subdirección de Producción Primaria.

Don José fue único en muchos aspectos. En aquel tiempo, las primeras generaciones de Ingenieros Geólogos se enfrentaron a la expropiación petrolera con la responsabilidad de encontrar nuevos yacimientos, además de apoyar a la explotación de los ya existentes. En esa época era muy difícil que consiguieran permiso de las dependencias oficiales para publicar sus resultados, mismos que se conservaban en los archivos de Pemex como reportes internos. Pero Don José fue uno de los pocos Ingenieros Geólogos de Pemex que logró publicar y dar difusión a las interpretaciones de sus trabajos de campo.

Entre sus numerosas aportaciones destaca la descripción detallada de la estratigrafía del Paleozoico del Cañón de Caballeros y Peregrina, en donde identificó por primera vez el Silúrico. Fue el primero en acreditar y fechar los lechos rojos continentales del Triásico y Jurásico en la Planicie Costera del Golfo, así como también en postular y comprobar la existencia de la Plataforma de Valles – San Luis Potosí, los Cañones Terciarios de la costa del Golfo de México y la Cuenca Mesozoica del Centro de México.

Adicionalmente se dio tiempo para incursionar en la docencia impartiendo la clase de Geología de México en la Facultad de Ingeniería de la UNAM durante 4 años y 27 años como profesor en el Instituto Politécnico Nacional. En esas instituciones asesoró y/o dirigió más de setenta tesis profesionales de la carrera de Ingeniero Geólogo.

Su actividad gremial lo llevó a ocupar las presidencias de la Sociedad Geológica Mexicana durante el bienio 1983-1984, y de la Comisión de Especialidad de Ingeniería Geológica de la Academia Mexicana de Ingeniería durante el bienio 1995-1997.

Por sus contribuciones al conocimiento de la Geología de México fue nombrado Miembro de Honor de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (1976), Académico de Honor de la Academia Mexicana de Ingeniería (21 de marzo del 2013) y designado por el Gobierno del Estado de Puebla como Personaje Ilustre de Zapotitlán Salinas.

También fue reconocido con los siguientes premios: Premio Nacional de Ingeniería Geológica y Petrolera (1982) y Premio al Servicio Distinguido de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (AAPG).

Recomendación final de Don José en su discurso sobre la ingeniería y la ética profesional:

*El ingeniero haciendo uso de su libertad y de su autonomía debe forjar su propio valor como persona y nunca encerrarse en los límites estrechos del egoísmo y de los valores materiales ya que esto equivale a mutilar la capacidad que tiene el ser humano de lanzarse a la conquista de los grandes valores.*

#### Algunas Referencias

- Carrillo Bravo, J., 1959, Notas sobre el Paleozoico de la Región de Ciudad Victoria, Tamps.: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 11, p. 671-680.
- Carrillo Bravo, J., 1961, Geología del Anticlinorio Huizachal - Peregrina al N-W de Cd. Victoria, Tamps.: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 13, 98 p.
- Carrillo Bravo, J., 1965, Estudio geológico de una Parte del Anticlinorio de Huayacocotla: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 17, p. 73-96
- Pantoja Alor, Jerjes y Carrillo Bravo, J., 1966, Bosquejo geológico de la región de Santiago-San José del Cabo, Baja California: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v. 18
- Carrillo Bravo, J., 1971, La Plataforma Valles-San Luis Potosí: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v.23, Nos. 1-6, 102 p.
- Carrillo Bravo, J., 1980, Paleocañones Terciarios de la Planicie Costera del Golfo de Mexico: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., v.32, No. 1, p. 17-55
- Carrillo-Bravo, J., 1982, Exploración Petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., 34, 21-46.
- Carrillo Bravo, José, 1984, La Ingeniería y la ética profesional: Simposio de la Tectónica de la Mixteca: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, V. 45, Nos. 1 y 2, p. 117-120, <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1984v45n1a10>



## Rafael Segura Soto: 1932 - 2014

Por Rafael Tenreiro Pérez y Carlos Morales Echevarría.

Nació el 26 de noviembre de 1932 en Madrid, España. Era el segundo hijo del matrimonio del pintor español José Segura Ezquerro y de la cubana Estrella Soto Morejón, poetisa y profesora del Instituto de Marianao. Su abuelo Eduardo Soto introdujo la especialidad de logopedia en Cuba en 1929. La familia Segura Soto regresa a Cuba en 1939 al concluir la Guerra Civil Española. Rafael realizó sus estudios primarios, secundarios y universitarios en la Habana. Se graduó de Doctor en Ciencias Naturales en la Universidad de La Habana, especializándose en Petrografía. Fue fundador del Servicio Geológico Nacional en Cuba en 1961 trabajando en el Instituto Cubano de Recursos Minerales (ICRM). Posteriormente, en el Centro de Investigaciones Geológicas, el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Petróleo y el Centro de Investigaciones del Petróleo (Ceinpet), donde se jubiló en el año 2014.

El Dr. Segura Soto fue uno de los profesores fundadores de la Carrera de Geología en la Universidad de La Habana, en 1962. Impartió clases, además, en la Escuela de Obreros Petroleros "Modesto Rodríguez Anido" en Guayacanes, el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría" (CUJAE), la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz", el Tecnológico "Vitalio Acuña Núñez" y el Centro Politécnico del Petróleo de La Habana. Durante décadas participó de forma activa en la preparación teórica y entrenamiento práctico de especialistas destinados al control geológico de pozos petroleros. Creó la base material para impartir los cursos, incluyendo una amplia colección de todas las rocas que pudieran aparecer en los pozos. La preparación teórica práctica incluía el estudio macroscópico y en el microscopio de luz polarizada a pie de pozo, lo que posibilitaba de forma inmediata llegar a conclusiones precisas durante la perforación. Los laboratorios donde trabajó, se convertían en aulas, donde hacía gala de sus maravillosas dotes de educador.

La actividad pedagógica de Segura no solo abarcó el estudio petrográfico de las muestras, a partir de su experiencia profesional abordaba, además, la caracterización de las propiedades de los reservorios, realizando descripciones detalladas de los tipos de porosidades presentes en muestras de núcleos y secciones delgadas. Sus descripciones abarcaban los procesos diagenéticos y sedimentológicos. En su labor profesional cotidiana enriqueció las metodologías existentes en el procedimiento de manejo y preservación de núcleos de perforación. Participa de forma activa en la descripción macroscópica de los primeros núcleos del fondo marino de las áreas donde se realizaron las primeras perforaciones de la zona exclusiva cubana del Golfo de



México. Hoy en día, muchos profesionales de la actividad petrolera llevan en su hacer cotidiano la experiencia profesional transmitida por el Doctor Rafael Segura Soto, reflejada en numerosas tesis de grados, maestrías y doctorados. Sin embargo, su actividad fundamental no fue impartir docencia, sino la investigación científica.

Gran parte de su vida laboral transcurrió con los microscopios, miles de determinaciones petrográficas se deben a su labor. Con una letra y descripciones dignas de imitación, dibujaba, literalmente, todo tipo de rocas. Testigos de perforación de centenares de pozos petroleros, miles de muestras de afloramientos de todas las provincias cubanas, pasaron por sus ojos. Publicó en 1973, el libro "Introducción a la Petrografía" con la Editorial URMO de España, en el mismo explicaba e ilustraba ejemplos petrográficos de Cuba, esta obra está considerada un clásico de la Petrografía cubana. Hasta 1975 participó, junto a Nancy García y Eugenia Fonseca, en una investigación integral para evaluar las perspectivas gasopetrolíferas del territorio de la República de Cuba, en la que describieron centenares núcleos, cortes y secciones delgadas, resultados todos sintetizado en un reporte sobre los reservorios petroleros en Cuba. Los resultados petrográficos obtenidos por Segura junto a otros petrógrafos cubanos, continúan utilizándose en proyectos de investigación y exploración, que han llevado al descubrimiento de importantes recursos de petróleo y gas y minerales sólidos.

El Dr. Segura publicó, además, numerosos trabajos en congresos nacionales e internacionales como: "Sedimentary models of Drifting Terranes in Central Cuba during the Kimmeridgian-Turonian interval", en el 15th Congreso Internacional de Sedimentología, realizado en Alicante España, en 1973; "Predicción de la calidad internacional del reservorio carbonatado y su aplicación

en Cuba”, en las Memorias de la II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias’ 2007; “Modelos sedimentarios del Jurásico Superior de Cuba. Influencia de la diagénesis en el desarrollo de la porosidad en los yacimientos de hidrocarburos”, en el Taller de Estratigrafía, Sedimentología y “Diagénesis y Petrofísica de las rocas del Jurásico Superior en México”, Tampico México, 1997, entre otros muchos.

En revistas nacionales publicó artículos como: “Formación San Ramón, definición de una nueva unidad litoestratigráfica en la región noroccidental de Cuba” en la revista Serie Geológica, en 1985; “Complejos litológicos del extremo noroccidental de Cuba y sus implicaciones estratigráficas de acuerdo con los datos de la perforación profunda” en la Revista Tecnológica; “La edad de la extinción de la actividad del arco volcánico insular cretácico en la cuenca central de Cuba”, en la Revista Tecnológica, 1988, y otros muchos. Su obra póstuma es el Capítulo “Rocas sedimentarias” del “Sistema de Clasificación de las rocas cubanas”, el mismo recoge una gran parte los apuntes personales de las decenas de seminarios impartidos a todo lo largo de la vida. Dicho sistema de clasificación presenta una terminología petrográfica actualizada que contribuyó a la creación de un sistema de información geológica digitalizada para Cuba, y a la estandarización de la información geológica, facilitando un lenguaje común entre los geólogos. El Sistema de clasificación contribuye a la actualización de los geólogos cubanos importantes tópicos importantes de nomenclatura y clasificación de las rocas cubanas en relación con los estándares internacionales. Sus apuntes permitieron la confección de un Glosario de más de 100 términos sedimentarios de amplio uso, ilustrado con ejemplos de rocas cubanas los cuales reflejan tanto la tendencia de la escuela soviética, como la de las escuelas europeas y norteamericana.

Le fue otorgado en 1998, el “Premio Academia de Ciencias de Cuba” por el trabajo petrográfico y el estudio de las propiedades de reservorios carbonatados de Cuba, plasmado en el primer atlas de su tipo confeccionado en Cuba. En 2009 recibió el premio de la Sociedad Cubana de Geología “Jesús Francisco de Albear y Fránquiz” por “la obra de la vida”. Asistió a decenas de eventos científicos y fue uno de los primeros directivos de la Sociedad Cubana de Geología, la cual le otorgó en 1994 la condición de “Miembro Emérito”.

Falleció en la ciudad de La Habana, a las nueve de la noche del 13 de junio de 2014.

#### Bibliografía activa

1. Segura-Soto, R., 1970. El complejo vulcanógeno-sedimentario y la intrusión ultrabásica en el yacimiento petrolífero “Guanabo”. *Tecnológica*, 8 (3).
2. Segura-Soto, R., 1973. Introducción a la Petrografía. Ediciones URMO, España, 208 pág.
3. Segura-Soto, R., 1977. Estudio petrográfico de las rocas dolomíticas del yacimiento Remedios. *Ciencias Técnicas*,

Ingeniería en Geodesia y Geofísica.

4. Segura-Soto, R., 1983. Hallazgo de un meteorito en la Playa de Bacuranao, Cuba. *Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*, Vol. 1, Num. 1. Texto original.
5. Segura-Soto, R., 1984. Clasificación moderna de las calizas. *Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*, Vol. 2, Num. 1.
6. Segura-Soto, R., 2007. Predicción de la calidad internacional del reservorio carbonatado y su aplicación en Cuba. 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.
7. Segura-Soto, R., Brey del Rey, D., y Hernández, J., 1998. Sedimentary models of Drifting Terranes in Central Cuba during the Kimmeridgian-Turonian interval. 15th International Sedimentological Congress, Alicante España, pág. 709-10.
8. Segura-Soto, R., Hernández, B., Brey del Rey, D., Blanco-Bustamante, S., Milián, E., 1988. La edad de la extinción de la actividad del arco volcánico insular cretácico en la cuenca central de Cuba. *Tecnológica*, 18 (3): 25-29.
9. Segura-Soto, R., Milián, E., y Fernández-Carmona, J., 1985. Formación San Ramón, definición de una nueva unidad litoestratigráfica en la región noroccidental de Cuba. *Serie Geológica*, 1: 89-101.
10. Segura-Soto, R., Millán, E., y Fernández-Carmona, J., 1985. Complejos litológicos del extremo noroccidental de Cuba y sus implicaciones estratigráficas de acuerdo con los datos de la perforación profunda. *Tecnológica*.
11. Segura-Soto, R., Núñez, C., Brey del Rey, D., y Hernández, J., 1997. Modelos sedimentarios del Jurásico Superior de Cuba. Influencia de la diagénesis en el desarrollo de la porosidad en los yacimientos de hidrocarburos. *Taller Estratigrafía, Sedimentología, Diagénesis y Petrofísica*
12. Blanco-Bustamante, S., Segura-Soto, R., y Brey del Rey, D., 1998. Facies del Cretácico medio del paleomargen de las Bahamas en Cuba central. En: *Geología y Minería, Memorias I (III Congreso de Geología y Minería)*, La Habana.
13. Echevarría, F.S., Lesmes, L., Quesada, A., y Segura-Soto, R., 2001. Estimulaciones ácidas en rocas vulcanógeno-sedimentarias de Cuba. En: *IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001*, La Habana, marzo 19-23.
14. Franco-Álvarez, G.L., Acevedo González, M., Álvarez Sánchez, H., Artime Peñeñori, C., Barriente Duarte, A., Blanco Bustamante, S., Cabrera, M., Cabrera, R., Carassou Agran, G., Cobiella Reguera, J.L., Coutin Lambert, R., Albear, J.F. de, de Huelbes, J., Torre y Callejas, A. de la, Delgado Damas, R., Díaz de Villalvilla, L., Díaz Otero, C., Dilla Alfonso, M., Echevarría Hernández, B., Fernández Carmona, J., Fernández Rodríguez, G., Flores García, R., Florez Abín, E., Fonseca, E., Furrzola Bermúdez, G., García-Delgado, D., Gil-González, S., González García, R.A., Gutiérrez Domech, R., Linares-Cala, E., Milián García, E., Millán-Trujillo, G., Moncada Ferrera, M., Montero Zamora, L., Orbera, L., Ortega Sastriques, F., Peñalver, L.L., Perera, C., Pérez Arias, J.R., Pérez Lazo, J., Pérez Rodríguez, E., Pifheiro Pérez, E., Recio Herrera, A.M.,

- Sánchez-Arango, J.R., Saunders Pérez, E., Segura Soto, R., Triff Oquendo, J., Zuazo Alonso, A., Pszczółkowski, A., Brezsnaynszky, K., Slavov, I., y Myczyński, R., 1992. *Léxico Estratigráfico de Cuba*. Centro de Nacional de Información Geológica, La Habana, 658 pág.
15. García Cádiz, I., Morales Echevarría, C., y Segura Soto, R., 2003. Sistema de clasificación de rocas sedimentarias para Cuba. En: *V Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2003*, La Habana, marzo 24-28.
16. nGarcía-Sánchez, R., Blanco-Bustamante, S., Linares-Cala, E., Pendás-Amador, M., y Segura-Soto, R., 2001. Características de las bioconstrucciones sobre el arco volcánico cretácico de Cuba. En: *IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001*, La Habana, marzo 19-23.
17. nKonev, P.N., y Segura-Soto, R., 1979. Presencia de olistostromas en la región de Varadero. *La Minería en Cuba*, 5 (4): 48-51.
18. Linares-Cala, E., Albear, J.F. de, Fernández-Carmona, J., Segura-Soto, R., 1985. *Boletín de la Sociedad Cubana de Geología*, Vol. 2, Num. 1.
19. López Corzo, O., Segura-Soto, R., López-Rivera, J.G., Delgado-López, O., Sosa Meisoso, C., y Rodríguez Bóveda, O., 2001. Algunos criterios para las acumulaciones gasopetrolíferas al sureste de la franja norte de crudos pesados. En: *IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001*, La Habana, marzo 19-23.
20. Malinovski, Y.M., Segura-Soto, R., Fonseca, E., García, R., y Antonenko, L., 1974. Nuevos datos sobre la litología y estratigrafía de los depósitos del Mesozoico y Cenozoico de la costa norte de Cuba (Habana-Matanzas). *Tecnológica*, 2 (12): 136-142.
21. Morales Echevarría, C., López Guerra, S., García-Delgado, D., y Segura Soto, R., 2011. Caracterización mediante métodos instrumentales del sello de



**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

- yacimientos petroleros en la franja norte de crudos pesados de Cuba. 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.
22. Rodríguez-Viera, M., Cruz Toledo, R., y Segura-Soto, R., 2001. Estudio integral de la fracturación en el yacimiento Pina. En: *IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001*, La Habana, marzo 19-23.
23. Rodríguez-Viera, M., Segura-Soto, R., y Valladares Amaro, S., 2001. Reservorios jurásicos en Cuba y su comparación con análogos en el sureste de México. En: *IV Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin 2001*, La Habana, marzo 19-23.
24. Sánchez-Arango, J.R., Segura-Soto, R., García, R., Echevarría, G., Milian, E., Fernández-Carmona, J., y Perera, C., 1991. Subsurface stratigraphy of Cuba based on deep wells. 2nd Geological Conference of the Geological Society of Trinidad and Tobago.
25. de las rocas del Jurásico Superior en México, Tampico México, pág. 73-6.
26. Valladares-Amaro, S., Segura-Soto, R., Álvarez Castro, J., Brey del Rey, D., Castro-Castiñeira, O., Rodríguez Vera, M., y Reyes Paredes, O., 2013. Reservorios gasopetrolíferos fracturados de Cuba. Caso de estudio: Reservorios carbonatados en la franja norte de crudos pesados. En: *Memorias, Trabajos y Resúmenes. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra (Geociencias’ 2013)*. Sociedad Cubana de Geología, La Habana, CD-Rom.
27. Colectivo de autores. Sistema de clasificación de las rocas cubanas. Editorial Centro Nacional de Información Geológica IGP. Habana 2018.

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)

## Emira Cabrera de Molina

### HOMENAJE A EMIRA CABRERA DE MOLINA

Una geóloga venezolana de alto calibre

Mariato Castro Mora

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

#### RESUMEN

Este artículo es un homenaje merecidísimo a una insigne geóloga venezolana que durante sus años activos dentro de la industria petrolera venezolana se destacó por su altísima calidad profesional; su labor gremial dentro de la Sociedad Venezolana de Geólogos; la creación de la Fundación Tethys; su participación en la organización tanto nacional como internacional de eventos relacionados con las ciencias de la tierra y sus grandes aportes al Léxico Estratigráfico Venezolano. Merecen una mención aparte su calidad humana y el soporte que siempre brindó a universidades, colegas y amigos.

#### ABSTRACT

This paper is a well-deserved tribute to a distinguished Venezuelan geologist who, during her active professional years in the Venezuelan oil industry, stood out for her high technical qualifications; her devoted work within the Venezuelan Society of Geologists; the creation of the Tethys Foundation; her participation in the national and international organization of events related to earth sciences and her great contributions to the Venezuelan Stratigraphic Lexicon. Emira Cabrera de Molina deserves special mention for her altruism, human quality and the support that she always provided to universities, colleagues and friends.

**Palabras claves:** Geología, Sociedad Venezolana de Geólogos, Fundación Tethys, Léxico Estratigráfico de Venezuela, Corpoven S.A., Petróleos de Venezuela

**Key Word:** Geology, Venezuelan Society of Geologists, Tethys Foundation, Stratigraphic Lexicon of Venezuela, Corpoven S.A., Petróleos de Venezuela.

#### EDUCACION

Emira Cabrera de Molina nace en Carúpano, en el Estado Sucre al este de Venezuela. Estudió educación primaria en los colegios Manuel María Urbaneja y República de Haití y educación secundaria en el Liceo Simón Rodríguez de esta ciudad en el oriente de Venezuela.

En el año 1975 obtuvo su título de Ingeniero Geólogo en la ilustre Universidad Central de Venezuela en Caracas,



siendo sus compañeros de promoción los distinguidos profesionales: Rafael Araujo, Sol Benítez, Eglis Caraballo, Raúl García, Juvenia Garrido, Antonio Motta, Federico Puche, Heberto Romero, Crisálida Tarache, Víctor Vivas y Nicolás Escalona (fallecido). En la Escuela de Geología, Geofísica y Minas de la Universidad Central de Venezuela siempre llamó la atención que siendo Carúpano una ciudad relativamente pequeña con aproximadamente 130.000 habitantes, una gran cantidad de profesionales de las ciencias de la tierra provienen de esta ciudad oriental del país, quizás por la geología de la región, sus bellezas naturales que incluyen hermosas playas y aguas termales en las cercanías, sus recursos minerales que incluyen azufre y sal así como su gran potencial para energía geotérmica y eólica.

Su tesis de grado se tituló *“Estudio geológico de la Cuenca del Río Aricagua, Estado Miranda”*. La zona en estudio estaba situada al NO del Distrito Brión, del Estado Miranda y en ella afloran rocas metamórficas que han sido descritas como Unidad de Esquistos Verdes, Unidad de Augén Gneises y Unidad de Esquistos Grafíticos. La Unidad de Esquistos Verdes aflora al sur del área y consiste de esquistos verdes de composición cuarzo-plagioclástica-micácea-epidótica, cuarzo-moscovítica-epidótica, esquistos actinolíticos, esquistos de estilpnomelana y gneises plagioclástico-moscovítico-cuarzo-epidóticos. La Unidad de Augén Gneises aflora en pequeñas zonas del área y consiste de gneises de composición cuarzo-feldespática. La Unidad de Esquistos Grafíticos aflora al norte del área y está constituida por esquistos cuarzo-muscovítico-calcáreo-grafíticos; calizas y dolomías. Las unidades metamórficas son correlacionables litológicamente con las formaciones Las Brisas, Peña de

Mora y Las Mercedes, del Grupo Caracas. Las rocas metamórficas que afloran en el área han sido afectadas por metamorfismo dinamotermal regional de bajo grado, correspondiente a la facies de los esquistos verdes tipo Barroviano (Winkler, 1967). Los esfuerzos que predominaron durante el metamorfismo produjeron un intenso plegamiento isoclinal, dando como resultado una marcada foliación en las rocas afectadas. Los planos de foliación, por el carácter isoclinal del plegamiento, son paralelos a los planos axiales de los pliegues mencionados. Existe una falla longitudinal, continuación de la falla Caruao, de dirección E-O, originada por esfuerzos compresionales de dirección N-S y un sistema de fallas transversales, paralelas entre sí, de dirección NO-SE, originadas por esfuerzo de dirección N76O. El trabajo de tesis determinó que económicamente en la región no existen concentraciones minerales que justifiquen su explotación comercial.

Emira Cabrera de Molina obtuvo el título de Magister Scientiarum en Geología Sedimentaria en la misma universidad con la tesis titulada *“Evolución Estructural de Falcón Central”*. En su trabajo de grado definió el neotóctono falconiano que comprende 4 ciclos sedimentarios que descansan sobre rocas que conforman dos provincias geológicas bien diferenciadas: la provincia occidental de la Cuenca de Maracaibo y la provincia oriental constituida por las rocas del sistema de napas del Caribe; el límite entre ellas puede estar ubicado en la falla Lagarto. Los ciclos sedimentarios reconocidos en el Terciario de Falcón son el Oligoceno Medio a Superior, Mioceno Temprano, Mioceno Medio y Mioceno Tardío-Plioceno. El ciclo del Oligoceno está representado por los sedimentos de las formaciones Pecaya y Guacharaca, constituyendo así la sección más marina del ciclo; que incluyen episodios turbidíticos de carácter local; las facies más continentales de este ciclo se encuentran aflorando al oeste, y sur del Surco de Urumaco (Formación El Paraíso). El ciclo Mioceno Temprano incluye los sedimentos de las formaciones Agua Clara y San Lorenzo, que evidencian el predominio de condiciones próximo costero a continental hacia la plataforma de Dabajuro y marino somero a borde de talud al centro y este de Falcón. Estas condiciones prevalecen hasta finales del Mioceno temprano. El cierre de este ciclo está marcado por un evento progradacional que posiblemente evoluciona bajo la influencia de los movimientos más tempranos del levantamiento andino; la discordancia La Puerta en Falcón occidental y la erosión de los sedimentos de Agua Clara en el Alto de Coro evidencian este proceso. El ciclo Mioceno Medio tiene sus máximos espesores preservados en el Surco de Urumaco, la distribución actual de facies muestra un patrón similar al ciclo subyacente con ambientes próximo costero a continental al oeste y marino somero al este. Los sedimentos del Mioceno Tardío-Plioceno conforman el ciclo más joven reconocido, el cual se encuentra profundamente afectado por la orogénesis andina. Estos sedimentos son de ambiente marino somero a

continental. Se reconocieron dos etapas de deformación: una extensional que es asociada al fallamiento normal y sinsedimentario de edad Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano, evidente en la Ensenada de La Vela y Surco de Urumaco. La etapa compresional, muy reciente, contemporánea con la orogénesis andina, es la responsable de la configuración actual de Falcón. La deformación Pliocena tiene como límite el corrimiento de Guadalupe en la costa falconiana. Durante el Mioceno temprano la estructura de Falcón central y Ensenada de La Vela era un homoclinal de rumbo aproximado norte-sur y buzamiento al este; para esta época la provincia del Alto de Coro fue un área parcialmente cubierta por la transgresión de Agua Clara. Esta estructura homoclinal permanece sin mayores variaciones durante el Mioceno Medio y hasta finales del Mioceno Tardío. La inversión de la cuenca falconiana ocurre a fines del Plioceno, evento que está relacionado con los afloramientos de la corteza que dieron lugar al levantamiento de los Andes de Mérida y Perijá. La inversión de la cuenca de Falcón o formación del anticlinorio causó la erosión de grandes espesores de rocas Oligocenas y Miocenas que se estiman en el orden de los 5.000 m en la región meridional del área bajo estudio. Este mismo fenómeno ha expuesto en afloramientos las partes más subsidentes del área que en presencia de rocas madres efectivas fueron áreas generadoras de hidrocarburos o cocinas, actualmente extintas. Este trabajo en su momento fue de gran relevancia pues se habla de la inversión de la Cuenca de Falcón y de áreas generadoras de petróleo y gas extintas.

Como anécdota de nuestros tiempos de estudiantes de postgrado, recuerdo con inmenso cariño, su compañerismo, amistad, don de gentes y su manera siempre ingeniosa de solventar situaciones. Culminamos nuestros estudios de postgrado y esperábamos con emoción el día del acto de graduación, la imposición de la medalla con las dos bandas de color blanco y violeta. Sin embargo, la llamada de convocatoria no llegaba. Un día del año 1983, recibí en mi oficina de Lagoven S.A. una llamada de una amiga que se estaba graduando de Magister en electrónica en el Aula Magna de la Ciudad Universitaria de Caracas y me decía que me habían llamado varias veces y no me presenté. Ella se preocupó, pues sabía lo emocionada que estaba por recibir mi grado y pensó que me había ocurrido algo o estaba enferma. Inmediatamente llamé a Emira a Corpoven S.A., le conté lo ocurrido y me dijo *“nos vamos inmediatamente a la universidad, busca a Jorge Carnevali (compañero de estudio y mi jefe en Lagoven S.A.) que yo voy con Néstor Chigné (compañero de estudio que laboraba con ella en Corpoven S.A.)”*. Llegamos a la Secretaría del Rectorado, no nos supieron dar explicación, lamentaron y se excusaron por el error y que seríamos incluidos en el próximo acto de graduación y que ipso facto nos darían las credenciales como graduados para ser presentadas ante nuestras respectivas empresas de trabajo. Preguntamos en qué fecha sería el acto académico y nos indicaron que

al año siguiente. Sin querer la tristeza y decepción me invadió y Emira inmediatamente y con gran firmeza le asintió *“por favor nos puede dar nuestros diplomas, credenciales y nuestras medallas”*, nos hicieron entrega de lo requerido, firmamos las actas y seguidamente Emira nos llevó a la Plaza del Rectorado y nos impusimos las medallas los unos a los otros y celebramos el brindis con la famosa chicha del rectorado. Como recuerdo ese día, una graduación muy significativa entre compañeros de estudio que, con grandes sacrificios, estudiando y trabajando logramos nuestros objetivos. Esa es la personalidad de Emira, cálida, humana pero que no se amilana ante nada.

### **CARRERA PROFESIONAL**

Emira Cabrera de Molina comenzó su transitar profesional en la Corporación Venezolana del Petróleo (CVP), pasando luego a Deltaven S.A. De aquellos tiempos Néstor Chigné recuerda *“conocí a Emira a mediados de 1977, cuando ella arribaba a Deltaven procedente de CVP, Maracaibo. Inmediatamente su carácter jovial y desenvuelto pronto le granjearon muy buenas amistades. Así, como no recordar por ejemplo el trato que recibí en su casa en las fiestas navideñas de ese año, cuando sellamos un recíproco compromiso gastronómico que me permitió aprender a hacer hallacas y retribuir por mi parte, con la degustación de un cebiche peruano para unas 20 personas...por mis escasos conocimientos culinarios debo admitir que sudé bastante ante tan digno compromiso. Por sobre todo debo reconocer que entonces disfruté mucho del calor y el sincero cariño de su madre y de toda su familia en esas fechas tan importantes”*.

Luego pasó a Meneven S.A. Filial de Petróleos de Venezuela que pasó con los años a ser denominada Corpoven S.A. Felipe Audemard recuerda como su labor y actuación fue piedra angular en la exitosa integración de Meneven con Corpoven S.A.

En Corpoven S.A. desde la Gerencia de Estudios Regionales siempre destacó por sus ideas de avanzada y su profundo conocimiento de las áreas de responsabilidad exploratoria de Corpoven S.A. para aquellos momentos en la Cuenca de Apure Barinas, donde se llevaron a cabo exitosos descubrimientos de hidrocarburos en los campos petroleros de La Victoria y Guafita; Faja Petrolífera del Orinoco, Bloque Machete. En 1986, exploraciones en el oriente venezolano llevadas a cabo conjuntamente por Corpoven y Lagoven S.A. llevan al descubrimiento del productivo campo El Furrial (Municipio Maturín del Estado Monagas), rico en depósitos de crudo liviano.

Entre los años 1991 y 1992, Emira Cabrera de Molina formó parte del equipo de trabajo de Petróleos de Venezuela (PDVSA) con British Petroleum (BP) representando a Corpoven S.A.

En 1997, Petróleos de Venezuela decide realizar un cambio en su estructura funcional, eliminando la figura de las filiales operadoras e integrando las actividades que por

separado llevaban todas ellas en las áreas de exploración, producción, mercadeo, servicios y producción gasífera. En su lugar, se estableció una nueva estructura de operaciones basada en unidades de negocio. Como consecuencia de ello, Corpoven S.A. cesó operaciones el 31 de diciembre de 1997 y todos sus activos, así como los de las filiales hermanas Maraven y Lagoven S.A. pasaron a ser controlados directamente por la casa matriz PDVSA. En ese momento Emira Cabrera de Molina pasa a trabajar en Planificación del nuevo holding y en VIPA (Visión País) desde Diciembre de 1997 hasta su jubilación efectiva a finales del año 2001. Felipe Audemard describe su tenencia en el Proyecto VIPA como excepcional, una persona muy focalizada, dedicada, apasionada en sus actividades y colaboradora. De esta etapa Felipe Audemard recuerda a Emira *“como una persona hiperactiva y muy sensible, digna de admiración por su alto nivel de energía. Nunca pasaba desapercibida. Destacaba por su gran calidad humana, recuerdo cuando se dedicó a recolectar fondos con diferentes estrategias para recabar una suma significativa de dinero para solventar los gastos de hospitalización de un compañero geólogo con un caso de peritonitis”*

De igual manera Felipe Audemard recuerda *“Emira siempre me trató de manera muy especial, para mi cumpleaños, me traía empanadas de cazón o cuajado de Chucho, hechos por ella misma, eso siempre llegaba a la oficina dentro de una bolsa Dior para despistar. Una delicadeza para un paisano sucrense”*.



**Foto Oficial de Petróleos de Venezuela, año 1997 donde aparecen entre otros Emira Cabrera de Molina, Raúl Ysaccis, Héctor Del Castillo, Juan Di Croce, Isabel Serrano, Bruno De Toni y Celia Bejarano.**

### **COMITE INTERFILIAL DE ESTRATIGRAFIA Y NOMENCLATURA ESTRATIGRAFICA**

Emira Cabrera de Molina formó parte del Primer Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura, mejor conocido por sus siglas CIEN, formado por representantes del Ministerio de Energía y Minas (MEM), Corpoven, Lagoven,

Maraven, PDVSA, INTEVEP y la Universidad Central de Venezuela. Los representantes del MEM durante todo el proyecto fueron Alirio Bellizzia, Nelly Pimentel de Bellizzia, Aura Neuman, y Mariela Stredel. Los representantes por parte de PDVSA y las filiales cambiaron con el tiempo, entre ellos destacan: Ramon Gutiérrez, Víctor Campos, Marianto Castro Mora, Víctor Sánchez, Emira Cabrera de Molina por Corpoven S.A., Christopher White, María Antonieta Lorente, Xiomara Márquez, Irene Truskowski, Carlos E. Sánchez S., Iñaki Saizarbitoria, José Figuera, Freddy Chiquito, Ludovico Nicklas, Orlando Chacín, Daisy de Mejía, Sol Benítez, Juana Iturralde, Aníbal Martínez, Franco Urbani, Lourdes de Gamero, Enrique Navarro, Vicente Mendoza, Serafín Sifontes y Jean Pasquali.

### **LEXICO ESTRATIGRAFICO DE VENEZUELA**

Emira Cabrera de Molina trabajó en la Formación Parángula del Terciario (Oligoceno a Mioceno Tardío) del Estado Barinas, donde en el año 1995 recomendó reemplazar a Parángula al sur y sureste del área Lechozote con el nombre de la Formación Guafita, lo cual fue corroborado por AGUASUELOS y Don Kiser en 1997.

En el más reciente Léxico Estratigráfico de Venezuela, III Edición Revisada de Agosto 2021, tuvo una gran contribución formando parte de la Comisión de Trabajo de la Sinopsis de la Geología de Venezuela junto con Felipe Audemard, Juan Di Croce y Alfredo Menéndez. Emira fue la coordinadora junto con Don Kiser de la Cuenca Barinas – Apure; colaborando en la descripción de las unidades estratigráficas junto a un selecto grupo de geólogos. También fue la encargada junto con Felipe Audemard de la coordinación de los cuadros de correlación y secciones que aparecen en la publicación. De esta época Felipe Audemard recuerda como Emira lo motivó a escribir sobre el Fanerozoico y realizar bocetos y gráficos paleogeográficos en diferentes tiempos que posteriormente fueron mejorados por el “geoartista” Juan Di Croce y el texto fue editado por Juana Iturralde.

### **SOCIEDAD VENEZOLANA DE GEOLOGOS ACTUACION GREMIAL**

Emira Cabrera de Molina siempre destacó por su actuación gremial que comprendió diversas participaciones en las diferentes Juntas Directivas a través de los años de la Sociedad Venezolana de Geólogos; organización de eventos nacionales e internacionales; excursiones geológicas; así como ayudas para los agremiados. A continuación, se presenta una síntesis de los aportes más importantes realizados durante su brillante carrera profesional:

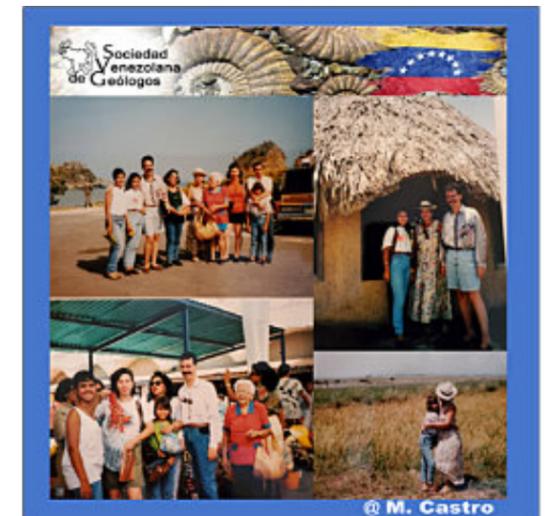
- Vicepresidenta de la Sociedad Venezolana de Geólogos durante el año 1991.
- Comisionada de la Junta Directiva de la Sociedad Venezolana de Geólogos para las Conferencias Técnicas durante la Presidencia de Aníbal R. Martínez durante los años 1987, 1988, 1990 y 1992.

- Entre 1977 y 1998 formó parte del Comité Electoral de la Sociedad Venezolana de Geólogos.



**Fiesta de Navidad de la Sociedad Venezolana de Geólogos en el Hotel Tamanaco, Caracas. Diciembre 1989. Emira Cabrera de Molina junto a Rosina Pittelli de Ochoa (izquierda) y Marianto Castro Mora (derecha).**

Organizadora de la Primera Excursión Geológica – Familiar de la Sociedad Venezolana de Geólogos en el año 1990. Emira siempre destacó por el amor a su familia y es por ello que le propuso a la Junta Directiva de la Sociedad Venezolana de Geólogos la realización de una excursión geológica de un fin de semana para compartir con la familia y acercarlos al trabajo del profesional de las ciencias de la tierra. Para ello, escogió su región natal, plena de bellezas naturales, interesantes afloramientos, aguas termales y acampar en una de las playas más bellas de Venezuela, Playa Medina.



**Excursión geológica – familiar de la Sociedad Venezolana de Geólogos. En las fotos se puede apreciar entre otros a Emira Cabrera de Molina, su esposo Pablo Molina, sus hijas Emira y Paula; Janize Méndez de Guzmán; Magdalena Mora.**



**Excursión geológica – familiar de la Sociedad Venezolana de Geólogos. Playa Medina, en la Carretera de Río Caribe, Estado Sucre, Venezuela.**

- Colaboradora y asesora para la realización del I Congreso Internacional AAPG/SVG celebrado en Caracas del 14 al 17 de Marzo de 1993. Este evento realizado durante la Presidencia de Aníbal R. Martínez tuvo tal éxito que se fijó fecha para la realización de un segundo evento similar en el año 1996.



**Toma de posesión como Presidenta de la Sociedad Venezolana de Geólogos de María Antonieta Lorente. El acto fue celebrado en el Hotel Tamanaco de Caracas el 15 de Abril de 1993. En la foto destacan de izquierda a derecha Emira Cabrera de Molina, Aníbal Martínez, Presidente saliente; Carlos Sánchez; Lucas Zamora; Rosina Pittelli de Ochoa, Primera Vocal entrante; Marianto Castro Mora, la Presidente entrante María Antonieta Lorente, Alvaro Pérez Lorente y Felipe Audemard.**



**Reunión de la Sociedad Venezolana de Geólogos para la toma de posesión de María Antonieta Lorente en el Hotel**

**Tamanaco de Caracas el 15 de Abril de 1993, coincidiendo con el cumpleaños de Emira Cabrera de Molina que fue celebrado por todos los allí presentes. Entre otros se encuentran Rosina Pittelli de Ochoa, Aura Neuman, Irene Truskowski, Daisy Pérez de Mejía, Carlos Sánchez, Juana Iturralde (fallecida) y Marianto Castro Mora.**

- Recibió en el año 1994 el premio Santiago Aguerrevere por sus sobresalientes servicios públicos.  
- Colaboradora y asesora del II Congreso Internacional de la AAPG/SVG, celebrado en Caracas entre el 8 y el 11 de Septiembre de 1996. Este evento se realizó durante la presidencia de María Antonieta Lorente, primera geóloga venezolana en llegar a la Presidencia de la Sociedad Venezolana de Geólogos. En el evento participaron 1570 profesionales de 35 diferentes países y se presentaron 136 ponencias orales y 210 afiches/posters.



**Foto tomada durante el II Congreso AAPG/SVG celebrado en Caracas en 1996 donde aparecen de izquierda a derecha: Genaro Giffuni, Emira Cabrera de Molina, Jairo Lugo y Rosina Pittelli de Ochoa.**



**Foto tomada durante los actos sociales del VIII Congreso Geológico Venezolano y el I Congreso Latinoamericano de Geología en el Consulado de Dinamarca en la Isla de Margarita el 17 de Noviembre de 1997. En la misma aparecen de izquierda a derecha Andreina Isea Dubuc, Xiomara Márquez y Emira Cabrera de Molina.**

- Emira Cabrera de Molina conmovida por la situación de desamparo de algunos de los hijos de jóvenes geólogos fallecidos se avoca a crear la Fundación Tethys que apoya y beca a los hijos de geólogos agremiados fallecidos.  
- Colaboradora para la exitosa celebración del VIII Congreso Geológico Venezolano y el I Congreso Latinoamericano de Geología, celebrado entre el 16 y el 19 de Noviembre de 1997 en la Isla de Margarita, Venezuela.

- El 18 de Mayo del año 2000, durante la Cena Anual de la Sociedad Venezolana de Geólogos, Emira Cabrera de Molina recibió el premio Gustavo Feo Codecido por su actividad sobresaliente en la actuación gremial y por su labor desplegada en la creación de la Fundación Tethys.

**SIMPOSIOS BOLIVARIANOS DE EXPLORACION DE CUENCAS ANDINAS Y SUBANDINAS**

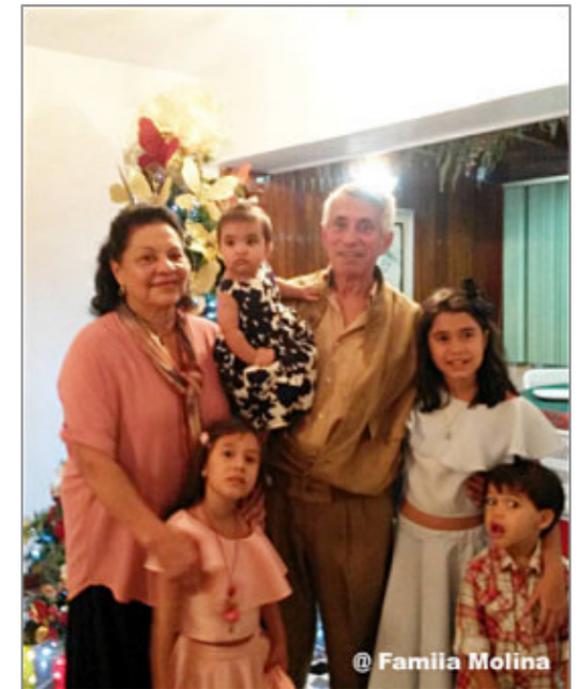
Desde su creación en el año 1982, Emira Cabrera de Molina apoyó este evento. Su presencia sobresalió en los dos eventos realizados en Venezuela:

- En el III Simposio Bolivariano de Exploración de Cuencas Andinas y Subandinas fue la encargada de organizar técnica y logísticamente la excursión al frente de montañas de Venezuela oriental realizada entre el 17 y 18 de Marzo de 1988.
- Formó parte del Comité Organizador del V Simposio Bolivariano de Exploración de Cuencas Andinas y Subandinas llevado a cabo en Puerto La Cruz, Estado Anzoátegui entre el 13 y el 16 de Marzo de 1994. Este evento contó con la asistencia de 20 países y se presentaron 78 ponencias técnicas. Felipe Audemard describe su aporte a este evento como de alto calibre; Emira coordinó y ensambló varias excursiones posteriores con sus compañeros de Corpoven S.A.
- En el VII Simposio Bolivariano de Exploración de Cuencas Andinas y Subandinas realizado en Caracas entre el 10 y el 13 de Septiembre del año 2000. En este evento, Emira presentó junto con Raúl Ysaccis y Héctor Del Castillo el Sistema Petrolífero de la Cuenca de la Blanquilla, costa afuera de Venezuela con nuevos conceptos exploratorios e información de referencia para el área que comprende el Alto de la Tortuga y la Plataforma Margarita – Los Testigos.

**APOYO A ESTUDIANTES Y TESISNAS NACIONALES E INTERNACIONALES**

Emira Cabrera de Molina fue tutora de numerosas tesis tanto de la Universidad Central de Venezuela como de la Universidad de Oriente. Felipe Audemard recuerda que fue colaboradora de primera línea con múltiples tesis venezolanas y foráneas como los de la Universidad de Brest, Francia, como parte del convenio entre el Ministerio de Energía y Minas, Petróleos de Venezuela y la Universidad de Brest bajo la coordinación del profesor François Stephan y tesis de los profesores James L. Pindell, Universidad de Rice, Estados Unidos.

Néstor Chigné recuerda *“en el terreno profesional Emira siempre destacó por su don de servicio, manifestado por la guía y el aporte de sus conocimientos e información relevante a todos los futuros geólogos que buscaban apoyo en la preparación de sus tesis de grado y de unos cuantos geólogos que necesitaban mentoría en sus trabajos de tesis de post grado. Sin duda, muchos jóvenes de aquellos años son hoy granjeados y selectos profesionales que laboran en diferentes lugares de nuestro planeta y que nunca olvidarán el soporte, guía y orientación recibida por parte de Emira Cabrera de Molina. Néstor expresa su agradecimiento y reconocimiento a Emira por su contribución y aporte para el enriquecimiento del Léxico Estratigráfico de Venezuela, así como también por su contribución a lo largo de los años en la exitosa organización de los siempre recordados congresos geológicos venezolanos”.*



**Actualmente Emira Cabrera de Molina y su esposo Pablo Molina se encuentran jubilados de Petróleos de Venezuela viviendo entre Caracas y su finca en los alrededores de la ciudad de Valencia donde disfruta de la naturaleza que tanto ama y rodeada de las flores y plantas que cuida con esmero. Sus días se ven plétóricos por el amor de sus hijas Emira, Paula y sus 4 nietos. Foto reciente de Emira Cabrera de Molina junto a su esposo Pablo y sus cuatro nietos.**

**PUBLICACIONES**

Se presenta una sucinta síntesis de las más relevantes publicaciones:

ARNSTEIN, R.; BERTORET, C.; CABRERA DE MOLINA, E.; MOMPART, L.; ORTEGA, J.; RUSSOMANNO, F.; SANCHEZ, H. 1982. **Geología Petrolera Cuenca de Venezuela Oriental** 1982. ARPEL, XLV Reunión a nivel de expertos. Asistencia recíproca Petrolera Estatal Latinoamericana, 17 al 21 de Mayo de 1982, Ciudad de México, México.

CABRERA DE MOLINA, E. 1985. **El Paleozoico de los Llanos Venezolanos**. Reporte interno realizado en el año 1985 para Corpoven S.A., 20 p.

ARNSTEIN, R.; RUSSOMANNO, F.; CABRERA DE MOLINA, E.; SANCHEZ, H. 1985. **Revisión estratigráfica de la Cuenca de Venezuela Oriental**. Trabajo presentado en el VI Geológico Venezolano celebrado en Caracas entre el 29 de Septiembre y el 5 de Octubre de 1985.

CABRERA DE MOLINA, E. 1988. **Excursión al Frente de Montañas de Venezuela Oriental**. Preparación, organización y logística de la excursión llevada a cabo entre el 17 y 18 de Marzo de 1988 para el III Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en Cuencas Andinas y Subandinas.

CABRERA DE MOLINA, E. CRESPO DE CABRERA, S.; VILLAIN, J. F. 1991. **Bioestratigrafía del Terciario en el Subsuelo del Noreste de Guárico**. Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos, Número 42, Caracas, Venezuela

CABRERA DE MOLINA, E. 1993. **Excursión al Frente de Montañas Oriental de Venezuela**. Excursión organizada para Corpoven y Lagoven S.A.

CABRERA DE MOLINA, E.; MACSOTAY, O.; GIRALDO, C.; ORTEGA, J.; ALBERDI, M. 1994. **Sedimentación y Tectónica en Venezuela nor-oriental**. Excursión número 4 del V Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera en las Cuencas Andinas y Subandinas, 11 al 13 de Marzo de 1994

CHIGNE, N.; LOUREIRO, D.; CABRERA DE MOLINA, E. OSUNA, S. 1996. **Tectonostratigraphic evolution and petroleum systems of Barinas – Apure Basin and surrounding areas**. AAPG International Congress and Exhibition, 8 – 11 September 1996, Caracas, Venezuela.

CABRERA DE MOLINA, E.; MONRROY, Z. 1997. **El Eoceno Superior en Venezuela Suroccidental**. VIII Congreso Geológico Venezolano, 16 – 19 de Noviembre de 1997.

CABRERA DE MOLINA, E.; MONRROY, Z. 1997. **Evidencias para el Léxico Estratigráfico de Venezuela que el término informal Formación Guafita es sinónimo de la Formación Carbonera**.

YSACCIS, R.; CABRERA DE MOLINA, E.; Del Castillo, H. 2000. **El Sistema Petrolífero de la Cuenca de la Blanquilla, costa afuera de Venezuela**. VII Simposio Bolivariano de Exploración de Cuencas Andinas y Subandinas, 10 – 13 Septiembre, 2000. Este importante trabajo presenta nuevos conceptos exploratorios e información de referencia para el área que comprende el Alto de la Tortuga y la Plataforma Margarita – Los Testigos.

CABRERA DE MOLINA, E. 2009. **Evolución estructural de Falcón central**. Revista GEOS en modalidad de DVD, 81 figuras y tablas, 105 p.

En el 2009 se publicó el trabajo titulado Evolución estructural de Falcón central, el mismo fue publicado en la Revista GEOS en modalidad de DVD por el alto contenido de figuras (81 figuras y tablas) y un texto de 105 páginas, que incluye los resultados de su tesis de maestría y estudios regionales posteriores que relacionan la inversión de la Cuenca de Falcón o formación del anticlinorio que causó la erosión de grandes espesores de rocas Oligocenas y Miocenas que se estiman en el orden de los 5.000 m en la región meridional del área bajo estudio. Este mismo fenómeno ha expuesto en afloramientos las partes más subsidentes del área que en presencia de rocas madres efectivas fueron áreas generadoras de hidrocarburos o cocinas, actualmente extintas, información de vital importancia en los programas de exploración petrolera para el área de Falcón.

#### AGRADECIMIENTOS

Para la autora es un gran privilegio haber tenido la oportunidad de conocer, compartir y admirar la labor de Emira Cabrera de Molina, así como para muchos colegas que han tenido la oportunidad de tratarla en sus diferentes facetas como profesional, mentora y gremialista.

Sirva este sencillo homenaje como ejemplo para las nuevas generaciones de geólogos del ejercicio profesional y gremial de un gran ser humano que como bien dijo Felipe Audemard "jamás pasó desapercibida".

Mi profundo agradecimiento para Janize Méndez de Guzmán, Felipe Audemard, Néstor Chigné, Elizabeth Hernández y Omar Colmenares.

#### REFERENCIAS

ARNSTEIN, R.; CABRERA DE MOLINA, E.; RUSSOMANO, F.; SANCHEZ, H. 1985. **Revisión estratigráfica de la Cuenca de Venezuela Oriental**. VI Congreso Geológico Venezolano, Septiembre 29 a 6 de Octubre, 1985. <https://mariantoc.github.io/stratigraphy.html#Arnstein1985>

**Léxico Estratigráfico de Venezuela**. Dirección General Sectorial de SERVIGEOMIN, Dirección de Geología, Ministerio de Energía y Minas, República de Venezuela. Versión digital revisada de Agosto 2021, 1251 p. <https://www.academia.edu/96551124/LEXICO ESTRATIGRAFICO DE VENEZUELA VERSION DIGITAL>

SCHERER, W. 2023. **Historia del Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela**. Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela, Número 143, Diciembre 2023, Caracas, Venezuela. <https://mariantoc.github.io/biography.html#LexicoEstratigraficoSch>

**Trabajos Especiales de Grado 2009**. GEOS, Revista Venezolana de Geociencias, Número 40, Caracas, Venezuela. [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_geos/issue/view/554](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_geos/issue/view/554)

# OBITUARIO



**Donald Lawson Turcotte**

**Donald Lawson Turcotte** (22 April 1932 - 4 February 2025) was an American geophysicist most noted for his work on the boundary layer theory of mantle convection as part of the theory of plate tectonics. He worked at Cornell University then the University of California, Davis.

#### Education and career

Turcotte trained as an engineer, graduating with a PhD in aeronautics and physics from Caltech in 1958. After a year at the Naval Postgraduate School in Monterey, Turcotte took up a position at Cornell University, in the graduate school of Aeronautical Engineering. In 1965, Turcotte took a sabbatical at the University of Oxford, in the engineering department. Here he met Ron Oxburgh, who had recently arrived in the Department of Geology, and they began a collaboration in which they developed ideas about convective flow in the Earth's mantle, and its links to the

newly emerging ideas of plate tectonics. In 1973, Turcotte moved to the geology department at Cornell where he worked for the next thirty years. After retiring from Cornell in 2003, Turcotte moved to University of California, Davis.

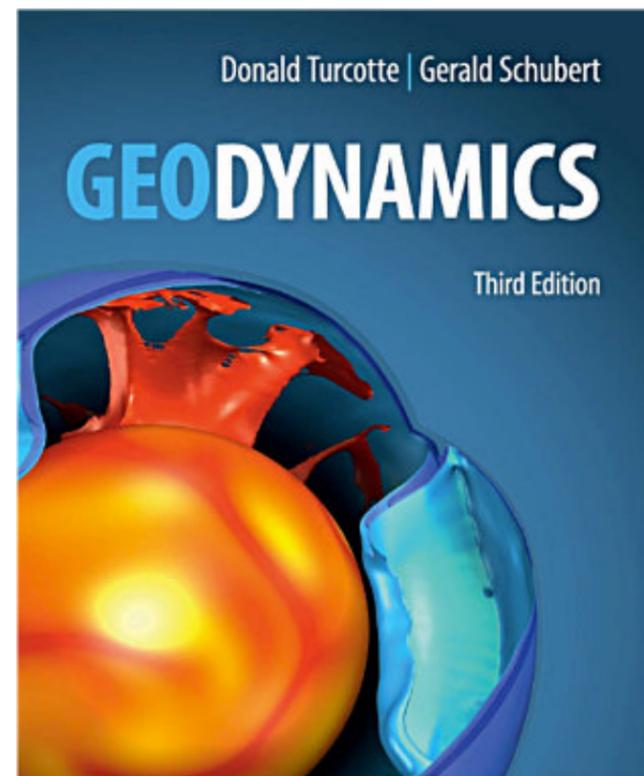
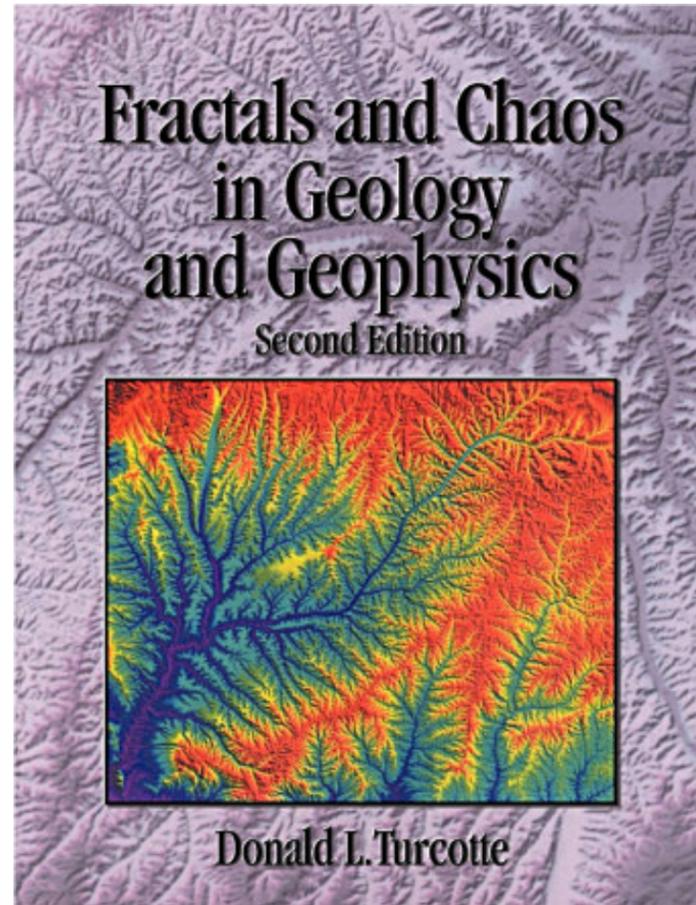
He has won awards including the Arthur L. Day Medal of the Geological Society of America, the William Bowie Medal[6] and the Charles A. Whitten Medal of the American Geophysical Union. He was a member of the National Academy of Sciences.

In 2008, the American Geophysical Union's Nonlinear Geophysics committee established the Donald L. Turcotte Award, which is given annually to one honoree "in recognition of outstanding dissertation research that contributes directly to nonlinear geophysics."

#### Publications

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Donald-L-Turcotte-2042234063>

<https://www.amazon.com/Fractals-Geology-Geophysics-Donald-Turcotte/dp/0521567335>



<https://www.cambridge.org/highereducation/books/geodynamics/E0E847DA9FE68BDB90C2E457791F0C98#overview>

# Miscelánea de Imágenes



## Olympus Mons: Largest Volcano in the Solar System

Image Credit: ESA, DLR, FU Berlin, Mars Express; Processing & CC BY 2.0 License: Andrea Luck  
 Explanation: The largest volcano in our Solar System is on Mars. Although three times higher than Earth's Mount Everest, Olympus Mons will not be difficult for humans to climb because of the volcano's shallow slopes and Mars' low gravity. Covering an area greater than the entire Hawaiian volcano chain, the slopes of Olympus Mons typically rise only a few degrees at a time. Olympus Mons is an immense shield volcano, built long ago by fluid lava. A relatively static surface crust allowed it to build up over time. Its last eruption is thought to have been about 25 million years ago. The featured image was taken by the European Space Agency's robotic Mars Express spacecraft currently orbiting the Red Planet. April 4, 2023. Image credit: NASA.

## TESIS & RESÚMENES

Alfredo Sánchez-Monclú,  
Claudio Bartolini, and  
José C. Vicente Bravo

### Regional Mapping in the Ultra-Deepwater Gulf of Mexico

Alfredo Sánchez-Monclú, Claudio Bartolini, and B. José C. Vicente

Repsol, Paseo de la Castellana 280, Madrid, Spain 28046

#### EXTENDED ABSTRACT

The purpose of this study was to understand the structural setting, distribution and thickness of the most critical geologic units involved in the petroleum systems of the deep Gulf of Mexico Basin, Mexico. In order to achieve these goals, a seismic interpretation across the international border (Mexico-U.S.) into the ultra-deepwaters in the Gulf of Mexico was conducted.

#### Seismic Interpretation

Using several 2D seismic surveys, a large portion of the Mexican territorial waters in the Gulf of Mexico was mapped. The study area of approximately 400,000 km<sup>2</sup> lies between the southern edge of the Sigsbee Scarp, the westernmost Florida Platform, the northern part of Yucatan Platform and eastward of the Mexican Ridges (Fig. 1).

The main control wells that were used are located in the Alaminos Canyon and Walker Ridge areas. These wells were chosen because (1) the reliability of their geological markers, (2) the proximity to the Sigsbee Escarpment, and (3) the relatively easy seismic correlations with the area of interest.

A total of nine geologic horizons (seafloor to basement) were mapped in time domain. First, we carried out the seismic interpretation through a corridor between the Sigsbee Escarpment and the international border. Subsequently, all interpreted surfaces were extended southward with more reliability, into the ultra-deepwaters of the Gulf of Mexico.

The interpretation of the Upper Jurassic, one of the most important horizons, was conducted based on its relative position above Callovian age (Middle Jurassic) autochthonous salt. The relative Late Jurassic age was later confirmed by regional seismic correlation from the Straits of Florida. The presence of Upper Jurassic strata has profound petroleum implications, as these successions have generated most of the produced hydrocarbons in the region.

#### Depth Conversion

The construction of the geological model was not complicated, due to the absence of complex structures or allochthonous salt along the abyssal plain. In the vicinity of the Sigsbee Escarpment and the Yucatan Platform, however, reduction in thicknesses and pinch-outs required special attention.

Because all the wells that have velocity data are located to the north of the Sigsbee Escarpment or outside the study area, it was decided to generate pseudo-wells. Once the

Sánchez-Monclú et al.

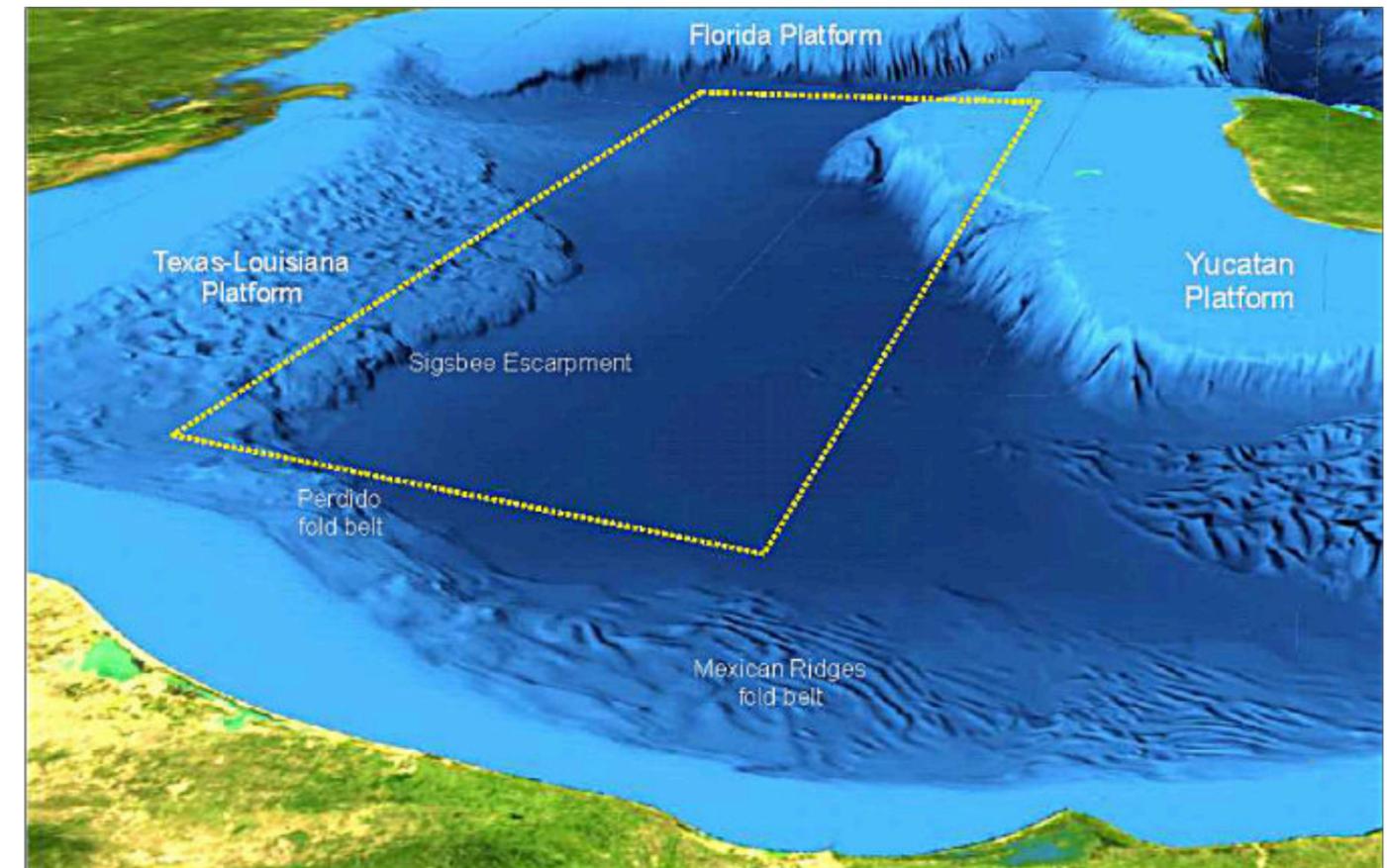


Figure 1. Location map of study area (dotted area).

options were analyzed in relation to the quality control of velocity anomalies, two pseudo-wells were created: One in the Alaminos Canyon area and another one in the Walker Ridge area. In order to cover the entire geological column represented in the seismic interpretation, it was necessary to add pairs to the time/depth tables (deepen), with information from deeper wells and seismic velocities. Finally eight surfaces were used to add structural control to the velocities interpolation.

Subsequently, the interpreted horizons were converted to depth utilizing a 3D velocity model (Fig. 2). Based on experience with previous models, this simple velocity model is good enough for this large-scale mapping project.

#### Geological Interpretation

As a result of this regional mapping project, depth structural maps of the most critical geologic horizons and depth isopach maps of the formations with the most petroleum potential were generated.

Regarding the mapping of Tertiary clastic sequences, it was possible to determine their overall distribution, lateral thickness changes, possible provenance areas, and directions of sediment transport. One particular example is the Lower Tertiary Upper Wilcox Formation, which in the northwest part of the Gulf, has north-northeast directions of sediment transport, with the thickest sediment accumulation to the southwest of the study area, as shown by the isopach map (Fig. 3). The sediment provenance area for the Wilcox in this area is thought to be the Sierra Madre Oriental fold-and-thrust belt onshore Mexico. Apparently, sediments were transported in a northeast direction and

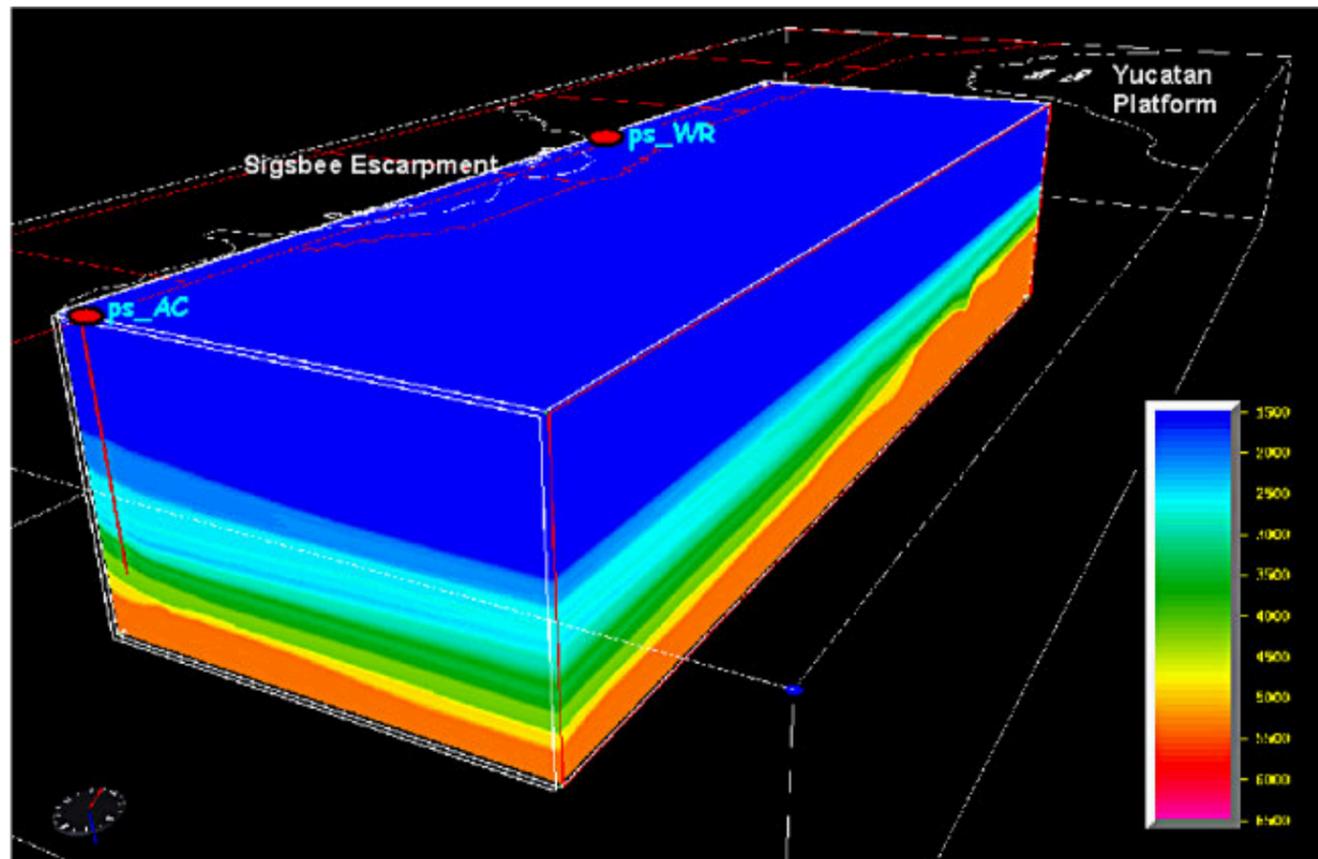


Figure 2. Partial 3D view velocity model with pseudowells. Color bar represents interval velocity meter/sec.

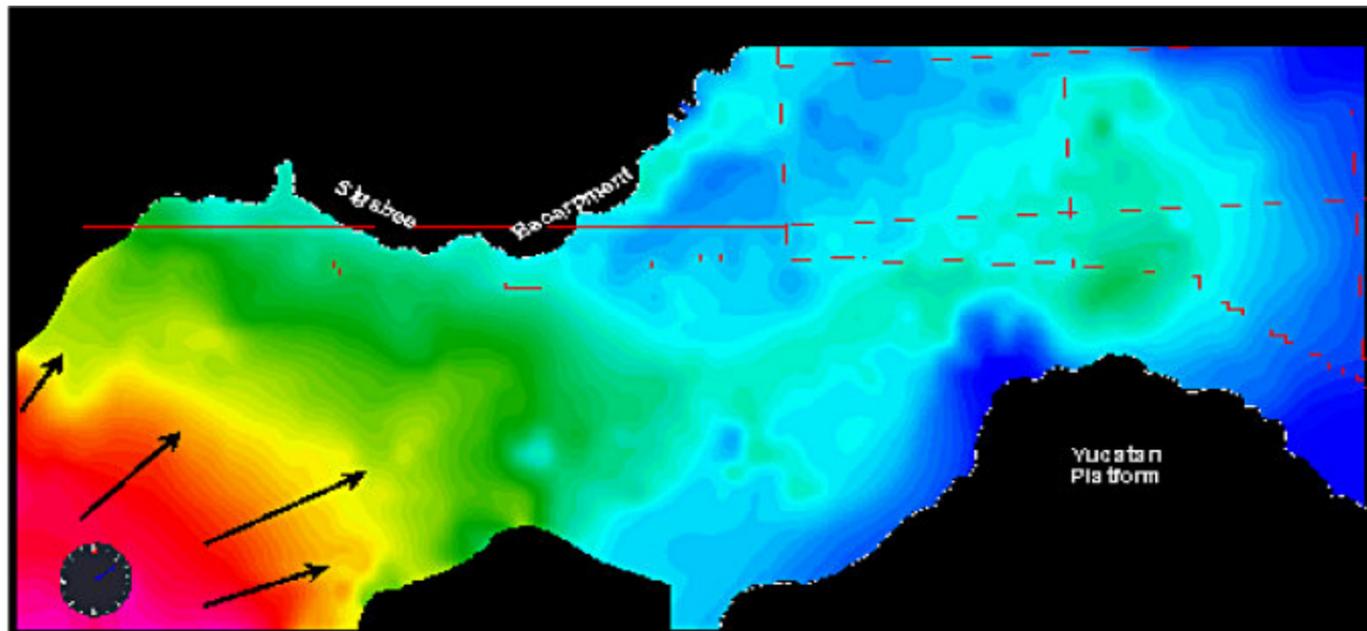


Figure 3. Upper Wilcox Formation depth isopach map. Warm colors correspond to thicker sediment accumulations. Arrows show main sediment transport direction.

deposited in the deep basin. These turbidites might be potential reservoirs in the off-shore area between the Tampico-Misantla and Burgos basins.

As for the deeper intervals, our regional correlations confirmed the presence and basin-wide distribution of Upper Jurassic rocks in the deepwaters of the Gulf. The existence of potential Jurassic source rocks adjacent to large structures along the Sigsbee and Yucatan Escarpments (Fig. 4) may have implications for oil and gas exploration in the ultra-deep waters of the Gulf of Mexico, particularly where these rocks have already generated, or are presently generating hydrocarbons.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We are indebted to Repsol for allowing us to publish this information, in particular to José C. Vicente Bravo for his support during the development of this project. We thank José Manuel Grajales Nishimura for providing instructions and guidance during manuscript preparation.

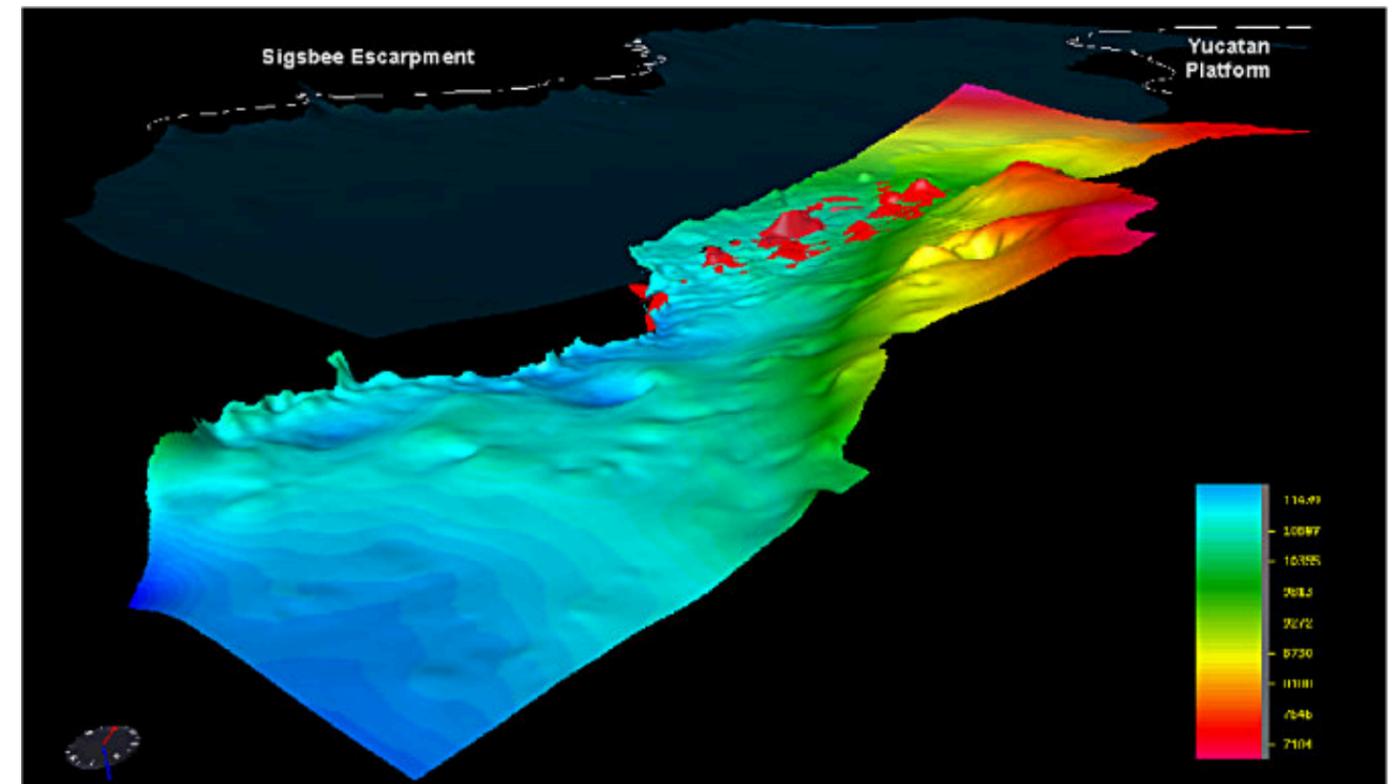


Figure 4. Top Jurassic 3D view. Color scale represents depth in meters. Jurassic rocks are missing at basement relict structural highs in red.

## Reconstruction of glacier area on Citlaltépetl volcano, 1958 and implications for Mexico's deglaciation rates

Jorge Cortés-Ramos\* and Hugo Delgado-Granados

Received: June 27, 2013; accepted: August 12, 2014; published on line: March 31, 2015

### Resumen

En este trabajo se llevó a cabo un análisis detallado de las mediciones hechas en el Glaciar Norte del volcán Citlaltépetl en 1958 y documentadas en el trabajo de Lorenzo de 1964. Se encontraron una serie de inconsistencias en la cartografía de los glaciares del Citlaltépetl, las cuales son más evidentes al observar los resultados reportados en la misma publicación para los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl. A partir de estas inconsistencias se concluyó que la delimitación hecha para los glaciares del Citlaltépetl era cartográficamente incorrecta y, por tanto, los resultados exageraban las verdaderas dimensiones de estos glaciares para el año 1958. En este trabajo se describe la metodología seguida para la reconstrucción del Glaciar Norte de 1958. Así, se obtuvo un nuevo valor para el área glacial total del Citlaltépetl. Esta reconstrucción respeta los límites del frente glacial medidos por Lorenzo (1964), tal como se detalla de forma precisa en la narración de su trabajo de campo. Finalmente, se discute acerca del retroceso glacial en el volcán Citlaltépetl con base en el nuevo valor obtenido para el área del Glaciar Norte (2.04 km<sup>2</sup>). El retroceso glacial resultó ser comparable con las áreas medidas por Lorenzo (1964) en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, las cuales ya han sido corroboradas en la literatura.

Palabras clave: Citlaltépetl, glaciar, cartografía, fotogrametría, ortofotos, corrección geográfica.

### Abstract

In this study, a detailed analysis of the measurements made on Glaciar Norte of Citlaltépetl volcano in 1958 by Lorenzo (1964) is conducted. A series of inconsistencies are evident when comparing the dimensions of Citlaltépetl volcano's glaciers and those of the glaciers on Popocatepetl and Iztaccíhuatl volcanoes. From these inconsistencies it was concluded that the delimitation of Citlaltépetl's glaciers was wrong and the values exaggerated the true conditions of these ice bodies for 1958. In this paper we explain the methodology applied for the reconstruction of Glaciar Norte in 1958. From this reconstruction, a new more realistic value for the glaciated area on Citlaltépetl was obtained. The reconstruction respects the glacier front boundaries reported by Lorenzo (1964), which are precisely detailed at the narrative of his fieldwork. Finally, this paper discusses the glacial shrinkage on Citlaltépetl volcano based on the new value obtained for the area of Glaciar Norte (2.04 km<sup>2</sup>). This value is of a magnitude comparable to the glacial areas of Iztaccíhuatl and Popocatepetl volcanoes that were also measured and reported by Lorenzo (1964) and confirmed in the literature.

Key words: Citlaltépetl, glacier, cartography, photogrammetry, ortho-photos, geographic correction.

J. Cortés-Ramos\*  
H. Delgado-Granados  
Departamento de Vulcanología  
Instituto de Geofísica  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria  
Delegación Coyoacán, 04510  
México D.F., México  
\*Corresponding author: [jorge@geofisica.unam.mx](mailto:jorge@geofisica.unam.mx)

## GEOQUÍMICA GLACIAR: REGISTRO CLIMÁTICO AMBIENTAL QUE SE PIERDE

Alejandro Carrillo-Chávez <sup>1\*</sup>, Daniela K. Calvo-Ramos <sup>1</sup>,  
Carolina Muñoz-Torres <sup>1</sup> y Rocío García <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México.

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510, México.

\*[ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx) (autor para correspondencia)

### RESUMEN

Alarmantes son las noticias sobre la desaparición de los glaciares en todo el planeta. En México aún quedan dos pequeños cuerpos de hielo (glaciares) en altas montañas del centro del país: Iztaccíhuatl (5215 metros sobre nivel del mar: ms.n.m.) y Citlaltépetl (5626 ms.n.m.). Estos glaciares, localizados a 19° latitud norte y recibiendo precipitación (nieve) tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México (Océano Atlántico), y muy cercanos a importantes zonas urbanas e industriales, contienen un registro de metales pesados en el ambiente de mucho interés para su comparación con otras regiones de alta montaña: Andes, Rocallosas, Alpes e Himalayas. Desde el 2006 se está trabajando en el Centro de Geociencias Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus Juriquilla, con la recolección de muestras de nieve y hielo en estos glaciares mexicanos para análisis químicos de elementos mayores y metales pesados. A la fecha, se tiene ya una base de datos del 2006 a 2022 para hacer una evaluación de 16 años de monitoreo y presentar los resultados en una publicación internacional. Un análisis preliminar de estos datos muestra concentraciones considerables de V, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb y Hg en nieve e hielo glaciar en aumento y comparables con datos del glaciar Sajama de Bolivia. El aumento va de valores preindustriales (valores naturales) a mayores concentraciones en las últimas décadas. En este artículo se describen en general las técnicas de Geoquímica Glaciar Ambiental modernas, se presentan datos preliminares como ejemplos, y se describen algunos proyectos actuales de la UNAM sobre esta línea de investigación.

Palabras clave: Geoquímica glaciar ambiental, metales pesados, Iztaccíhuatl, Citlaltépetl.

### ABSTRACT

There is alarming news about the disappearance of glaciers around the planet. In Mexico there are still two small bodies of ice (glaciers) in high mountains in the center of the country: Iztaccíhuatl (5215 meters above sea level, m a. s. l.) and Citlaltépetl (5626 m a. s. l.). These glaciers, located at 19° north latitude and receiving precipitation (snow) from both the Pacific Ocean and the Gulf of

Mexico (Atlantic Ocean), and very close to important urban and industrial areas, contain an environmental record of heavy metals of great interest for comparison with Andean, North American, Alpine and Himalayan regions. Since 2006, the Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, has been working on the collection of snow and ice samples from these Mexican glaciers for chemical analysis of major elements and heavy metals. Currently, we have a database from 2006 to 2022 to evaluate 16 years of monitoring concentrations of metals and present the results in an international publication. A preliminary analysis shows considerable concentrations of V, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, and Hg in snow and glacier ice comparable with data from the Sajama glacier in Bolivia. The concentration increase goes from pre-industrial time (natural values) to higher concentrations in the last decades. In this article, we describe modern environmental glacial geochemistry techniques, present some preliminary data as examples, and describe current UNAM projects in this line of research.

Keywords: Environmental glacial geochemistry, heavy metals, Iztaccíhuatl, Citlaltépetl.

### INTRODUCCIÓN

Los glaciares son la acumulación de nieve transformada en hielo (sólido) que se mueve de acuerdo al basamento rocoso y pendiente hasta la zona de ablación o fusión (líquido), y se forman cuando la velocidad de acumulación de nieve y hielo es mayor a la velocidad de fusión de la misma. Esto se da cuando la temperatura promedio de la zona de acumulación-fusión de nieve es menor a cero grados centígrados. Estos procesos glaciares se dan en zonas polares como la Antártida (Polo Sur) y Groenlandia (Hemisferio Norte), los cuales se llaman Glaciares Continentales por su gran extensión continental. El espesor de estos glaciares continentales puede ser de varios kilómetros. Pero también las altas montañas de todo el mundo, dependiendo de la latitud y altitud, presentan glaciares (llamados Glaciares de Montaña), los cuales pueden tener centenas de metros de espesor, en algunos casos, y longitudes de decenas de kilómetros.

## Glaciological studies in Mexico, 60 years of academic work: A summary

Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1,\*</sup>, Hugo Delgado-Granados<sup>2,6</sup>, Lorenzo Vazquez-Selem<sup>3</sup>, Guillermo Ontiveros-González<sup>1</sup>, Jorge Cortes-Ramos<sup>4</sup>, Victor Soto<sup>5</sup>, Carolina Muñoz-Torres<sup>1</sup>, Daniela Kristel Calvo-Ramos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, 76230, Mexico.

<sup>2</sup>Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior CU, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, Mexico.

<sup>3</sup>Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior CU-UNAM, Coyoacán, Ciudad de México, 04510, Mexico.

<sup>4</sup>CONAHCYT - Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Baja California, Unidad La Paz, Calle Miraflores 334, Col. Bella Vista, 23050 La Paz, Baja California, Mexico.

<sup>5</sup>Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N, Col. Zona Universitaria. C.P. 91090. Xalapa, Ver, Mexico.

<sup>6</sup>Currently at Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Ludwig Maximilians Universität München, Germany.

\*ambiente@geociencias.unam.mx, ORCID: 0000-0003-3452-0576

### ABSTRACT

Glaciers have played a very important role in controlling the climate during most of the geologic history of our planet Earth. Of course, the glaciers have always been at higher latitudes (north and south), and some on high-altitude mountains. Current glaciers in Mexico are those inherited from the Last Glacial Maximum, (26000-19000 years before the present), increasing in size during the period of the Little Ice Age (1300 to 1850 common era), and they are unique in several ways. They are located at 19° north latitude, and they received snow precipitation from both the Pacific Ocean and the Gulf of Mexico (Atlantic Ocean). Research on glacial chronology, physical glaciology, and glacial geochemistry at the Universidad Nacional Autónoma de México has provided valuable information on climate and environmental changes at different time scales, from millennial to decadal, and even annual. The first part of this work deals with the reconstruction of the glacial history in Mexico and establishes a glacial chronology from the Last Glacial Maximum to the Little Ice Age. The second part of this work focuses on monitoring recent changes (the last 60 years, 1960's to 2023) of the glaciers extent on Iztaccíhuatl, Popocatepetl, and Citlaltépetl (the three highest mountains in Mexico), as well as having an updated inventory of all the glaciers on those mountains. Changes in glacier extent and thickness of ice are directly related to the increase in air temperature, variation in precipitation patterns, and glacier dynamics on some of the last glaciers of the northern tropics. The third part of this work focuses on a compilation of geochemical data for 17 years (from 2006 to 2013) of sampling ice (shallow ice cores) and snow at the Iztaccíhuatl and Citlaltépetl glaciers. This database has the potential for providing interesting and useful information on natural and anthropogenic-induced changes related to the occurrence of heavy metals in tropical glaciers in the northern hemisphere of North America.

Black carbon concentrations analyzed on snow and glacier ice, and preliminary data on stable isotopes of Zn, also add information on natural vs. anthropogenic sources of heavy metals in central Mexico.

Keywords: Glacial chronology; physical glaciology; geochemical glaciology; Mexico; Iztaccíhuatl; Popocatepetl; Citlaltépetl.

### RESUMEN

Los glaciares han desempeñado un papel muy importante en el control del clima durante la mayor parte de la historia geológica de nuestro planeta Tierra. Por supuesto, los mayores glaciares siempre han estado en las latitudes más altas (norte y sur), y algunos en las altas montañas. Los glaciares actuales en México son los heredados del Último Máximo Glaciar (26000 a 19000 años antes del presente), con avances considerables producto de la Pequeña Edad de Hielo (1300 a 1850 años de la era común), y son únicos en varios aspectos. Estos glaciares están ubicados a 19° de latitud norte y reciben precipitaciones de nieve tanto del Océano Pacífico como del Golfo de México (Océano Atlántico). La investigación que se ha desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma de México en cronología glacial, glaciología física y geoquímica glacial, ha proporcionado información valiosa sobre los cambios climáticos y ambientales en diferentes escalas de tiempo, desde milenios, décadas e incluso anuales. La primera parte de este trabajo se enfoca en la reconstrucción de la historia glacial en México y en el establecimiento de una cronología glacial desde el Último Máximo Glaciar hasta la Pequeña Edad de Hielo. La segunda parte de este trabajo se enfoca en el monitoreo durante los últimos 60 años (desde 1960 y hasta 2023) de los cambios de extensión de los glaciares del Iztaccíhuatl, Popocatepetl y Citlaltépetl (las tres montañas más altas

Carrillo-Chávez, A., Delgado-Granados, H., Vazquez-Selem, L., Ontiveros-González, G., Cortes-Ramos, J., Soto, V., Muñoz-Torres, C., Calvo-Ramos, D.K., 2024, Glaciological studies in Mexico, 60 years of academic work: A summary: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 41(1), 53-65, DOI: 10.22201/cgeo.20072902e.2024.1.1706.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2024.1.1706>

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

## Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jsames](http://www.elsevier.com/locate/jsames)



## Announcement of an approaching death: Glaciar Norte, Citlaltépetl volcano, Mexico

Guillermo Ontiveros-González<sup>a,\*</sup>, Hugo Delgado-Granados<sup>a,b</sup>, Jorge Cortés-Ramos<sup>c</sup>, Carlos Welsh-Rodríguez<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, CDMX, Mexico

<sup>b</sup> Department of Earth and Environmental Sciences, Ludwig Maximilian University of Munich, 80333, Munich, Germany

<sup>c</sup> CONAHCYT-Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, Unidad La Paz, Mexico

<sup>d</sup> Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Mexico

### ARTICLE INFO

2000 MSC:

0000

1111

PACS:

0000

1111

Keywords:

Mexican glacier

Glacier modeling

Water availability

### ABSTRACT

This study shows the dramatic but probable future evolution of Mexico's largest glacier. Mass and energy balances of this glacier have been previously studied, as well as reconstructions of its evolution up to the present time. In this work, for the first time, the real evolution of the glacier is compared with the first years of models of its future evolution.

Two dynamic models of glacier thickness evolution have been developed based on a network of stakes and ground penetrating radar complemented by geometrical characterizations of the glacier bed shape. Calculated mean annual mass balance leads the equilibrium line altitude to be increasingly higher and even higher than that of the mountain summit.

Two models that complement each other to describe the how and when of the different states and stages in which the glacier front retracts, the thickness decreases causing the separation of the glacier to finally disappear in the middle of the 21st century. This study provides the first view of a glacier that is about to disappear in Mexico, where the cryosphere represents the best climate proxy for future scenarios of related ecosystems, water availability.

### 1. Introduction

Mexican glaciers are retreating strongly in all three highest mountains of the country. This retreat will have an important effect on the surrounding areas, for instance, decrease in water supply to the irrigated areas, increase in local temperatures at the summits due to a change in albedo, among others (Delgado-Granados, 2007).

Glaciar Norte at Citlaltépetl volcano is the highest part of the Jamapa river basin, which is the link between three protected natural areas of great economic, social and environmental importance for the sustainable development of the state of Veracruz (Castañeda-Chávez and Lango-Reynoso, 2021). These areas are Pico de Orizaba or Citlaltépetl National Park, Arroyo Moreno Natural Protected Area and the Veracruz Reef System National Park. The problems of the upper parts of the basins can directly affect the lower parts, such as the outlet and deposition, by interconnecting the geographic spaces formed by the flow of water, matter and energy (Castañeda-Chávez and Lango-Reynoso, 2021). As

observed in previous studies (Cortés-Ramos and Delgado-Granados, 2012, 2015; Cortés-Ramos et al., 2019), the glacier's front has been retreating and the eventual loss of the glacier will affect the availability of water supply, the concentration of dissolved pollutants in a smaller amount of water and will cause the appearance of new geological hazards, at the eastern side of Glaciar Norte where also flows the Cotaxtla River to the Gulf of Mexico.

The aim of this contribution is to discuss the glaciologic mass-balance measurements over time for Glaciar Norte by integrating Ground Penetrating Radar (GPR) profile measurements, ice volume modeling, and the construction of possible future scenarios up to the year 2050. The latter might serve to estimate the environmental effects on the surrounding areas down below the mountain.

### 2. Study area and previous work

Citlaltépetl volcano is the highest peak in Mexico with an altitude of

\* Corresponding author.

E-mail address: [gontiverosg@gmail.com](mailto:gontiverosg@gmail.com) (G. Ontiveros-Gonzalez).

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104902>

Received 8 February 2024; Received in revised form 17 April 2024; Accepted 17 April 2024

Available online 27 April 2024

0895-9811/© 2024 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Retraction status of “Glaciar Norte” of Pico de Orizaba, Mexico: Update to 2024

Víctor Soto<sup>a,\*</sup>, Carlos M. Welsh-Rodríguez<sup>a</sup>, Rafael Torres-Orozco<sup>a</sup>, Francisco Córdoba-Montiel<sup>a</sup>, Hugo Delgado-Granados<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Observatorio Sismológico, Vulcanológico y Ambiental de Veracruz, Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, 91000, Xalapa, Ver, Mexico

<sup>b</sup> Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán, 04510, CDMX, Mexico

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Glaciar Norte o Jamapa  
Pico de Orizaba  
Glacier retreat  
Energy storage  
Climatic anomalies

### ABSTRACT

Given that the “Glaciar Norte” of Pico de Orizaba is one of the last glaciers in Mexico and the only ones located at 19° north latitude in the world, it is crucial to observe its retreat and eventual disappearance to document its spatio-temporal evolution and to identify the factors that drive these changes. We update here the glacier ice areal extent up to May 2024, resulting an area of 0.37 km<sup>2</sup> and a glacier front altitude of 5130 m asl. The air temperature at the lower part of the ice body and within its accumulation zone has increased steadily, whilst precipitation has decreased during the months when solid precipitation commonly occurs in the country. Furthermore, since 2019, portions of the bedrock in the accumulation zone of the glacier have been exposed to solar radiation, resulting in the accumulation of energy. The temperature values obtained on the bare rock surface indicate that, from a thermodynamic perspective, the stored energy is causing the melting of the adjacent ice and snow through due to heat emission. This leads to the conclusion that, in addition to the retreat of the glacier front, ice melting is also occurring in what should be the solid precipitation accumulation area, resulting in an overall more pronounced retreat. The results obtained complement and update the monitoring work that has been carried out before, while also maintaining surveillance for the duration of the glacier’s remaining lifespan.

### 1. Introduction

Glaciers around the world have exhibited a persistent decline since the onset of the Holocene. The decreasing trend of areal and volumetric ice extent was temporarily slowed during the three cooling episodes of the Little Ice Age (LIA), during which even small glacial advances were documented (e.g. Rowan, 2017; Nicolussi et al., 2022). Since the end of the LIA, the increase in global average air temperature has been constant; however, after the second half of the 18th century, with the rise of the Industrial Revolution (IR), the increase in the thermal variable has been even more notorious, with severe environmental effects in all regions of the planet (Arnell et al., 2019). The glacier cover decline has been particularly severe at the onset of the 21st century (Zemp et al., 2015). There is clear evidence showing a high correlation between atmospheric CO<sub>2</sub> generation and the increase in planetary mean temperature since the IR.

As the cryosphere is highly sensitive to temperature increase, its four

elements: snow, sea ice, permafrost and glaciers, are evident indicators of climate change (Slaymaker and Kelly, 2009). In the particular case of glaciers, there are two main types, which depends on the regions of the planet where they have formed over hundreds or thousands of years. Circumpolar glaciers are vast extensions of ice hundreds of meters thick; the low insolation rate to which they are exposed due to their latitude causes them to be considered “cold” glaciers, with a surface and internal temperature below -20 °C (Price et al., 2002); this condition gives them a relative degree of stability, at least from the thermal point of view. On the other hand, medium and low latitude glaciers have been formed in high mountain environments; even the mountain ranges near or within the intertropical region of the planet have the most mountain glaciers on a global scale, especially the vast region of the Andes. These glaciers are situated in regions with high solar radiation rate and warm air mass circulation patterns, that’s why are classified as intertropical glaciers (or “temperate” or “warm” glaciers), exhibit a thermal regime that is nearly constant at 0 °C (Cuffey and Paterson, 2010; Ontiveros-González et al.,

## Late Quaternary Glaciation in Mexico

Lorenzo Vázquez-Selem<sup>1,\*</sup> and Klaus Heine<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F., Mexico

<sup>2</sup> Geographisches Institut, Universität Regensburg, Universitätsstr.31, D-93040 Regensburg, Germany

\* Correspondence and requests for materials should be addressed to Lorenzo Vázquez-Selem. E-mail: [lselem@igg.unam.mx](mailto:lselem@igg.unam.mx)

### 61.1. INTRODUCTION

The glacial history of the central Mexican volcanoes has been researched extensively, but both the limits and ages of the Wisconsinan late-glacial and early Holocene glaciations remain poorly understood in many places. There is evidence of glaciation on 13 volcanoes in central Mexico (Fig. 61.1). Deposits of five late-glacial and Holocene glaciations have been recognised (White, 1962, 1987; Heine, 1975, 1988, 1994; White et al., 1990; Vázquez-Selem, 1991, 1997, 2000). Age assignments for these deposits have been qualitative and based on stratigraphical position of the moraines and tills, and their relation to periglacial deposits, palaeosols, debris flows, fluvial gravels, fluvial sands, loess-like so-called ‘toba’ sediments, lava flows, ignimbrite deposits and tephra. In addition, radiocarbon dating of tephra layers, palaeosols, peats and gravels has contributed to the late Quaternary glacial chronostratigraphy, as well as cosmogenic <sup>36</sup>Cl exposure ages. Yet, the dated sections containing glacial deposits from different volcanoes of central Mexico do not include evidence for late Quaternary glacier advances that occurred between 25 and 18 <sup>14</sup>C ka BP.

Here, the authors report on stratigraphical sections relevant to the timing of the late Quaternary glacial sequences from the Iztaccíhuatl massif, the Nevado de Toluca volcano and the La Malinche, Cofre de Perote and Tancitaro volcanoes (Fig. 61.1), and revise earlier proposed stratigraphies (White and Valastro, 1984; Heine, 1994). From field observations, tephra studies, laboratory analyses, <sup>14</sup>C dates, <sup>36</sup>Cl exposure ages and literature estimates, the writers reconstruct glacier advances that occurred during late Quaternary time.

### 61.2. IZTACCÍHUATL

The Iztaccíhuatl volcanic massif rises south-east of Mexico City to heights of 5286 m a.s.l. (Fig. 61.1). It occurs in the central part of the Sierra Nevada, a north-south orientated mountain range that forms the south eastern margin of the

Valley of Mexico. The glaciated summit of Iztaccíhuatl ranks its third highest of the Mexican volcanoes after Popocatepetl, situated at the southern end of the Sierra Nevada and the Pico de Orizaba to the east. The Iztaccíhuatl shows a complex history of cone construction comprising a number of coalescing and superimposed central volcanoes. The eruptive products are calc-alkaline andesites and dacites, comprising viscous flows and flow breccias with minor intercalated pyroclastic material. The cone construction began prior to 0.9 Ma and continued until the late Pleistocene (Nixon, 1989). The evolution of Iztaccíhuatl is divided into two main phases represented by rocks of the Older Volcanic Series (> 0.6 Ma) and Younger Volcanic Series (< 0.6 Ma).

The chronology of late Quaternary glacial moraines and tills identified by White (1962, 1987) on the western flanks of Iztaccíhuatl has been extended to glacial deposits mapped on the eastern side of the volcano by Heine (1975) and Nixon (1989), and on the northern flanks (Téyotl peak) by Vázquez-Selem (1991, 1997). More recently, Vázquez-Selem (2000) elaborated a new late Quaternary glacial chronology for Iztaccíhuatl (Fig. 61.2). Here, the authors refer to this chronology (Vázquez-Selem and Phillips, 1998; Vázquez-Selem, 2000; Table 61.1).

Morphostratigraphy, tephrochronology and 94 cosmogenic <sup>36</sup>Cl exposure ages provide the basis for this chronology of the Iztaccíhuatl volcano. Age estimates of the different glacier advances are based upon three or more <sup>36</sup>Cl exposure ages, in some cases supplemented by radiocarbon ages associated to tephra. The total uncertainty of <sup>36</sup>Cl age estimates should be in the range of 5–10% (Zreda and Phillips, 1994; Zreda et al., 1994). Exposure ages are stated in <sup>36</sup>Cl thousand of years before present (hereafter <sup>36</sup>Cl ka) which are considered equivalent to calibrated (cal) ka BP.

The chronology, together with a study of equilibrium line altitudes (ELAs) of past glaciers and their palaeoclimatic implications, reveals evidence for marked climatic change in the Mexican tropics during the late Quaternary.

Developments in Quaternary Science, Vol. 15, doi: 10.1016/B978-0-444-53447-7.00061-1  
ISSN: 1571-0866. © 2011 Elsevier B.V. All rights reserved.

849

\* Corresponding author.

E-mail address: [visoto@uv.mx](mailto:visoto@uv.mx) (V. Soto).

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105267>

Received 14 September 2024; Received in revised form 8 November 2024; Accepted 15 November 2024

Available online 17 November 2024

0895-9811/© 2024 Elsevier Ltd. All rights are ,

including those for text and data  
) ( AI ) ( and similar technologies.



**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.libreriavirtualcuba.com/dinosaurios-reptiles-y-peces-del-caribe-y-sus-costas>

<https://www.libreriavirtual.cu/libreria/dinosaurios-reptiles-y-peces-del-caribe-y-sus-costas>

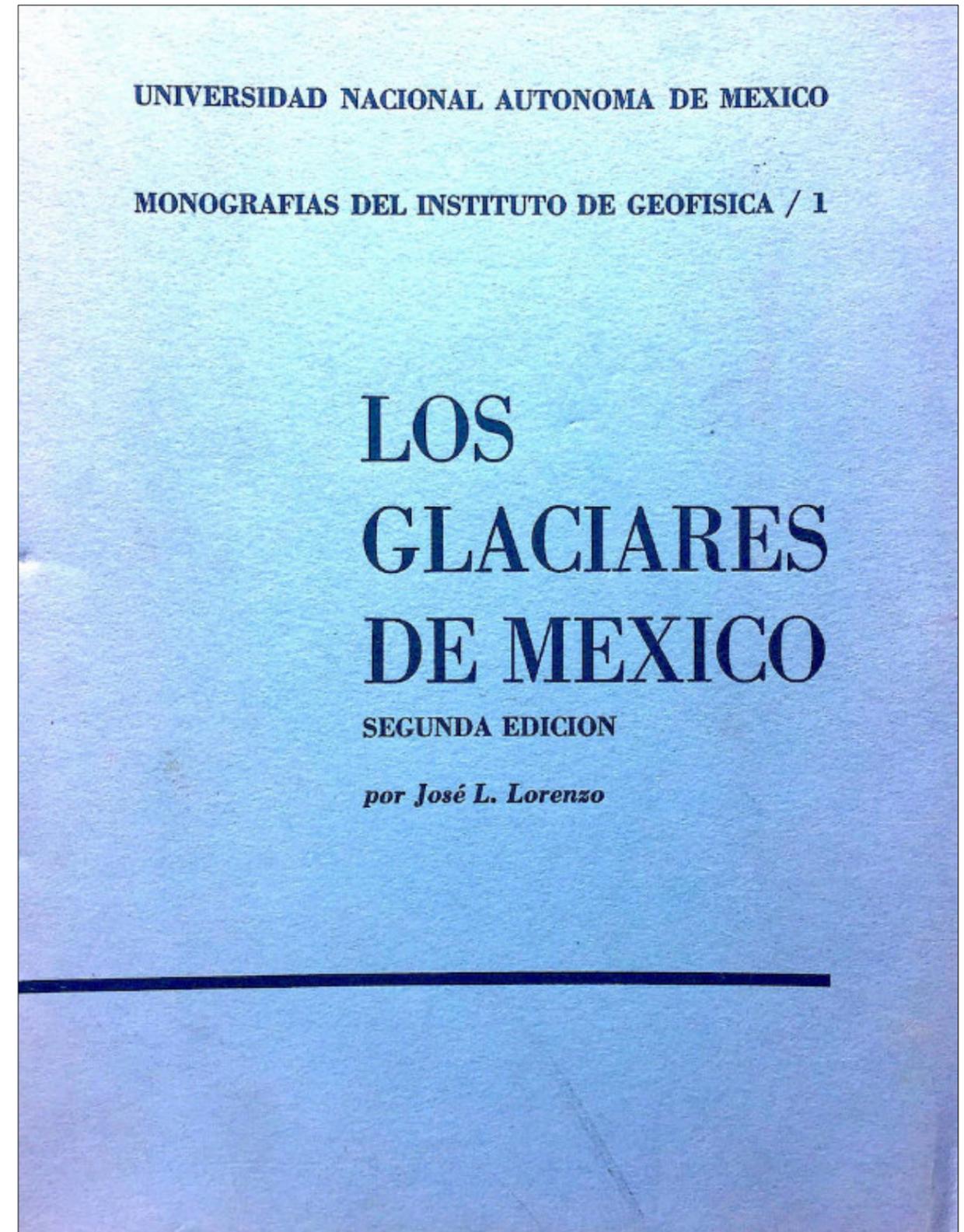


Esta obra de promoción de la paleontología presenta una síntesis del estudio de los fósiles de vertebrados encontrados en rocas del Jurásico y Cretácico de Cuba, sobre la base de las investigaciones en que han participado activamente los autores y sus colegas. Responde a las preguntas: ¿Cómo era la vida en el Caribe durante la era mesozoica? ¿Qué animales habitaban sus paisajes? ¿Quiénes eran sus depredadores? ¿Por qué se extinguieron? Este libro responde estas preguntas y muchas más, llevándote en un viaje alucinante a través del tiempo.

El libro incluye hermosas ilustraciones, muchas de ellas originales, elaboradas por paleoartistas laureados internacionalmente. Esta lectura te sumergirá en el maravilloso mundo del Caribe primitivo y desvelará los secretos de su pasado, desde la geografía hasta la conservación de sus fósiles.

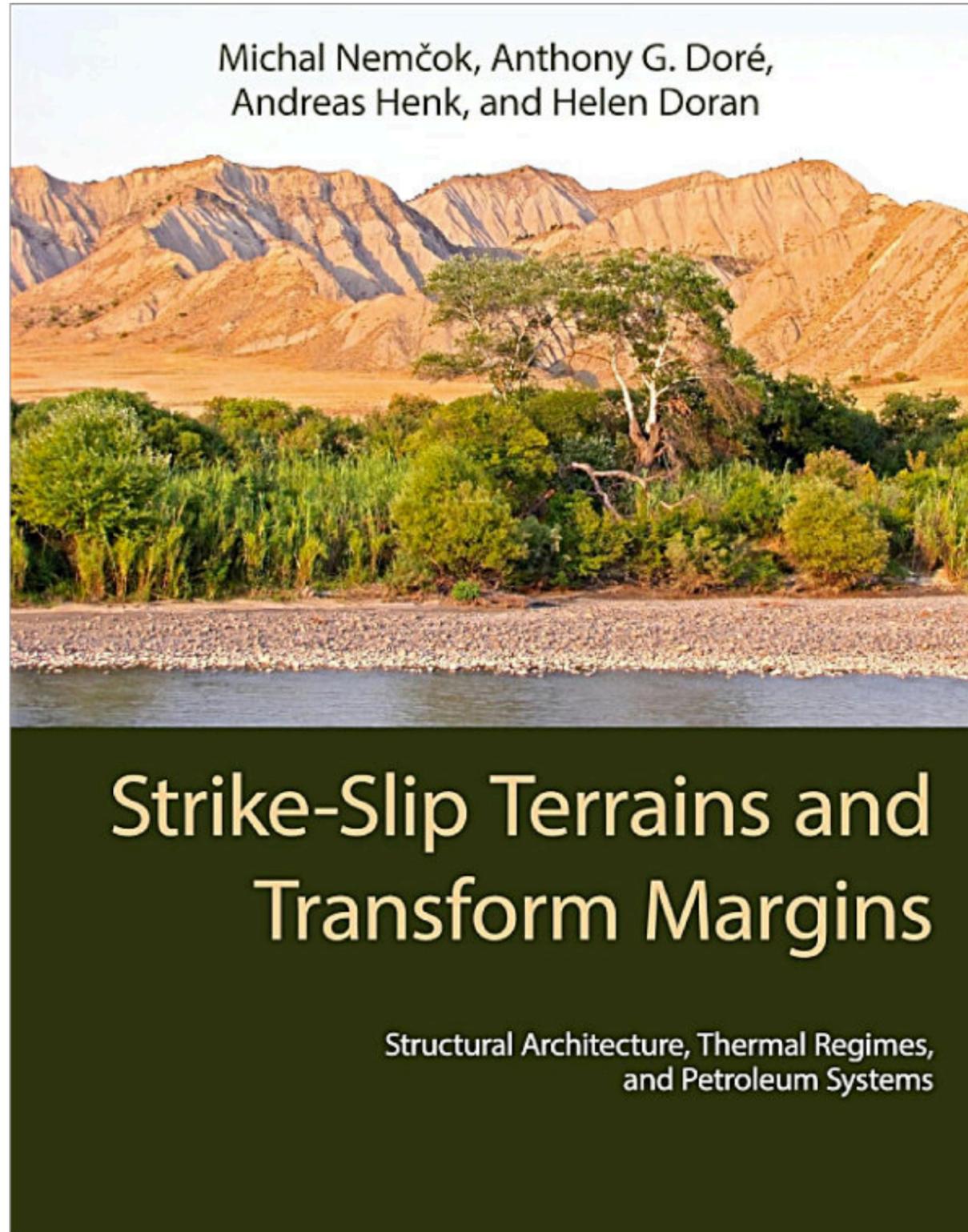
## El libro recomendado

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/02/Los-glaciares-de-Mexico.pdf>



## El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Strike-Slip-Terrains-Transform-Margins-Architecture/dp/1316513955>



# TEMAS DE INTERÉS

## Sostenibilidad en la transición energética. El complejo panorama energético de Asia.

**Natalia Silva Cruz**

Colaboradora de la Revista

Es indiscutible que el camino natural para mitigar el cambio climático es mediante la descarbonización de la economía a través de la transición energética, ahora, la perspectiva sobre cómo llevarlo a cabo tiene muchísimos matices debido a diversos factores como la riqueza y su distribución, aspectos sociales, esquemas comerciales internacionales, crecimiento económico, tamaño y desarrollo industrial, políticas internas y regionales, factores de riesgo frente al calentamiento global, acceso a alimentación y servicios básicos; por mencionar sólo algunos. Hoy hablaremos de los proyectos energéticos más ambiciosos y recientes que se han embarcado en Asia en pro de la independencia de combustibles fósiles, así como de sus implicaciones y paradojas propias de este tipo de iniciativas.

Expansión de energías renovables en India. Siendo una de las economías de crecimiento más acelerado del mundo, también es parte de los líderes en desarrollo de sistemas de energía renovable con el fin de cubrir su progresiva demanda energética. En 2021 se comprometieron a alcanzar una potencia de 500 GW de electricidad proveniente de fuentes renovables para 2030, al día de hoy, ya alcanzaron los primeros 200 GW<sup>1</sup>, por lo que es bastante probable que esa meta será cumplida sin dilaciones. Ahora, si bien éstas son excelentes noticias para el ambiente, la verdad es que sus emisiones de gases de efecto invernadero no se están reduciendo debido a que la demanda energética es tan grande y acelerada, que las fuentes renovables incorporadas a la matriz no alcanzan a suplirla, por lo que el consumo de carbón sigue en aumento, cuya demanda se incrementó un 8% durante 2023<sup>2</sup>.

Crecimiento de la energía solar en Vietnam. Vietnam se convirtió en un líder de la energía solar regional en un plazo bastante corto, en 2018 contaba con 0.1 GW de potencia instalada y para 2022 ya tenía 18.5 GW, superando ampliamente el objetivo gubernamental de alcanzar 850 MW<sup>3</sup>. El aporte de combustibles fósiles a su matriz energética cayó de 83% en 2019 a 42% en 2020, y esperan que para 2030, el 31% de toda la energía consumida provenga de fuentes renovables<sup>3</sup>. Ahora, este

crecimiento, aunque brinda excelentes noticias y es muy esperanzador, no fue completamente fructífero en sus inicios puesto que el sistema de red eléctrico nacional no estaba preparado, por lo que parte de la energía generada no podía ser transmitida efectivamente, de manera que fue necesario poner límites a la electricidad que se ingresaba al sistema, lo que nos recuerda que es indispensable incluir proyectos de almacenamiento y suministro de energía apropiados durante la planeación de cualquier sistema de energía renovable.

Convenio climático y mercado de carbono de Indonesia. Durante la Cumbre del G20 en 2022 firmó un acuerdo de Asociación para una Transición Energética Justa (JETP, por sus siglas en inglés) que incluye la utilización de 20 millardos de dólares para descarbonizar su economía altamente dependiente del carbón. La meta es alcanzar emisiones cero provenientes de generación eléctrica para 2050, con el pico máximo en 2030. Es muy temprano para evaluar los resultados después de poco más de dos años de firmado el convenio, del que hacen parte los países del G7 junto con Dinamarca y Noruega, sin embargo, Indonesia es tradicionalmente un país exportador de carbón, y si bien internamente se conseguiría descarbonizar la economía, dicho carbón será consumido en otro lugar y sus emisiones seguirán contribuyendo al efecto invernadero mundial. Muy recientemente, el 20 de enero de este año, Indonesia lanzó oficialmente su mercado de carbono, mediante el cual se venderían créditos de carbono sustentados en producción eléctrica "limpia", no obstante, este proyecto ha recibido fuertes críticas debido a que consiste en las emisiones que se evitarían en 5 plantas: una mini-hidroeléctrica, una de generación con vapor con recuperación de calor, y tres restantes de gas natural; sí, gas natural, en principio, al ser más eficientes energéticamente que las termoeléctricas de carbón, presentan un "ahorro" de emisiones que entraría a su mercado de créditos de carbono, pero están lejos de ser un sistema sostenible exento de liberar CO<sub>2</sub>.

Plantas nucleares en el sudeste asiático. Países como Filipinas, Indonesia, Vietnam y Malasia están evaluando la posibilidad de incluir energía nuclear en sus matrices energéticas. En toda la región solamente existe una planta nuclear, se empezó a construir en los años 70 a unos 100 kilómetros de Manila, pero jamás llegó a producir un watt-hora de electricidad debido a su cierre anticipado por denuncias de corrupción y preocupación por la seguridad de la operación (el desastre de Chernóbil en 1986 fue una de las razones con mayor peso para que el gobierno

decidiera cerrar la planta). Hoy, el crecimiento de la demanda energética de la región, la necesidad de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, las mejoras en los esquemas de seguridad de la energía nuclear, la relación costo-beneficio y la eficiencia de estas plantas han hecho que sean consideradas como una opción viable para la transición energética de la zona. Indonesia está considerando 20 plantas, una compañía coreana está evaluando reabrir la planta abandonada de Filipinas, Singapur firmó recientemente un acuerdo de cooperación nuclear con los Estados Unidos<sup>4</sup>, Vietnam planea 2 para 2030<sup>5</sup>, así mismo, Malasia, Tailandia, Laos, Camboya y Myanmar están considerando fuertemente la implementación de plantas nucleares en sus territorios. Lo que parece limitar estos proyectos es la financiación del nada despreciable capital inicial, además de que las dimensiones de las plantas hacen que comercialmente a base de carbón que abundan en la región.

China, el líder mundial de generación de fuentes renovables. Cerca de dos terceras partes de los proyectos solares y eólicos del planeta se encuentran en China, datos de Ember<sup>6</sup> indican que durante el 2023 en todo el mundo se generaron 8.971 TWh de fuentes renovables, de estos, China fue responsable de 2.894 TWh. Sus políticas internas, acompañadas por un sustancial brazo financiero hicieron posible que los objetivos nacionales para 2030 ya hayan sido alcanzados. Ahora, no todo es color de rosa, China continúa siendo el mayor emisor de CO<sub>2</sub> del mundo,

es responsable de una tercera parte de las emisiones globales, y ocupa el lugar 24 per cápita; la buena noticia es que con una disminución del 0.39%<sup>7</sup>, hace parte de los países del mundo que redujeron sus emisiones durante 2022 (ubicándose en la posición 52 de 60 que disminuyeron la liberación de CO<sub>2</sub>). Por otra parte, tal como hemos mencionado en publicaciones anteriores, China tiene unas de las regiones más ricas en tierras raras y materiales críticos para la transformación energética, lo que la posiciona como un lugar privilegiado con un impacto importantísimo para el acceso mundial a dichos materiales, lo que se obstaculiza por sus políticas de limitaciones a la exportación y recientes guerras comerciales.

Es evidente que casi ningún proyecto a gran escala destinado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero tiene como motivación directa el control del calentamiento global. En su mayoría, estas iniciativas están impulsadas por intereses económicos, ya sea en forma de estímulos gubernamentales, reducción de costos de producción, atracción de clientes e inversionistas, o simplemente porque si colapsa el clima ya no existirán las economías que conocemos hoy. Esto lo saben los gobernantes de todas las regiones y es imprescindible que se conviertan en motores de la transición energética, sin importar de dónde vengan, en nuestra coyuntura actual, todas las opciones sostenibles de mitigación del cambio climático son bienvenidas.

<sup>1</sup>Shah, R. y Um W. *Comment: India's renewables push holds lessons for the world*. Reuters, Febrero 2025.

<sup>2</sup>World Energy Council. *Asia Network, shaping the future of energy in Asia*. 2025.

<sup>3</sup>Zero Carbon Analytics. *A driving force: Asia's energy transition*. Octubre 2023.

<sup>4</sup>AP. *Southeast Asia looks to nuclear power to supercharge its energy transition*. Febrero 2025.

<sup>5</sup>Enerdata. *Vietnam wants to build two nuclear plants by 2030*. Febrero 2025.

<sup>6</sup>Ember. *Yearly Electricity Data*. <https://ember-energy.org/data/yearly-electricity-data/#summary>

<sup>7</sup>European Commission. *GHG emissions of all world countries*. EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research.



**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)

## Una brevísima reseña de los congresos geológicos en América Central (1965-2024)

**Gerardo J. Soto**

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica

Consultor geológico

Cibercorreo: [katomirodriguez@yahoo.com](mailto:katomirodriguez@yahoo.com)

[\[Alocución leída por invitación del Comité Organizador del XV Congreso Geológico de América Central, en Antigua, Guatemala, durante su inauguración, el día 27 de noviembre del 2024\].](#)

Hoy hace 59 años, 9 meses y 5 días, se inauguró en San José de Costa Rica, la Primera Reunión de Geólogos de América Central. Se apersonaron 55 colegas de diferentes instituciones y especialidades, del istmo y de varios otros países. A la gala inaugural asistió el entonces presidente costarricense Francisco Orlich, y se develó un retrato del geólogo alemán Karl Sapper, el cual aún se conserva en el edificio de la actual Escuela Centroamericana de Geología. Sapper era considerado el padre de la geología centroamericana, y había sido un destacado mapeador geológico, de modo que el homenaje resaltaba su labor de exploración e investigación en todo el istmo centroamericano, en un momento cercano a los veinte años de su muerte, que había sucedido el 29 de marzo de 1945.

Un prolijo informe emanó de la reunión josefina, que recogió todos los detalles de participantes, conclusiones, recomendaciones y resúmenes de los trabajos presentados. Se abogó por la creación de una escuela regional de geología, que se concretó oficialmente en 1967 y abriera sus puertas en 1970, en el mismo lugar donde se estaban reuniendo, y fue su más valiosa tarea cumplida. Insistieron en el fomento de los estudios geológicos en los programas de valuación de recursos naturales y particularmente mineros, así como para las grandes obras de ingeniería, en la necesidad de compendiar e inventariar la información de perforaciones,

en promover e incentivar la publicación de la información geológica producida, y sobre todo, realizar “el levantamiento de la geología de superficie”. Asimismo, se publicó un directorio provisional de geólogos y geotécnicos de América Central, y un volumen con algunos trabajos presentados durante la reunión. Todos estos documentos vieron la luz gracias al Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), del cual, el tomo de trabajos en extenso se convirtió en el N° 1 de sus *Publicaciones Geológicas*, que fue presentado justo para la siguiente reunión.

Esa Segunda Reunión de Geólogos de América Central se realizó en Guatemala veintiún meses después, en noviembre de 1966, con la participación de una diversidad internacional más amplia que la primera, y en donde el énfasis fue la presentación y discusión de trabajos técnicos. Hubo además una excursión geológica previa a Cobán y Huehuetenango, a lo largo de cuatro días, y una posterior al volcán Pacaya y la ciudad de Antigua. Los dedicados en esta ocasión fueron los geólogos franceses Dollfus y Mont-Serrat, quienes habían contribuido al conocimiento y mapeo geológico del norte de América Central a mediados del siglo XIX. Se hizo una revisión de los acuerdos y resoluciones de la anterior reunión, en donde destacaron la propuesta que el ICAITI fuera la institución coordinadora para los mapas geológicos regionales, crear una comisión estratigráfica regional y con comisiones por países para que trabajaran en conjunto para un léxico regional, promover la creación de asociaciones de geólogos por cada país, que de hecho se crearon en 1966 en El Salvador y Costa Rica, y ratificar la creación de la Escuela de Geología en Costa Rica. Se presentaron 22 exposiciones, cuyos resúmenes se publicaron junto con el informe de la reunión, y de estas se publicaron 17 en el N° 2 de las *Publicaciones Geológicas* del ICAITI, en 1969.

Esas dos primeras reuniones fueron fundamentales para pergeñar lo que sería la actividad geológica centroamericana en la década de 1970, con amplia documentación producida. La tercera reunión debió celebrarse en Nicaragua en 1969, tal cual se acordó en la

segunda reunión, pero esta no se realizó por motivos desconocidos.

Las "Reuniones de Geólogos" continuaron, sin embargo, con periodicidad hasta la quinta: la tercera los reunió de nuevo en San José en 1971, la cuarta en Tegucigalpa en 1974, y la quinta en Managua en 1977. Todas estuvieron bajo la secretaría técnica de Gabriel Dengo, la égida, apoyo e impulso del ICAITI, y fueron claves en el impulso de la geología centroamericana, la docencia e investigación, y en la promoción de la cartografía geológica, que fue una constante en sus recomendaciones y conclusiones.

En la reunión en Tegucigalpa se presentó el primer borrador del mapa geológico de América Central a escala 1:1 millón, compilado por el ICAITI, en donde se hicieron ver los problemas de coincidencia en las zonas fronterizas y de nomenclatura estratigráfica, así como la imperiosa necesidad de una base topográfica adecuada, para lo cual se solicitó la colaboración del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. La realización de un moderno mapa geológico regional, empero, todavía sigue pendiente.

En Tegucigalpa también se promovió la creación de un ente permanente para la consecución periódica del Congreso Geológico de América Central, que en ese tiempo se intentó estuviera bajo el amparo del ICAITI, pero la iniciativa quedó en el olvido. Debería crearse un consejo permanente del Congreso Geológico de América Central para asegurarse la periodicidad de esta actividad, y del cumplimiento de sus propuestas, para que no nos olvidemos más.

Las sendas políticas y bélicas de la región pusieron su cuota en los años setenta y ochenta, de modo que la sexta reunión, ahora ya conocida como "Congreso" hubo de esperar hasta 1984 en Managua, mientras el séptimo no sería sino hasta 1990 en San José, el octavo en Guatemala en 1992, y luego hubo otra prolongada pausa hasta el noveno en el 2008 en San José.

Un nuevo impulso periódico hizo que se celebraran el décimo en Guatemala en el 2010, el undécimo en Panamá en el 2013, el duodécimo que regresó a Managua en el 2015, luego el décimo tercero en El Salvador en 2017, y el

anterior, el décimo cuarto, enmarañado por la pandemia de la covid-19, que se celebró en San José en junio del 2022. Parece que hemos retomado el paso de la continuidad, en tanto ya hay propuestas concretas para el siguiente congreso, el décimo sexto.

Desafortunadamente, no de todos los congresos hay documentos detallados, aunque desde el noveno, en el 2008, ya hay cierta memoria digital en línea, aunque incompleta.

Asimismo, los congresos han tomado la costumbre generalizada de ser convocados bajo un lema que guía el espíritu del momento y la región en las geociencias. Así fue como el del 2008 promovía el "desarrollo humano en armonía con el planeta", y el que se inaugura hoy, reza "Compartiendo conocimientos para construir el futuro geocientífico de América Central". Estos lemas nos recuerdan nuestra responsabilidad como científicos y como ingenieros del planeta, y de ahí su utilidad y necesidad.

Nuevas escuelas geológicas en la región han nacido y crecido, pero aún tenemos tareas pendientes, como la señalada del mapa geológico, una red de servicios geológicos con estándares establecidos, y léxicos estratigráficos validados y regionales. Los procesos geológicos no conocen fronteras políticas, y por eso la correlación y el trabajo geológicos habrán de ser cada vez más regionalistas, y muchas investigaciones básicas deberían ser llevadas a cabo desde el espacio, sin demérito, por supuesto, del entrenamiento y el trabajo de campo.

Los geólogos de la América Central habremos de buscar hábitats de trabajo ligados a la preservación sostenible del Planeta, con una explotación racional de los georrecursos, la reutilización y reciclaje de materias primas y secundarias, la obtención de nuevas fuentes de materiales y la producción energética limpia y más eficiente. Adaptabilidad seguirá siendo una buena palabra para estos geocientíficos, y habremos de seguirnos reuniendo, para discutir nuestros avances y necesidades, sin olvidar nunca el lema internacional "mente et malleo": con la mente y con el martillo.

Para detalles sobre el XV Congreso Geológico de América Central, realizado en Antigua, Guatemala, en noviembre del 2024, se puede visitar su ciberpágina: <https://www.geologiacunorusac.com/xv-cgac/>

Por otra parte, se produjo un número especial de la Revista Guatemalteca de Ciencias de la Tierra. El Volumen 11, Número 2, ha sido dedicado a la Memoria científica del XV Congreso Geológico de América Central y V Congreso Guatemalteco de Geociencias Ambientales, el cual se puede acceder a través de la ciberpágina <https://drive.google.com/file/d/1Z1Ta96hjYAHdUtlkeWPLSEXT54hM5Y/view>.

### [XV Congreso Geológico de América Central](#)



**Gerardo J. Soto** es geólogo graduado de la Universidad de Costa Rica (1985); con especialidad en vulcanología en Japón (1991) y Maestría en Humanidades (2015). Ha laborado en la academia (universidades de Costa Rica y Kagoshima, Japón), en la empresa pública (Instituto Costarricense de Electricidad) y en la empresa privada como consultor geológico internacional desde el 2002.

## LAS BESTIAS PREHISTORICAS DE LA CATEDRAL DE LA PLATA, ARGENTINA

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente



### INTRODUCCION

De estilo neogótico e inspirada en famosos templos europeos, la catedral de la ciudad de La Plata es una de las joyas arquitectónicas de Argentina y del mundo. Su rareza, dimensiones y diseño hacen de ella uno de los mayores templos neogóticos cristianos del Siglo XX. Comenzada a construir en 1884 e inaugurada, sin concluir, en 1932, la catedral fue finalmente terminada en 1999 con la culminación de sus dos torres del frente, y la colocación de los pisos, esculturas, ornamentos y vitrales.

Su particular diseño, tanto interior como exterior, de alto simbolismo religioso y regionalista, incorporó en sus ornamentos elementos propios de la cultura e historia pampeana. Entre los elementos más destacables del exterior de la catedral están las gárgolas, figuras de apóstoles, santos y relieves terminados con delicados detalles criollos, que resaltan la identidad local y las características provinciales en cada ornamento.

Las gárgolas representan los elementos decorativos más llamativos y extraños. Entre otras formas, se identifican animales prehistóricos que habitaron la región en el pasado, y otros contemporáneos, de la fauna local. Los elementos ornamentales incluyen además motivos de la flora autóctona, conchas y componentes de usanzas, y vestimentas típicas.

De los animales modernos se reconocen armadillos, caimanes (yacaré), jabalíes, peces, tigres y aves. Entre las bestias prehistóricas se encuentran tigres de dientes de sable (*Smilodon populator*), aves gigantescas (*Argentavis magnificens*) y las temibles aves del terror o fororracos (*Phorusrhacos inflatus*), pobladores de la Patagonia y pampa argentina durante el Terciario-Cuaternario.

En este artículo se reseñan estas curiosas gárgolas, así como se describen cada una de estas bestias por ser especies prehistóricas emblemáticas de la megafauna de Argentina y de América del Sur, por su relevancia en la comprensión de la biodiversidad y la dinámica de los ecosistemas del pasado, y de su evolución y adaptación como depredadores, y además, porque resaltan el valor de Argentina como yacimiento paleontológico de clase mundial.

### DISEÑO y ARQUITECTURA

La Catedral de la Inmaculada Concepción, como también se le conoce, está vinculada a los inicios de la ciudad. Considerada el mayor templo neogótico de Sudamérica, comenzó a construirse en 1884 tras una fallida licitación pública que incluía la monumentalidad de la obra en el proyecto (García, 1999).

Su edificación fue asumida por el Ministerio de Obras Públicas de Buenos Aires. Aunque fue inaugurada inconclusa en 1932, su construcción se completó en 1999 con la conclusión de sus dos torres.

#### Características Generales

Diseñada por Pedro Benoit, Ernest Meyer y Emilio Coutaret, combina el estilo neogótico con detalles criollos en gárgolas y ornamentos, fusionando tradición europea e identidad pampeana.

Inspirada en las catedrales de Colonia y Amiens, destaca por su verticalidad, altura y esbeltez, particularidades de las catedrales góticas como reflejo de la divinidad (Walter et al., 2023), y por su planta cruciforme centralizada.

Mide 120 x 76 m, con 7000 m<sup>2</sup> de superficie y capacidad para 14000 personas.

Su estructura incluye dos torres de 112 m, 89 ventanales, 37 vitrales, 200 pináculos, 800 agujas y numerosos ornamentos (Moore B., 2010). Destacan las gárgolas, los apóstoles, los santos y los relieves con detalles autóctonos.

Fue construida con más de 12 millones de ladrillos rojos, sin revestir, y símil piedra color blanco, con pilares interiores de ortocuarcita blanca o piedra Mar del Plata. Esta rareza en el color rojizo la hace única entre las catedrales en el mundo (Fig. 1). Tiene pisos de granito rosado de Olavarría, con junta gris de San Luis y negro de Balcarce (García, 1999). La madera tallada y los vitrales ornamentan el interior del templo.



Figura 1. Vista frontal de la Catedral de La Plata. (Foto: J. Porras)

#### Fachada y Rosetón, Exteriores e Interior

La fachada gótica europea presenta tres arcos bajo pórticos ojivales, flanqueados por torres cuadradas. Destacan imágenes religiosas, con un Cristo en el portal principal y un rosetón central de 180 m<sup>2</sup>, acompañado de lancetas (Moore, 2010; Walter et al., 2023). (Fig. 2)

El exterior esta ricamente ornamentado con tallas en piedra, gárgolas de animales modernos y prehistóricos,

estatuas de santos y apóstoles, además de elementos de la flora y fauna local. Los arcos aportan soporte estructural.

Su interior lo compone una amplia nave central con pilares de piedra Mar del Plata, altos arcos y bóveda de crucería. Alberga un altar mayor, dos menores, un órgano de tubos, multicolores vitrales bíblicos y mobiliario tallado en madera. Posee un museo y mausoleo en el subsuelo.



Figura 2. Detalle de ornamentos en la fachada de la Catedral de La Plata. (Foto: J. Porras)

#### GARGOLAS: Origen, historia y significado

Los estudios sobre gárgolas son raros y escasos, los pocos existentes se enfocan en la descripción individual y específica de un edificio en particular, generalmente de tipo religioso. Destacan los trabajos de Rebold, 1997; Calle, 2004; Burbank, 2006; Vásquez, 2013; Herrero, 2015, 2016, 2020, 2021, 2022; Den Hartog, 2023 y Limonche, 2023.

#### Origen y funcionalidad

Las gárgolas surgieron en Mesopotamia y Egipto como ornamentos arquitectónicos (Herrero, 2016; Den Hartog, 2023; Limonche, 2023; Calle, 2004) y, en la antigüedad clásica, también fueron usadas como canalones de agua.

En la arquitectura medieval (siglo XIII), adquirieron una función práctica en catedrales, canalizando la lluvia para proteger los muros. Su apogeo se dio entre 1240 y el siglo XIV, alcanzando gran perfección artística, especialmente en Francia y España. Las gárgolas se transformaron, de simples conductos de agua, a complejas esculturas cargadas de simbolismo (Delgado, 2020).

Con el Renacimiento, su uso decayó, siendo reemplazadas por caños simples, aunque en España persistieron en el

Gótico tardío (Herrero, 2015). En el siglo XIX, el Neogótico revalorizó su simbolismo, y en los siglos XX-XXI evolucionaron hacia un uso ornamental con diseños históricos y modernos (Limonche, 2023), incorporando elementos de la cultura popular (Yáñez-Martínez, 2016).

Su legado perdura como expresión artística y funcional en la arquitectura.

### Formas

Las primeras gárgolas (siglos XII-XIII) eran toscas y cortas, representando bustos o cabezas de animales como simples canaletas de desagüe (Vásquez, 2013). En los siglos XIII-XIV, se alargaron, inclinaron y se volvieron más esbeltas, con figuras grotescas y fantásticas, mejorando la evacuación del agua.

En el siglo XIV alcanzaron su mayor esplendor, con diseños complejos y detallados, destacando figuras humanas. En el siglo XV se hicieron más delgadas y feroces (Herrero, 2013).

Durante el Renacimiento, conservaron rasgos góticos al inicio, pero luego se simplificaron en tubos y ménsulas geométricas (Herrero, 2013).

### Materiales

La elección del material para las gárgolas dependía de su función y recursos locales. La piedra, por su resistencia y bajo costo, fue la más utilizada, incluso en edificios de ladrillo. En el norte de Europa, se usó madera ocasionalmente, aunque su durabilidad era baja. Algunas gárgolas de cerámica aparecieron en la arquitectura árabe, decoradas con esmaltes. No se han reconocido gárgolas medievales realizadas en arcilla, ladrillos o tierra cocida.

El metal fue poco común antes del siglo XVI, pero luego se empleó más en caños simples.

### Iconografía y Tipos

Las gárgolas representan animales reales, seres fantásticos, demonios y figuras humanas con función didáctica, intimidatoria y ornamental. Reflejan creencias y temores medievales, transmitiendo mensajes religiosos y morales, dirigidos explícitamente al “vulgo”.

Su clasificación varía según autores, pero se agrupan principalmente en antropomorfas, zoomórficas y grotescas (Herrero, 2016; Limonche, 2023; Rebold, 1997; Calle, 2004). Entre los animales reales destacan leones,

perros, águilas y toros como símbolos de lealtad y poder, mientras que cabras y cerdos representan el pecado (Calle, 2004). Otros animales comúnmente representados son las serpientes, peces, vacas y aves diversas (palomas, gallos, gansos, pelícanos, etc.) (Fig. 3). Raras y excepcionales son las representaciones de bestias prehistóricas, como es el caso de la catedral de La Plata, objeto de este estudio. Las criaturas mitológicas incluyen grifos, sirenas, unicornios y dragones.



Figura 3. Representaciones de animales de la fauna local moderna, Catedral de La Plata: a) gárgolas de cerdos salvajes b) prototipos en yeso de gárgolas de yacaré (caimán) y cerdo salvaje (Fotos: a) Marco Sánchez b) Infocielo Play.

Las figuras demoníacas y grotescas muestran gestos exagerados y deformidades, mientras que las antropomorfas combinan cuerpos humanos con rasgos animales (Calle, 2004; Herrero, 2015; Den Hartog, 2023)

Algunas gárgolas exhiben máscaras burlonas o diseños geométricos (Herrero, 2013). Detalles como la vestimenta variada, las posturas y expresiones retorcidas y presencia de figuras secundarias refuerzan su simbolismo y narratividad.

### LAS GARGOLAS DE LA CATEDRAL DE LA PLATA: simbolismo y patrimonio criollo

Las gárgolas de la Catedral de La Plata son un elemento destacado de su arquitectura neogótica, que fusiona influencias europeas con detalles locales. Diseñadas como parte del sistema de desagüe, además de su función práctica de canalizar el agua de lluvia, tienen también una función decorativa y simbólica, muy provincial y nacionalista. Las gárgolas, y otras esculturas, presentan formas fantásticas e imaginativas, representando animales, figuras y escenas que incorporan detalles criollos exclusivos y únicos. Estas características las diferencian de las gárgolas tradicionales europeas, ya que incluyen referencias a la fauna, flora y cultura pampeana, subrayando la identidad local en el diseño de la catedral.

Las gárgolas una vez diseñadas, fueron prefabricadas en sitio, modeladas y esculpidas en yeso, moldeadas en caucho o plástico y sometidas a un proceso de cobreado por electrólisis para finalmente ser reproducidas y terminadas en cemento símil piedra (Fig. 4).

También se utilizaron contra-moldes para fabricar los moldes de caucho de la pieza de reproducción final. (<https://www.youtube.com/watch?v=X69yWamGWz4>).



Figura 4. Proceso simplificado de confección de gárgola representativa de ave: moldeado en yeso, labrado sobre molde de yeso, y molde cobreado (fuente: Mariano Rómulo/Infocielo)

Las gárgolas, y demás ornamentos, como los florones y crochets, fueron fabricadas y colocadas a las torres, torretas secundarias y pináculos durante la fase de completamiento de la catedral entre 1998 y 1999. Si bien no se reporta la cantidad colocada de cada elemento, se calcula que están apostadas en grupos de ocho.

En el grupo de gárgolas de animales, se representan animales actuales y extintos. Entre los animales modernos se observan armadillos, caimanes (yacarés), jabalíes, tigres, peces y diferentes aves, comunes en la provincia.

Entre los animales extintos, se identifican animales de la megafauna que habitó la región pampeana y patagónica en el Mioceno-Pleistoceno, como los feroces tigres de dientes de sable (*Smilodon populator*), las gigantescas aves voladoras (*Argentavis magnificens*) y las temibles aves del terror (*Phorusrhacos inflatus*) novedad que hace únicas y originales a estas gárgolas (Fig. 5,6,7).

Ejemplos de los moldes y figuras terminadas de estos animales prehistóricos se exhiben en el museo de la catedral, ubicado debajo del templo (Fig. 5).



Figura 5. Paneles informativos en el museo de la catedral alusivos a las gárgolas de animales prehistóricos del templo.

El *Smilodon populator*, el *Argentavis magnificens*, y el *Phorusrhacos inflatus* son especies prehistóricas emblemáticas de Argentina y América del Sur.

El féligo dientes de sable es un símbolo de la rica biodiversidad prehistórica de Argentina. Apareció por primera vez en Sudamérica, durante el Pleistoceno. Se extinguió hace unos 10.000 años durante la última glaciación (Fig. 6)



Figura 6. Gárgolas representativas de *Smilodon populator* ( a) <https://megaconstrucciones.net/?construccion=catedral-la-plata> b) Infocielo Play c) Ciudad de La Plata desde el Aire d) misteriosdelaplata.blogspot.com)

El *Argentavis magnificens* está considerada como una de las aves voladoras más grandes que jamás haya existido, con una envergadura estimada de hasta 7 metros. Vivió en el Mioceno tardío.

El *Phorusrhacos inflatus* (Fig. 7) es uno de los representantes más emblemáticos de las "aves del terror", depredadores no voladores que dominaron los ecosistemas terrestres pampeanos y patagónicos del Mioceno. Sus restos han sido encontrados en varias localidades fosilíferas argentinas.

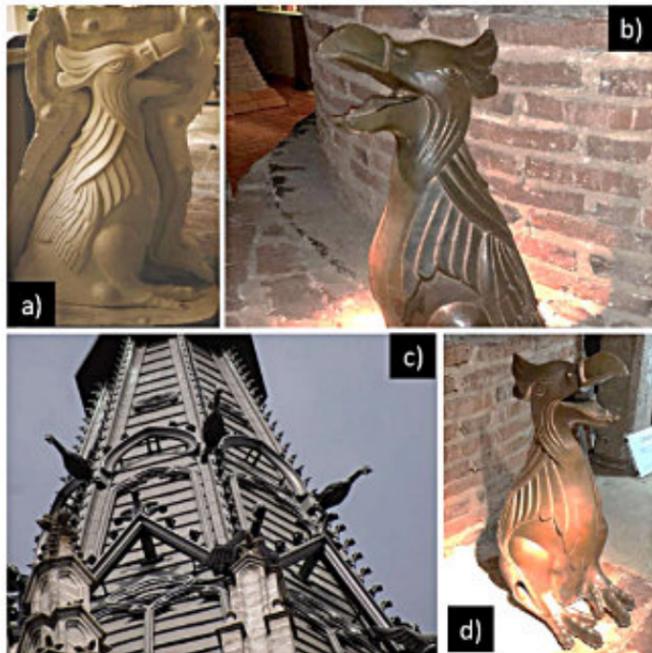


Figura 7. Gárgolas representativas del ave del terror *Phorusrhacos inflatus*: a) Contramolde, b) modelo en cobre c) Gárgolas en torre d) Molde final (Créditos fotos: (a) Mariano Rómulo (b,d) Jesús Porras (c) Andy\_Anduaga Fotografía)

También se identifican otras aves de características peculiares: una con las alas desplegadas, aparentemente dentada (¿?) y un cuello semi-largo, con un aspecto similar a las especies de los pelagornítidos, aunque con pico en forma de espátula. La otra es un ave rapaz, de pico fuerte y curvado que probablemente pertenezca al grupo de los buitres y cóndores, especies muy comunes en la pampa argentina (Fig. 8). No se tiene registro de que estas representaciones correspondan a alguna bestia prehistórica de la región.



Figura 8. Gárgolas representativas de ave rapaz de pico corto y curvo (Crédito fotos: (a,c,d) Marco Sánchez (b) InfocieloPlay.

Las gárgolas representativas de animales están dispuestas generalmente en las aristas de las torres y a diferentes niveles de altura (Fig. 9). Según las zonas de las nuevas torres definidas por Igolnikow (2003), los tigres dientes de sables y aves picudas se ubicarían en la sección inferior de mampostería de ladrillos (~42-63 m); los jabalíes en la sección intermedia de ladrillos con revoque claro (~63-79 m) y las aves del terror y dentadas, de alas desplegadas, en la sección revestida de chapa metálica de cobre (~79-111 m).

Las gárgolas del ave del terror, están ubicadas en la aguja metálica de la Torre de Jesús, como se denomina a una de las torres laterales.

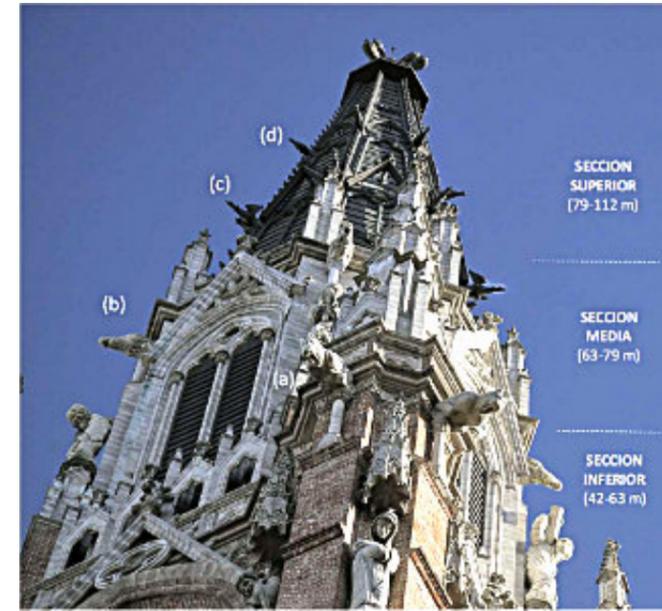


Figura 9. Ubicación relativa de las gárgolas representativas de animales en las torres de la catedral: a) Tigre diente de sable b) Ave de pico curvo c) *Argentavis magnificens* d) Ave del terror (Créditos foto original: <https://megaconstrucciones.net>)

### LAS BESTIAS PREHISTORICAS: íconos de la megafauna argentina

#### Tigres de dientes de sable (*Smilodon populator*)

El *Smilodon populator*, conocido comúnmente como "tigre dientes de sable", es uno de los carnívoros más icónicos de la megafauna que habitó América del Sur, incluida Argentina, durante el Pleistoceno (hace 1 millón y 10.000 años). Este depredador fue uno de los felinos más grandes de la historia y el representante más grande del género *Smilodon*. Fue el felino de mayor tamaño del Pleistoceno y seguramente el más hábil cazador de aquellos tiempos (Forasiepi et al.; 2007, Babot, 2020)

Los ejemplares más grandes podían pesar hasta 400 kg y medir aproximadamente 1.2 metros de altura hasta los hombros, con un cuerpo robusto y musculoso. Tenía dientes caninos de largos y curvados colmillos, de hasta 28 cm, que estaban expuestos aun con la boca cerrada, diseñados para perforar y desgarrar la carne de grandes presas (Fig. 10).

Poseía un cuerpo compacto y patas traseras fuertes, ideales para emboscadas cortas en lugar de persecuciones prolongadas. Su cuello y hombros eran extremadamente musculosos, permitiéndole sujetar y abatir animales de gran tamaño. Habría sido un animal robusto y macizo, con

patas cortas de fuertes garras retráctiles (Forasiepi et al., 2007; Babot, 2020).

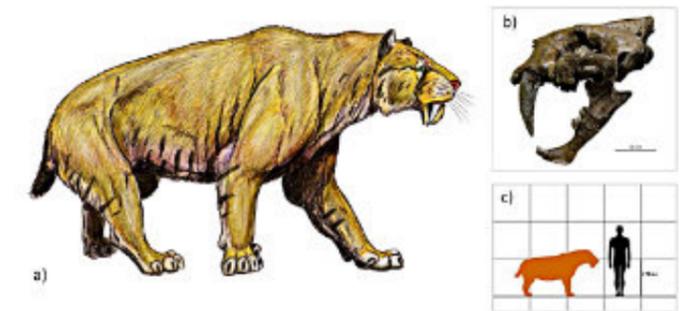


Figura 10. *Smilodon populator* (tigre dientes de sable): a) Aspecto general b) Cráneo y mandíbula (Babot, 2020) c) Tamaño comparativo con humano de estatura promedio. Fuente (a y c) : [https://ca.wikipedia.org/wiki/Smilodon\\_populator](https://ca.wikipedia.org/wiki/Smilodon_populator)

Su cráneo estaba adaptado para soportar las fuerzas necesarias para morder con precisión y fuerza, aunque sus mandíbulas no eran particularmente fuertes para triturar huesos.

Su dieta incluía grandes herbívoros de la época como toxodontes, gliptodontes y otros mamíferos gigantes de la megafauna, cazados mediante emboscadas debido a su limitada capacidad de velocidad. Era probablemente un cazador social, viviendo en grupos pequeños, aunque algunos estudios sugieren que también podría haber sido solitario. Su estrategia de caza consistía en emboscar a sus presas y utilizar sus poderosos colmillos para infligir heridas letales, evitando largas persecuciones.

Habitaba las vastas llanuras y bosques abiertos de América del Sur, incluyendo la región de las Pampas argentinas.

El *Smilodon populator* desapareció hace unos 10.000 años, coincidiendo con la extinción masiva de la megafauna sudamericana. Entre las causas posibles se encuentran el cambio climático al final de la última glaciación y la ocupación humana de la región, competidores de los mismos recursos e incluso cazadores de estos grandes felinos.

Representa uno de los fósiles más emblemáticos encontrados en Argentina, especialmente en sitios como la región pampeana, que ha sido un rico depósito de restos de megafauna.

El primer *Smilodon* de la Argentina lo dió a conocer públicamente el célebre médico militar Francisco J. Muñiz, en 1845, en el diario La Gaceta Mercantil, como *Muñifelis bonaeriensis* (Forasiepi et al., 2007)

### Aves gigantes (*Argentavis magnificens*)

El *Argentavis magnificens* (Fig. 11) es una de las aves voladoras más grandes que ha existido en la historia, y es un símbolo de la fauna prehistórica de América del Sur. Esta ave vivió durante el Mioceno tardío, hace aproximadamente 6 Ma, y fue descubierta en Argentina, de donde proviene su nombre (Campbell y Tonni, 1983; Cenizo et al., 2021).

De gran envergadura, se estima que sus alas alcanzaban entre 6 y 7 metros, comparable a la envergadura de pequeños aviones. Su peso se calcula entre 60 y 80 kilogramos y tenía una altura, de pie, entre 1.5 y 2 metros.

Se cree que era un planeador excepcional, aprovechando las corrientes de aire térmico para desplazarse largas distancias con un gasto energético mínimo, similar a los cóndores modernos.

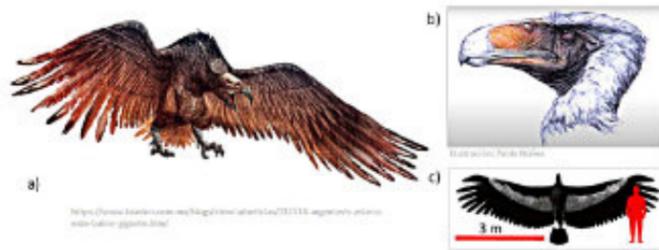


Figura 11. *Argentavis magnificens*: a) Aspecto general b) Reconstrucción de rostro c) Tamaño comparativo con humano de estatura promedio. Fuente: (a,c) Pinterest (b): Cenizo et al., 2021)

Campbell y Tonni (1983) refieren que la evolución de este teratorno a sus proporciones gigantes probablemente estuvo directamente vinculada a la presencia de fuertes y continuos vientos del oeste que soplaban a través del sur de América del Sur antes de la elevación de la Cordillera de los Andes.

Era un carnívoro que probablemente se alimentaba de carroña, como los actuales buitres y cóndores, y probable cazador de pequeños animales.

Vivía en vastas llanuras y zonas abiertas, lo que favorecía su habilidad para planear y encontrar alimento. Su tamaño le daba una ventaja competitiva frente a otras especies carroñeras.

El *Argentavis magnificens* es el ave voladora más antigua y la mayor de la familia de los Teratornos. No solo destaca por su tamaño, sino también por su adaptación al vuelo en

ambientes abiertos y cálidos como las pampas argentinas del Mioceno.

Su descubrimiento ha proporcionado valiosa información sobre la evolución de las aves y las condiciones ambientales de la época.

### Aves del Terror (*Phorusrhacos inflatus*)

El *Phorusrhacos inflatus* (Fig. 12) es una especie del género *Phorusrhacos*, un grupo de aves no voladoras perteneciente a la familia de los Phorusrhacidae, comúnmente conocidas como "aves del terror". Aunque menos conocida que su pariente *Phorusrhacos longissimus*, comparte muchas características con otras aves de esta familia, que dominaron los ecosistemas sudamericanos durante el Mioceno.

Descrita primeramente por Ameghino en 1891 (Agnolín, 2013) y validada por Andrews (1899), la especie *Phororhacos inflatus* fue reclasificada dentro del género *Patagornis* (Alvarenga y Höfling, 2003) por sus similitudes morfológicas. Se le conoce también como *Tolmodus inflatus* (Agnolín, 2009, 2013). El nombre *Tolmodus inflatus* fue inicialmente asignado por Ameghino en 1891 a un fragmento fósil que él consideraba perteneciente a un mamífero edentado relacionado con *Phorusrhacos*; sin embargo, posteriormente, reconoció que este fósil correspondía en realidad a un ave y lo sinonimizó con *Phorusrhacos inflatus*.

Tabla 1. Sinonimia de la especie (tomado y modificado de (Alvarenga et al., 2011)

Taxon	Referencia
<i>Patagornis marshi</i>	Moreno & Mercerat, 1891
<i>Tolmodus inflatus</i>	Ameghino, 1891
<i>Phororhacos inflatus</i>	Ameghino, 1891; Andrews, 1899; Brodkorb, 1967
<i>Paleociconia cristata</i>	Brodkorb, 1967

Han sido consideradas como aves carnívoras de gran porte, hábitos cursoriales y capacidad de vuelo reducida o nula. Se estima que el *Phorusrhacos inflatus* alcanzaba una altura considerable, posiblemente entre 1.5 y 2 metros, y pesaba entre 70 y 120 kg, tamaño algo menor que el *Phorusrhacos longissimus*. Sus patas eran robustas, diseñadas para correr a altas velocidades en terrenos abiertos, lo que le permitía cazar de manera eficiente.

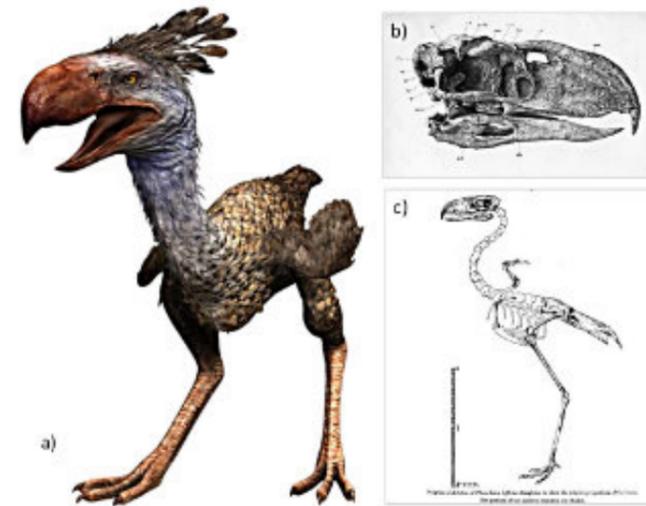


Figura 12. Ave del Terror *Phorusrhacos inflatus*: a) aspecto general b) Cráneo c) Diagrama del esqueleto. Fuente: (a) Jurassic Park Wiki <https://jurassicpark.fandom.com/es/wiki/Phorusrhacos> (b y c) Andrews, 1899.

Poseía un pico fuerte, puntiagudo y curvado, que sobresale notablemente a la mandíbula inferior, y perfectamente adaptado para desgarrar carne, siendo una de sus principales herramientas como depredador. Era un depredador carnívoro, probablemente especializado en cazar mamíferos pequeños y medianos que compartían su hábitat. También podría haber complementado su dieta con carroña. Como otros Phorusrhacidae, probablemente utilizaba su pico para dar golpes letales a sus presas y desgarrar carne.

El *Phorusrhacos inflatus* habitaba los ambientes abiertos y semiáridos de lo que hoy es Argentina, especialmente en zonas de las pampas y la Patagonia durante el Mioceno. Estos paisajes ofrecían amplios espacios para correr y emboscar a sus presas.

Al igual que otros miembros de su familia, el *Phorusrhacos inflatus* probablemente desapareció debido a la competencia con nuevos depredadores mamíferos que llegaron desde América del Norte durante el Plioceno, como grandes felinos y cánidos.

Los fósiles de *Phorusrhacos inflatus* han ayudado a reconstruir la diversidad y evolución de las aves del terror, un grupo único de América del Sur. Su estudio ha revelado cómo estas aves ocuparon nichos depredadores en ausencia de grandes mamíferos carnívoros antes del Gran Intercambio Biótico Americano.

El *Phorusrhacos inflatus* es un fascinante ejemplo de la fauna prehistórica de Argentina y evidencia del dominio que estas aves ejercieron en los ecosistemas terrestres durante millones de años.

### CONCLUSIONES

La Catedral de La Plata por su valor arquitectónico e impresionante diseño neogótico, sus ricas memorias y relevancia cultural, representa la historia misma de la ciudad de La Plata y del patrimonio argentino.

Sus detalles arquitectónicos y elementos ornamentales, tanto internos como externos, muchos inspirados en escenas nacionales y provinciales, la hacen única y excepcional. Su imponente altura de 112 metros y la combinación de ladrillo rojo con detalles góticos la convierten en uno de los templos más extraordinarios e imponentes del continente.

Las gárgolas, además de su función decorativa, mística y simbólica, incorporan elementos de la fauna actual y prehistórica, lo que convierte a esta catedral en una rareza arquitectónica muy particular. La representación de animales prehistóricos destaca la importancia de Argentina como un yacimiento paleontológico de relevancia mundial.

Por otro lado, analizar estas especies en conjunto permite reconstruir las cadenas tróficas y las interacciones ecológicas de los ecosistemas prehistóricos sudamericanos, aportando una visión integral de la evolución de la fauna en la región.

### AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento al Lic. Marco Sánchez, Master en Tecnología e Informática Educativa de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y licenciado en Ciencias de la Comunicación Colectiva de la Universidad de Costa Rica por autorizarme el uso de sus excelentes fotografías de las gárgolas.

### REFERENCIAS y CONSULTAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarenga H. M.F. y Höfling E., 2003. Systematic Revision of the Phorusrhacidae (Aves: Ralliformes). Papéis Avulsos de Zoologia. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. Volume 43(4):55-91, 2003. [www.scielo.br/htm](http://www.scielo.br/htm)
- Alvarenga H., Chiappe y Bertelli S., 2011. Phorusrhacids: The Terror Birds. Living Dinosaurs: The Evolutionary

History of Modern Birds, First Edition. Edited by Gareth Dyke and Gary Kaiser, p 187-208. Published 2011 by John Wiley & Sons, Ltd.

Ameghino F., 1891. Mamíferos y aves fósiles argentinas: especies nuevas, adiciones y correcciones. Revista Argentina de Historia Natural. 1891; 1:240-288

Andrews C.W. 1899. On the Extinct Birds of Patagonia. The Skull and Skeleton of Phororhacos inflatus Ameghino. Trans. Zool. Soc. London 15: 55-86.

Andy Anduaga Fotografía.  
[https://www.instagram.com/andy\\_anduaga\\_fotografia/](https://www.instagram.com/andy_anduaga_fotografia/)

Angolín F.L., 2009. Sistemática y Filogenia de las Aves Fororracoideas (Gruiformes, Cariamae). Fundación de Historia Natural Félix de Azara, 79 p.

Angolín F.L., 2013. La posición sistemática de *Hermosiornis* (Aves, Phororhacoidea) y sus implicancias filogenéticas. Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat., n.s. 15(1): 39-60, 2013

Babot M.J., 2020. Smilodon, Tigre dientes de sable de las pampas de Tucumán, Universo Tucumano, Dic 2020, No. 68.

Burbank Bridaham L., 2006. The Gargoyle Book: 572 Examples from Gothic Architecture, Dover Publications Inc., 224 p.

Calle Calle F. V., 2004, Notas sobre algunas gárgolas de la Catedral de Plasencia. Homenaje a la memoria de doña Francisca Pizarro Yupanqui. XXXII Coloquios Históricos de Extremadura, p 101-125.

Campbell K.E. y Tonni E., 1983. Size and Locomotion in Teratorns (Aves: Teratornithidae). The Auk 100: 390-403. April 1983.

Cenizo, M., Noriega, J. I., Vezzosi, R. I., Tassara, D., & Tomassini, R. (2021). First Pleistocene South American Teratornithidae (Aves): new insights into the late evolutionary history of teratorns. Journal of Vertebrate Paleontology, 41(2).  
<https://doi.org/10.1080/02724634.2021.1927064>

Delgado D., 2020. Las gárgolas: guardianes protectores de la arquitectura.  
<https://www.muyinteresante.com/historia/34970.html>

Den Hartog E., 2023. On the meaning of gargoyles. Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre. BUCEMA [Online], Hors-série n° 13 | 2023. 19 p.

Forasiepi A., Martinelli A. y Blanco J., 2007. Bestiario Fósil - Mamíferos del Pleistoceno en la Argentina, Primera edición, Editorial Albatros, 192 p.

García G.R., 1999. Intervención en la Catedral de La Plata, Argentina. Informes de la Construcción, Vol. 51 n° 461, mayo/junio 1999, p 19-30.

<https://doloresherrero.com/gargolas-de-monstruos/>

Herrero Ferrio D., 2015. Aproximación al estudio de las gárgolas de las catedrales góticas de Castilla y León, Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid, Vol I-II.

Herrero Ferrio D., Gárgolas geométricas: la geometría como ornamentación (<https://doloresherrero.com/gargolas-geometricas-la-geometria-como-ornamentacion>)

Herrero Ferrio D., 2016. La Gárgola En El Mundo Hispano Bajomedieval. Revista Digital de Iconografía Medieval, vol. VIII, n° 16, 2016, pp. 67-99. e-ISSN: 2254-853X

Herrero Ferrio D., 2019. La Gárgola y su Iconografía. Madrid Universo De Letras, 166 p.

Herrero Ferrio D., 2020. Las gárgolas de la Catedral de León. Revista Científica No. 7 del Ateneo Leonés, p 9-123.

Herrero Ferrio D., 2022. Las gárgolas de la Catedral de Astorga. Revista Científica No. 9 del Ateneo Leonés, p 89-115.

Igolnikow R., 2003. Fundamentos Estructurales en la Restauración y Completamiento de la Catedral de La Plata. Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica (LEMIT). II Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación del Patrimonio, 15 p.

Infocielo (<https://infocielo.com>)

Limonche S., 2023. Las gárgolas: guardianes en la arquitectura y el folclore.  
<https://www.santilimonche.com/glosario/gargolas/> (acceso 05/01/2025)

Maiza Oscar, Foto Revista, 2013.  
<https://www.fotorevista.com.ar/SFotos/Autores.php?select=130325174646&id=CONV5850&o=&pag=1>

@Marianoromulo1968 / Infocielo Play. Como hicimos Gárgolas y Esculturas Góticas Catedral de La Plata  
<https://www.youtube.com/watch?v=X69yWamGWz4>

Mariano Rómulo Esculturas  
<https://marianoromulo.wixsite.com>

Misterios de la Ciudad de La Plata, 2011. Las Gárgolas de la Catedral  
<https://misteriosdelaplata.blogspot.com/2011/07/las-gargolas-de-la-catedral.html>

Moore B. RP, 2010. La Catedral de La Plata I-II. Presentación PPT  
<https://es.slideshare.net/slideshow/catedral-de-la-plata-1/5415792>

Rebold Bento Janetta, 1997. Holy Terrors. Gargoyles on Medieval Buildings. Abbeville Press, 140 p.

Sanchez M. (<https://www.sanchez.cr/blog/la-catedral-de-la-plata/>)

Sitios Históricos Website, 2019. Las Gárgolas. Descubre su origen y significado (<https://sitioshistoricos.com/origen-y-significado-de-las-gargolas-por-que-se-colocaban-las-gargolas-en-las-catedrales-e-iglesias/gotico/>)

Vásquez Gibson P., 2013. Aproximaciones al universo simbólico de las gárgolas y quimeras en la Edad Media. Revista Historias del Orbis Terrarum. Anejos de Estudios Clásicos, Medievales y Renacentistas, ISSN 0718-7246, Vol. 6, Santiago, 2013, pp.1-26.

Walter A., Attanasio M. y Díaz N., 2023. Análisis de los morfogeneradores geométricos en la Catedral de La Plata, 12º Encuentro de docentes de Matemática en carreras de Arquitectura y Diseño de Universidades Nacionales del Mercosur, p 29-38.

Wikipedia (<https://es.wikipedia.org>)

Yáñez-Martínez B., 2016. La gárgola en la cultura visual actual. Arte, Individuo y Sociedad, 28(2) 553-565

**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 más de 35 años de experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos tanto de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales.

Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Sr. 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 50 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.

## Reflexiones sobre la Tectónica

Ensayo realizado por: **Bernardo I. García-Amador**

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

Publicado en la Revista Maya de Geociencias, 2022, v.16, pp. 62–69.

### Desde las profundidades: ¿es la convección del manto, el fenómeno que gobierna a las placas litosféricas?

#### Resumen

La tectónica de placas, o Tectónica, es la teoría unificadora de las Ciencias de la Tierra. Mientras que esta teoría tiene la capacidad de explicar un gran número de fenómenos en las geociencias, como consecuencia del movimiento e interacción de las placas litosféricas, quedaría una pregunta reflexiva al aire: ¿qué proceso es el que gobierna a la Tectónica? En este ensayo se aborda brevemente una indagación a esta pregunta, buscando explicar el fenómeno de la convección “moderna” del manto a partir de las evidencias geológicas y geofísicas (e.g., el registro de las grandes provincias ígneas, las tomografías sísmicas, etc.), como un modelo sencillo de la explicación que causa la Tectónica. No obstante, también se discuten algunos aspectos que se contraponen o ubican a la convección del manto en una encrucijada. Por último, se plantea abordar la posibilidad de un modelo híbrido o “articulado” de la dinámica del interior de la Tierra, entre los modelos “Andersoniano” y “Burkiano”, que permitan explicar diversos procesos tectónicos de una manera clara.

**Palabras clave:** Tectónica; Convección del manto; Tomografía sísmica; Modelo Andersoniano; Modelo Burkiano.

#### Abstract

Plate Tectonics, or Tectonics, is the unified theory of Earth Science. While this theory can explain many phenomena in geosciences, as a consequence of the movement and interaction of lithospheric plates, a reflexive question would remain: what process governs Tectonics? This essay briefly addresses an inquiry into this question, seeking to explain the phenomenon of mantle “modern” convection based on geological and geophysical evidence (e.g., large igneous provinces record, seismic tomography, etc.), as a simple model of the explanation that causes Tectonics. However, some aspects that oppose or place mantle convection at a crossroads are also discussed. Finally, it is proposed to address the possibility of a hybrid or “articulated” model of the Earth’s interior dynamics,

between the “Andersonian” and “Burkian” models, which allow a clearly explaining various tectonic processes.

**Keywords:** Tectonics; Mantle convection; Seismic tomography; Andersonian model; Burkian model.

#### Introducción

Es verdaderamente fascinante ver lo que produce la tectónica de placas, la formación de cadenas montañosas, las regiones más profundas del fondo marino, los volcanes, los sismos, y un largo etcétera de procesos en nuestro planeta. Me gustaría añadir que, aquellas personas que tienen la dicha de ver las rocas en el campo y en el fondo marino, son maravillados de observar la gran variedad de geometrías caprichosas y polícromos minerales, sin dejar de mencionar los procesos biológicos y el registro fósil; todos estos, formados debido a la actividad tectónica. Asimismo, al reflexionar sobre estos procesos tectónicos, sustanciales formadores del mundo que nos rodea, también nos lleva a una pregunta reflexiva: ¿y qué proceso gobierna a la tectónica de placas? La idea central de este texto es indagar y discutir brevemente la respuesta a esta pregunta. Así que, comencemos por alguna parte.

La tectónica de placas, o Tectónica, ha sido la teoría unificadora de las Ciencias de la Tierra desde los 60s (s. XX); ésta nos habla sobre las consecuencias de la interacción de las litósferas (continental y oceánica), que son fragmentos de la capa sólida más externa de nuestro planeta (Figura 1). Sin embargo, su aceptación como teoría ha sufrido de un largo camino, minado de críticas, escepticismo y confrontación. Este camino comenzó a partir del trabajo publicado por Alfred Wegener en 1912 (Wegener, 1912) y que generó agitaciones en la comunidad científica a partir de los 20s (s. XX). Pero, para adentrarse más en la historia y la filosofía de la ciencia, de la Tectónica, es ampliamente recomendable ahondar en los cuatro volúmenes del trabajo de Henry R. Frankel (e.g., Frankel, 2012), ya que en estos libros se encontrará mucho más de lo que este humilde párrafo le puede hacer honor a la historia de la Tectónica. No obstante, y continuando con un poco de la historia, podemos encontrar que como en toda revolución científica, la Tectónica sigue mostrando regiones todavía en debate y en plena exploración, uno de estos campos son los procesos que ocurren en el interior de la Tierra, en particular dentro de la capa con mayor volumen de nuestro planeta: el manto, aquella que se encuentra entre la corteza y el núcleo (Figura 1).

Recientemente, Geoffrey F. Davies publicó un libro reflexivo sobre el debate científico de los procesos que ocurren en el interior de la Tierra y cómo estos tienen su

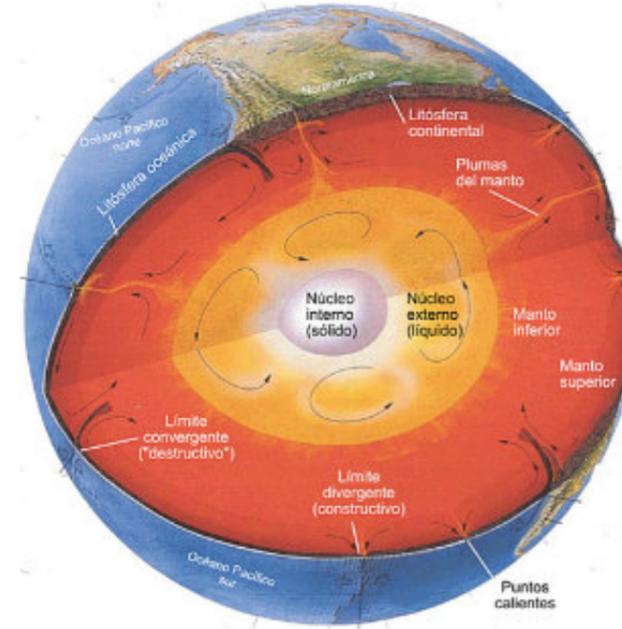


Figura 1. Representación de los principales elementos geodinámicos en el interior de la Tierra: las convecciones en el manto y núcleo externo, la divergencia, la convergencia y las “plumas del manto”. Asimismo, se aprecian las principales capas de la Tierra: litósfera (i.e., corteza oceánica o continental en conjunto con el manto litosférico), manto superior e inferior, y núcleo externo e interno. Imagen modificada y traducida de Bercovici & Mulyukova (2021).

singular implicación en los mecanismos que mueven a las placas (Davies, 2022). Y, no es que esto no se haya dicho antes, por el contrario, es una de las partes del telar que los geocientíficos no han podido remendar del todo (cfr. Foulger, 2010), y estamos hablando que esto ha ocurrido desde los inicios de la teoría de la Tectónica. Incluso, podríamos discutir que quizá todo esto se detonó a partir de los trabajos de Arthur Holmes que vislumbraba los procesos termodinámicos y geoquímicos en el interior de la Tierra (e.g., Holmes, 1928), estos procesos se asemejaban por mucho a lo que hoy entendemos como la “convección del manto”. Además, estos y otros resultados e hipótesis, propulsarían una serie de investigaciones clave, entre éstas, las campañas en buques oceanográficos posterior a la Segunda Guerra Mundial, que se consolidarían en trabajos tan valiosos sobre la expansión del piso oceánico, el origen de las cuencas oceánicas y las anomalías magnéticas del piso oceánico (Dietz, 1961; Hess, 1962; Vine & Matthews, 1963), dándole así su estocada final al sustento de la deriva continental, explicación fundamental que impulsó a la aceptación rotunda de la Tectónica.

Lo que podemos apreciar, es que el papel de la dinámica del manto ha jugado y juega hoy en día un rol importante y preponderante en el entendimiento de la Tectónica, estaríamos hablando de ya casi 100 años de discusión sobre este tema. Y, el interés por conocer el fenómeno dinámico que impera en el manto no es poca cosa, ya que esto permite explicar los procesos que gobiernan a la Tectónica o el vulcanismo que no está asociado a la Tectónica, esto es, vulcanismo intraplaca. Asimismo, cabe

mencionar que otros planetas como Marte y Venus, que no precisamente tiene Tectónica, sí presentan vulcanismo intraplaca, lo que nos indicaría que dichos planetas tienen una dinámica en el manto. Pero, para todo esto, ¿cómo es la dinámica del manto? Y, ¿cómo ésta gobierna tales procesos geológicos como la Tectónica o el vulcanismo intraplaca? A continuación, nos introduciremos más en este tema.

#### La convección

Para hablar de la dinámica que gobierna al manto primero debemos pensar que, a pesar de que el manto está compuesto de rocas sólidas con una composición variada y estratificada, en escala de tiempo geológico (i.e., millones de años) estas rocas tenderán a fluir bajo el efecto de la energía potencial gravitacional y las variaciones de la temperatura. Sólo una nota importante, el manto no “fluye” en una forma líquida, sino como un estado del medio deformado; si se quiere entender mejor esto, es recomendable estudiar las propiedades reológicas del manto (ver: Karato, 2013). Por lo que, el fenómeno de un material que fluye confinado dentro de una capa y con un gradiente de temperatura siendo mayor en la base que en la cima, puede ser descrito por la convección de Rayleigh-Bénard, que es la típica convección con celdas que van de arriba a abajo y viceversa, como se observa en las flechas negras de la figura 1. Dentro de este fenómeno existe una competencia entre las fuerzas de flotabilidad térmica y el amortiguamiento por la viscosidad de las rocas, así como por la difusión térmica, que al final se caracterizan con una razón adimensional llamada el número de Rayleigh ( $Ra$ ), en la que si la temperatura de la base de la capa es mayor

a la cima ocurrirá la convección, también llamado número de Rayleigh crítico ( $Ra_c$ ). En otras palabras, si  $Ra < Ra_c$ , entonces el transporte de calor se dará por conducción térmica y no por la convección (Turcotte & Schubert, 2014; Bercovici & Mulyukova, 2021).

Además, cabe mencionar que, resulta ser que la manera más efectiva de transportar calor en el interior de la Tierra es la convección. Sin embargo, hemos de suponer que una convección total y efectiva mezclaría el interior de la Tierra por completo, volviendo la temperatura isotérmica, pero ése no es el caso. Así que, ocurre otro fenómeno interesante, en el que existe una característica importante en la convección del manto, la cual forma “capas límites térmicas”, que son pequeñas capas que acomodan saltos de temperatura dentro del sistema Rayleigh-Bénard. Geológicamente hablando, estas capas en el interior de la Tierra son aquellas como la litósfera o la astenósfera, entre otras. Así, el comportamiento térmico de estas capas juega un rol más en el aspecto de la conducción térmica que en de la convección, a menos que exista una inestabilidad por una variación en el flujo de calor de la capa. La relación del flujo de calor en una capa bien mezclada convectiva y una capa puramente conductiva se determina por el número de Nusselt ( $Nu$ ), en la que hay una fuerte dependencia entre la diferencia de temperatura entre la cima y la base, y el espesor de la capa (Turcotte & Schubert, 2014).

Ahora sí, dado lo anterior, la pregunta sería ¿y qué elementos geológico-tectónicos son aquellos que representan al material que asciende y desciende “de manera convectiva” en el interior de la Tierra o aquellas evidencias que nos hablan de materiales circulando en una celda de convección? En adelante, nos adentraremos en reconocer aquellas evidencias geológicas que observamos por métodos directos e indirectos (i.e., geofísica) y que nos hablarían acerca de la convección del manto.

### De la convección “clásica” a la convección “moderna” del manto

Para empezar, podemos partir de una premisa, que la Tectónica nos explica un sistema que se encuentra en equilibrio, esto es, que la dinámica litosférica nos muestra que los fragmentos o placas añaden o “construyen” material en la superficie, por ejemplo, en las dorsales oceánicas, los arcos magmáticos o el vulcanismo intraplaca; y que hay regiones en las que el material se “destruye” como lo observamos en la subducción de las placas litosféricas oceánicas (Figura 1). Incluso, lo anterior lo podemos ver en un sentido figurativo, ya que, si analizamos esta dinámica en tres dimensiones, sólo veríamos el material geológico subiendo y bajando con respecto a la superficie. Pero, como ya hemos visto de

manera breve acerca de la convección, la tónica sería identificar cómo es que ocurre este proceso en el interior de la Tierra.

La cuestión aquí es que, mientras la teoría de la Tectónica adquiría fuerza a finales de los 60s y principios de los 70s, un señor llamado Jason Morgan propuso la idea de algo llamado plumas del manto (Figura 1) para explicar el vulcanismo intraplaca de Hawái y otros lugares en el mundo (Morgan, 1971). Pero, no sólo eso, además propuso que este fenómeno provenía desde el manto inferior, lo que involucraba la construcción de una nueva teoría sobre la dinámica del manto inferior y superior. Podríamos decir que, a partir de este momento se desencadenaría una revolución científica sobre la dinámica del interior de la Tierra. Visto desde otra perspectiva, Jason Morgan introdujo un “ingrediente extra” a la Tectónica, mismo que buscaba rellenar huecos dentro de la gran teoría de los 60s. Por lo que, a partir de los 70s se comenzó a invocar en múltiples ocasiones el fenómeno de las plumas del manto para explicar diversos procesos geológicos, como los puntos calientes o hotspots (como se nombra en inglés), o las grandes provincias ígneas o *Large Igneous Provinces* (LIPs, por sus siglas en inglés), los levantamientos litosféricos, entre otros. Al final, parecía que resultaba fácil invocar a las plumas del manto para explicar procesos geológicos, pero sin entender el fenómeno causante de estos.

Los primeros intentos de entender la convección del manto llevaron a pensar en una premisa sencilla: el manto está mezclado por la convección, esto es, que debía existir una composición química homogénea en el manto y, como resultado, las rocas producidas “directamente del manto” debían tener una firma geoquímica similar. Sin embargo, esto no resultó ser así, las firmas geoquímicas de distintos basaltos en el mundo mostraron una gran heterogeneidad del manto, lo que condujo a la paradoja de los basaltos tipo OIB (Ocean-Island Basalt) y los de tipo MORB (Mid-Ocean Ridge Basalt) (van Keken et al., 2002). Prácticamente, este tópico merecería todo un ensayo, ya que es un gran tema de discusión con más de 30 años de vigencia. Al final del día, las firmas geoquímicas estudiada en los basaltos producidos en las dorsales y aquellos “producidos” por las plumas del manto, serían una piedra en el zapato de las primeras ideas de la convección del manto.

El gran problema en todo esto es, que conocemos muy poco acerca del interior de la Tierra. Los pozos más profundos no superan los 12 km (por ejemplo, ver: <https://www.icdp-online.org/home/> y <https://www.iodp.org/>), siendo que nuestro planeta tiene un radio promedio de

6,370 km. Por supuesto, hay algunas evidencias de la composición del manto, como se puede observar a través de los xenolitos (Downes, 2021) o el registro ofiolítico (Dilek & Furnes, 2014), incluso, con el estudio de los meteoritos (McCoy, 2021). No obstante, de manera indirecta la sismología en conjunto con la petrología experimental nos ha permitido entender las capas del interior de la Tierra, pero no por mucho cuál es su dinámica. Mientras a finales de los 90s las nuevas evidencias de la tomografía sísmica (e.g., Grand et al., 1997), fortalecían las ideas de la convección “clásica” del manto, gobernada por una circulación global; a inicios de los 2000s comenzó a conformarse una nueva corriente de pensamiento que explicaba los procesos geológicos sin necesidad de invocar una convección del manto global, y mucho menos dominada por las plumas del manto, a esta nueva teoría de mecanismos propulsores de las placas tectónicas se le nombraría la “Tectónica de arriba-abajo” (*Top-down Tectonics*; Anderson, 2001). Esta nueva escuela de geocientíficos (Foulger et al., 2005) propondrían que los procesos de la convección estarían localizados en la parte del manto superior, esto es, por encima de los 660 km, y que las anomalías térmicas estarían producidas por la misma dinámica de las placas y no por una pluma del manto procedente del manto inferior (i.e., 660–2,800 km).

Durante los 2000s, las técnicas en sismología continuaron desarrollándose, lo que se desencadenó en mejores imágenes, por ejemplo, en la tomografía sísmica (Figura 2a

y 2b). Para el 2007 se obtuvieron imágenes más nítidas e interpretables del manto inferior; especialmente, se detectaron dos grandes regiones de baja velocidad con base en las ondas de corte en la interfaz del manto-núcleo (Garnero et al., 2007) (Figura 2c y 2d). Más tarde, estas dos grandes provincias de baja velocidad de ondas de corte (*Large Low Shear-Wave Velocity Provinces*; LLSVP) serían bautizadas como las provincias Tuzo y Jason, y propuestas como estables al menos desde el Jurásico-Triásico (Burke, 2011) (Figura 2c y 2d). Prácticamente, estas evidencias, nuevamente fortalecieron la convección “clásica” del manto, mostrando que algunos casos de la dinámica en el interior de la Tierra sí muestran circulación global. La propuesta, ha sido sencilla, y que ya hemos explicado brevemente arriba: una circulación global de la convección en todo el manto (inferior y superior), en el que las litósferas oceánicas en subducción introducen material “frío” (Figura 3A), y al llegar a la interfaz núcleo-manto, este material se transforma y transporta “caliente” hacia arriba en forma de plumas del manto (Figura 3B), completando la convección. Empero, otro aspecto que adornó este modelo de convección fue la adición de las reconstrucciones tectónicas desde el Pérmico, poco antes del rompimiento de Pangea (Torsvik et al., 2014). La genialidad y sustantividad de este modelo, fue añadir a las reconstrucciones el movimiento de los LIPs, hotspots y kimberlitas, como posibles consecuencias de las plumas del manto, resultando en que estos elementos geológicos se acomodaban en los bordes de las LLSVP en el tiempo y

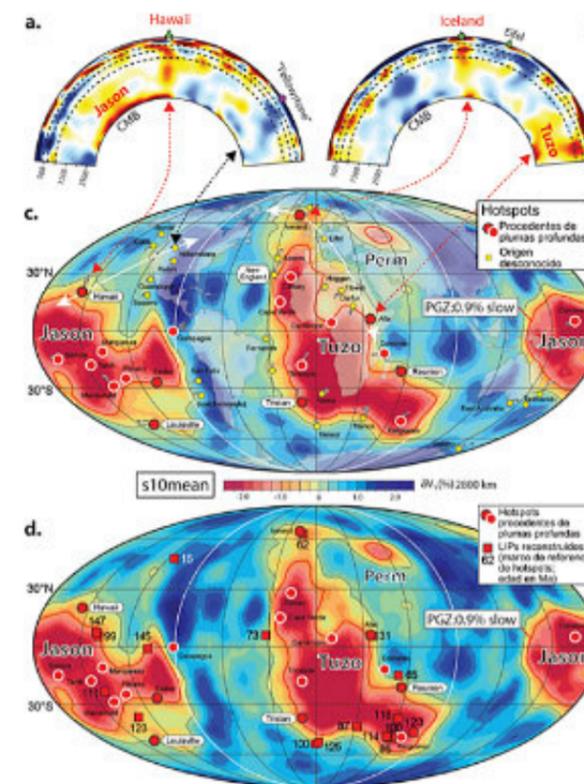


Figura 2. Anomalías de velocidad de las ondas de corte ( $\delta V_s$ ) de dos secciones en 2D (a y b) indicadas dentro de (c), y que atraviesan tanto el hotspot de Hawái e Islandia. En la figura 3c y 3d se representa la  $\delta V_s$  a una profundidad de 2,800 km (i.e., límite manto-núcleo) con la distribución de hotspots interpretados como procedentes de plumas profundas y de origen desconocido (c), así como 20 hotspots clasificados como primarios y comparados con las grandes provincias ígneas (d), reconstruidas a partir de un marco de referencia global de movimientos de hotspots sobre las provincias Tuzo y Jason (para más detalle ver el texto y el trabajo de Torsvik et al., 2016). PGZ: plume generation zone. Imagen modificada y traducida de Torsvik et al. (2016).

espacio (Figura 2c y 2d). Por supuesto, esto no fue “un simple punto final”, por el contrario, acentuó la disputa por entender a cabalidad la dinámica del interior de la Tierra.

**Una breve discusión: los dos bandos.**

Quisiera partir de lo siguiente, que la discusión sobre la convección del manto requiere de un pensamiento crítico y dialéctico. Las evidencias, modelos y confrontaciones, no son poca cosa, por el contrario, contienen chispazos de luz sobre el entendimiento del fenómeno de la convección y por ende del mecanismo que gobierna a la Tectónica y el vulcanismo intraplaca. Para comprobar esto, basta observar la escuela de pensamiento que en los últimos 20 años se ha opuesto a la convección “clásica” de circulación global (Foulger et al., 2005; 2022; Foulger, 2010).

Mientras la tomografía sísmica sigue siendo un importante “visualizador” de la dinámica del interior del manto, como se observa en la figura 3, una región de convergencia donde una litósfera oceánica se introduce (Figura 3A) y otra manifiesta una “anomalía térmica” (Figura 3B); es importante recalcar que, aún existen consideraciones que

es menester meditar. Por ejemplo, que las diferencias de las anomalías de velocidades (i.e., tonos de azules y rojos en las tomografías sísmicas) no son o representan lo mismo en todo el manto, debido al abrupto cambio mineralógico entre el manto superior e inferior, de polimorfos del olivino a ringwoodita, no permitiendo interpretar a los elementos que vemos en las anomalías como una o varias unidades continuas.

Existen tres modelos desde los 2000s que sintetizan el conocimiento sobre la dinámica del interior de la Tierra: (1) el modelo de los “tres tipos de plumas” de Courtillot et al. (2003) (Figura 4a); (2) el modelo “Andersoniano” de Anderson et al. (2005) (Figura 4b); y (3) el modelo “Burkiano” de Torsvik et al. (2016) (Figura 4c). De estos tres modelos, los últimos dos conforman los dos bandos en discusión, aquellos que soportan la idea de una circulación local dominada en el manto superior, y los que apoyan sus evidencias en la circulación global de la convección del manto, respectivamente. Asimismo, podríamos decir que mientras las evidencias geológicas y geoquímicas soportan más la idea una convección solo en

el manto superior, los datos arrojados por la geofísica se inclinan más por la circulación global que incluye a todo el manto.

El modelo “Burkiano” parece soportar mejor las robustas evidencias geofísicas que van desde las tomografías sísmicas hasta las reconstrucciones de las placas principales con base en un marco de paleomagnetismo (Torsvik et al., 2016). Pero, en donde este modelo encuentra sus limitantes, el modelo Andersoniano parece ser más flexible y resolver los casos tectónicos más complicados, tal es el caso de Islandia, que es considerado un hotspot, pero las evidencias geofísicas no dan tal sustento, concluyéndose un modelo “personalizado” que explique las distintas evidencias geológicas y geofísicas dentro de un marco tectónico (Foulger et al., 2022). Esto nos muestra algo evidente, que la balanza de los modelos tendrá contrapesos dependiendo del sitio de estudio, e incluso de su historia tectónica; porque, lo que podría

explicarse en una placa con un modelo Burkiano, para cierto periodo de tiempo geológico, podría explicarse con un modelo Andersoniano, como el vulcanismo intraplaca producido en Yellowstone (Christiansen et al., 2002; Yuan et al., 2005).

El equilibrio entre los modelos Burkiano y Andersoniano, o un modelo híbrido o articulado, o la evolución de uno a otro dentro de un mismo escenario tectónico, podría explicarse bajo la sencilla consideración de que las condiciones físicas del manto no han sido las mismas durante el Fanerozoico, y mucho menos para el Proterozoico y Arqueano (van Hunen, 2019). Esto nos hablaría de que cabría la posibilidad de que en algún periodo del Fanerozoico el manto pudo haber tenido la dinámica de una convección global sin las diversas capas límites térmicas o composicionales que hoy en día tiene. En otras palabras, actualmente, quizá las plumas del manto no sean del todo observables o justificables, pero ¿y

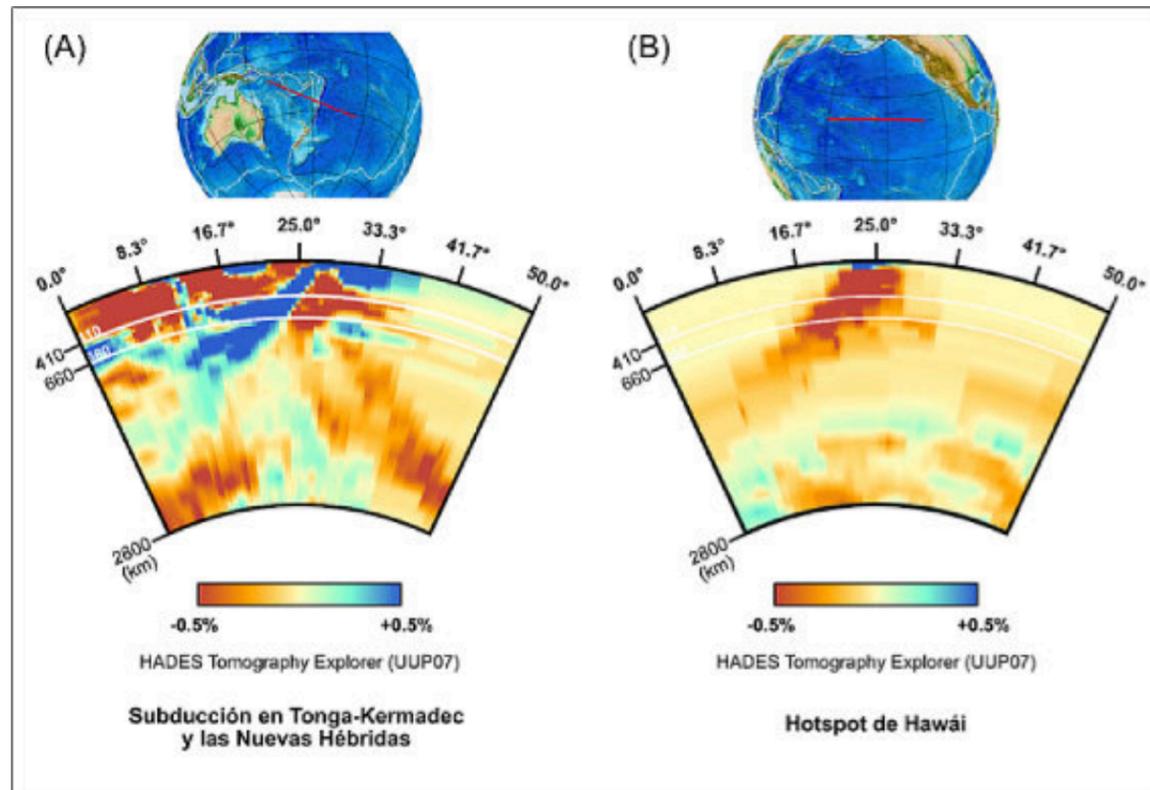


Figura 3. Tomografías sísmicas del manto mostrando las regiones del (A) límite convergente de Tonga-Kermadec y las Nuevas Hébridas, y el (2) hotspot de Hawái; estos, a partir del software en línea de “Hades underworld explorer” (<https://www.atlas-of-the-underworld.org/>). Las proyecciones ortográficas en la parte superior muestran la ubicación del perfil de 50° de arco de cada tomografía sísmica.

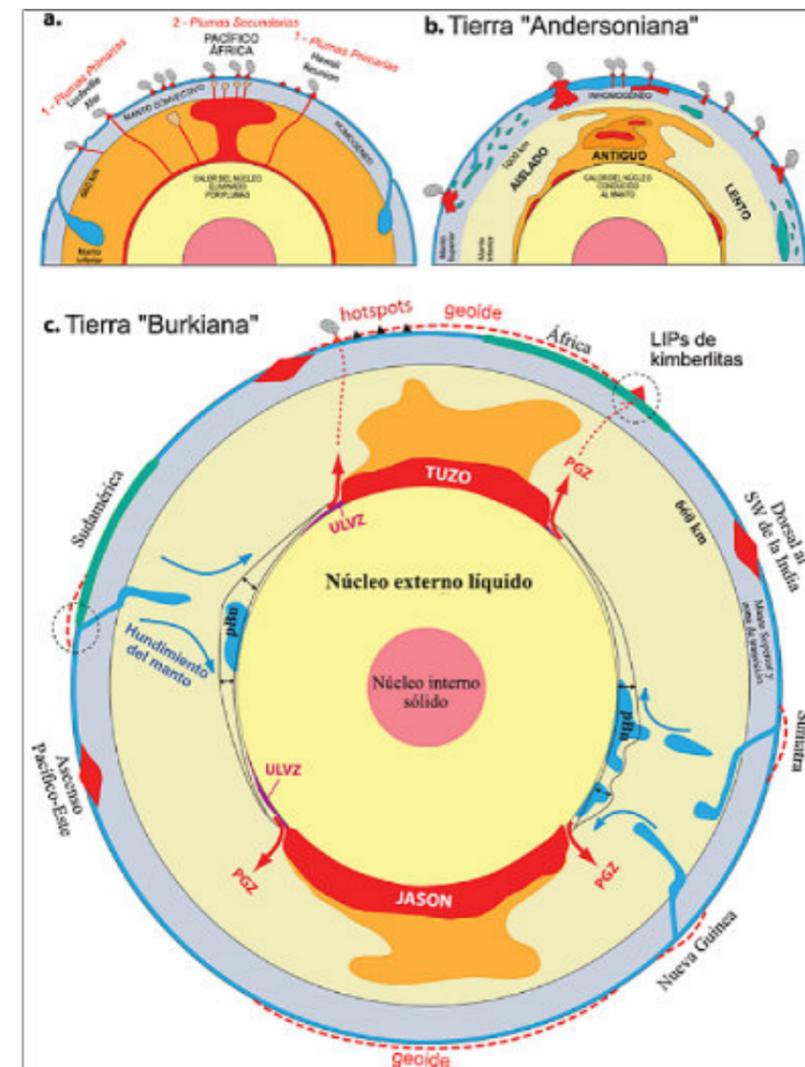


Figura 4. Dinámica del interior de la Tierra de acuerdo a (a) Courtillot et al. (2003), con tres tipos de hotspots (1) plumas primarias provenientes del manto profundo, (2) plumas secundarias provenientes de la interfaz manto superior-inferior, (3) hotspots superficiales Andersonianos. (b) La Tierra Andersoniana donde el manto inferior y superior no tienen conexión y los hotspots son de origen superficial. (c) El modelo de la Tierra Burkiana, una Tierra de grado dos, gobernada por las dos pilas termoquímicas antipodales de Tuzo y Jason, de las que proceden las plumas del manto en sus bordes. Las regiones rojas y anaranjadas indican regiones más calientes, respectivamente, que el resto del manto amarillo. pBn: post-bridgmenita; ULVZ: ultra-low velocity zones. Imagen modificada y traducida de Torsvik et al. (2016).

si para el Proterozoico o inicios del Fanerozoico si fueron un fenómeno preponderante en la dinámica del interior de la Tierra y aún quedan remanentes de está dinámica?

### Conclusión

El tema de la convección del manto sigue en la mesa de debate. La acumulación de datos geológicos y geofísicos siguen proveyendo “tela que cortar”, tanto para el bando del modelo Burkiano, como del modelo Andersoniano. Mientras se ajustan conceptos y evidencias de un modelo u otro, la convección del manto en algunas partes de la Tierra parece explicar diversos fenómenos tectónicos, ya sea bajo el caso de circulación global, o bajo el flexible modelo de circulación local, esto es, que sólo involucra al manto superior. Pero, como en todas las revoluciones científicas, hay detractores de las teorías. No obstante, algunas regiones del planeta posiblemente sean la pieza clave para proponer un modelo híbrido o articulado entre los modelos Burkiano y Andersoniano, dándonos una fresca idea de una convección del manto que gobierna en el espacio y el tiempo a la Tectónica y el vulcanismo intraplaca.

### Referencias citadas.

- Anderson, D. L. (2001). Top-Down Tectonics? *Science*, 293, 2016–2018. <https://doi.org/10.1126/science.1065448>
- Bercovici, D., & Mulyukova, E. (2021). Mantle Convection. In H. K. Gupta (Ed.), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics* (pp. 1059–1079). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58631-7\\_130](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58631-7_130)
- Burke, K. (2011). Plate Tectonics, the Wilson Cycle, and Mantle Plumes: Geodynamics from the Top. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39(1), 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-040809-152521>
- Christiansen, R. L., Foulger, G. R., & Evans, J. R. (2002). Upper-mantle origin of the Yellowstone hotspot. *GSA Bulletin*, 114(10), 1245–1256. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2002\)114<1245:UMOOTY>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2002)114<1245:UMOOTY>2.0.CO;2)
- Davies, G. F. (2022). *Stories from the Deep Earth* (1st ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91359-5>
- Dietz, R. S. (1961). Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor. *Nature*, 190(4779), 854–857. <https://doi.org/10.1038/190854a0>

- Dilek, Y., & Furnes, H. (2014). Ophiolites and Their Origins. *Elements*, 10(2), 93–100. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.2.93>
- Downes, H. (2021). Ultramafic Rocks. In D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 69–75). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12478-9>
- Foulger, G. R. (2010). *Plates vs. Plumes: A Geological Controversy*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444324860>
- Foulger, G. R., Gernigon, L., & Geoffroy, L. (2022). Icelandia. In *In the Footsteps of Warren B. Hamilton: New Ideas in Earth Science*. Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2021.2553\(04\)](https://doi.org/10.1130/2021.2553(04))
- Foulger, G. R., Hamilton, L. C., Jurdy, D. M., Stein, C. A., Howard, K. A., & Stein, S. (Eds.). (2022). *In the Footsteps of Warren B. Hamilton: New Ideas in Earth Science*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE553>
- Foulger, G. R., Natland, J. H., Presnall, D. C., & Anderson, D. L. (2005). *Plates, plumes and paradigms*. Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/SPE388>
- Frankel, H. R. (2012). *The Continental Drift Controversy: Volume 1: Wegener and the Early Debate* (Vol. 1). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9780511842368>
- Garnero, E. J., Thorne, M. S., McNamara, A., & Rost, S. (2007). Fine-Scale Ultra-Low Velocity Zone Layering at the Core-Mantle Boundary and Superplumes. In D. A. Yuen, S. Maruyama, S.-I. Karato, & B. F. Windley (Eds.), *Superplumes: Beyond Plate Tectonics* (pp. 139–158). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5750-2_6)
- Grand, S. P., Hilst, R. D. van der, & Widiyantoro, S. (1997). High resolution global tomography: a snapshot of convection in the Earth. *Geological Society of America TODAY*, 7(4). [https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7573#.X\\_f7dv-g1Ro.mendeley](https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/7573#.X_f7dv-g1Ro.mendeley)
- Hess, H. H., Engel, A. E. J., James, H. L., & Leonard, B. F. (1962). History of ocean basins. In A. E. J. Engel, H. L. James, & B. F. Leonard (Eds.), *Petrologic Studies: A volumen in honor of A. F. Buddington*. The Geological Society of America. <https://doi.org/10.1130/Petrologic.1962.599>

- Holmes, A. (1928). Theory of Continental Drift: a Symposium on the Origin and Movement of Land Masses, both Inter-Continental and Intra-Continental, as proposed by Alfred Wegener. *Nature*, 122(3073), 431–433. <https://doi.org/10.1038/122431a0>
- Karato, S.-I. (Ed.). (2013). *Physics and Chemistry of the Deep Earth*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118529492>
- McCoy, T. J. (2021). Meteorites. In D. Alderton & S. A. Elias (Eds.), *Encyclopedia of Geology (Second Edition)* (pp. 174–184). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11841-X>
- Morgan, W. J. (1971). Convection Plumes in the Lower Mantle. *Nature*, 230(5288), 42–43. <https://doi.org/10.1038/230042a0>
- Torsvik, T. H., Steinberger, B., Ashwal, L. D., Doubrovine, P. v., & Trønnes, R. G. (2016). Earth evolution and dynamics—a tribute to Kevin Burke. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 53(11), 1073–1087. <https://doi.org/10.1139/cjes-2015-0228>
- Torsvik, T. H., van der Voo, R., Doubrovine, P. v., Burke, K., Steinberger, B., Ashwal, L. D., Trønnes, R. G., Webb, S. J., & Bull, A. L. (2014). Deep mantle structure as a reference frame for movements in and on the Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24), 8735. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318135111>



**Bernardo García-Amador** obtuvo su doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM en 2024. Su geo-pasión es entender la evolución tectónica de Centroamérica, así como del sur y este de México antes, durante y posterior a la fragmentación de Pangea. Además imparte el curso de tectónica en la Facultad de Ingeniería

- Turcotte, D., & Schubert, G. (2014). *Geodynamics* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511843877>
- van Hunen, J. (2019). Onset and Evolution of Plate Tectonics: Geodynamical Constraints. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10861-9>
- van Keken, P. E., Hauri, E. H., & Ballentine, C. J. (2002). Mantle Mixing: The Generation, Preservation, and Destruction of Chemical Heterogeneity. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 30(1), 493–525. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.30.091201.141236>
- Vine, F. J., & Matthews, D. H. (1963). Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature*, 199(4897), 947–949. <https://doi.org/10.1038/199947a0>
- Wegener, A. (1912). Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4), 276–292. <https://doi.org/10.1007/BF02202896>
- Yuan, H., & Dueker, K. (2005). Teleseismic P-wave tomogram of the Yellowstone plume. *Geophysical Research Letters*, 32(7). <https://doi.org/10.1029/2004GL022056>

### Páginas de internet citadas y recomendadas.

- <https://www.atlas-of-the-underworld.org/>
- <http://www.mantleplumes.org/>
- <https://www.iodp.org/>

de la UNAM. Bernardo ha publicado parte de su trabajo de doctorado en las revistas *Tectonics* y *Tectonophysics*, además de ser coautor de otros artículos científicos de distintos proyectos.

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



**It is not the mountain we conquer, but ourselves.**

*Edmund Hillary*



Moon rising over Zion National Park about 20 miles away. Photo with a 500mm lens. The Moon is sitting on top of a Jurassic-age Navajo Sandstone peak with the Triassic-age Moenkopi and Chinle formations in the foreground butte, Utah. Photo by **Quinn Passey**.

Property	Value
<b>Camera</b>	
Camera maker	NIKON CORPORATION
Camera model	NIKON Z 7_2
F-stop	f/8
Exposure time	1/640 sec.
ISO speed	ISO-800
Exposure bias	+0.3 step
Focal length	500 mm
Max aperture	
Metering mode	Center Weighted Average
Subject distance	
Flash mode	No flash
Flash energy	
35mm focal length	500
<b>Advanced photo</b>	
Lens maker	NIKON
Lens model	AF-S NIKKOR 500mm f/5.6...
Flash maker	



*Benioff Siempre*

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

**Eres estudiante 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 GEOLÓGICAS

## ANÁLISIS FORENSE DEL TERREMOTO DEL OCHO DE FEBRERO EN LA TRINCHERA DE CAIMÁN

Enrique D. Arango Arias <sup>(1)</sup>, Manuel A. Iturralde-Vinent <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI), <sup>2</sup> Academia de Ciencias de Cuba y Empresa CITMATEL.

*El 8 de febrero de 2025, la red de estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano registraron un terremoto a las 18.23 hora local, cuyo foco (hipocentro) fue localizado a una profundidad de 10 km, en las coordenadas 17.44° N, -82.50° W; unos 210 kilómetros al suroeste de Islas Caimán y 440 km al sur de la Isla de la Juventud. Magnitud Mw 7.6 grados. El evento de 15.5 segundos de duración, fue reportado como perceptible en las Islas Caimán, Honduras y en Cuba centro-occidental, desde Pinar del Río hasta Cienfuegos.*

**Palabras clave:** earthquake, tsunami, extreme waves, Caribbean, geohazard prevention.

### Introducción

Los conocimientos que tenemos de la geodinámica regional del Caribe evidencian que un gran número de sismos ocurren en la costa sur de Cuba oriental y a lo largo de la trinchera del Caimán, asociados a las fallas de deslizamiento por el rumbo siniestras: Motagua (Islas Swan) y Oriente, que sirven de límite entre las placas de Norteamérica y Caribe. El desplazamiento de la placa Caribe ocurre hacia el Este, a una velocidad de unos ~2 cm/año, con respecto a la placa Norteamericana. En este ensayo se realiza una valoración del evento del 8 de febrero pasado y las reacciones subsecuentes, a fin de obtener una experiencia positiva de valor para el futuro.

Según los reportes no ha habido afectaciones en las construcciones de George Town y otras ciudades de las Islas Caimán, pero la agencia de gestión de riesgos de estas islas instó a los residentes ubicados cerca de la costa a trasladarse tierra adentro y a terrenos más elevados, pues pudieran esperarse olas de hasta un metro de alto. Más tarde el gobierno publicó en su página de Facebook que el peligro había pasado. Por su parte, el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis de Estados Unidos (IUGS)

reportó que no había alerta de tsunami para el territorio continental de Estados Unidos, pero emitió un aviso preventivo de tsunami para Puerto Rico y las Islas Vírgenes, el cual fue cancelado poco después. El sonido de las alarmas en la región noroeste de Puerto Rico hizo que la gente abandonara las zonas costeras y provocó un intenso tráfico, según los medios locales, aunque el gobierno de Puerto Rico emitió un comunicado donde no se recomendaba abandonar la costa, ya que estaban monitoreando el evento. Por su parte, el gobierno dominicano también emitió una alerta de tsunami y recomendó a los residentes en la costa trasladarse a lugares a más de 20 metros sobre el nivel del mar y 2 kilómetros tierra adentro. Pero después canceló la alerta. Las autoridades hondureñas indicaron que se sintió muy fuerte, aunque sin reportes de daños, pero instaron a sus residentes a mantenerse alejados de las playas del Caribe.

En Cuba se emitió un boletín de sismo perceptible donde se informó que no se reportaron daños materiales ni afectaciones a la salud humana, aunque hubo oscilaciones perceptibles sobre todo en edificios altos desde Pinar del Río hasta Cienfuegos. Asimismo, se indicó que no había peligro de tsunami.

No obstante, el aviso de la IUGS provocó muchas reacciones en los medios sociales de corte sensacionalista, replicadas por personas poco conocedoras de la temática, urgiendo a todos a protegerse de un gran tsunami, creando así cierta alarma, pero no se molestaron en desmentirlo oportunamente. Por esta razón en Cuba los especialistas del CENAI debieron aclarar la verdadera situación por varios medios de comunicación y redes sociales, recalcando que la probabilidad de ocurrencia de un tsunami era casi nula.

En los párrafos siguientes analizaremos algunos detalles científico-técnicos vinculados al terremoto del pasado ocho de febrero, tanto para que sirvan de cultura general, como para extraer enseñanzas para el futuro.

### El estudio de los sismos

Cuando ocurre un sismo los sistemas automáticos calculan su magnitud, posición, profundidad del foco, y el mecanismo que lo provocó. Estos resultados a menudo son revisados por los expertos antes de publicarlos, sobre todo si se trata de un sismo de gran magnitud. Los programas de computación que realizan esos cálculos son alimentados por los registros de las estaciones sismológicas conectadas por internet. Para este propósito existe una red mundial, y se establecen redes regionales y

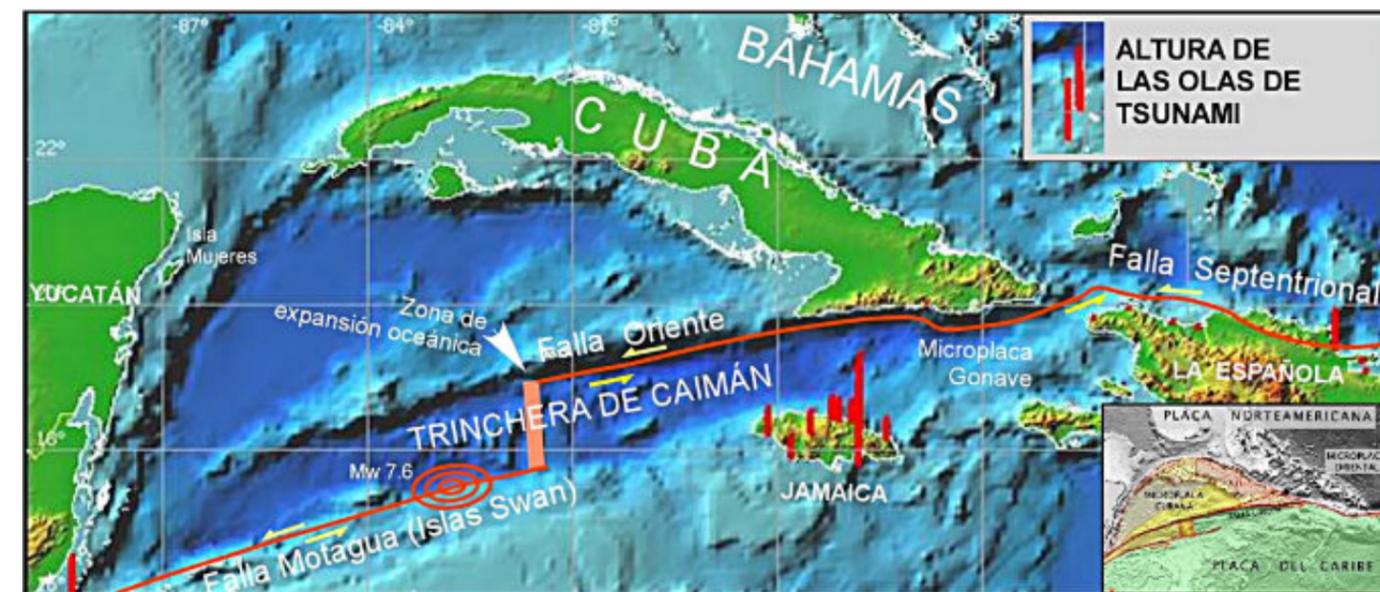


Figura 1. Mapa de la posición del sismo del 8 de febrero de 2025. Las líneas rojas verticales reflejan la altura de las olas de tsunami conocidas históricamente.

locales. Cuba tiene su propia red nacional conectada al centro de procesamiento en Santiago de Cuba. Este centro publica un parte sismológico diario y un boletín especial cada vez que ocurre un sismo perceptible.

Es conocido que la magnitud de un sismo es una medida de la energía liberada por el mismo, cuando la rugosidad de la superficie de falla acumula energía que es liberada bruscamente en la profundidad al romperse en enlace entre las paredes de la fractura. En el caso que nos ocupa, por tratarse de un sismo localizado lejos de la isla de Cuba, la red de estaciones locales pudo establecer la posición y profundidad del foco, pero no tuvo la posibilidad de determinar con precisión el grado de magnitud, que el Servicio Geológico de los Estados Unidos definió como Mw 7.6, tomando como base los registros de un amplio conjunto de estaciones situadas en diversas partes del mundo. Tomando en cuenta la posición del foco (hipocentro), se pudo conocer que el mismo estaba vinculado al límite de placas del Caribe (Fig. 1).

La siguiente tarea fue la determinación del mecanismo de la fuente de las ondas elásticas generadas por el terremoto. Este evento estuvo provocado por un desgarramiento de la falla "Motagua (Islas Swan)", que está localizada a lo largo del límite meridional de la trinchera de Caimán. Aunque comúnmente los epicentros se representan como puntos en los mapas, en realidad los terremotos de este tamaño se provocan un deslizamiento que abarca una parte del plano de la falla, el cual puede abarcar varios kilómetros. El desgarre sismo-generador del día ocho, según los cálculos, se originó a 10 kilómetros

de profundidad debajo del fondo de la trinchera de Caimán, dentro de un tramo de unos 60 kilómetros a lo largo de la fractura de deslizamiento por el rumbo, de tipo izquierda (siniestra) (Fig. 2). Es interesante destacar que este sistema de facturas siempre está en movimiento, como sugiere la actividad sísmica de baja energía que constantemente genera; pero en algunos tramos ocurren deformaciones locales que acumulan energía, las cuales al liberarse súbitamente desgarran el plano de deslizamiento en algún lugar y así se produce la liberación brusca de energía en forma de ondas elásticas.

Otra característica que se pudo establecer es que el plano de la fractura tuvo cierta inclinación hacia el sur, lo que provocó un descenso menor del fondo de la trinchera (Fig. 2).

La historia recoge la ocurrencia de varios sismos importantes a lo largo de este límite de placas, de manera que estos no pueden ser inesperados. Diez terremotos de  $M > 7.0$  han ocurrido a menos de 250 km del epicentro del terremoto del 8 de febrero de 2025. Entre ellos se pueden mencionar el M7.5 del 10 de enero de 2018, con un mecanismo similar, el que estuvo acompañado de un pequeño tsunami (Fig. 3) que fue sentido también en edificios del occidente del país.

Afortunadamente estos terremotos no han provocado daños de consideración, a pesar de haberse sentido en las áreas pobladas, lo cual se debe a que sus focos se localizaron lejos de las islas, en el fondo del mar, a decenas y cientos de kilómetros de las áreas pobladas. Sin

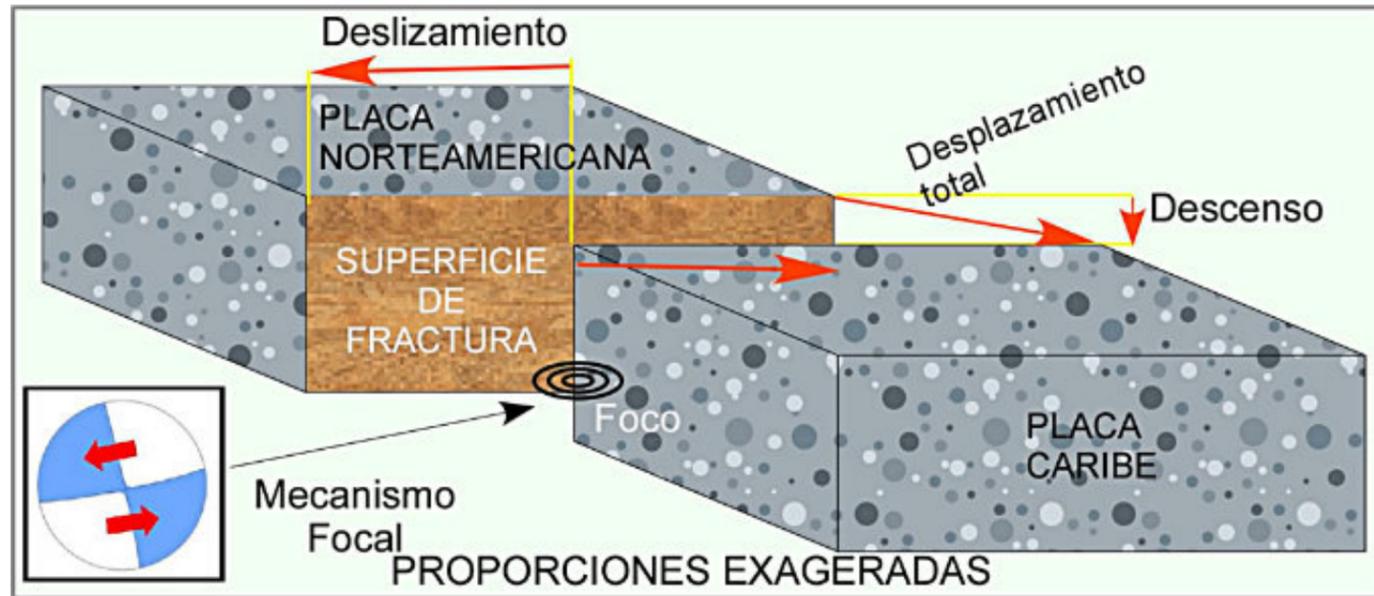


Figura 2. Croquis de las características de la falla sismogeneradora Motagua (Isla Swan), con deslizamiento izquierdo (sinistro) por el rumbo y un ligero componente vertical.

embargo, constituyen una posible fuente de tsunamis, peligro que se examina más adelante.

Es muy frecuente que un sismo fuerte sea sucedido por la ocurrencia de varias réplicas, que en definitiva son eventos asociados a la zona de ruptura, por lo general de menor energía, probablemente debido a que el desgarramiento brusco en la falla afectó otras zonas de deformación cercanas, las que sucesivamente se van

desgarrando y liberando su energía. Este mismo fenómeno se puede reflejar en comarcas muy alejadas del evento principal, por eso cuando ocurre un terremoto de gran magnitud en una localidad, es frecuente que sea sucedido por otros sismos fuertes en áreas lejanas, pues, a fin de cuentas, toda la litosfera terrestre está vinculada por un complejo de fallas y placas tectónicas que conforman un sistema planetario.

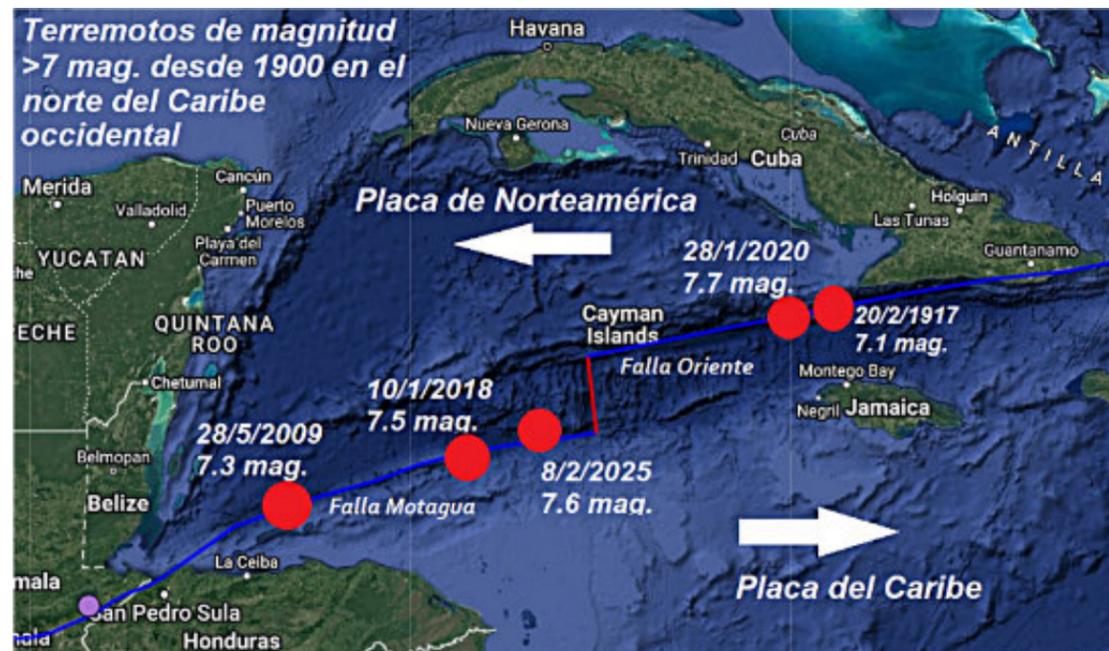


Figura 3. Registro histórico de sismos M>7 registrados a lo largo del límite de placa, al sur de Cuba (Cortesía CENAI).

**Tsunamis**

Un tsunami es un tren de olas que se desplaza a velocidades de 500-700km/h por la superficie del mar. Cerca del lugar de origen y en mar abierto, la amplitud de las olas es muy baja, de manera que son apenas detectables, para lo cual se han diseñado boyas especiales. Sin embargo, al llegar a las costas donde se reduce la profundidad del mar, estas olas ganan en amplitud y en algunos casos se elevan hasta más de 30 metros, y penetran varios kilómetros costa adentro a mucha menor velocidad. De hecho, son fenómenos muy peligrosos, aunque ocurren raramente.

Los tsunamis pueden originarse a consecuencia de erupciones volcánicas marinas, deslizamientos submarinos de terreno y terremotos. Los de origen volcánico pudieran formarse entre los límites del archipiélago volcánico activo de las Antillas menores. Los provocados por terremotos pueden formarse en cualquiera de los límites de fallas en el Caribe, pero los más peligrosos se vinculan a fallas llamadas de subducción, presentes en la fosa de las Antillas Menores y a lo largo de la fosa de Puerto Rico (Fig. 4). Los tsunamis ocasionados por deslizamientos son menos frecuentes y a menudo de menor peligrosidad, pero no se pueden pasar por alto.

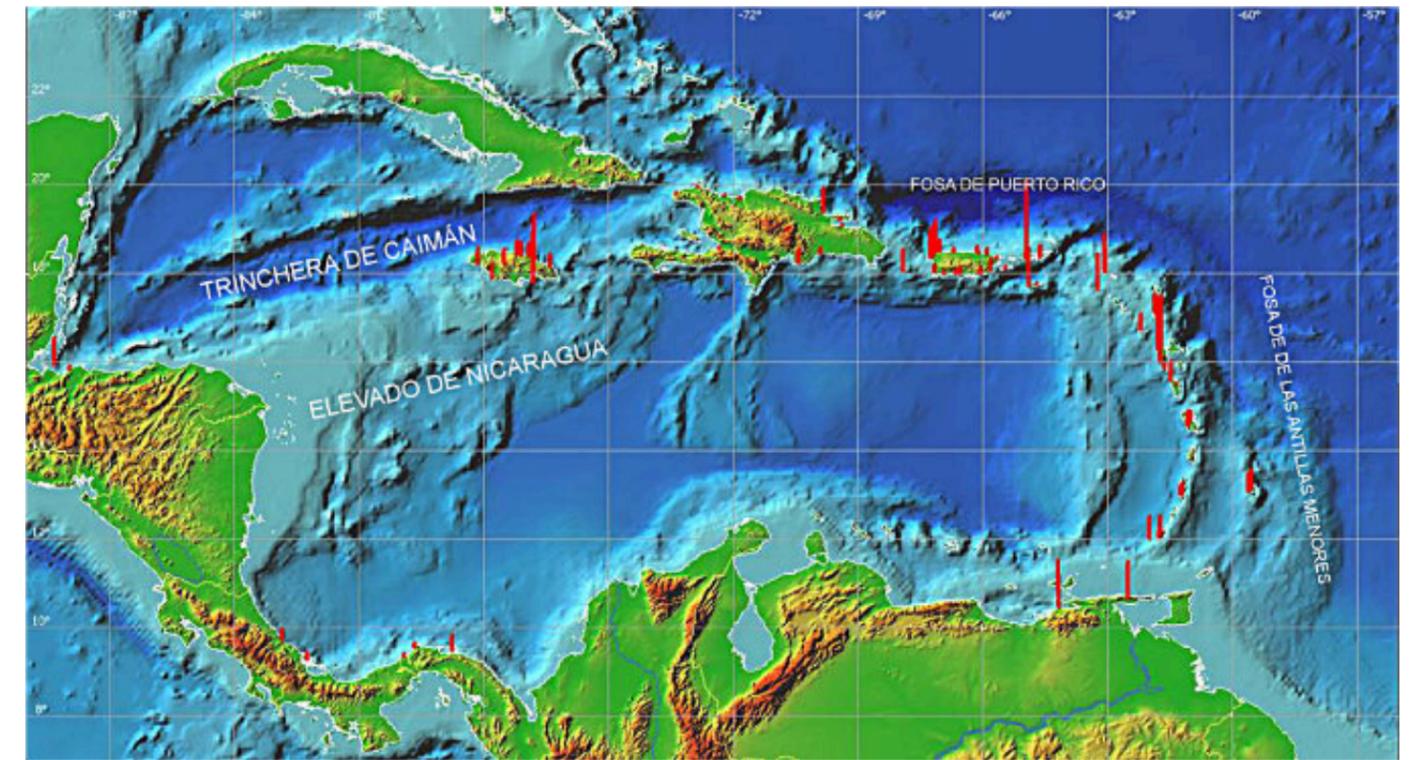


Figura 4. Mapa de los principales tsunamis conocidos en el Caribe. El alto de la barra roja vertical depende de la altura de la ola.

Mediante los análisis más detallados del mecanismo de desgarre en la falla, se estableció que el desplazamiento fue >90% siniestro (izquierdo), con una pequeña caída vertical por el plano de falla inclinado 85 grados hacia el sur. Este desplazamiento podía haber generado un efecto "pistón" sobre el fondo marino, que produjera una rizada sismogénica de la superficie marina, pero es muy probable que dicha rizada se hubiese propagado hacia el sur. Pero no hay pruebas de que tal posibilidad se haya realizado, pues el análisis de los registros de los mareógrafos activos en el Caribe, permitió determinar que

no hubo ninguna ola de tsunami después del sismo ocurrido a las 18.23 hora local.

Sin embargo, el mareógrafo de Islas Mujeres, situado a unos 610 km del epicentro, detectó una rizada del mar con una altura de 0.11 metros sobre el nivel de la marea, en la costa de Yucatán. Sorpresivamente, algunos medios afirmaron que este evento tenía relación con el terremoto de Caimán, pero esto es imposible, pues se detectó a las 18.17 hora local, es decir, antes que ocurriera el sismo. Unos buzos, trabajando al sur de la Isla de la Juventud, también reportaron una rizada de oleaje inusual a las

09.00 hora local, mucho antes del terremoto. Es obvio que estas pequeñas rizaduras de oleaje no se pueden definir como un tsunami, ni están asociadas al terremoto de Caimán, de manera que constituyen una curiosa incógnita que los estudiosos deben analizar.

Existe una posibilidad, hasta ahora totalmente especulativa, de que dichas rizaduras hayan sido provocadas por algún deslizamiento submarino. Tal eventualidad se fundamenta en la morfología de las márgenes del Caribe, donde existen paredes bastante abruptas de cientos y miles de metros de alto, con fuertes taludes verticales; por ejemplo, a lo largo del margen este de Yucatán, el talud insular al sur de Cuba, en las paredes de la trinchera de Caimán, en el límite meridional de la cresta de Nicaragua y en la hoya de Puerto Rico. En estas condiciones, el desarrollo de un deslizamiento es

perfectamente posible, posible (Schwab y otros 1991, Watts, 2002), pues de hecho existen marcas que sugieren su ocurrencia en el pasado, tales como “anfiteatros de deslizamiento” y acumulación de bloques al pie de los taludes (Schwab y otros 1991).

**Peligro de tsunami**

La ocurrencia de tsunamis, algunos bastante destructivos, se conoce en el área mesoamericana, aunque desafortunadamente, faltan registros aceptables de Cuba, lo cual ha generado distintas opiniones al respecto. En las riveras del Caribe se han reportado pérdidas materiales y humanas a causa de tsunamis, tanto en Jamaica como en Haití, República Dominicana, Puerto Rico, Islas Vírgenes y Venezuela. En la tabla adjunta sólo se registran aquellos que han sido verificados (Tabla 1).

Año	País	Muertos
1571	República Dominicana	?
1571	Norte Haití	?
1571	Sur La Española	?
1690	Islas Vírgenes	?
1692	Sur Jamaica	2 000
1751	Sur La Española	?
1755	Sur Haití	?
1755	La Española	?
1755	La Española	?
1780	Jamaica	10
1842	Norte La Española	5 000
1853	Venezuela	> 600
1860	Norte Española	?
1867	Islas Vírgenes	23
1882	Panamá	> 75
1883	Islas Vírgenes	?
1887	Sur Haití	?
1906	Jamaica	500
1907	Sur Jamaica	?
1918	Norte Puerto Rico y La Española	140
1918	Norte Puerto Rico	75
1946	Norte Puerto Rico, República Dominicana	1790
1946	Norte Puerto Rico,	75
1969	Antillas Menores	?
1976	Golfo de Honduras	?
1985	Antillas Menores	?
1989	Sur Puerto Rico	?
1997	Antillas Menores	?
2010	República Dominicana	7

Tabla 1. Principales tsunamis en el Caribe y pérdidas de vida humanas (Rubio 1982; Shubert 1994; Cotilla 2011; Arango 2015; Lander y otros 2002), Lander y otros 2002; Watts 2002).

El análisis previo demuestra que existe el peligro latente de impacto de olas de tsunami en las poblaciones costeras del Caribe, de modo que debe seguir prestándosele la debida atención a esta temática. Sin embargo, los tsunamis no son la única fuente de peligro en las costas, pues a estos hay que añadir las inundaciones y los eventos de oleaje extremo. Al respecto es interesante señalar que, en las costas rocosas de las Bahamas, Cuba y otras islas del Caribe, se encuentran bloques rocosos expulsados por el mar por eventos de oleaje extremo, lo que constituye un peligro asociado a la acción del oleaje. Los bloques más grandes y abundantes se han observado en la costa sur (Iturralde-Vinent 2017, Matos-Pupo y otros 2023). Aunque la mayoría de estas pilas de bloques están relacionadas a huracanes, marea extrema y frentes fríos, no se puede excluir que algunos hayan sido arrojados por olas de tsunami en el pasado. En cualquier caso, en

independencia de su origen, la presencia de acumulaciones de bloques rocosos en las costas significa un peligro adicional con potencialidad destructiva, como ilustra el ejemplo del hotel Barracuda en Playa Siboney, Santiago de Cuba (Pedoja y otros 2023).

El servicio sismológico cubano ha elaborado un informe pronóstico sobre el peligro de tsunami en Cuba. Según Arango (2015), en Cuba hay tres zonas de mayor peligrosidad (Fig. 5): 1-la región del norte de La Española a Puerto Rico donde hay un sistema de fallas activas tsunamigénicas (inversas y de desplazamiento por el rumbo); 2. la región situada entre el sur de Cuba oriental, Jamaica y La Española, donde hay condiciones para la ocurrencia de grandes deslizamientos submarinos; y 3. la costa y cayos del norte de Cuba que pudiera recibir el impacto de olas de tsunamis generadas por terremotos originados en el norte del Caribe.

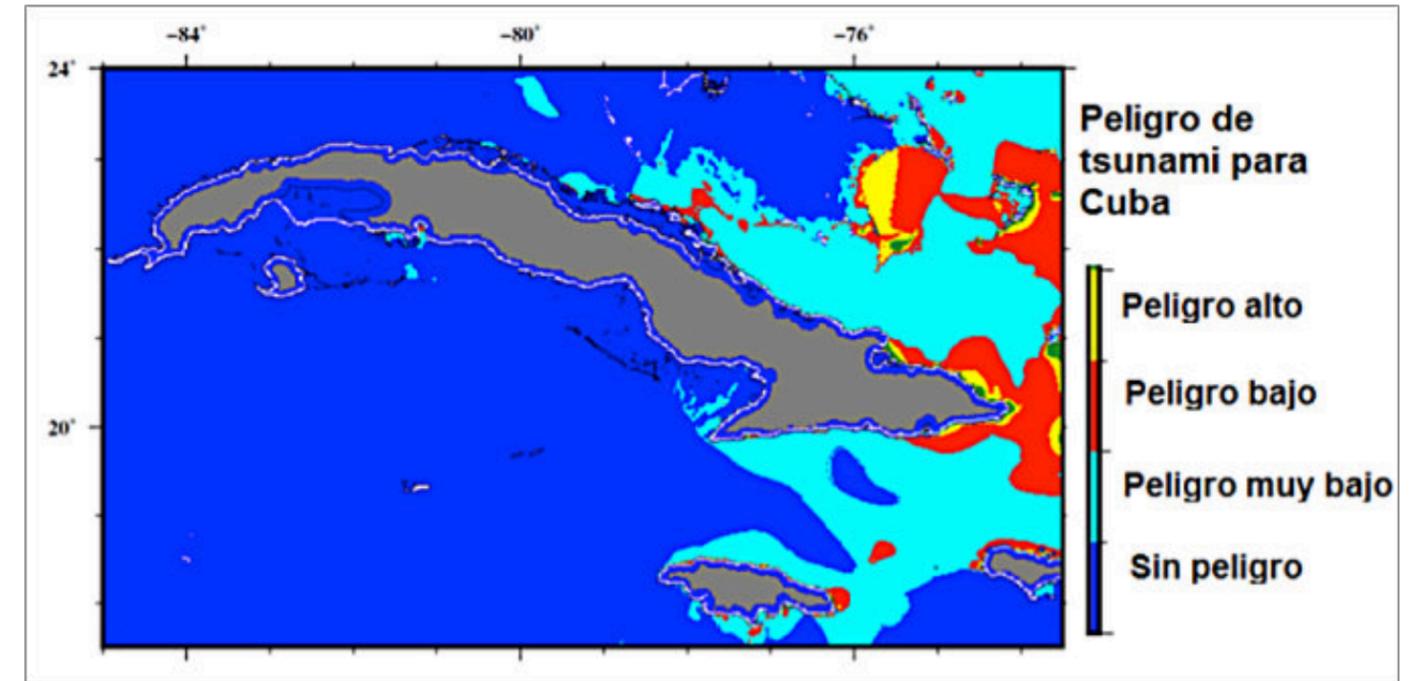


Figura 5. Mapa pronóstico de peligro de tsunami según Arango (2015).

**Peligro de oleaje extremo**

El análisis previo demuestra que existe el peligro latente de impacto de olas de tsunami en las poblaciones costeras del Caribe, de modo que debe seguir prestándosele la debida atención a esta temática. Sin embargo, los tsunamis no son la única fuente de peligro en las costas, pues a estos hay que añadir las inundaciones y los eventos de oleaje extremo por otras causas. Al respecto es interesante señalar que, en las costas rocosas de las Bahamas, Cuba y otras islas del Caribe, se encuentran

bloques rocosos expulsados por el mar por eventos de oleaje extremo, lo que constituye un peligro asociado a la acción del oleaje. Los bloques más grandes y abundantes se han observado en la costa sur de Cuba y en las islas al norte de Venezuela (Iturralde-Vinent 2017, Matos-Pupo y otros 2023). Aunque la mayoría de estas pilas de bloques están relacionadas a huracanes, marea extrema y frentes fríos, no se puede excluir que algunos hayan sido arrojados por olas de tsunami en el pasado. Sobre esta base Matos-Pupo y otros (2023) consideran que se deben estudiar en mayor detalle, para distinguir los modernos de

aquellos que son producto de paleohuracanes y paleotsunamis.

El mapa de la figura 6 muestran las costas con huracanólitos agrupados en dos tamaños, así como las escarpas submarinas con taludes abruptos que rodean a

Cuba. En cualquier caso, independiente de su origen, la presencia de acumulaciones de bloques rocosos en las costas significa un peligro adicional para las construcciones costeras, pues su capacidad destructiva queda ilustrada por el ejemplo del hotel Barracuda en Playa Siboney, Santiago de Cuba (Pedoja y otros 2023).

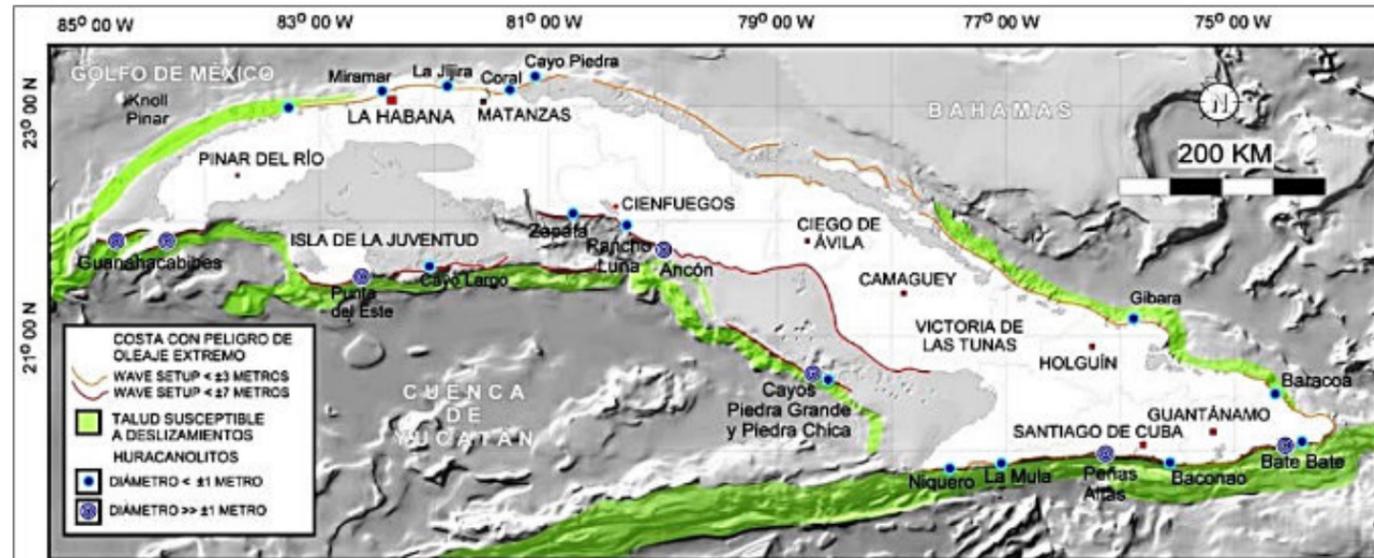


Figura 6. Mapa de las costas con peligro de oleaje extremo sobre la base de la presencia de huracanólitos (Adaptado de Iturralde-Vinent 1917).

### Alerta temprana

La posibilidad de emitir una alerta de tsunami en Cuba está posibilitada por la estrecha colaboración con el Centro de Alerta Temprana de Tsunamis del Caribe, y gracias a la posibilidad de acceder en internet a una serie de mareógrafos situados en distintas localidades dentro de este territorio. Hasta el momento en Cuba se ha colocado un mareógrafo de observación en tiempo real frente a la costa de Baracoa, conectado a la estación central del CENAI. Sin embargo, la existencia de tsunamis

### Conclusiones

El terremoto del 8 de febrero de 2025, de magnitud Mw 7.6, ocurrió en el fondo del mar, en la trinchera de Caimán, lejos de áreas pobladas, de modo que no provocó daños materiales ni pérdidas humanas, y aunque se emitió una alerta de tsunami que generó cierta alarma, después se comprobó que no ocurrió este evento.

Esto nos conduce a reflexionar sobre la necesidad de mantener los estudios sobre estos fenómenos, reforzar el sistema de alerta temprana y recabar la responsabilidad ciudadana para evitar la difusión de noticias no comprobadas. No debe prestarse atención a los

históricos en Jamaica y la costa sur de La Española y Puerto Rico, recomienda analizar la posibilidad de colocar otro mareógrafo en algún lugar frente a la costa meridional de Cuba.

En el ejemplo de Cuba, los reportes oficiales de alerta temprana son emitidos por el CENAI en coordinación con la Defensa Civil, quien tiene a su cargo el Sistema de Alerta de Tsunamis de la República de Cuba. Esta institución está enlazada al Centro Internacional de Alerta Temprana de Tsunami del Caribe, con base en Hawái.

“adelantados” que, con el fin de llamar la atención, promueven con prontitud las “últimas informaciones” sobre las más variadas temáticas, siempre con una dosis de alarmismo propio de las “exagertercias” (Noticias exageradas).

### Fuentes consultadas y referencias:

Arango Arias, E.D., 2015. Tsunamis. Causas y peligros para Cuba y el norte del Caribe. Memorias, Sexta Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, Congreso de Geología, (GEO 10-02), 1-8 pp. [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015\\_Arango\\_GEO10-02.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015_Arango_GEO10-02.pdf)

Cotilla Rodríguez, M. O., 2011. ¿Tsunamis en Cuba? Revista Física de la Tierra 23(2011): 173-197. [https://www.researchgate.net/publication/277834069\\_Tsunamis\\_en\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/277834069_Tsunamis_en_Cuba).

Iturralde-Vinent, M.A., 2017. Huracanólitos, eventos de oleaje extremo y protección de las obras costeras. Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba. 7(2): 4-10. [http://redciencia.cu/geobiblio/paper/2017\\_iturralde\\_huracanólitos\\_%20Anales-ACC.pdf](http://redciencia.cu/geobiblio/paper/2017_iturralde_huracanólitos_%20Anales-ACC.pdf)

Lander, J.F., Whiteside, L.S., y Lockridge, P.A., 2002. A brief history of tsunamis in the Caribbean Sea. Science of Tsunami Hazards, 20(2): 57-94.

Matos-Pupo, F., León-Brito, A., Seco-Hernández, R., Charles Peros, M. 2023. Distribución espacial de huracanólitos en las costas de Cuba. Minería y Geología, 39(1)1-14.

Pedoja, K., Dunán Avila, P., Jara-Muñoz, J., et al., 2023. On a 210 t Caribbean coastal boulder: The huracanólito seaward of the ruins of the Bucanero resort, Juragua, Oriente, Cuba. Earth Surface Processes Landforms. 1–17. DOI: 10.1002/esp.5682

Rubio M., 1982: Ocurrencia de tsunamis en el Caribe. CENAI. Investigaciones Sismológicas en Cuba, 2:170-180

Schwab W.C., Danforth, W.W., Scalon, K.M., Masson, D.G., 1991: A giant submarine slope failure on the northern insular slope of Puerto Rico. Marine Geology 96:237-246.

Shubert C., 1994. Tsunamis in Venezuela: Some observations on their occurrence. Journal of Coastal Research. Special Issue, 13, Coastal Hazards, 189. [https://www.researchgate.net/publication/277834069\\_Tsunamis\\_en\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/277834069_Tsunamis_en_Cuba)

Watts, P., 2002. The need for underwater landslide hazards prediction. Science of Tsunami Hazards, 20(2):95-101.

Weissert, T.P., 1990: Tsunami travel time charts for the Caribbean. Science of Tsunami Hazard, 8(2):67-78.

Portal del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, <https://cenais.cu>

Portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=-3.38182,-106.96289&extent=31.65338,-46.01074&baseLayer=satellite>

Portal del Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). <https://www.iris.edu/hq/>

Portal de la Red Sísmica de Puerto Rico <https://redsismica.uprm.edu>



**Enrique D. Arango Arias** es profesor titular e investigador, dirige el Servicio Sismológico Nacional de Cuba. del Centro Nacional de Investigaciones sismológicas. Ha realizado estudios de sismotectónica, sismicidad y peligro de tsunami del territorio cubano. Trabaja como asesor de la Defensa Civil Nacional en materia de peligro y riesgo sísmico. Ha trabajado en la preparación de las autoridades y población en la elevación de la percepción del riesgo sísmico.

Enrique D. Arango Arias is a professor and researcher, directs the National Seismological Service of Cuba. of the National Center for Seismological Research. He has carried out studies of sismotectonics, seismicity and tsunami danger in Cuban territory. He works as an advisor to the National Civil Defense on seismic danger and risk. He has worked to prepare the authorities and population to increase the perception of seismic risk.



**Manuel A. Iturralde-Vinent** is Academician Emeritus, Cuban Academy of Sciences and Senior scientist at "Information Technology and Advanced Telematic Services Company". He has carried on research in Caribbean Geology, Paleontology, Paleogeography and Hazards. Has many contributions to public education for risk reduction. Presently is Consulting on Geology and Geohazard prevention.

**THE UNUSUAL SPINOSE DEVONIAN GASTROPOD  
GENUS *SPINIPLATYCERAS***

**Robert B. Blodgett<sup>1</sup> and Howard R. Feldman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Consulting Geologist, 2821 Kingfisher Drive, Anchorage, Alaska 99502; email: robertbbloodgett@gmail.com; <sup>2</sup> Biology Department, Touro University, 227 W. 60th Street, New York, NY 10023; email: feldspar4@optonline.net

In this note we would like to draw further attention to the most highly unusual spinose gastropod genus *Spiniplatyceras* Blodgett and Frýda, 1999. The genus was established by its authors to encompass spinose platyceratid species restricted to Lower and Middle Devonian (Pragian-Givetian) interval, and primarily known from the southern side of the Laurussian continent (notably eastern North America, Nevada and a few

outliers in Germany. Platyceratid gastropods have attracted special attention in light of the complex symbiotic relationships they commonly exhibit, where they are often found atop crinoid calices and appear to have been engaged in parasitic behavior upon their hosts. Their highly ornate shell has long made members of *Spiniplatyceras* a highly valued prize amongst fossil collectors.

The ornate gastropods are a special focus of our study of Devonian macrofossils in the Hudson River Valley region. We welcome correspondence and photographs from parties finding these unusual “critters” in the course of their studies. The distribution of these spinose gastropods helps make them an invaluable player in constraining various paleogeographic reconstructions and putative routes of faunal migrations.

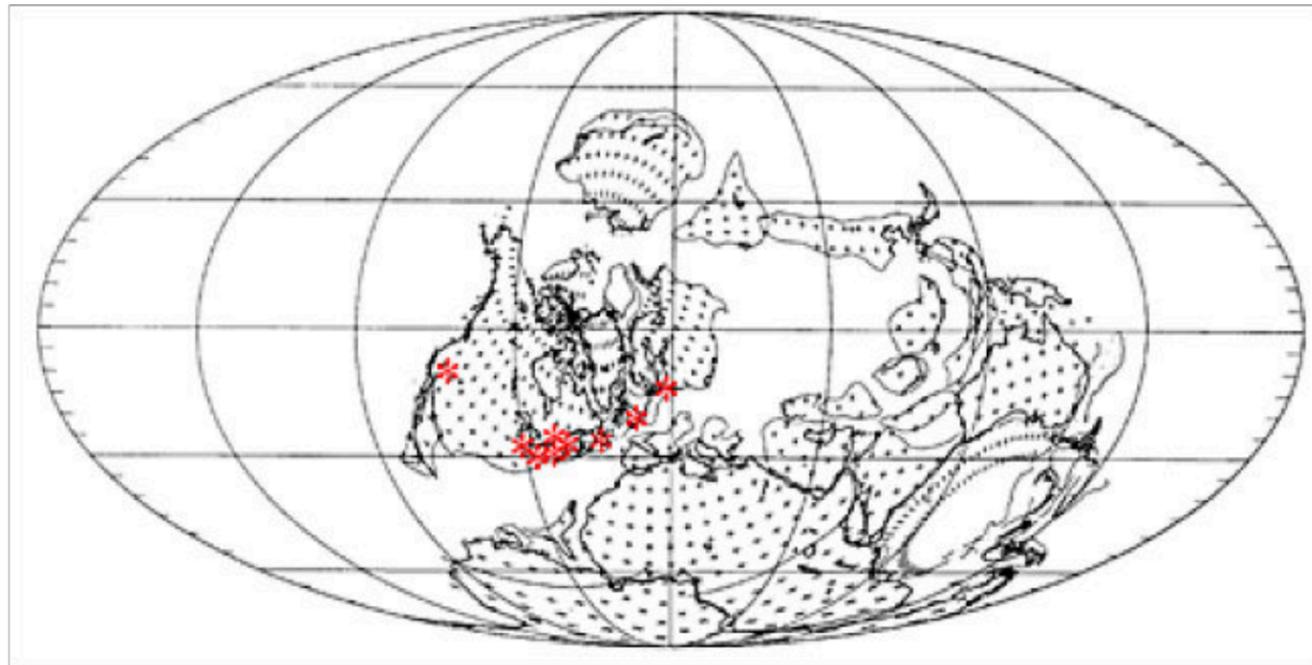


Figure 1. Distribution of the Pragian-Givetian age species of *Spiniplatyceras* Blodgett and Frýda, 1999 plotted on the paleogeographic map for the late Early Devonian (Emsian) of Scotese and McKerrow (1990). Note that this distribution is essentially limited to the southern side of the Laurussian continent.

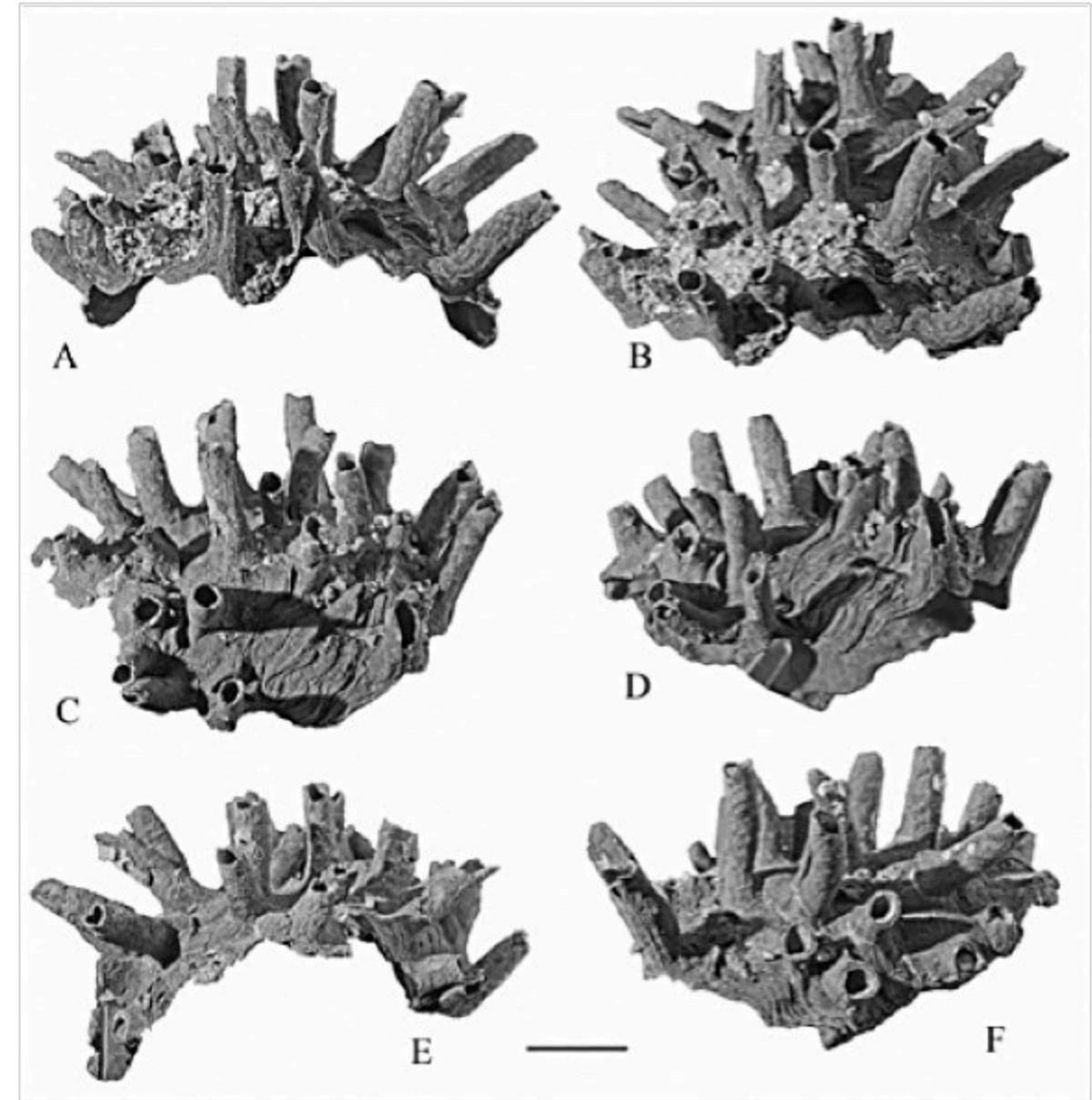


Figure 2. *Spiniplatyceras dumosum* (Conrad, 1840). A single large shell fragment (AMNH-FI 136549) from near the top of the Moorehouse Member of the Onondaga Limestone. Specimen shown in 6 differing lateral views. Scale bar = 10 mm (applies to all views). From Blodgett and Feldman (2021, fig. 4).

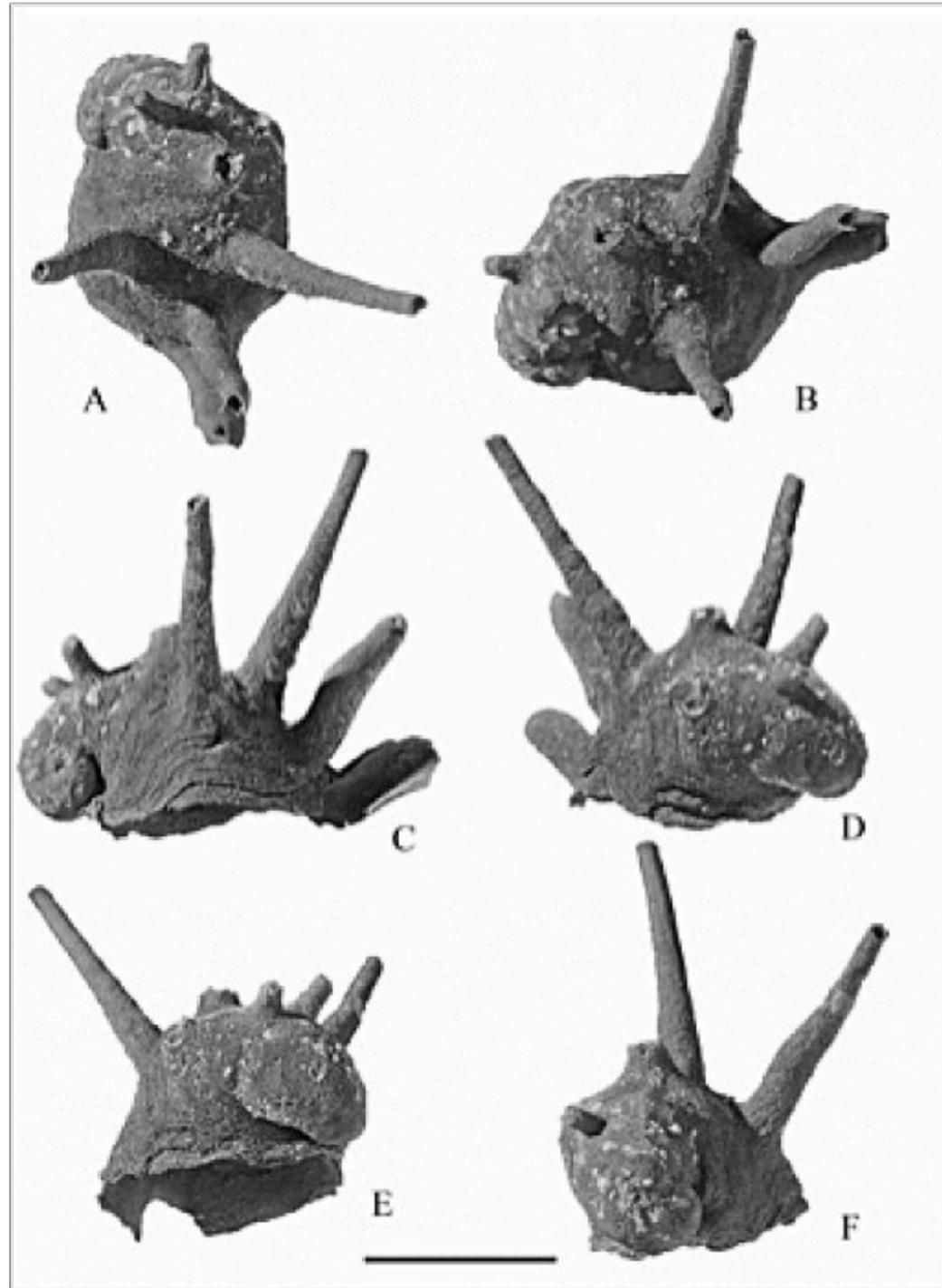


Figure 3. *Spiniplatyceras rarispinum* (Hall, 1861) in six views of a single specimen (AMNH FI 136550) from near the top of the Moorehouse Member of the Onondaga Limestone. Scale bar = 10 mm (applies to all views). From Blodgett and Feldman (2021, fig. 5).

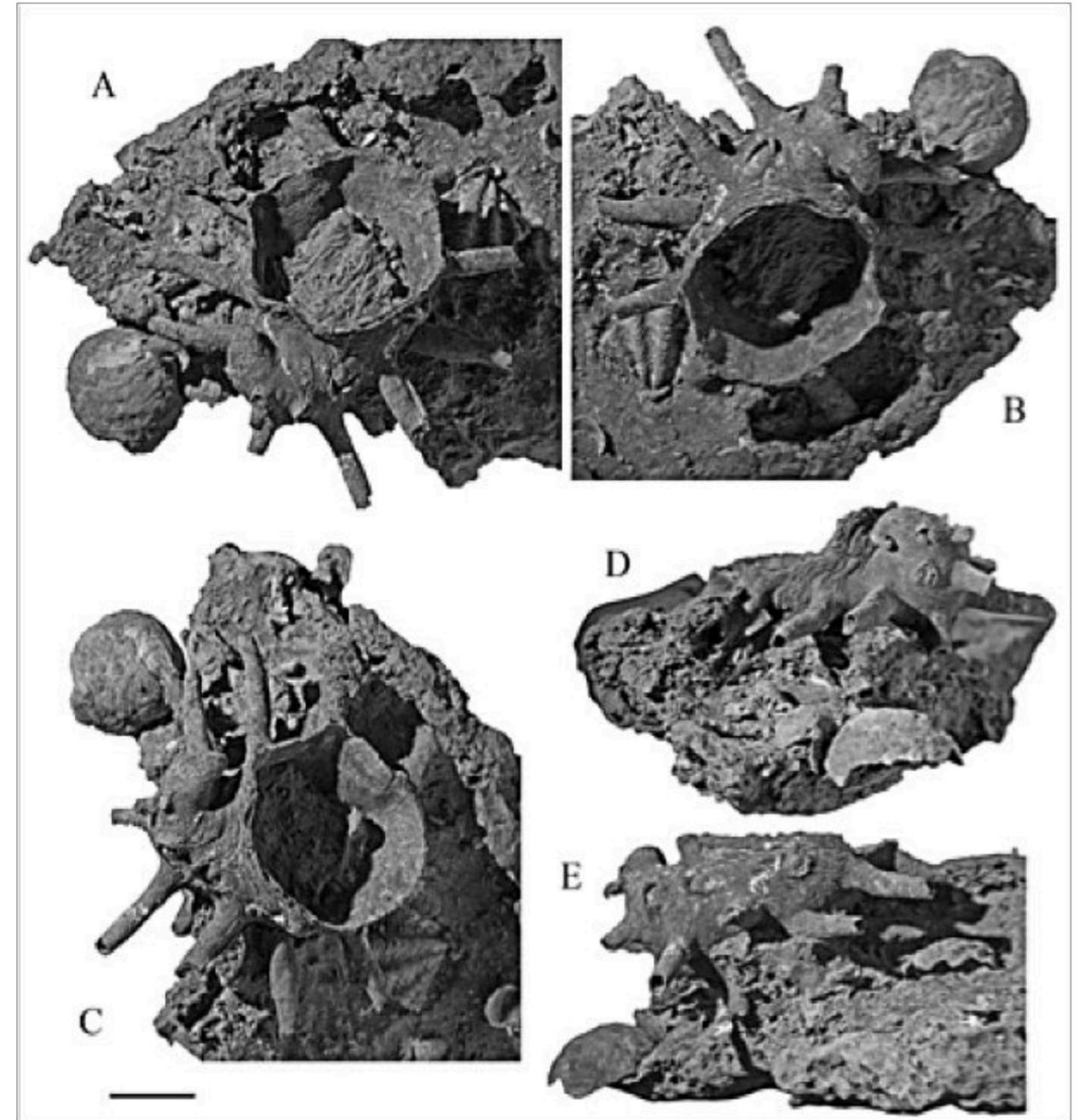


Figure 4. FIGURE 6. *Spiniplatyceras rarispinum* (Hall, 1861). Five views of a partially etched-free specimen (AMNH FI 136551) from a silicified limestone block near the top of the Moorehouse Member of the Onondaga Formation. Scale bar = 10 mm (applies to all views). From Blodgett and Feldman (2021, fig. 6).

**REFERENCES**

- Blodgett, R.B., and Feldman, H.R., 2021, The Devonian gastropod *Spiniplyceras* in the Onondaga Limestone (Devonian, Eifelian), Hudson Valley, New York, p. 9-18, in Lucas, S.G., Hunt, A.P., and Lichtig, A.J., eds., Fossil Record 7. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 82.
- Blodgett, R.B., and Frýda, J., 1999, New Devonian gastropod genera important for paleogeographic reconstructions: Journal of the Czech Geological Society, v. 44, nos. 3-4, p. 293-308.
- Conrad, T.A., 1840, Third annual report of the Palaeontological Department of the Survey, New York State Geological Survey, Annual Report 4, p. 199-207.
- Hall, J., 1861, Descriptions of new species of fossils from the Upper Helderberg, Hamilton and Chemung groups; with observations upon previously described species: Fourteenth Annual Report of the Regents of the University of the State of New York on the condition of the State Cabinet of Natural History, and the Historical and Antiquarian Collection annexed thereto, p. 99-109, Albany.
- Scotese, C.R., and McKerrow, W.S., 1990, Revised World maps and introduction; in McKerrow, W.S., and Scotese, C.R., eds., Palaeozoic palaeogeography and biogeography: Geological Society (London) Memoir 12, p. 1-21.



**Robert B. Blodgett** obtained his Ph.D. under Dr. Arthur J. Boucot in 1987. The subject of his dissertation was on Middle Devonian gastropods from east-central Alaska (Livengood Quadrangle) and eastern Nevada. Post-doctoral work occurred on an Alexander van Humboldt fellowship in Germany at the University of Göttingen. Subsequently, he went to work for the U.S. Geological Survey Branch of Paleontology & Stratigraphy in Reston, Virginia. Since 1995 he has been an independent contractor working for various federal and state agencies in Alaska and Canada, as well as the oil industry. His research also has a heavy emphasis on Devonian brachiopods, notably from Alaska, but also Canada (Yukon Territory), western U.S. and the New York region, as well as Mexico. He is the founder of the Alaska Paleontological Database, the only regional online paleontological database in North America. He also works in other subdisciplines of Geology including field mapping and oil and gas exploration. Dr. Blodgett has slightly over 300 publications, mostly concentrated in systematic paleontology of Devonian invertebrates but also dealing secondarily with Triassic and Jurassic invertebrates in various parts of the Globe.



**Howard R. Feldman** received his Ph.D. under Dr. Arthur J. Boucot in 1978. He wrote his dissertation on the brachiopods and community ecology of the Onondaga Limestone in central and southeastern New York. Dr. Feldman was elected to fellowship in the Geological Society of America and is currently a Visiting Scientist, Geological Survey of Israel, Jerusalem and Research Associate, Division of Paleontology, American Museum of Natural History. He is also a Research Associate at the Mohonk Preserve, New Paltz, NY. Dr. Feldman was awarded the John H. Moss award for excellence in college teaching by the National Association of Geology Teachers. He was the Corresponding Editor of GEOBIOS for the United States, a journal that publishes original articles of international rank on paleontology, stratigraphy and paleoecology. Dr. Feldman is a Member of Geosciências na CPLP (Community of Portuguese Language Countries), the scientific committee for the First International Congress of Geosciences within Portuguese speaking countries. He has been a grant recipient from the National Science Foundation, the National Geographic Society, Explorer's Club and Sigma Xi. Dr. Feldman has over 200 publications including two books on paleontology and one on geoarchaeology and is currently a professor in the Biology Department, Touro University.

**Importancia de las inclusiones fluidas en Geotermia: Método de estudio**

**Eduardo González Partida<sup>1\*</sup>, Néstor Alfredo Cano Hernández<sup>2</sup>, Antoni Camprubi<sup>2</sup>, Alejandro Carrillo-Chávez<sup>1</sup>, Luis Fernando Camacho Ortigón<sup>5</sup>, Juan Josué Enciso-Cárdenas<sup>5</sup>, Genaro de la Rosa<sup>5</sup>, Sumit Mishra<sup>1</sup>, Arun Kumar<sup>3</sup>, Joseph Madondo<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, CP 76230, Qro. Qro.

<sup>2</sup>Instituto de Geología UNAM, CU, 04510 Coyoacán, CDMX, México; Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM-UNAM).

<sup>3</sup>Instituto de Energías Renovables, UNAM. Priv. Xochicalco s/n, 62588, Temixco, Morelos.

<sup>4</sup>Rhodes University, Department of Geology, Artillery Road, Makhanda, 6139, Makhanda (Grahamstown), 6140, South Africa.

<sup>5</sup>Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Simón Bolívar # 303A, Nueva Rosita, Coahuila de Zaragoza, C.P. 26830, México.

\*Autor de Correspondencia: [egp@geociencias.unam.mx](mailto:egp@geociencias.unam.mx)

**Introducción**

De todos es sabido que el interior de la Tierra está caliente y que, a medida que se profundiza hacia el interior de ella se encuentran temperaturas crecientes, de aquí surge la idea de aprovechar este calor para generar electricidad. En general, la palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra. Así el calor geotérmico es producido constantemente por la Tierra a partir de la descomposición del material radioactivo en su núcleo. El calor se mueve hacia la superficie por medio de conducción y convección. En la corteza, el gradiente de temperatura es típicamente de +30 °C por kilómetro, pero puede ser tan alto como 120° a 160 °C por kilómetro en áreas geotérmicas calientes. La energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas

internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre, pero se denomina recurso geotérmico a la porción de calor desprendido desde el interior de la tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas.

**¿Cómo se forma un yacimiento geotérmico?**

Cuando se dan las circunstancias adecuadas para que los materiales permeables llenos de agua interceptan el flujo de calor desde el interior del globo (fenómeno denominado de interacción agua/roca) y, a su vez estos materiales se encuentren suficientemente "sellados" en su parte superior por materiales impermeables, se dan las condiciones favorables para la existencia de un yacimiento geotérmico. La Figura 1A, muestra, de manera esquemática, las condiciones clásicas necesarias para la existencia de un yacimiento geotérmico: un foco de calor activo (Fuente de Calor); un material permeable (Zona Permeable, el almacén geotérmico) por el que circula y acumula el agua en fase líquida o vapor (en general, agua de origen meteórico); y una cobertura o sello que impida (o al menos limite) el escape del fluido (Zona Impermeable). La Figura 1B (Gráfica) muestra la relación entre temperatura (eje horizontal) y profundidad (eje vertical) y la infiltración de agua para la Figura 1A. El agua meteórica que se infiltra (punto A en ambas figuras), se profundiza y calienta/presuriza progresivamente (puntos B y C, zona permeable), generando así el reservorio geotérmico caliente y presurizado que generalmente está entre 1 a 4 Km de profundidad (punto C). Entre los puntos C y D (zonas permeable e impermeable) se desarrollan interesantes procesos de interacción agua-roca (reacciones químicas entre el agua y la roca) que dan lugar a minerales llamados de neoformación (nueva formación o precipitados en la zona permeable y/fracturas). Estos minerales de neoformación representan todo un registro de la evolución geotérmica del reservorio. En la zona impermeable (punto D) el flujo de agua-vapor se da básicamente a través de microfracturas. Ocasionalmente, el agua-vapor alcanza nuevamente la

superficie (punto E), formando zonas de manantiales geotérmicos y/o géiseres. Los puntos F y G representan el gradiente geotérmico natural (aumento de calor en función de la profundidad).

neoformación en los sistemas hidrotermales geotérmicos manifiestan una evolución térmica a medida que precipitan en el espacio y tiempo. Este registro térmico puede ser medido gracias a una técnica denominada "microtermometría de inclusiones fluidas".

En la naturaleza, los fluidos atrapados en las inclusiones fluidas presentan densidad y volumen constantes. Los cambios que registran en el espacio presión-temperatura (P-T) están representados en la Figura 1C (diagrama presión vs entalpía o contenido calorífico). En este caso, se visualiza la trayectoria presión-temperatura (P-T) de una inclusión fluida constituida por agua pura atrapada a una temperatura de 140°C y una presión de 600 bares (punto

**Las inclusiones fluidas**

Las inclusiones fluidas son burbujas (generalmente de tamaño micrométrico) que quedan atrapadas en los minerales de neoformación en los poros de la zona permeable y/o fracturas en la zona impermeable. Estas burbujas pueden contener (coexistir) una fase líquida, una fase gaseosa y una fase sólida (pequeños cristales precipitados). Para el estudio de las inclusiones fluidas en este medio, se parte de la premisa de que los minerales de

A). La descompresión progresiva de este fluido a volumen constante, señalada por la trayectoria A-B-C, induce a la segregación de una fase vapor (al llegar al punto C), hasta su estado final (punto D). En este último punto la fase líquida representa el 90 % del volumen total de la inclusión y la fase vapor el 10 % restante. Si esta inclusión es exhumada guardará el registro original de su formación, es decir, preservará las condiciones de T-P-V-X bajo las cuales fue atrapada (punto A). Los cambios de fase experimentados en la inclusión, al ser ésta un sistema cerrado, son reversibles. Así, podemos restablecer el estado original de la inclusión, en el cual había una sola fase, por medio de calentamiento en el laboratorio. La temperatura a la cual la inclusión vuelve a estar formada por una sola fase se conoce como temperatura de homogeneización = Th (corresponde a la temperatura del punto C) y, si se trata de una inclusión de origen primario, provee una estimación de la temperatura mínima de formación para el mineral que la contiene.

El método permite simultáneamente conocer las características fisicoquímicas de la salmuera inicial que

participó en el fenómeno de interacción agua-roca, observar el fenómeno de ebullición y determinar las condiciones de presión inicial en el sistema geotérmico. Es una técnica que marca la evolución térmica de los minerales de neoformación en los sistemas hidrotermales en general. El método permite adicionalmente obtener el registro de la evolución de la paleo-salmuera en el espacio y en el tiempo, obteniendo información de la interacción agua-roca al momento considerado. La observación óptica del fenómeno de ebullición, junto con los disturbios fisicoquímicos y mineralógicos que la acompañan es un elemento más de fundamental importancia para el modelado del campo geotérmico.

Para la geotermia, las determinaciones microtermométricas se realizaron en muestras de canal y en cortes de núcleos donde son evidentes vetillas de minerales secundarios, principalmente epidota, cuarzo y calcita. Las "rebanadas" de núcleos se desbastan hasta tener el espesor adecuado y, finalmente, se pulen por ambas caras. El primer paso es realizar la petrología de la IF (Figura 2), para después ir a la platina térmica. El

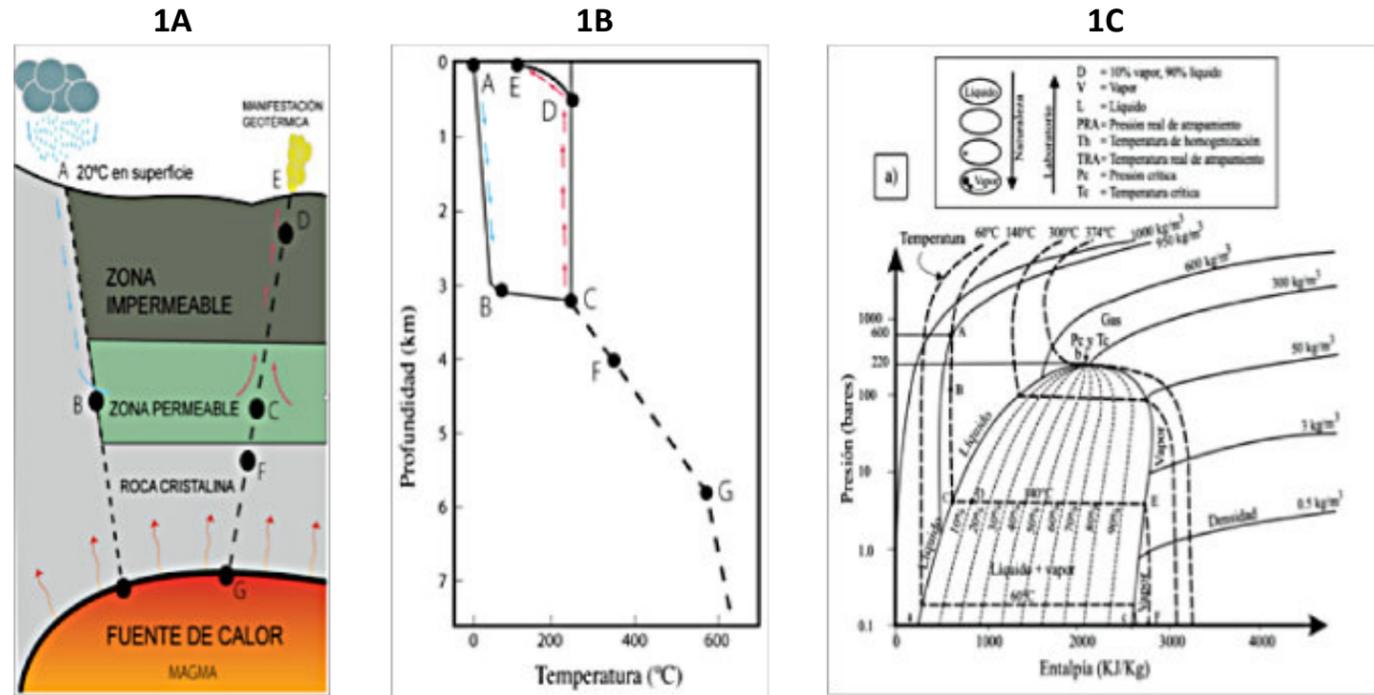


Figura 1A; Diagrama esquemático general de la infiltración de agua, en una zona geotérmica, indicando la fuente de calor, la roca cristalina, la zona permeable, la zona impermeable y la salida del agua-vapor en zonas de manantiales termales y/o géiseres.

1B; Diagrama presión - temperatura (P-T) del mismo esquema general indicando el flujo general del agua en los puntos A (infiltración), B y C (zona permeable o yacimiento geotérmico), punto D flujo de retorno en zona impermeable (flujo en microfracturas), y finalmente punto DE (retorno del agua -vapor a la superficie).

1C; Diagrama que muestra las propiedades termodinámicas del agua pura (presión en bares vs entalpía o contenido calorífico en KJ/Kg), en que los puntos A-B-C-D-E-F representan la evolución de un fluido a temperatura constante (140°C). Claves: a-b = curva de punto de burbuja, b-c = curva de punto de rocío, CP = punto crítico, Tc = temperatura crítica, Th = temperatura de homogeneización, TRA = temperatura real de atrapamiento, Pc = Presión crítica, PRA = presión real de atrapamiento. En la parte derecha se ejemplifica como el agua al profundizar (+- 3 Km) se calienta (A-B), forma el reservorio (B-C) y descarga en superficie (D-E) eventualmente.

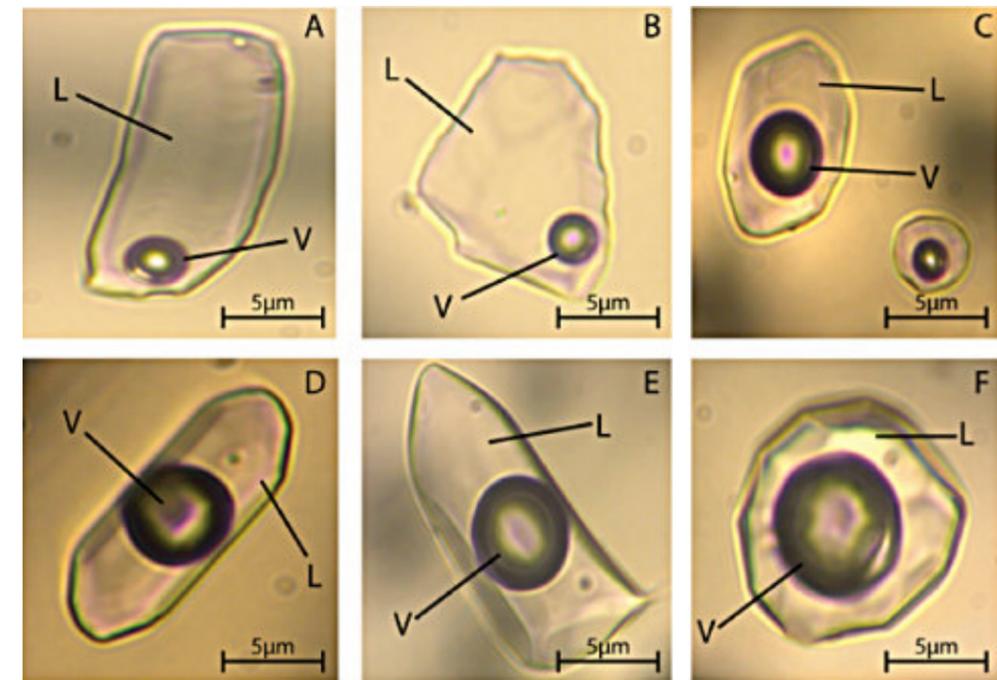


Figura 2. Como resultado del análisis petrográfico, lo que normalmente se obtiene en los reservorios geotérmicos es IF a líquido (L) + vapor (V) y las proporciones entre estas fases dependen de la temperatura; Así A y B corresponden a bajas temperaturas, C a E de medianas a altas temperaturas y F a altas temperaturas. Nótese que a mayor temperatura la fase vapor es igualmente mayor.

proceso de calentamiento se efectúa exactamente sobre las mismas inclusiones que se analizaron a baja temperatura, y es indispensable este análisis antes de calentarla, ya que existe la posibilidad de que se produzca una decrepitación, sobre todo cuando el fluido es muy denso. A partir de los resultados criométricos (a baja temperatura) se obtiene información sobre la composición de la fase fluida (salmuera): un calentamiento progresivo provoca la homogeneización de fases, esta temperatura de homogeneización representa la temperatura mínima de captura del fluido y también la temperatura real de formación de la inclusión. La determinación de la evolución térmica en un reservorio geotérmico permite identificar la zona de recarga y descarga natural del reservorio, de fundamental

importancia para las políticas de explotación y durabilidad del recurso, por eso esta herramienta viene a ser para los geólogos como “la joya de la corona” en petrología geotérmica (ver bibliografía citada).

Actualmente un grupo de investigadores de la UNAM, con el proyecto CONAHCyT# CF-2023-G-490 denominado “Determinación Geoquimiométrica de Tierras Raras en Matrices Geotérmicas de Interacción Roca-Fluido para la Evaluación Teórica-Experimental de Estructuras Moleculares y Patrones Multivariados de Fraccionamiento y Movilidad” (a quien se agradece) y UNAM-DGAPA-PAPIIT # IN100225, se está investigando sobre estos temas, para apoyar a la industria productiva (CFE) del país.



**Y justo al final del camino, evocaremos el complejo y largo recorrido por los senderos infinitos de la incertidumbre.**

**Perdido a veces**



**Eduardo González Partida** Se graduó de Ingeniero Geólogo (UNAM) en 1977 y en 1979 se graduó 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 Energéticas 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 Politécnica de Nochistlan 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.



**Néstor Alfredo Cano Hernández** es Doctor en Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional Autónoma de México, enfocado en el área de yacimientos minerales y petrogénesis de rocas ígneas. Ha trabajado en diversos proyectos de investigación enfocados en depósitos epitermales, tipo pórfido, skarns polimetálicos, de oro orogénico y pegmatitas ricas en metales raros. Además, cuenta con nueve artículos de investigación en revistas internacionales e indizadas.



El **Dr. Antoni Camprubí** es licenciado y doctorado en Geología por la Universitat de Barcelona y, desde hace 26 años, es investigador del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Sus líneas de investigación comprenden la formación de yacimientos minerales, la metalogénesis regional de México, y la aplicación de estudios en geofluidos en la caracterización de diversos procesos geológicos. Asimismo, es editor en jefe del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana desde hace casi 20 años, además de numerosos tipos de colaboraciones en la edición de publicaciones científicas, y es autor de alrededor de 120 artículos científicos, entre otras publicaciones.



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

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



**Dr. Luis Fernando Camacho Ortégón**, Ingeniero de Minas y Metalurgista en la Escuela de Minería y Metalurgia de la Universidad Autónoma de Coahuila, Doctor en Geociencias por la Univ. Henri P., Francia. Es especialista en geoquímica orgánica e inorgánica con especial énfasis en cuencas carboníferas y de hidrocarburos no convencionales. Es Académico Titular de la Academia de Ingeniería México en la Comisión de Especialidad de Minería y Metalurgia y miembro asociado de las prestigiadas asociaciones AAPG, AMGP y AIMMGM. Ha dirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Su investigación reporta publicaciones en revistas de prestigio y trabajos en congresos nacionales e internacionales. Dentro de su participación como responsable técnico en proyectos, ha desarrollado continuamente desde el año 2012 más de 32 proyectos concursables y financiados por instituciones públicas e iniciativa privada. Galardonado con el Premio Nacional de Educación 2023 de la AIMMGM y la Medalla Miguel Ramos Arizpe de la UAdeC. Actualmente el cargo de director general del Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la UAdeC en Cd. Nueva Rosita, Coahuila, México.



El **Dr. Juan Josué Enciso Cárdenas**, es Profesor Investigador de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la UAdeC y es miembro distinguido del SNI CONAHCYT. Su especialidad en geoquímica orgánica, le permite enfocar su línea de investigación al estudio, caracterización y evaluación de potencial de yacimientos de hidrocarburos no convencionales para su desarrollo y aprovechamiento en México. [jenciso@uadec.edu.mx](mailto:jenciso@uadec.edu.mx)



El **M.C. Genaro de la Rosa Rodríguez**, es Profesor Investigador de Tiempo Completo del Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la Universidad Autónoma de Coahuila (UAdeC). Es Ingeniero en Recursos Minerales y Energéticos, cuenta con Maestría en geología de yacimientos de hidrocarburos no convencionales por la UAdeC. 6 años de experiencia como geólogo en el Servicio Geológico Mexicano (SGM) en el proyecto Gas Asociado al Carbón y rocas generadoras de hidrocarburos en México. Es miembro distinguido como Investigador Estatal Junior ante el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (COECYT) de Coahuila. Su especialidad es la petrografía orgánica y está acreditado en carbón, mezclas de carbón y materia orgánica dispersa ante el International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). [genaro\\_rodriguez@uadec.edu.mx](mailto:genaro_rodriguez@uadec.edu.mx)



**Dr. Sumit Mishra** actualmente trabaja como investigador postdoctoral en el Centro de Geociencias de la UNAM. Su área de especialización son la geoquímica de rocas ígneas, la geocronología y la geología isotópica. Actualmente se concentra en la diagénesis del carbón de la Cuenca de Sabinas y depósitos de Manganese en Autlán.



La investigación del **Dr. Arun Kumar** se centra en comprender los procesos de los campos geotérmicos de México, utilizando herramientas como la geoquímica, estudios magnéticos, petrografía y análisis de inclusiones fluidas. Con cinco años de experiencia en geoquímica y estudios ecológicos, el Dr. Arun ha investigado previamente las tasas de meteorización química en las cuencas de los Ghats Occidentales en la India y su impacto en el presupuesto global de CO<sub>2</sub> atmosférico. Además, ha estudiado la geoquímica de metales traza en sistemas lóticos y lénticos, analizando iones principales, elementos traza en muestras geológicas y diatomeas bentónicas. El Dr. Arun completó sus estudios doctorales en la Academia de Educación Superior de Manipal en la India.



El **Dr. Joseph Madondo** es investigador postdoctoral en el Centro de Geociencias de la UNAM. Se graduó como doctor en Ciencias de la Tierra en la UNAM. Su área de especialización es la metalogénesis de los depósitos de manganeso en México. Actualmente está trabajando en los depósitos de Manganese en Autlán.

## UNA VISITA DE CAMPO AL MIEMBRO SALT WASH DE LA FORMACIÓN MORRISON (JURÁSICO SUPERIOR), UTAH

**JHONNY E. CASAS**

Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



### INTRODUCCIÓN

Los afloramientos del Miembro Salt Wash pertenecientes a la Formación Morrison (famosa por su contenido de fósiles de dinosaurios), del Jurásico superior, se consideran un excelente análogo de superficie debido a lo extenso de sus afloramientos, en los cuales se puede seguir por kilómetros de distancia los diferentes estratos que lo componen. Dichos afloramientos son un excelente ejemplo de distribución de facies, arquitectura estratigráfica, relaciones laterales y verticales de cuerpos, y estrategias de correlación, para sucesiones sedimentarias fluviales, principalmente de estilo entrelazado. El Miembro Salt Wash se extiende a través de Utah central, la parte oeste-central de Colorado, noreste de Arizona y noroeste de New México.

### MARCO GEOLÓGICO

Los estratos del Mesozoico tardío en el condado de Garfield, Utah, adyacente a las Montañas Henry son parte de la meseta de Colorado. Estos estratos son generalmente horizontales, aunque localmente pueden estar fuertemente plegados por la presencia de una intrusión de un pórfido de diorita de edad Oligoceno-Mioceno (Hunt et al., 1953). Esta intrusión en la zona sur-central de Utah, generó las hoy denominadas Montañas Henry. La intrusión levantó estratos del Paleozoico y Mesozoico, generando un gran domo (lacolito) en el área. La erosión subsecuente dejó expuestas amplias y continuas zonas alrededor del núcleo de dicho domo o lacolito. Las formaciones

Jurásicas y Cretácicas son parte de estos afloramientos concéntricos alrededor del domo, que examinaremos en este trabajo.

En este contexto geológico (Figura 1), la región contiene depósitos sedimentarios del Jurásico superior (Oxfordiano-Tithoniano) conocidos como la Formación Morrison. Dicha formación se depositó sobre una discordancia conocida regionalmente como J-5, sobre la Formación Summerville (Figura 2) del Jurásico (Calloviano-Medio), y está cubierta por la Formación Dakota (Jurásico Inferior-Cretácico), por encima de la discordancia denominada K-1 (Peterson, 1986).

La Formación Morrison en el área de las Montañas Henry se divide en tres miembros, desde la base hasta el tope (Figura 1): el Miembro Tidwell, compuesto por estratos heterolíticos lacustres y fluviales que se entrelazan con la base del Miembro Salt Wash; el propio Miembro de Salt Wash, compuesto por areniscas y lutitas de origen fluvial; y el Miembro de Brushy Basin, compuesto de unidades de lutitas y conglomerados de origen lacustre y fluvial (Peterson, 1980a). Por encima de la Formación Morrison se sedimenta la Formación Dakota, depositada durante la transgresión inicial del denominado Cretaceous Western Interior Seaway. El límite entre ambas formaciones es muy difícil de diferenciar ya que son facies transicionales entre depósitos continentales y marinos. El Miembro Salt Wash objeto de este artículo, está presente en un área

de aproximadamente 150.000 km<sup>2</sup> en Utah, Colorado, Nuevo México y Arizona (Mullens y Freeman, 1957).

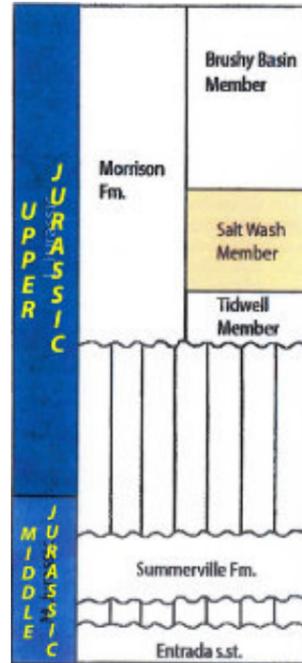


Figura 1. Columna estratigráfica de las unidades del Jurásico medio-superior en la parte central de Utah



Figura 2. Discordancia entre la Formación Summerville (obsérvese la suave angularidad de los estratos) y el suprayacente Miembro Tidwell, infrayacente este a su vez al Miembro Salt Wash (ambos miembros pertenecen a la Formación Morrison). Foto del autor en el área de Little Egypt.

**AREA DE ESTUDIO**

El área de estudio (Figura 3), se encuentra localizada al sur de la población de Hanksville, en el estado de Utah (USA) viajando hacia el Capitol Reef National Park, donde hay numerosos afloramientos del Miembro Salt Wash. Especial énfasis fue puesto en el área de Shooting Canyon, el área The Post y la vía a Halls Creek para observar los afloramientos a lo largo de San Rafael Canyon.

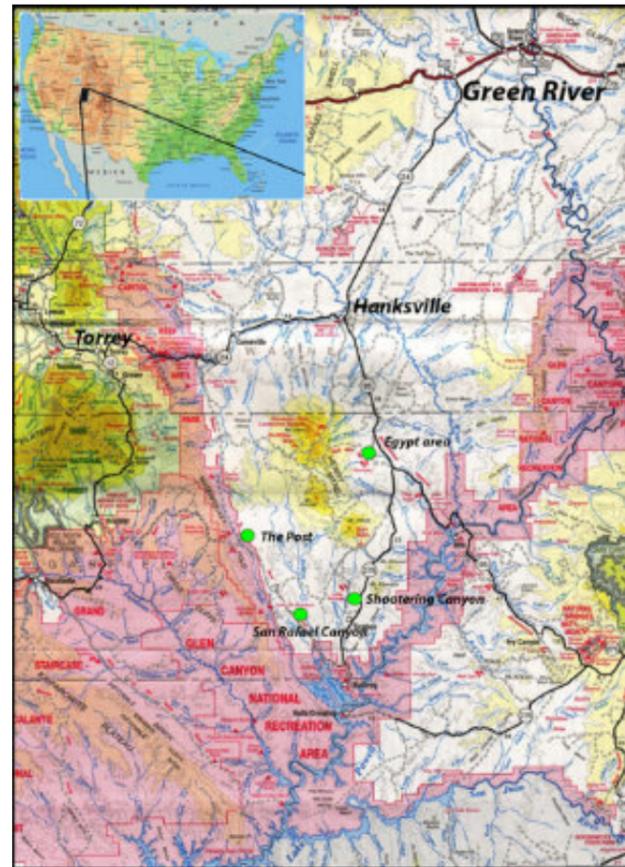


Figura 3. Mapa de localización general del área de estudio en Utah (USA), y el detalle de la ubicación de los afloramientos principales mencionados en este trabajo.

**SALT WASH**

El Miembro Salt Wash se ha descrito como un depósito fluvial en forma de abanico con dominios proximal, medial y distal. Peterson (1980, 1984), Kjemperud et al. (2008) y Weissmann et al. (2013) sugieren que el sistema fluvial Salt Wash progrado hacia su propia cuenca sedimentaria. Está compuesto de areniscas de canales fluviales intercaladas con areniscas de abanicos de rotura y lutitas de llanuras aluviales. La dirección general de paleocorrientes en estas capas es este-noreste. La fuente general de sedimentos en la Formación Morrison y por ende en su Miembro Salt Wash provienen de estratos Paleozoicos y Mesozoicos tempranos expuestos para ese tiempo al oeste de Utah, sur de Nevada y noroeste de Arizona (Figura 4).

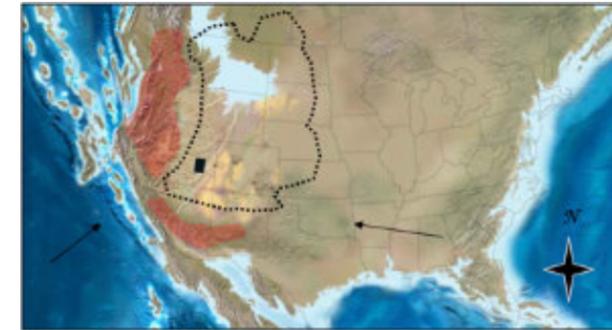


Figura 4. Reconstrucción paleogeográfica por Blakey (2020) para el Jurásico superior en el área de USA. En línea punteada negra se observa la extensión areal de la Formación Morrison y en rojo oscuro las áreas positivas que constituían las fuentes de sedimentos. Vulcanismo relacionado a procesos de subducción ocurrió hacia el oeste. La deriva de los continentes se señala con flechas negras.

El Miembro Tidwell infrayace a Salt Wash, y está constituido por depósitos lacustrinos, evaporíticos y fluviales. Los depósitos de llanura de inundación y lacustres cambian lateralmente a areniscas fluviales y abanicos de rotura semejantes a las facies típicas de Salt Wash, por lo que el cambio litológico vertical entre Tidwell y Salt Wash no es una superficie que deba usarse como *datum* para secciones estratigráficas. Las facies distales del miembro Tidwell (compuestas por facies fluviales, de marismas y lacustres menores) generalmente subyacen a las facies más proximales del Miembro Salt Wash (compuestas por canales fluviales a gran escala y depósitos de llanuras aluviales asociadas).

Por encima de Salt Wash, el Miembro Brushy Basin está compuesto de lutitas muy rojas, marrones, grises y verdes de origen lacustre, rico en cenizas volcánicas, las se pueden observar muy bien observar en afloramientos cerca del pueblo de Hanksville (Figura 5). La transición del Salt Wash al miembro de Brushy Basin suprayacente puede ser ambigua (Peterson 1988), particularmente en las porciones distales. La posición de la discordancia del paleosuelo de Morrison medio (que diferencia los miembros de Salt Wash y Brushy Basin), separa un notable cambio en el color de las lutitas de rojo a verde grisáceo entre Salt Wash y Brushy Basin, y ayuda a definir la parte superior de los depósitos de Salt Wash.

Debido a la lixiviación y precipitación del material volcánico suprayacente, Salt Wash y sus equivalentes estratigráficos han sido explotados para obtener más de la mitad del uranio extraído en los Estados Unidos. A

pesar de su ubicación estratigráfica en medio de la Formación Morrison, rica en restos de dinosaurios, el miembro Salt Wash contiene pocos conjuntos de fósiles en comparación con el miembro suprayacente de Brushy Basin. El sistema fluvial del Miembro Brushy Basin ha sido interpretado como mayoritariamente anastomosado, y muy sinuoso, con depósitos fluviales menores y serpenteantes. La mayoría de los fósiles de dinosaurios conservados en la Formación Morrison se encuentran en los depósitos tipo *overbank* de Brushy Basin.

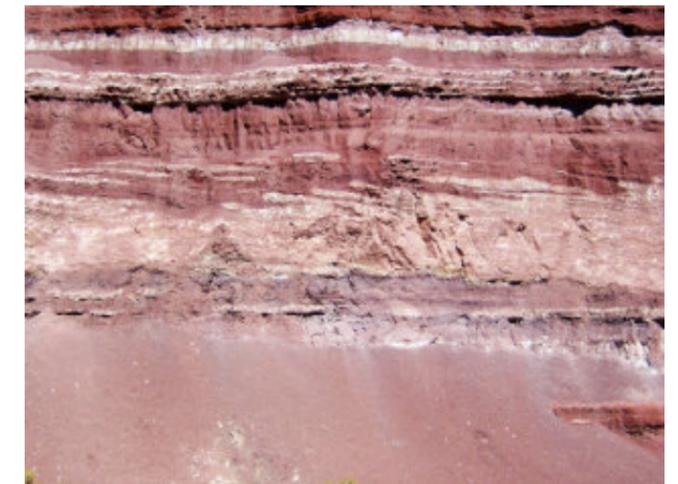


Figura 5. Afloramiento del Miembro Brushy Basin cerca del puente Freemont River. Obsérvese el cuerpo de arenisca tabular y las superficies de acreción lateral migrando de izquierda a derecha. Nótese también la base erosiva de la barra de meandro. Foto del autor.

Las observaciones de campo en el Miembro Salt Wash han documentado numerosos indicadores de regímenes de flujo de canales, indicativos de depositación por corrientes entrelazadas. Estas características incluyen conjuntos de estratificación cruzada festoneada, laminación cruzada planar, rizaduras y laminaciones horizontales. Además de esta evidencia de descargas instantáneas tipo *flash*, la presencia de caliche es abundante dentro de las lutitas intercaladas en la llanura aluvial. La presencia de horizontes de caliche respalda aún más un modelo de condiciones climáticas semiáridas y descarga de corrientes tipo *flash*.

**ASOCIACIONES DE FACIES DEFINIDAS EN SALT WASH**

Una distribución regional de litofacies del Miembro Salt Wash consta de depósitos proximales: conglomerados de corrientes entrelazadas de más de 160 m de espesor en el sur de Utah y norte de Arizona, que descienden hacia el noreste en proporción arenisca/lutita y en

grosor, con depósitos de unos 50 m de espesor, que a su vez se interpretan como la parte arcillosa distal de la llanura aluvial y algunos depósitos de areniscas de cinturones de meandros de alta sinuosidad (Tyler y Ethridge, 1983a; Peterson, 1994). Los afloramientos aquí estudiados se localizan en la zona proximal.

El espesor de Salt Wash es muy variable, entre 75 a 160 m y está compuesto predominantemente de areniscas, depositadas por ríos entrelazados de baja sinuosidad (Peterson, 1980a, 1986). El Miembro Salt Wash puede subdividirse en dos intervalos informales. Los estratos del intervalo inferior están compuestos predominantemente de areniscas amalgamadas que forman relieves de cuesta (>80% arenisca) con algunas delgadas lutitas. Los estratos del intervalo superior están compuestos de areniscas de canales aislados (<60% arenisca) y lutitas más gruesas.

Owen *et al.* (2015) identificaron cuatro asociaciones de facies a partir de registros sedimentarios medidos en afloramientos: 1) cinturón de canales amalgamados, 2) relleno de canales aislados, 3) llanuras aluviales y 4) asociaciones de facies lacustres efímeras.

#### Asociación de facies del cinturón de canales amalgamado

La asociación de facies del cinturón de canales amalgamado está compuesta de areniscas entrecruzadas, de grano fino a guijarros. La presencia de estratificación cruzada, planar y rizaduras de corriente, rastros de fósiles que son indicativos de ambientes fluviales terrestres (huellas de saurópodos, madrigueras de *Camborygma*, *Staphylinidae* y nidos fósiles de abejas son muy comunes en Salt Wash (Hasiotis 2004), así como paleosuelos, por encima y por debajo de los depósitos, implican colectivamente una sedimentación en un ambiente de canales fluviales tal y como se muestra en la Figura 6. (Miall 1978; Walker y Cant 1984; Robinson y McCabe 1997).

Las superficies de acreción, que definen depósitos de características de barras, están presentes y varían en espesor de 1 a 2,5 m, buzando entre 5 y 30 grados y, a menudo, se encuentran sobre superficies de erosión que no son persistentes lateralmente. Muchos han sugerido que el Salt Wash fue depositado a partir de un sistema fluvial predominantemente entrelazado (Peterson 1977; Tyler y Ethridge 1983; Peterson 1984; Robinson y McCabe 1998), una interpretación basada en gran medida en la naturaleza de alta proporción en

arena. Owen *et al.* (2015) sugieren que las características arenosas son una función del bajo régimen de acomodación/suministro de sedimentos (A/S) que persistió en la cuenca por largo tiempo. Los depósitos amalgamados del cinturón de canales constituyen el 37% de todas las secciones registradas.

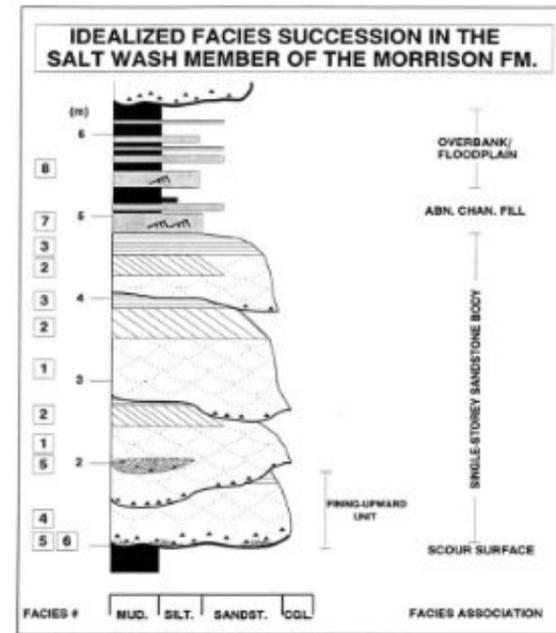


Figura 6. Sucesión de relleno de canal idealizada (single-story) en el Miembro Salt Wash de la Formación Morrison (Henry Mountains, Utah). Las unidades individuales de afinamiento hacia el tope observadas en los afloramientos, se apilan para formar sucesiones multi-historia (multistory) sin perder su comportamiento general de afinamiento hacia el tope. Cada historia o evento simple es dominado por estratificación cruzada festoneada, estratificación cruzada planar y laminación horizontal, así como diversos espesores de areniscas masiva con niveles conglomeráticos y clastos de arcillas. Los canales abandonados, los diques y la llanura de inundación están compuestos de areniscas delgadas con rizaduras, limolitas y lutitas con raíces y paleosuelos. Fuente: Robinson y McCabe (1997).

#### Asociación de Facies de Relleno de Canal Aislado

Son areniscas simples en forma de lentes, con una geometría de canal clara en sección transversal y proyecciones o alas arenosas en las sucesiones de sobrelanuras adyacentes. Son comunes las bases erosivas y los rellenos arenosos simples de un solo ciclo cuyo tamaño de grano varía desde arena fina hasta gránulos. También se observan rellenos ocasionales de tapones de arcilla. Los depósitos de relleno de canales aislados constituyen el 4% de los depósitos de Salt Wash (Owen *et al.* 2015).

#### Asociación de facies de llanura aluvial

La asociación de facies de llanura aluvial está compuesta de areniscas y lutitas intercaladas. Las capas suelen ser tabulares, pero a menudo pueden tener una forma ondulada. Los paquetes de depósitos de llanuras aluviales pueden estar dominados por arcillas o arena. Esto puede estar relacionado con la proximidad al canal, con la magnitud de la inundación o con el suministro de sedimentos. Los rastros de raíces, los rizolitos (rizoconcreciones), los nódulos y las manchas de color ferrosos ayudan a determinar la presencia de paleosuelos. En la sucesión se observan dos tipos principales de paleosuelos; calcisuelos argílicos, bien drenados, de color rojo a marrón rojizo y protosuelos mal drenados de color gris verdoso. Los depósitos de llanuras aluviales constituyen el 57% de los depósitos de Salt Wash (Owen *et al.* 2015).

#### Asociación de facies lacustres poco profundas y efímeras

Todas las capas de esta asociación de facies definida por Owen *et al.* (2015), tienen una geometría tabular a ondulada, no tienen más de 2,5 m de espesor y no superan 1 km de extensión lateral, lo que indica que eran elementos menores en el paisaje de Salt Wash (constituyendo el 3% de los depósitos de Salt Wash). Esta asociación de facies comúnmente se intercala con la asociación de facies de llanura aluvial. La presencia de grietas de desecación en algunos estratos, indica que estos lagos no eran elementos permanentes en el paisaje. Es probable que las masas de agua estancada se formaran dentro de depresiones topográficas en la llanura aluvial en las que el agua de la inundación se acumulaba y posteriormente se secaba.

#### ARQUITECTURA DEL MIEMBRO SALT WASH EN EL ÁREA DE SHOOTERING CANYON

En esta primera parada en Shooting Canyon, se observan vistas generales de la distribución de cuerpos sedimentarios del miembro con espectaculares afloramientos de gran continuidad lateral (Figura 7). En esta región hay que poner mucha atención en donde se pisa ya que la zona normalmente presenta un buen número de serpientes de cascabel (Figura 8).

El Miembro Salt Wash está dividido en cuatro unidades estratigráficas basadas en geometría, arquitectura y patrón de apilamiento de los depósitos. Se piensa que la depositación de las unidades está controlada por variaciones en el nivel de base y en la relación espacio de acomodación vs. aporte de sedimentos (A/S).



Figura 7. Vista general de Shooting Canyon donde se observan espectaculares afloramientos del Miembro Salt Wash. En esta área existen numerosas minas de Uranio abandonadas. Foto del autor.



Figura 8. Ejemplo de serpiente de cascabel de la zona. Foto del autor.

Los ciclos de gran magnitud se interpretan como controlados alocíclicamente debido a su extensión, mientras que los ciclos de pequeña escala se consideran como autocíclicos. Los ciclos hacia la parte central de los complejos de canales contienen una mayor proporción de areniscas de canal. En contraste, los ciclos que se alejan de los centros de los complejos de canales son más simétricos y con gran cantidad de lutitas de llanura de inundación y areniscas de abanicos de rotura, lateralmente equivalentes a los cinturones de canales.

Según Gardner, Cross y Levorsen (2004) la arquitectura del cinturón de canales y la composición de facies cambia durante el incremento de A/S a largo plazo. Bajo condiciones de bajo A/S, los canales son fuertemente amalgamados y predominan facies que representan las partes más profundas de los canales. Los abanicos de rotura están fuertemente subordinados a los depósitos de canal debido a su bajo potencial de preservación (Figura 9). A medida que las condiciones de A/S

incrementan, los canales agrandan por arriba de la llanura de inundación y construyen diques más altos. Estos diques proveen energía potencial y espacio de acomodación local para la futura progradación de abanicos de rotura en la llanura de inundación y por supuesto el alto régimen de A/S favorece la preservación de estas facies (Figura 10).

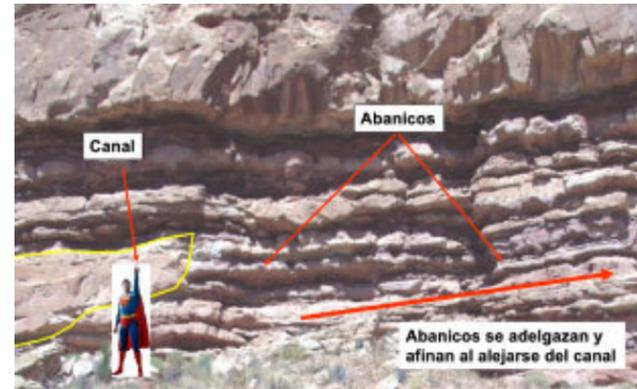


Figura 9. Ejemplo de facies de canal y la presencia lateral de facies agradantes de abanicos de rotura en el Miembro Salt Wash. Foto del autor.

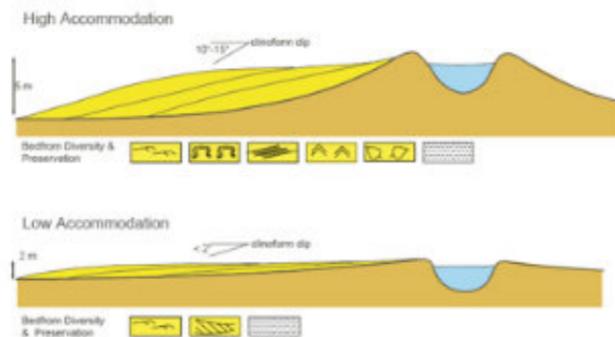


Figura 10. Control del espacio de acomodación para complejos de abanicos de rotura depositados en un régimen de alto A/S. Abanicos depositados en altas A/S condiciones, tienen espesores más gruesos y cliniformas de hasta 10-15°. Abanicos en regimenes de bajo A/S tienen cliniformas de menos de 2° y perfiles granocrecientes. Fuente: Cross (2000)

Altos regímenes de A/S se reflejan en la arquitectura del canal de dos maneras: Una es que hay más frecuente avulsión de los canales a posiciones topográficas más bajas dentro de la llanura de inundación esto se refleja en las secciones geológicas como canales embebidos. La otra es que las areniscas de canal se encojen y se concentran hacia el eje del cinturón debido a una reducción en la descarga del río. Esa reducción en la descarga es el producto del abandono gradual y la eventual avulsión debido a la construcción de diques

más altos. En ambos casos la continuidad lateral de las areniscas de canal se ve dramáticamente disminuida.

La agradación de los canales y el encogimiento durante el incremento del régimen de A/S es un proceso que causa conectividad vertical entre areniscas de cinturones de canales en ciclos superpuestos (Figura 11). Erosión o socavación es un proceso que puede contribuir o causar conexión vertical entre diferentes complejos de canales, sin embargo en Salt Wash se ha demostrado que el impacto es mínimo.

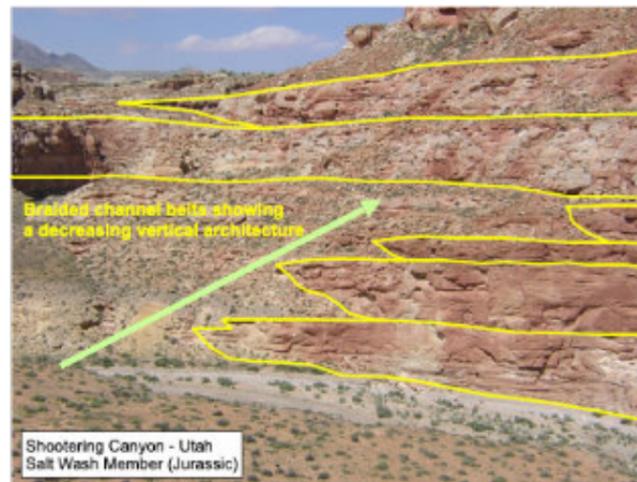


Figura 11. Las areniscas de canal se encojen verticalmente y se concentran hacia el eje central del sistema. Foto del autor.

### ARQUITECTURA DEL MIEMBRO SALT WASH EN EL ÁREA THE POST

Las secciones geológicas en el área de The Post (antigua posta de correo de Wells Fargo), la cual se ubica dentro del denominado Waterpocket fold (Figura 12) tienen la extraordinaria virtud de mostrar las variaciones verticales y horizontales a lo largo del rumbo deposicional (Figura 13).



Figura 12. Fotografía aérea lateral donde se muestra el frente de plegamiento del área de Waterpocket Fold. (Entrada y Navajo Sandstone se observan en las crestas de color más claro a la derecha).



Figura 13. The Post - Vista en primer plano de las areniscas Miembro Salt Wash y al fondo las lutitas oscuras suprayacentes de Mancos Shale (Cretácico). Foto del autor.

En la Figura 14 se muestra la columna general correspondiente a Salt Wash en el área The Post (Robinson, 1994), mientras que la Figura 15 se muestra la interpretación basada en las mediciones a lo largo y ancho de los afloramientos de los complejos de canales, de aproximadamente 2.5 Km de ancho y 80-90 m de espesor hechas por Cross (2005). Canales apilados verticalmente dominan la parte central del complejo. Muchos de estos canales exhiben verticalmente afinamiento de grano hacia el tope llegando a desarrollar paleosuelos. Lutitas lateralmente continuas y muchas discontinuas pueden separar o no verticalmente los cinturones. Cuando nos alejamos del cinturón de canales, la proporción de lutitas de llanura de inundación y abanicos de rotura incrementa notablemente y reemplaza a los canales.

Los abanicos de rotura pueden ser muy arenosos pero con espesores normalmente entre 1-3 m, pero dependiendo esto de la altura del dique. En la parte superior de los cinturones, las areniscas de canal se encojen y se concentran hacia el eje del complejo a medida que agranda. Al mismo tiempo estratigráfico, las lutitas de la llanura de inundación y los abanicos se acercan hacia el eje del cinturón de canales.

Esta geometría es consecuencia de la reducción de la descarga a través del cinturón por la gradual avulsión hacia áreas topográficamente más bajas en la llanura de inundación (Figura 16).

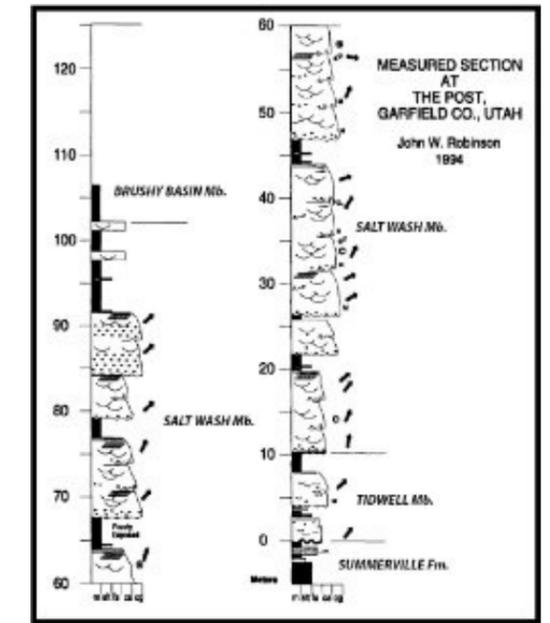


Figura 14. Columna generalizada del Miembro Salt Wash en el área The Post. Fuente: Robinson (1994).

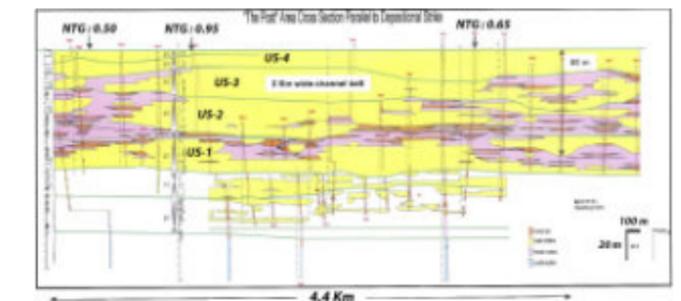


Figura 15. Sección paralela al rumbo deposicional en el área The Post mostrando las variaciones verticales y horizontales de los cuerpos y unidades, de acuerdo al régimen de A/S, su tamaño y su variación de Net to Gross (N/G) en diferentes lugares del cinturón de canales. Fuente: Cross (2005).

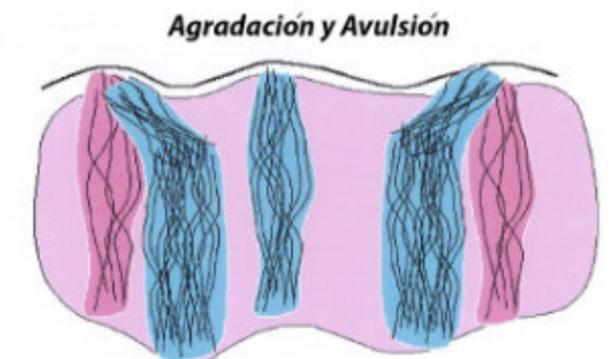


Figura 16. Evolución de los patrones de canales por avulsión hacia zonas más deprimidas topográficamente. Fuente: Modificado de Cross (2000).

En las secciones de la Figura 15 se observa que hay una sucesión continua de lutitas de llanura de inundación y abanicos de rotura de aproximadamente 10-30 m de espesor que ocupa el tope del ciclo US-1 y algunas veces incluye las partes basales del ciclo US-2. Este intervalo predominantemente arcilloso crea una barrera de fluidos entre el cinturón de canales de la unidad US-1 y la unidad US-2. Lutitas de llanura de inundación también están presentes en el tope de las unidades US-2 y US-3, sin embargo, estas tienen menor continuidad lateral. Los intervalos con lutitas de llanura de inundación están bien desarrollados a medida que se alejan del eje de los complejos de canales y pueden estar truncados a medida que se aproximan a dicho eje. La unidad US-5 aunque no fue observada en esta localidad, es un intervalo conglomerático que refleja un levantamiento en el área de fuente de sedimentos. No siempre está presente, pero cuando está, siempre ocupa la misma posición estratigráfica.

En la Figura 16 se observa un detalle de la correlación de las unidades informales definidas en el área The Post, denominadas US-2 y US-3 donde puede apreciarse el encogimiento del cinturón durante el incremento A/S (espacio de acomodación versus aporte de sedimentos), tal como el observado en el afloramiento de Shootering Canyon de la Figura 11.

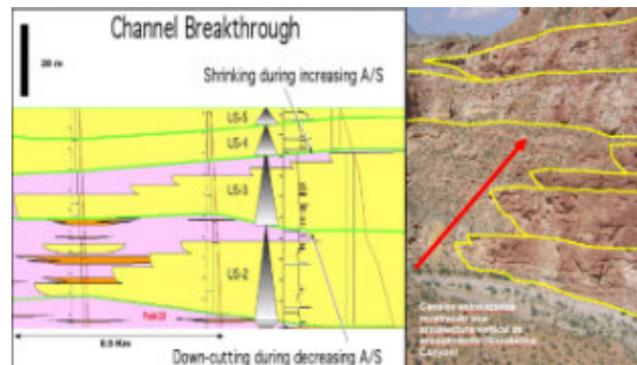


Figura 16. Evolución vertical de los cinturones de canales dependiendo del régimen de A/S. Compárese la interpretación con la imagen (horizontalmente comprimida), de los afloramientos del área The Post

En la Figura 17 se observa un afloramiento en el área The Post mostrando el rápido cambio lateral del sistema entrelazado a la izquierda a facies de abanicos de rotura a la derecha.

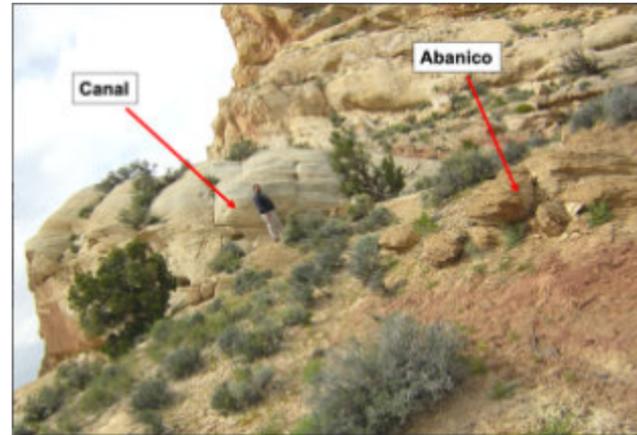


Figura 17. Cambio lateral entre las areniscas de canal y sucesiones de abanico de roturas en el área The Post. Foto del autor.

Saliendo del área de The Post via a Halls Creek, tenemos oportunidad de divisar en vista escénica San Rafael Canyon donde podremos observar una vista regional en escala de kilómetros de la arquitectura de los sistemas entrelazados de Salt Wash, su continuidad lateral, sus relaciones verticales y ciclos de apilamiento; y la horizontalidad de sus estratos con muy poco relieve erosivo a una escala comparable con la escala sísmica (Figura 18).

#### CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA EL ENTENDIMIENTO Y MODELAJE DE YACIMIENTOS CONSTITUIDOS POR LOS DEPÓSITOS FLUVIALES ENTRELAZADOS DEL MIEMBRO SALT WASH

##### Facies y cinturones de canales

- Las secciones en el área The Post indican que los complejos de canales entrelazados tienen aproximadamente unos 2-2.5 Km de ancho y unos 80 metros de espesor.
- Poseen diques que generan abanicos de rotura arenosos proporcionales en espesor a la altura del dique.
- Avulsiones buscando la ventaja del gradiente geográfico y crean complejos de canales adicionales entre los diferentes puntos de las fuentes de sedimentos.
- Las dimensiones de los cinturones y la diversidad de facies están relacionadas con el régimen de A/S.
- Agradación de los canales y encogimiento durante el incremento del régimen A/S es un proceso que causa conectividad vertical dentro de cada ciclo.

##### Comunicación vertical de cuerpos sedimentarios

- La comunicación vertical o apilamiento de cuerpos de areniscas es altamente probable que ocurra a lo largo de los ejes de los complejos de cinturones de canales.
- La comunicación vertical y apilamiento de cuerpos de arenisca ocurre como producto de la agradación y no debido a la incisión mayor de canales (En Salt Wash Member raramente se observan incisiones mayores de 4 metros).
- En Salt Wash Member la posición de los ejes centrales de comunicación es predecible a partir del

espaciamiento de los ejes de los cinturones y está en el orden de 8 Km.

##### AGRADECIMIENTOS

Dedicado a la memoria del Geólogo José Marcos Domínguez, uno de los participantes de este proyecto y un gran amigo.

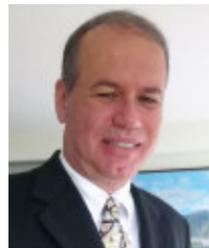


Figura 18. Vista general de Salt Wash en San Rafael Canyon, donde se observa la continuidad de unidades y de espesores a lo largo de varios kilómetros de extensión. No existen erosiones significativas cuando lo comparamos con una escala sísmica. Henry Mountains al fondo. Largo del afloramiento en vista, aproximadamente 2 Km con unos 250 m de espesor. Foto del autor.

##### REFERENCIAS GENERALES Y RELEVANTES ACERCA DE SALT WASH

- BLAKEY, R. C. (2020). Deep Time Maps. Recuperado el 5 de enero de 2025, <https://deeptimemaps.com/map-lists-thumbnails/north-america/>
- CROSS, T. 2000. Stratigraphic Controls on Reservoir Attributes in Continental Strata. *Earth Science Frontiers*. 7(4): 322-350.
- DEMKO, T.M., CURRIE, B.S., & NICOLL, K.A., 2004, Regional paleoclimatic and stratigraphic implications of paleosols and fluvial/overbank architecture in the Morrison Formation (Upper Jurassic), Western Interior, USA: *Sedimentary Geology*, 167: 115-135.
- DUNAGAN, S.P., & TURNER, C.E., 2004, Regional paleohydrologic and paleoclimatic settings of wetland/lacustrine depositional systems in the Morrison Formation (Upper Jurassic), Western Interior, USA: *Sedimentary Geology*, 167: 269-296.
- GARDNER, M., CROSS, T., AND LEVORSEN, M. 2006. Stacking Patterns, Sediment Volume Partitioning, and Facies Differentiation in Shallow-Marine and Coastal-Plain Strata of the Cretaceous Ferron Sandstone, Utah, In Analog for Fluvial-Deltaic Reservoir Modelling: Ferron Sandstone of Utah, Chidsey, T., Adams, R. and Morris, T. editors, AAPG Studies in Geology 50: 95-124
- HASIOTIS, S.T., 2004, Reconnaissance of Upper Jurassic Morrison Formation ichnofossils, Rocky Mountain Region, USA: paleoenvironmental, stratigraphic, and paleoclimatic significance of terrestrial and freshwater ichnocoenoses: *Sedimentary Geology*, 167: 177-268. <https://npshistory.com/publications/paleontology/sd-v167-2004.pdf>
- KJEMPERUD, A.V., SCHOMACKER, E.R., & CROSS, T.A., 2008, Architecture and stratigraphy of alluvial deposits, Morrison Formation (Upper Jurassic), Utah. *AAPG Bulletin*, 92: 1055-1076.
- MIALL, A.D., 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary, in Miall, A.D., ed., *Fluvial Sedimentology: Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5*: 597-604.
- MULLENS, T.E., & FREEMAN, V.L., 1957, Lithofacies of the Salt Wash Member of the Morrison Formation, Colorado Plateau: *Geological Society of America Bulletin*, 68: 505-526.
- OWEN, A., NICHOLS, G., HARTLEY, A. & WEISSMAN, G. (2017) Vertical trends within the prograding Salt Wash distributive fluvial system, SW United States. *Basin Research*, 29: 64-80.
- OWEN, A., NICHOLS, G., HARTLEY, A., WEISSMAN, G. & SCUDER, L. (2015) Quantification of a distributive fluvial system: The Salt Wash DFS of the Morrison Formation, SW, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 85: 544-561.

- PETERSON, F., 1980, Sedimentology of the uranium-bearing Salt Wash Member and Tidwell unit of the Morrison Formation in the Henry and Kaiparowits Basin, Utah, in *Utah Geological Association, Henry Mountains Symposium, Publication 8*: 305–322.
- PETERSON, F., 1984, Fluvial sedimentology on a quivering craton: influence of slight crustal movements on fluvial processes, Upper Jurassic Morrison Formation, Western Colorado Plateau: *Sedimentary Geology*, v. 38, p. 21–49.
- ROBINSON, J.W., & MCCABE, P.J., 1997, Sandstone-body and shale-body dimensions in a braided fluvial system: Salt Wash Sandstone Member (Morrison Formation), Garfield County, Utah: *AAPG Bulletin*. 81: 1267–1291.
- ROBINSON, J.W., & MCCABE, P.J., 1998, Evolution of a braided river system: The Salt Wash Member of the Morrison Formation (Jurassic) in southern Utah, in Shanley, K.W., and McCabe, P.J., eds., *Relative Role of Eustasy, Climate, and Tectonism in Continental Rocks: SEPM Special Publication 59*: 93–107. <https://colab.ws/articles/10.2110%2Fpec.98.59.0093>
- STOKES, W.L., 1954, Some stratigraphic, sedimentary and structural relations of Uranium deposits in the Salt Wash Sandstone: *U.S. Atomic Energy Commission, Final Report RME-3102*, 50 p.
- TURNER, C.E., AND PETERSON, F., 2004, Reconstruction of the Upper Jurassic Morrison Formation extinct ecosystem: a synthesis: *Sedimentary Geology*, 167: 309–355. [https://doc.rero.ch/record/14577/files/PAL\\_E1793.pdf](https://doc.rero.ch/record/14577/files/PAL_E1793.pdf)
- TYLER, N., & ETHRIDGE, F.G., 1983, Fluvial architecture of Jurassic uranium-bearing sandstones, Colorado Plateau, Western United States, in Collinson, J.D., and Lewin, J., eds., *Modern and Ancient Fluvial Systems: International Association of Sedimentologists, Special Publication 6*: 533–547.
- WALKER, R.G., & CANT, D.G., 1984, Sandy fluvial systems, in Walker, R.G., *Facies Models: Geological Association of Canada*, p. 71–89.
- WEISSMANN, G.S., HARTLEY, A.J., SCUDERI, L.A., NICHOLS, G.J., DAVIDSON, S.K., OWEN, A., ATCHLEY, S.C., BHATTACHARYYA, P., CHAKRABORTY, T., GHOSH, P., NORDT, L.C., MICHEL, L., & TABOR, N.J., 2013, Prograding distributive fluvial systems: geomorphic models and ancient examples, in Dreise, S.G., Nordt, L.C., and McCarthy, P.L., eds., *New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology: SEPM, Special Publication 104*: 131–147.



[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 and Perú.

Autor/Co-autor en 57 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, *Geophysics*, *The Leading Edge*, *Asociación Paleontológica Argentina*, *Paleontology*, *Geos*, *Journal of Petroleum Geology*, *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela*, *Boletín de la Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences*; incluyendo presentaciones en eventos técnicos como: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos de exploración en la revista *AAPG Explorer*.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad del Zulia (1991-1992) y Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: *Estratigrafía Secuencial*, *Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos* (2003-2023), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 11 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).

## Órdenes de diaclasas columnares en rocas volcánicas

Shunshan Xu

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geociencias, Apartado Postal 1-742, Querétaro, Qro., 76001, México.  
Correo electrónico: [sxu@geociencias.unam.mx](mailto:sxu@geociencias.unam.mx)

### Resumen

La forma ideal de formación de las columnas basálticas en un flujo de basalto ocurre cuando, durante el enfriamiento del flujo de lava, las superficies planas de la lava se condensan, formando innumerables centros de contracción uniformemente espaciados y dispuestos de manera regular. Esto genera diaclasas de tensión perpendiculares a la dirección de contracción. La contracción volumétrica provoca que el material rocoso se acumule hacia un centro interno fijo, lo que causa que la roca se agriete y forme columnas poligonales. Las diaclasas en los basaltos de Santa María Regla evidencian un proceso dinámico de enfriamiento y deformación que involucra múltiples generaciones de fracturas: (a) Diaclasas maestras; (b) Mega-columnas; (c) Columnas normales en algunos regiones.

### Introducción

Casi en todas las rocas se pueden observar grietas regulares que se cruzan en varias direcciones, conocidas específicamente como "diaclasas". Una diaclasa es una estructura de fractura en la que los bloques de roca a ambos lados de la fractura no se han desplazado o han tenido un desplazamiento mínimo a lo largo del plano de ruptura. Las estructuras de fractura generalmente son causadas por movimientos tectónicos, pero las causas de las diaclasas son diversas. Las diaclasas son la estructura de fractura más común en las rocas de la corteza superior. Según su origen, las diaclasas se pueden clasificar en: 1) Diaclasas primarias, que se forman durante el proceso de litificación, como las grietas de secado en rocas sedimentarias o las diaclasas columnares formadas por la contracción de enfriamiento en rocas ígneas; 2) Diaclasas que se originan por deformación tectónica; 3) Diaclasas que se forman por fuerzas externas, como las causadas por la meteorización, deslizamientos de tierra o derrumbes, y generalmente se encuentran en capas superficiales de la corteza.

Las diaclasas primarias son aquellas que se forman durante el proceso de litificación, como las diaclasas columnares formadas por la contracción de la lava al enfriarse, o las diversas diaclasas primarias generadas por

los efectos de flujo y contracción de enfriamiento durante la intrusión de magma. La fracturación columnar es más prominente en los flujos, particularmente en las lavas básicas, pero también se encuentra en andesitas, riolitas, obsidias y otras (e.g. Herbert et al., 1982; Li, 2023). Algunos intrusiones, como los diques y sills, también muestran este tipo de estructuras, aunque generalmente no está tan bien desarrollada en las intrusiones; algunos de los ejemplos más interesantes ocurren en sedimentos como los lodos, las capas de yeso y los tobos ignimbríticas. En esta contribución, estudiamos los basaltos poligonales de Santa María Regla, Estado Hidalgo, México. Las características generales de los basaltos han sido descritas con fines de geoturismo, y las características geológicas de los prismas han sido estudiadas en detalle por varios autores (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008; Xu et al., 2014, 2020; Xu y Nieto-Samaniego, 2020). En este artículo, se pone atención en las características de las diaclasas de enfriamiento multigeneracionales.

### Mecanismos de formación de diaclasas columnares

A pesar de que los primeros informes sobre la estructura de basalto columnar fueron realizados por los naturalistas británicos Foley (1694) y Sandys (1697) sobre la Calzada del Gigante en Irlanda del Norte, fue más de un siglo después cuando Watts (1804, ver Jukes, 1862) propuso una hipótesis sobre el mecanismo de formación: la "hipótesis de concreción", que sostenía que el magma fundido se solidificaba alrededor de una serie de centros aislados, formando grandes esferas plásticas (Jukes, 1862). Cuando estas esferas se comprimían juntas, se organizaban en una disposición simétrica de hexágonos. Sin embargo, poco tiempo después, esta hipótesis fue objeto de críticas por parte de muchos científicos.

Mucho tiempo después, Sosman (1916) presentó por primera vez la "hipótesis de la convección" (The convection hypothesis), que planteaba que cuando una capa delgada de cera o aceite se calienta en un plato plano, se desarrolla un sistema de células convectivas hexagonales. Sostenía que las columnas eran el resultado de la convección, y que las diferencias de composición entre el centro y los bordes de algunas columnas eran el resultado de la diferenciación inducida por la convección. Al igual que la hipótesis anterior, esta también fue cuestionada por numerosos investigadores.

A lo largo de este largo período de tiempo, la hipótesis más sólida y académicamente influyente ha sido la "hipótesis de contracción durante el enfriamiento" (The hypothesis of contraction during cooling), que inicialmente, a través de la comparación con la fisuración del barro, proporcionó una explicación relativamente

razonable del origen de las columnas (Tomkeieff 1940; Spry, 1962). El enfriamiento por contracción se ha estudiado mediante experimentos análogos con la desecación del almidón (Müller 1998; Goehring et al., 2009).

Kantha (1981) propuso que el modelo de convección de doble difusión puede explicar las estructuras internas, así como las columnas en las lavas basálticas. El mecanismo de superenfriamiento constitucional a gran escala se basa en que el primer sólido que se cristaliza de los basaltos está compuesto por minerales con un alto punto de fusión, mientras que las últimas porciones del basalto

líquido en solidificarse son vidrios de punto de fusión relativamente bajo (Gilman, 2009).

Al igual que casi todas las propiedades de los fluidos, el magma también experimenta una contracción al enfriarse. Esta contracción genera tensiones de tracción en la superficie de enfriamiento, y estas tensiones se acumulan en un punto, lo que provoca la fractura de la roca. Cuando la superficie de enfriamiento del magma entra en contacto uniforme con el entorno circundante, se generan grietas perpendiculares a la superficie de contacto, que se expanden en tres direcciones a un ángulo de 120 grados desde el punto de fractura, formando hexágonos (Budkewitsch y Robin 1994).

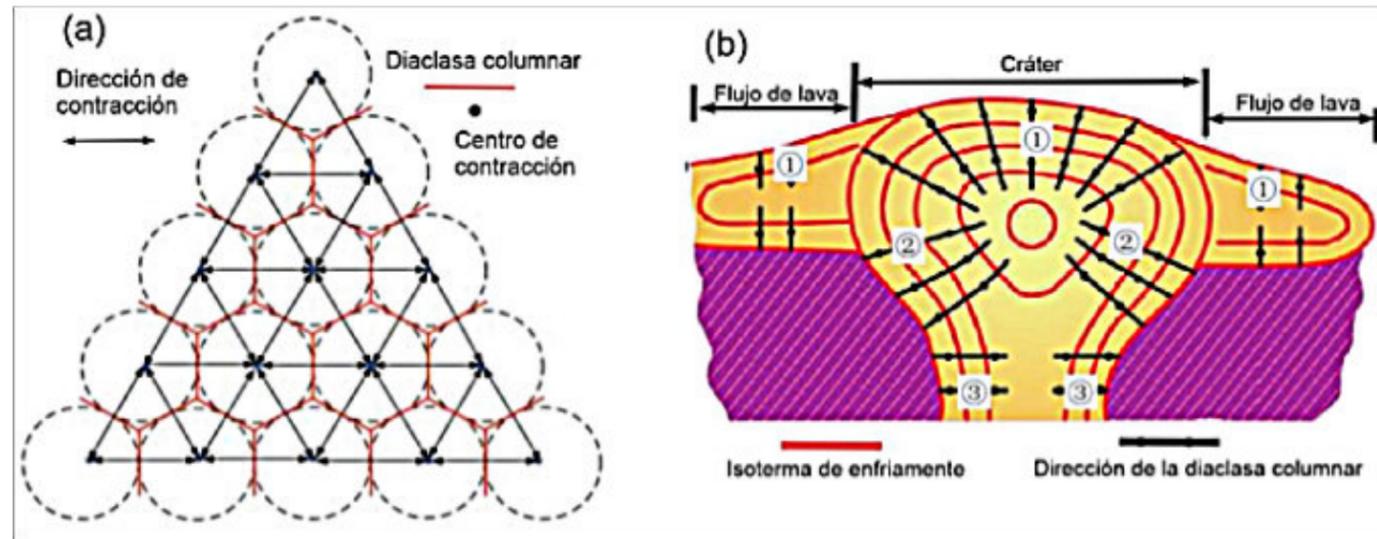


Figura 1. (a) Modelo de hexágonos debido a a hipótesis de contracción durante el enfriamiento (Modificado de Iddings 1886). (b) Direcciones de las diaclasas columnares en las posiciones de un cráter.

En la mayoría de los casos, las grietas de enfriamiento de la lava son irregulares, y es común observar formas pentagonales o cuadradas en el campo. Sin embargo, cuando las condiciones son óptimas, estas estructuras hexagonales pueden ser realmente impresionantes (Hetényi et al., 2012; Li, 2023). Esto se debe a que, bajo la condición de longitudes de lado iguales, el área máxima que se puede cubrir con hexágonos es la mayor posible, y al mismo tiempo, pueden cubrir completamente toda la superficie sin dejar ningún espacio vacío. En este caso, la energía necesaria para formar las fracturas es mínima, lo que convierte al hexágono en la forma ideal para las fracturas en la roca (Fig. 1a). En un cráter volcánico, se puede formar 1) columnas verticales, 2) columnas oblicuas, y 3) columnas horizontales (Fig. 1b).

**Geología de área de estudio**

Las prismas basálticas en Santa María Regla se encuentran en Huasca de Ocampo, en el centro-este del estado de

Hidalgo, México. Está ubicada en el extremo oriental del Cinturón Volcánico Transmexicano (TMVB), con coordenadas 20° 13' 11.60" N, 98° 33' 34.38" W, en el extremo norte del flujo de lava (Fig. 2). Esta maravilla es bien conocida por la fotografía de un explorador alemán durante su visita a México de 1803 a 1804 (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008). Las columnas basálticas han sido desenterradas por la erosión del río Tulancingo, y se estima que tienen una altura de entre 30 y 50 metros (Fig. 2; Xu et al., 2020; Xu y Nieto-Samaniego, 2020). Las rocas de la región varían en composición desde andesíticas, riolíticas y basálticas derivadas de una gran actividad volcánica pliocénica, en forma de flujos de lava, depósitos de flujo y avalanchas de escombros con estructuras laminares. En el Plio-Cuaternario, las rocas son más básicas, asociadas con conos de ceniza y flujos de lava que desarrollan las estructuras prismáticas (Sánchez-Rojas y Osorio-Pérez, 2008).

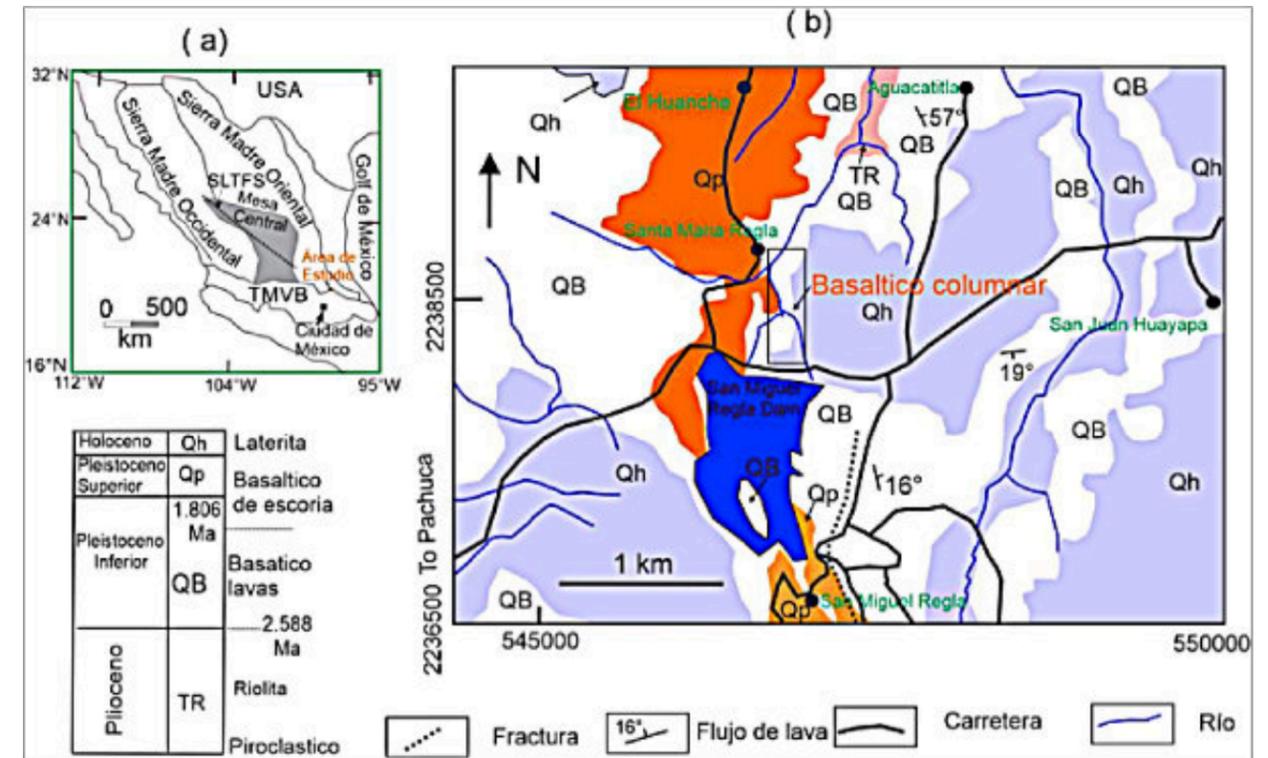


Figura 2. (a) Localización geológica del área de estudio. TMVB, Cinturón Volcánico Transmexicano. SLTFS, Sistema de fallas San Luis-Tepehuanes. (b) Mapa geológico del área de estudio. Modificado de Xu y Nieto-Samaniego (2021).

**Caraterística general**

En la Santa María Regla, se encuentran establatura y colada. La entablatura exhibe columnas estrechas y curvas. La colada está compuesta por columnas regulares con lados casi planares (Fig. 3). Las columnas suelen ser de forma poligonal, con un diámetro que se mantiene aproximadamente constante a lo largo de una fracción significativa de su altura.

**Diaclasas multigeneracionales**

La fracturación columnar se considera una secuencia de eventos más que un solo episodio instantáneo; la roca en enfriamiento se fragmenta en partes progresivamente más pequeñas. Impresa sobre este sistema bastante complejo puede haber un sistema posterior y completamente no relacionado de fracturas en regiones donde la actividad ígnea ha sido seguida por tensión

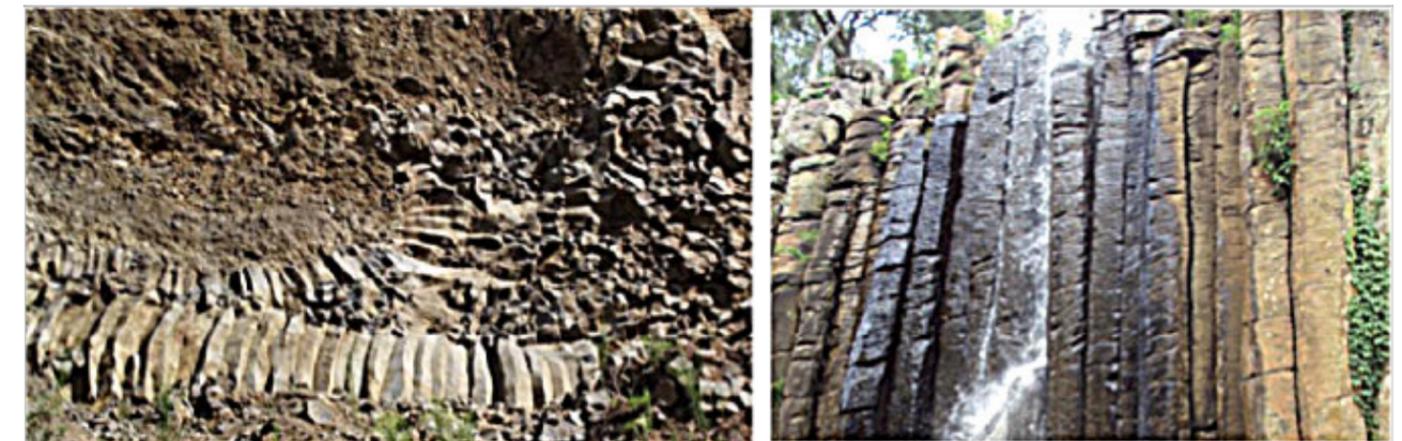


Figura 3. (Izquierdad) Establatura en forma de abanico. (Derecha) Columnas verticales de colada.

cortical. Estas son simples y cruzan las fracturas de enfriamiento sin una relación simétrica con ellas (Spry 1962).

Se observaron dos tipos de diaclasas de enfriamiento tardío. Una de ellas se desarrolla en una sección transversal, siendo perpendicular a la sección transversal y paralela a las superficies de las columnas anteriores (Figura 4). En la Figura 4a, las diaclasas tardías están limitadas por las diaclasas formadas anteriormente, y

presentan una forma irregular de hexágono, con diámetros que van de 10 a 18 cm. En la Figura 4b, las diaclasas tardías se desarrollan dentro de una columna temprana, siendo la mayoría de ellas cuadradas, y algunas pocas pentagonales o hexagonales.

Otro tipo de diaclasas son las oblicuas, observadas en las superficies de las columnas. Algunas de estas diaclasas se forman dentro de un solo cuerpo de columna (Figs.5a, 5b), mientras que otras atraviesan diferentes cuerpos de

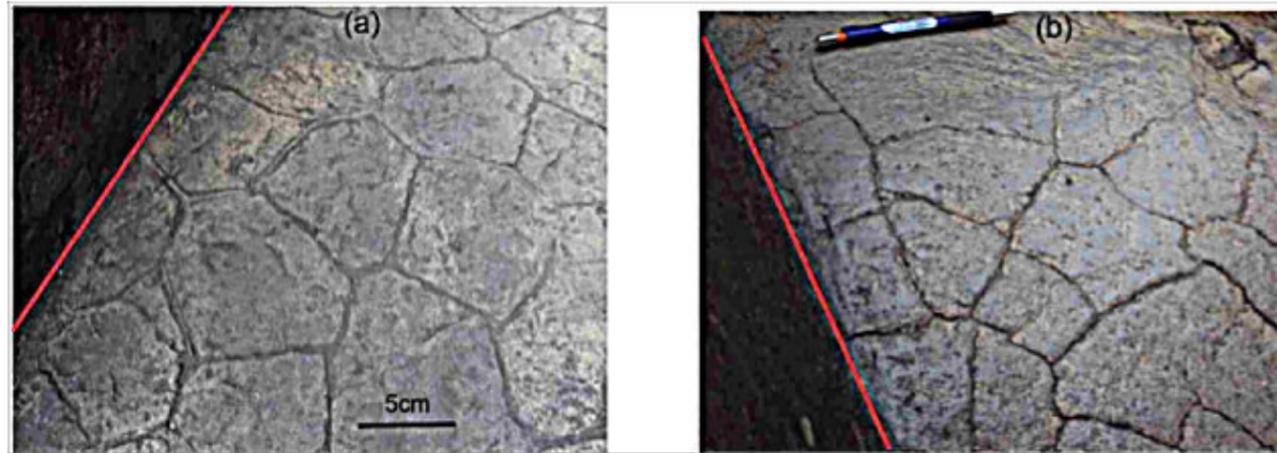


Figura 4. Dos ordenes de diaclasas sobre las secciones transversales de columnas. Las líneas rojo presentan los primeros ordenes de diaclasas de enfriamiento.

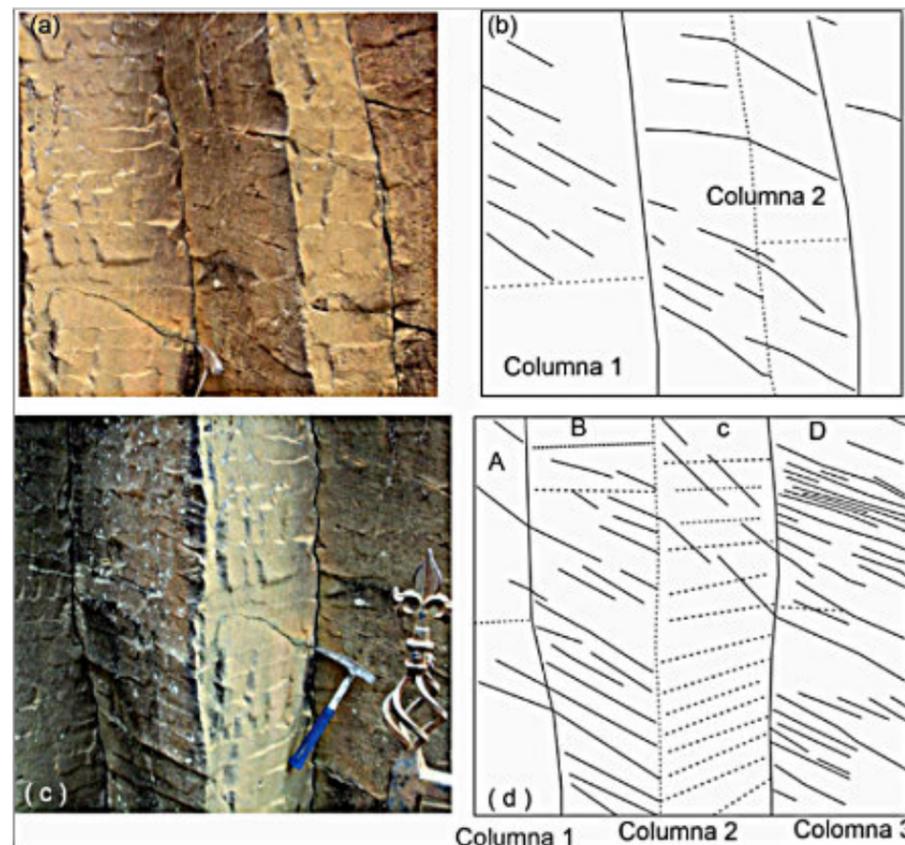


Figura 5. Diaclasas oblicuas a las columnas. (a y b) Las diaclasas oblicuas no penetran a través de la columna. (c y d) Algunas diaclasas oblicuas penetran a través de las columnas.

columna (Figs.5c,5d). Esto podría reflejar que su tiempo de formación es diferente.

**Discusión**

Las diaclasas multigeneracionales fueron observadas por varios autores anteriores (Geikie, 1897; Waters, 1960; Lyle, 2000). También se observan en los experimentos con fécula (Müller, 1998; Xu et al., 2013). Todos los investigadores coinciden en que las diaclasas transversales se forman más tarde que las columnas. Un examen detallado muestra que en algunos flujos, las diaclasas de otro tipo parecen haberse formado en un orden definido

(Spry, 1962). Después de que el flujo ha sido atravesado por un sistema de diaclasas maestras (Fig. 6b), la roca se fragmenta en mega-columnas (Fig. 6c), que son masas aproximadamente cilíndricas que varían en diámetro hasta quince pies o más. Debido a su gran tamaño, generalmente no es posible reconocer las mega-columnas a menos que las exposiciones sean perfectas. Las mega-columnas se pueden encontrar en las colonadas, pero su presencia en el entablamiento no es segura. En algunos flujos, la fracturación cesa en la etapa de mega-columna, dejando columnas muy robustas (Fig. 6d); en muchos

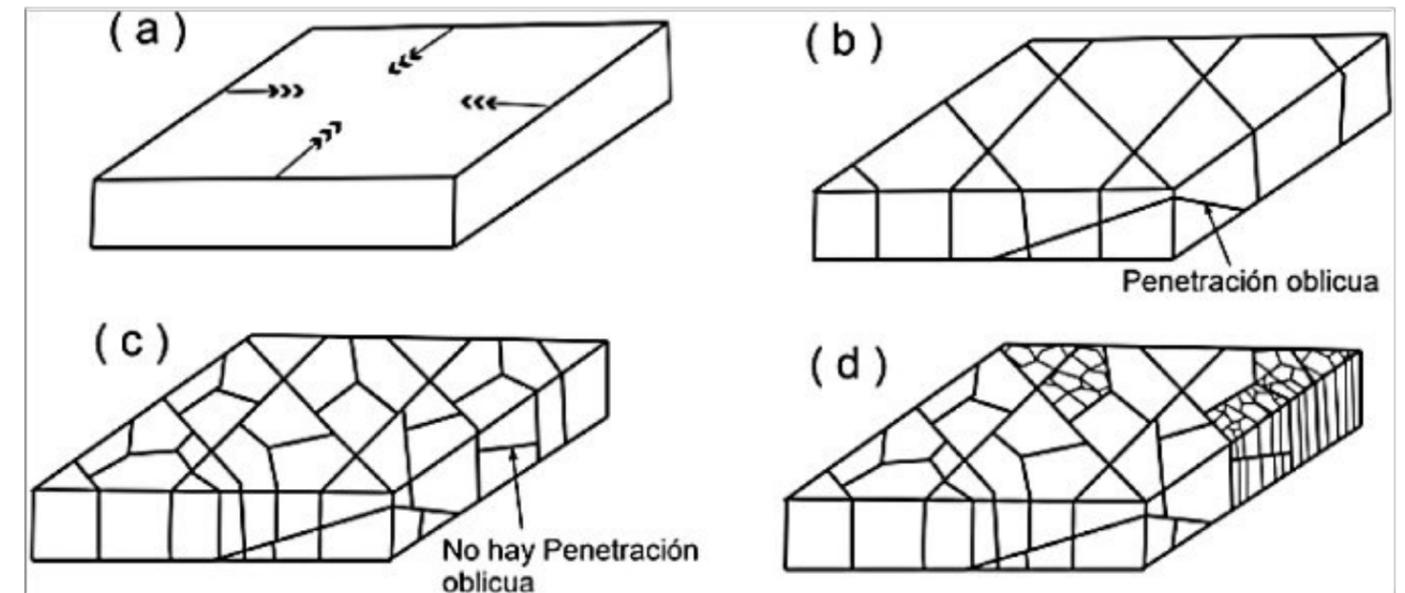


Figura 6. Secuencia de diaclasas columnares. (a) Contracción inicial. (b) Diaclasas maestras. (c) Mega-columnas. (d) Columnas normales en algunos regiones.

flujos, las diaclasas maestras y las mega-columnas están ausentes (Spry, 1962).

**Conclusiones**

La teoría tradicional sostiene que la formación de las columnas prismáticas se debe al enfriamiento de la lava tras una erupción volcánica. Durante el proceso de erupción volcánica, la lava del interior del volcán fluye hacia el exterior, pero al mismo tiempo, la lava externa se enfría y solidifica, formando roca, lo que impide que la lava inferior siga fluyendo hacia fuera. Si la lava inferior acumula una presión mayor de la que puede soportar la lava superior, puede atravesar la lava externa enfriada y continuar fluyendo. Cuando la presión de la lava inferior es insuficiente, la lava permanece en el conducto volcánico y se enfría lentamente. Durante este proceso de condensación, se desarrollan las columnas prismáticas y las superficies isotérmicas.

Las diaclasas observadas en Santa María Regla son multigeneracionales, lo que indica que no todas las fracturas se forman al mismo tiempo. Las diaclasas más tempranas, formadas por la contracción durante el enfriamiento, son atravesadas por fracturas tardías que se desarrollan debido a tensiones posteriores. Estas fracturas pueden ser paralelas o oblicuas a las columnas existentes, reflejando diferentes momentos de formación y condiciones geológicas en su desarrollo. Este proceso es clave para entender la distribución y el tamaño de las columnas basálticas en la región.

**Referencias**

Budkewitsch, P., Robin, P.Y., 1994. Modelling the evolution of columnar joints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 59, 219–239.  
Geikie, A., 1893, *Textbook of Geology*. Macmillan, London. Pp.734.

Gilman, J., 2009. Basalt columns: Large scale constitutional supercooling? *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 184, 347–350.

Goehring, L., Mahadevan, L., Morris, S.W., 2009. Nonequilibrium scale selection mechanism for columnar jointing. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(2), 387–392.

Guy, B., Le Coze, J., 1990. Reflections on columnar jointing of basalts: the instability of the planar solidification front. *C R A S Paris* 311(II), 943–949.

Hetényi, G., Taisne, B., Garel, F., Médard, E., 2012. Scales of columnar jointing in igneous rocks: field measurements and controlling factors. *Bulletin of Volcanology* 74, 457–482. doi:10.1007/s00445-011-0534-4.

Herbert, E., Shepherd, J.B., Sigurdsson, R.H., Sparks, S.J., 1982. On lava dome growth, with application to the 1979 lava extrusion of the soufrière of St. Vincent. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 14 (3-4), 199-222.

Iddings, J.P., 1886. Columnar Structure in the Igneous Rocks of Orange Mtn., N.J. *American Journal of Science* 1~1, 321-330.

Jukes, J.B., 1862, *Manual of Geology*. Black, Edinburgh. Pp. 383.

Kantha, L.H., 1981. 'Basalt fingers' – origin of columnar joints. *Geological Magazine* 118, 251–264.

Li, Y., 2023. Columnar joints in intermediate and felsic volcanic rocks. *Research Square*. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3031790/v1.

Müller, G. 1998, Starch columns: analog model for basalt columns. *Journal of Geophysical Research* 103, 15239–15253.

Lyle, P. 2000. The eruption environment of multi-tiered columnar basalt lava flows. *Journal of the Geological Society, London*, 157, 715–722.

Spry, A.H., 1962. The origin of columnar jointing, particularly in basalt flows. *Journal of the Geological Society of Australia* 8, 191–216.

Sosman, R.B., 1916. Types of prismatic structure in igneous rocks. *The Journal of Geology* 24 (3), 215-234.

Tomkeieff, S.I., 1940. The basalt lavas of the Giant's Causeway district of Northern Ireland. *Bull Volcanol* 6, 89–146.

Waters, A.C., 1960. Determining Directions of Flow in Basalts. *Journal of American Science, Bradley*, 258A, 350-366.

Xu, S., Nieto-Samaniego, Á.F., Botero-Santa, P.A., 2013. Prismas generados por fracturas en experimentos con fécula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 10(2), 282–286.

Xu, S.S., Botero-Santa, P.A., Alaniz-Alvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., 2014. Cross-section features of columnar joints in basalt in the Huasca de Ocampo, Hidalgo of Mexico. Abstract in: *The 5th International MAAR Conference, UNAM*, 11, 2014.

Xu, S.-S., Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Alvarez, S.A., 2020. Column-normal fracture features of the basaltic joints in Santa Maria Regla, Hidalgo State. *Journal of South American Earth Sciences* 101. 102611.

Xu, S.-S., Nieto-Samaniego, A.F., 2020. Geometría de los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo, México. *Revista Nthe* 32, 1-8.

Xu, Shunshan, Nieto-Samaniego, Ángel F., 2021. Ring structures on transverse sections of the basaltic columns in Santa Maria Regla, Hidalgo State, Mexico. *Revista Maya de Geociencias*, 56-61.



La especialidad de investigación del **Dr. Shunshan Xu** es el estudio de la Geología Estructural. Recibió un doctorado en 1998 por la Universidad China de Geociencias (Beijing). Actualmente, está particularmente interesado en la cinemática y dinámica de las fallas, así como en el comportamiento fractal de las fallas y fracturas. Ha dedicado muchos años de investigación al estudio de la deformación en el centro de México, especialmente en la Mesa Central. Su investigación y trabajo técnico han sido documentados en 39 publicaciones, incluyendo en revistas indexadas en SCl.

## El sorprendente fósil viviente - La Formación Chicontepec vs. El Cañón de Chicontepec

**Rogelio Ramos Aracén**

Ing. Geólogo Petrolero Regional Consultor.

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

### Introducción.

Fueron los meses de abril y mayo de 1977 cuando estuve en mi primer encuentro con la Fm. Chicontepec, fue en un proyecto en la medición de secciones estratigráficas en una Brigada de campo al mando del eminente geólogo petrolero Estanislao Velázquez C. y con Héctor Farias como ayte. y el autor como geólogo auxiliar, nos organizamos de tal manera, que uno hacía la medición estratigráfica con el báculo y soportada con topografía, otro hacia las descripciones litológicas y el muestreo a c/5 m. de espesor y otro elaboraba la gráfica de la columna estratigráfica con las descripciones y simbologías adoptadas para el caso.

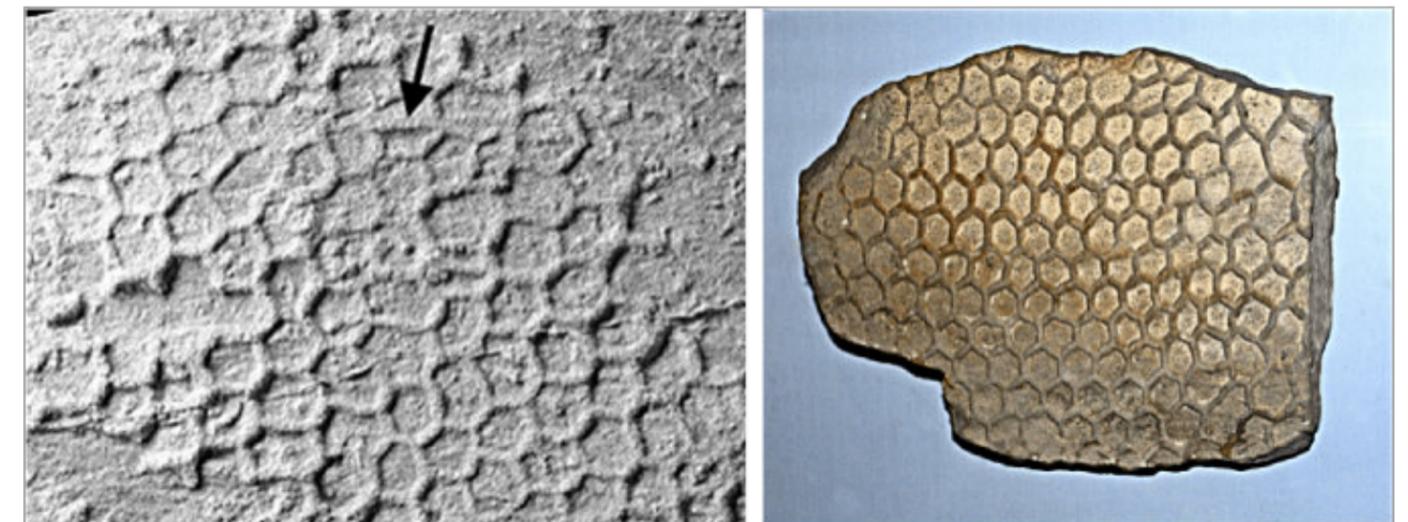
En mi caso me adjudicaron la elaboración de la gráfica en hojas milimétricas de la columna estratigráfica y el detalle de las estructuras sedimentarias de estas rocas y de ahí me hice lector asiduo de los libros de Potter y Pettijhon que nunca me imaginé, que con el tiempo estaría como su alumno del Dr. Edwin Potter, en un curso de sedimentología de terrígenos en la Cd, de Chihuahua,

Chihuahua, y tiempo después como asistente y colaborador en una excursión geológica a la región de Cd Victoria, Tamaulipas donde vimos la secuencia del Paleozoico.

Después de analizar las estructuras sedimentarias de la Fm. Chicontepec, observamos que también se presentaban una serie de formas exóticas, raras y de diferentes tamaños muchas de ellas en los planos inferiores de sus capas, de las cuales solo se les tomaban fotos y se les hacía sus dibujos, sin saber de qué se trataban, afortunadamente en un encuentro con el Dr. Eduardo Aguayo QEPD, en un receso de un congreso Geológico en CDMX, nos recomendó el libro del Dr. Selley, (Selley R.C., 1975) y al consultarlo aprendimos el tema de la Ichnología o el estudio de las Trazas Fósiles que más adelante nos servirían para darnos el entorno del ambiente sedimentario y la batimetría de la Fm. Chicontepec.

### El *Paleodictyon*, una traza fósil común en la Fm. Chicontepec.

En el inmenso grupo de las Trazas Fósiles sobresalía la presencia del *Paleodictyon*, (Figuras 1 y 2) que se considera un ichnofósil típico de los depósitos de flysch relacionadas con turbiditas, la traza fósil está representada por el vestigio fósil, compuesto principalmente por madrigueras de alimentación



Figuras 1 y 2. Morfología típica de celdas hexagonales de la traza fósil *Paleodictyon*.

representadas por los restos de otros organismos como: *Cruziana isp.*, *Cosmorhappe sinuosa*, *Halopoa imbricata*, *Helicolithus sampelayoi*, *Helminthorhappe crassa*, *H. japonica*, *Lorenzina apenninica*, *Megagraption irregulare*, *Paleodictyon minimal*, *P. strozzii*, *Paleomeandron cf. robustum*, *Scolicia prisca*, *Scolicia isp.*, *Spirorhappe azteca*, *Spongeliomorpha oraviense*, *Thalassinoides isp.*, *Urohelminthoidea appendiculata* y *Zoophycos isp.* Gamper M.A. (1977) (Gamper M.A., 1977).

Esta traza fósil denominada *Paleodictyon* Seilacher A. (1977) (Seilacher A., 1977) recientemente la observamos nuevamente en una excursión geológica organizada por el autor en la localidad conocida como El Salto, Puebla en el cruce de la carretera La Ceiba a San Lorenzo, en un arroyo donde como referencia hay un lavadero de camiones.

#### **El *Paleodictyon*, una traza fósil viviente aún en la actualidad.**

En el estudio de Peter A. Rona, Adolf Seilacher, Colomban de Vargas, Andrew J. Gooday, Joan M. Bernhard, Sam Bowser, Costantino Vetriani, Carlo Wirs en, Lauren Mullineaux, Robert Sherrell, J. Frederick Grassle, Stephen Low y Richard A. Lutz, (2009) (Rona A. Peter et. al., 2009) Informan de nuevas observaciones in situ y de estudios de laboratorio de especímenes de una forma sorprendentemente hexagonal pequeña de un diámetro de 2.4 a 7.5 cm. descrita originalmente a partir de escalones sedimentados en una pared del valle axial de la Cordillera Meso-Atlántica a una profundidad y batimetría de 3430–3575 m. cerca de las coordenadas 26°N, 45°O que parece ser idéntica a la forma icónica de un *Paleodictyon nodosum* descrita como un vestigio fósil de depósitos de flysch del Eoceno en sitios de Europa y Gales. Sus hallazgos son los siguientes:

- La forma aparentemente está aglutinada en sedimentos del fondo marino (una capa de lutita calcárea sobre sedimentos metalíferos rojos) y consta de tres filas equidistantes de pequeños agujeros (diámetro ~1 mm) que se cruzan en un ángulo de 120° y se conectan continuamente a través de ejes verticales (longitud de 2 a 3 mm) con una red horizontal subyacente de tubos o túneles idénticos a la forma fósil.

- El número de filas de agujeros y el espaciamiento de las filas aumentan con el diámetro total de la forma, indicativo de crecimiento orgánico.

- Tiene forma de escudo rodeado por un labio y una fosa con un relieve superficial (~0,5 cm) que está ausente en la forma fósil. El relieve de la superficie expone el sedimento rojo subyacente y puede haber sido producido por excavación (origen constructivo) o por crecimiento de la infauna (forma corporal).

- La secuenciación genética del material de la forma identificó diferentes foraminíferos que se habían asentado en el patrón de agujeros que actúa como un deflector para atrapar la materia orgánica.

- Los modelos en tanques de canal muestran que la forma de tipo de escudo desvía el flujo de las corrientes oceánicas hacia una estructura autoventilada capaz de airear y hacer circular partículas orgánicas a través de tubos o túneles.

- Las técnicas de recuento microbiano indicaron abundancias de fondo dentro y fuera de la forma. Llegamos a dos interpretaciones alternativas de los hallazgos que se pueden resolver con estudios adicionales:

- El *Paleodictyon nodosum* moderno es una madriguera consistente con la interpretación de la forma antigua como un rastro fósil.

- El *Paleodictyon nodosum* moderno es una forma comprimida de una esponja hexactinélida adaptada a un sustrato sedimentario, lo que significa que la forma antigua es un cuerpo fósil con posible afinidad con la fauna de Ediacara.

#### **La Formación Chicontepec**

**Definición.** Inicialmente fue utilizada por Cummings con el nombre de capas Chicontepec, pero es, E.T. Dumble, (Dumble E.T., 1918) quien le dio formalmente el nombre de Formación Chicontepec para referirse a una serie de alternancia de areniscas arcillosas con limolitas y lutitas, gris verdosas con estratificación rítmica e intercalaciones delgadas de margas arenosas de color gris oscuro.

Posteriormente Nuttall (Nuttall W.L.F., 1930), en base a estudios micropaleontológicos divide a ésta en tres miembros: Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y

Chicontepec Superior, división que hasta ahora prevalece por la buena diferenciación con micropaleontología.

**Localidad tipo,** La localidad tipo se localiza a 2.5 Km., al oriente de Chicontepec, Veracruz, son famosos también los afloramientos que se encuentran en la región de Huejutla y Atlapexco, Hgo.

**Litoestratigrafía.** La Formación Chicontepec está constituida predominantemente por series de areniscas de tipo turbiditas de color gris y café oscuro con lutitas de color gris con estratificación en capas gruesas, delgadas, y laminares.

La Formación Chicontepec corresponde a secuencias típicas de turbiditas en donde la famosa secuencias Bouma, así como sus estructuras sedimentarias, granulometrías, trazas fósiles, además de sus texturas petrográficas así lo demuestran.

Los sedimentos que rellenan la Cuenca de Chicontepec ubicada lo largo y en sentido paralelo al frente NW-SE de la SMO, se caracterizan por ser de origen turbidítico, depositadas primero por corrientes submarinas que erosionaron el sustrato para dar forma a la cuenca y después hubo un depósito volumétricamente importante en las depresiones formadas por la erosión en abanicos submarinos.

Los estudios de geología de campo son fundamentales desde los primeros de A.H. Noble y Nuttall y los de E. Velázquez, hasta los más recientes de Bitter, (Bitter B, 1983) Aguayo (Aguayo C.J.E et al., 2006).

Desde su diferenciación litológica solo el miembro basal de la Chicontepec, al cual también se le trata como la parte basal de la Fm. Velasco, se tratan de lutitas gris verdosas y café grisáceo que están íntimamente muy relacionadas con el límite K/T y con la extinción de los Dinosaurios como la propuso Walter Álvarez (1980). (Álvarez W., 1980).

Aquí entramos a la teoría del Choque del meteorito que impactó a la antigua región marina de la actual península de Yucatán, que gracias a un geofísico mexicano Ing. A. Camargo, junto con el investigador G. Penfield localizan el lugar del impacto y le denominan **Chicxulub**, tal y como ya es mundialmente conocido.

Por lo tanto, el miembro basal de la Fm. Velasco, es el único contacto litológico distinguible tanto en pozos como

en la superficie, y los siguientes tres miembros de la Fm. Chicontepec, miembros inferior, medio y superior, son litológicamente difíciles de distinguir y se tratan de alternancias de areniscas de color café claro de grano fino a muy fino en capas de 10 a 120 cm., de espesor que alternan con capas delgadas de lutitas de color gris oscuro, café claro y café amarillento por intemperismo.

De tal manera que estudiar la Fm. Chicontepec no es fácil, ya que debido a que son turbiditas de mares profundos comúnmente han sido mal interpretadas por diversos autores y analistas.

Se presentan imágenes de algunos afloramientos representados en las figuras 4 a la 7, donde se muestran los fenómenos sin-sedimentarios que son muy comunes dentro de la Fm. Chicontepec.

Las interrogantes son muchas porque muchos se preguntan de donde provienen esa gran cantidad de sedimentos terrígenos y como fueron las direcciones de sus paleo corrientes, las respuestas son; la primera debido a la inestabilidad de la génesis de la SMO y al levantamiento de la Placa Norteamericana con los movimientos verticales laramídicos que hicieron resbalar a las capas erosionadas de la SMO sobre las capas sedimentarias ya depositadas de esta formación y sobre la cuenca Tampico Misantla dejando actualmente solo restos de estas rocas de mares profundos que ya durante el Eoceno se presentan como Cañones Submarinos. Rosenfield J, y Pindell. (Rosenfield J. Pindell J., 2002-2003) Y en cuanto a sus paleo corrientes medidas en campo directamente por E. Velázquez, (1979) (Informe Inédito) (Velázquez E.C., 1979) y M. Bitter (Op. Cit.) son de dirección del NW hacia el SE.

Las imágenes de las figuras 4 a la 7 corresponden a depósitos intra plegados por corrientes sinuosas de tipo sin sedimentarias, es decir simultáneas al tiempo Monteano e Ypresiano, estos depósitos han sido malinterpretados en la porción sur de la cuenca de tal forma que mapean erosiones donde la columna geológica está completa como lo menciona Cantú (Cantu Chapa A., 1985).

Otro aspecto muy importante que las capas de areniscas en su base tienen una gran cantidad de Trazas fósiles o

Ichnofósiles, que todas ellas indican que las condiciones donde se depositaron estas secuencias de areniscas de tipo turbiditas lo hicieron a la profundidad batimétrica promedio de 3,800 m. b. n. m., de tal manera que las trazas fósiles fueron básicamente fundamentales para identificar su ambiente de depósito y su batimetría, cuestión que con la metodología tradicional de los microfósiles tipo foraminíferos no se podían precisar.

**Distribución.** La Formación Chicontepec se encuentra aflorando desde el sur de la Cd. de Tamuín, S. L. P., distribuyéndose a lo largo de una franja en dirección NW-SE de forma semi paralela con el frente de la Sierra Madre Oriental cubriendo geográficamente parte de los estados

de San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz y de Puebla como se muestra en el mapa geológico, de la figura 3.

La Formación Chicontepec forma parte de la cuenca de Chicontepec, López Ramos (1979) (Lopez Ramos E., 1979) la cual se encuentra dentro de la Cuenca Tampico Misantla.

**Relaciones Estratigráficas,** La Formación Chicontepec se encuentra concordantemente sobre yaciendo en sentido litológico continuo sobre la Formación Velasco, en su miembro Velasco Basal, la cual está en franca discordancia paleontológica con la infra yacente Formación Méndez.

**Bioestratigrafía.** Litológicamente la Formación Chicontepec es difícil diferenciarla en miembros

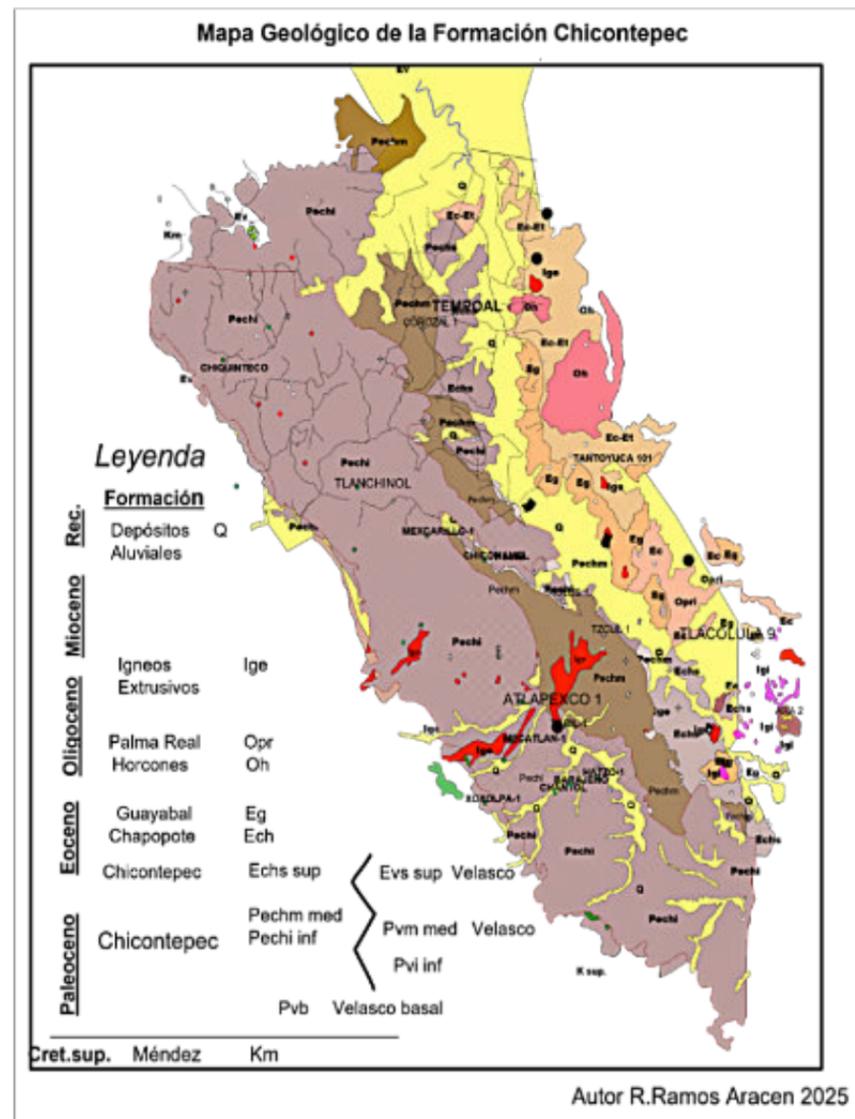


Figura 3. Mapa de Distribución de afloramientos de la Fm. Chicontepec.

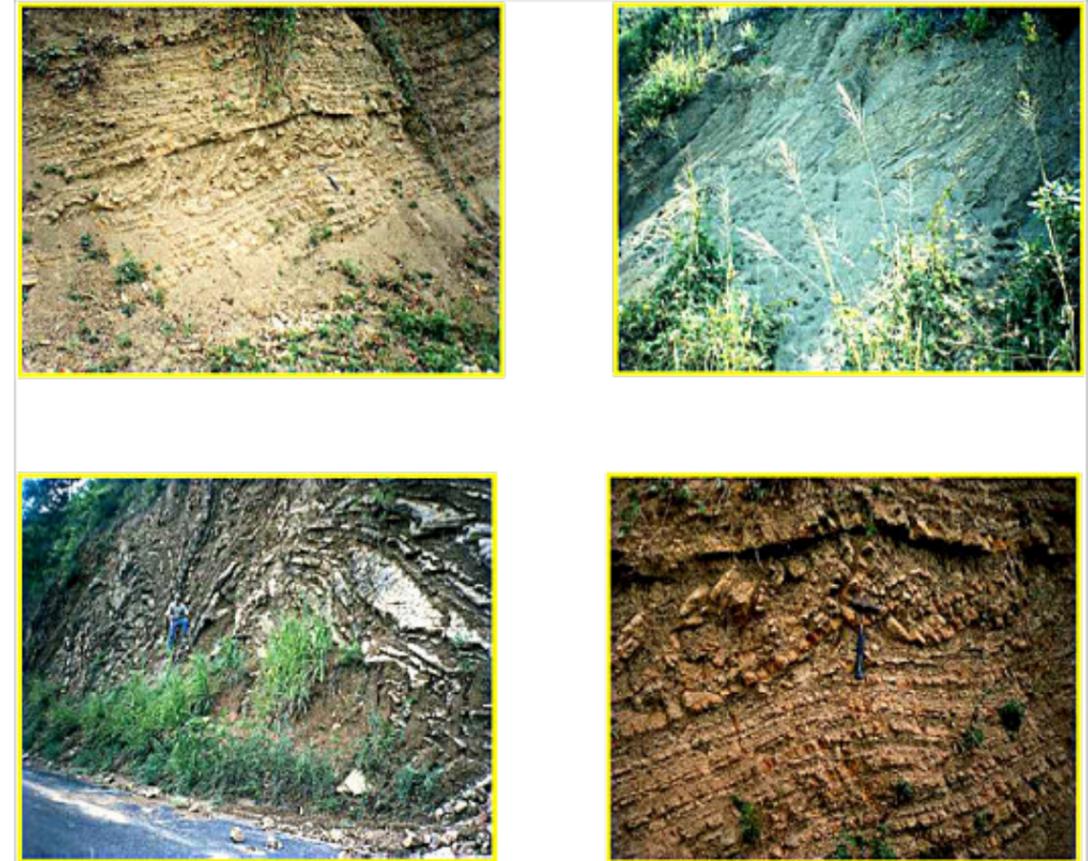
litológicos y al igual que la Fm. Velasco, es en base a su contenido micro paleontológico como están divididas es decir tiene tres biozonas.

Por lo cual la Formación Chicontepec está dividida en tres miembros, Chicontepec Inferior, Chicontepec Medio y Chicontepec Superior.

- **Miembro Chicontepec Inferior (Paleoceno inferior Montiano).**

Esta secuencia se le puede observar en los afloramientos en la parte norte de la Cuenca de Chicontepec, desde Huejutla, Hgo. hasta el norte del Arroyo Tanlajas, en el estado de S.L.P., y a lo largo de la carretera México-Poza Rica entre los Kilómetros 229-261, así como en las proximidades de La Ceiba, Puebla. En subsuelo el espesor de la Formación Chicontepec completa en promedio es de 1500 m, de acuerdo a lo reportado en pozos perforados.

- **Miembro Chicontepec Medio (Paleoceno Medio,**



Figuras 4-7. Imágenes de afloramientos de la Fm Chicontepec, en la región de Atlapexco y Huejutla, Hgo., con depósitos sin sedimentarios.

**Thanetiano)** El contenido de microfauna de foraminíferos es abundante, determinándose la presencia de:

*Anomalina velascoensis* (Cushman), *Morozovella*, *Globorotalia wilcoxensis*, *Globorotalia acuta*, Toulomi, *Nuttallides florealis* (White), *Spiroplectamma grzybowskii*, *Chiloqumbelina critina*, *Morozovella oxycona* (Reuss), *Chilestomella sp.*, *Bulimina trihedra*, *Globigerina*

*velascoensis* y *Gümbelina globulosa* (Ehrenberg), Entre otras; por lo que se le asigna una edad del Paleoceno Superior.

**Edad,** Paleoceno.

**Correlación** Se correlaciona con la Fm. Velasco, Wilcox y Midway del Paleoceno de la Cuenca de Burgos, y con la Fm. Soyaló de la Sierra de Chiapas.

**Batimetría, Batial**

**Ambiente de depósito,** Los depósitos de la Formación Chicontepec se depositaron sobre un talud batial asociado a turbiditas en abanicos submarinos, se relacionan al continuo levantamiento del Occidente y un acelerado hundimiento o basculamiento al Oriente, que da por resultado la Sierra Madre Oriental y que al erosionarse aporta un gran volumen de sedimentos hacia la cuenca en condiciones como depósitos que ocurrieron de manera irregular en abanicos submarinos.

**El Cañón de Chicontepec.**

El famoso y polémico Cañón de Chicontepec de Bush y Govela, (1978) (Bush D.A. Govela A.A., 1978) corresponde a depósitos de areniscas de grano fino a medio de tipo turbiditas pero que ya no corresponden a los abanicos submarinos como la verdadera, Fm. Chicontepec, sino que estos depósitos son suprayacentes en forma discontinua o de discordancia angular sobre las areniscas de la formación Chicontepec de tal manera que es muy difícil distinguirla tanto en afloramientos y mucho más en el subsuelo sin embargo el Dr. Bush identificó un famoso horizonte a partir de los registros de pozos al cual le llamo el Horizonte "C" y a partir de esta marca elaboró sus secciones geológicas y mapeó con isopacas esa secuencia en su trabajo denominado el Paleo cañón de Chicontepec. Sin embargo, existían estudios bio-estratigráficos que daban el entendido que no existía ninguna erosión, sino que la columna geológica estaba completa en la región por lo cual se crearon varias confusiones y discusiones entre varios especialistas tanto mexicanos como extranjeros dada la importancia económica petrolera que tenían estos sedimentos en algunas áreas de los campos de Poza Rica, Ver.

La clave para discernir sobre estas dudas, es que existe un cambio bio-estratigráfico y también en los registros tal y como los observó el Dr. Bush, entre el Paleoceno Superior y el Eoceno medio en algunas áreas y es probable que los organismos de edad Eoceno inferior, en amplias regiones si están presentes, pero en otras no, o también que los micro foraminíferos hayan sido retrabajados lo cual

también dificultaría esas interpretaciones, sin embargo analizando las características texturales y la granulometría de estas areniscas tipo turbiditas es otro factor favorable para diferenciarlas, ya que en la Fm. Chicontepec predominan en el subsuelo las areniscas de grano fino a limolita porque corresponden a depósitos de abanicos submarinos distales, en tanto que los del Canal o Cañón llegan hasta de grano medio

**Discusiones finales.**

- En las trazas fósiles sobresale la presencia de Paleodictyon nodosa.
- La Formación Chicontepec es el resultado de depósitos de abanicos submarinos con areniscas y lutitas de tipo turbiditas.
- Contienen abundantes estructuras sedimentarias donde sobresalen las trazas fósiles.
- Las numerosas trazas fósiles que indican una profundidad batial.
- La Formación Chicontepec es de edad Paleoceno.
- El Cañón de Chicontepec es de Edad Eoceno y se le confunde con la denominada Chicontepec superior.
- Los depósitos del Paleo-cañón o canal de Chicontepec descansan sobre una discontinuidad o discordancia angular a la verdadera Formación Chicontepec.

**Referencias**

Aguayo, C.J.E et.al., 2006; *Geología Regional de la Cuenca de Chicontepec del centro oriente de México, como antecedente para el estudio de su porción noroccidental en afloramiento*. III Simposio; La investigación y desarrollo en la Facultad de Ingeniería.

Álvarez, W., 1980; Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208 (4448), p. 1095-1108.

Alvarez, W. (2009). The historical record in the Scaglia Limestone at Gubio, magnetic reversals and the Cretaceous-Tertiary mass extinction. *Sedimentology* 56, p. 137-148.

Bitter, M. C., 1983; *Sedimentology and Petrology of the Chicontepec Formation, Tampico-Misantla Basin, Eastern Mexico*. Thesis (Master of Science) University of Kansas.

Bush, D.A. and Govela. A.A., 1978; Chicontepec Field, Mexico, Tampico Misantla Basin, in Foster, N.H. and Beaumont, E.A. Stratigraphic Traps III. *AAPG*

*Treatise of Petroleum Geology, Atlas of Oil and Gas fields.*

Cantu Chapa, A., 1985; Is there a Chicontepec paleocanyon in the Paleogene of eastern Mexico? *Journal of Petroleum Geology*, p. 423-434.

Dumble, E.T., 1918; Geology of the Northern end of the Tampico Embayment Area., *California Academy of Sciences Proceedings* 8, p. 113-156.

Gamper, M.A., 1977; Bioestratigrafía del Paleoceno y Eoceno de la Cuenca Tampico Misantla basada en los foraminíferos planctónicos, *Rev. Inst. Geol. UNAM* 6 (1), p. 118-128.

Lopez Ramos, E., 1979; *Geología de México, 2a Edición, Tomo II*. México

Nuttal, W.L.F., 1930; Eocene foraminifera from Mexico. *Journal of Paleontology* 4, p. 271-293.

Rona, P.A., et. al. 2009; Paleodictyon nodosum: a living fossil on the deep sea floor, in Deep Sea Research Part II: *Topical Studies in Oceanography, Vol. 56 Issues 19-20 September*, p. 1700-1712.

Rosenfeeld J. and Pindell J., 2002-2003; Early Paleogene Isolation of the Gulf of Mexico from the Worlds Ocean? Implication for hydrocarbons explorations and Eustacy, in Bartolini, C. et.al., *AAPG Memoir 79. The Circum Gulf of Mexico and Caribbean Hydrocarbon Habitats*, p. 89-103.

Seilacher A., 1977; Pattern analysis of Paleodictyon and related trace fossils, in: *Crimes, T.P., Harper. J.C. (eds); Trace Fossils. vol.9 issues 19-20 (Geological Journal Special Issue)*, p. 289-334.

Selley, R.C., 1975; *An Introduction to Sedimentology*; London University Reader in Petroleum Geology at Imperial College, London, England

Velázquez, E.C., 1979; *Mediciones Estratigráficas en la Fm. Chicontepec*. Tampico, Tam.: Inedito.



**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 Tamamaulipas. 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 Simposio 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 Simposio 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.

## EL GÉNERO *BELONOSTOMUS* (ASPIDORHYNCHIDAE) EN LA FORMACIÓN LA LUNA (CRETÁCICO INFERIOR), SIERRA DE PERIJÁ, VENEZUELA

JHONNY E. CASAS

Escuela de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



### INTRODUCCIÓN

Restos fósiles de peces son comunes en la Formación La Luna, tanto en Venezuela como en Colombia, pero la mayoría están demasiado fragmentados para su identificación. Weiler (1940) describió algunos restos de peces de la Formación La Luna en el área de San Cristóbal entre los que se pueden mencionar *Cimolichtys gerthi* y escamas de *Elopopsis*.

Hace algunas décadas, algunos restos de peces y tiburones fueron identificados, provenientes de una cantera de extracción de calizas denominada Cantera La Luna, cerca de la población de La Villa del Rosario, estado Zulia. Los restos de peces identificados incluyeron dientes de *Squalicorax* sp., dentarios de *Enchodus* sp. y placas dentarias de *Bananogmius* sp. (Moody y Maisey, 1994). Además de los hallazgos anteriores, los autores del presente artículo de divulgación, recolectaron e identificaron un fragmento del rostro muy bien preservado de un pez perteneciente al género *Belonostomus* (Aspidorhynchidae). El fragmento de pez reportado en este artículo, fue previamente mencionado sin mayores detalles por Moody y Maisey (1994), en espera de la publicación definitiva de este descubrimiento por Casas y Moody (1997).

La Formación La Luna, la más prolífica roca generadora de hidrocarburos en Venezuela, fue formalmente descrita por Hedberg & Sass (1937). Consiste de calizas laminadas de color gris oscuro a negro, carbonáceas a bituminosas, intercaladas con lutitas laminadas calcáreas negras y se caracteriza por presentar niveles fosilíferos con restos fragmentarios de peces (vértebras, dientes, etc.), así como niveles de concreciones discoidales a elipsoidales, de tamaños que varían desde pocos centímetros a más de un metro, compuestas de caliza micrítica densa, que llegan a formar horizontes continuos y que contienen variados macrofósiles entre los cuales Rutsch y Salvador (1954) mencionan al pelecípodo *Inoceramus labiatus* (hoy en día reasignado a *Mytiloides labiatus*), así como diversos amonites entre los que Renz (1982) identifica: *Romaniceras* cf. *deverianum* y *Protexanites* sp., indicando una edad que oscila entre el Cenomaniense tardío y el Coniaciense. Entre otros ammonites comúnmente encontrados en estas secciones se pueden mencionar: *Coilopoceras springeri* y *Gauthiericeras bajuvaricum*.

El ambiente de sedimentación de la Formación La Luna es interpretado por Méndez (1989), como la acumulación de sedimentos correspondientes a un evento anóxico oceánico, donde el alto contenido de nutrientes en las aguas permitió un gran desarrollo de

la biota pelágica. En sección fina, las calizas de la Formación La Luna aparecen compuestas casi enteramente de foraminíferos pelágicos tales como *Rotalipora*, *Guembelina*, *Globorotalia* y *Globotruncana* (Gonzalez de Juana *et al* 1980).

### DESCRIPCIÓN SISTEMÁTICA

Clase: Actinopterygii KLEIN, 1885

Orden: Aspidorhynchiformes BLEEKER, 1859

Familia: Aspidorhynchidae NICHOLSON & LYDEKKER, 1889

Género: *Belonostomus* AGASSIZ, 1834

### MATERIAL, LOCALIDAD Y EDAD

El fragmento del rostro de *Belonostomus* sp. fue recolectado en un fragmento de caliza caído del afloramiento perteneciente a la sección inferior de la Formación La Luna, expuesta en la Cantera La Luna, a unos 23 Km al noroeste de la población de La Villa del Rosario (Fig. 1), distrito Perijá, estado Zulia.



Figura 1. Ubicación regional y local del área de hallazgo (cuadrado rojo) al noreste de la Villa del Rosario (Estado Zulia), Venezuela.

La Cantera La Luna presentaba en el momento del hallazgo, dos frentes abiertos para la explotación de calizas, el primero en estado inactivo y de donde procede el ejemplar en estudio, expone una sección vertical de unos 16 m de espesor, donde afloran la parte superior de la Formación Maraca y unos 10 m de la sección inferior de la Formación La Luna (Fig. 2). Erlich

*et al* (1999) postulan una discordancia entre las formaciones Maraca y La Luna en el norte de la cuenca de Maracaibo, que abarca el Cenomaniense Inferior-Medio.

En esta sección, La Luna se compone de calizas delgadas, finamente laminadas, de color negro (conteniendo gran cantidad de pequeños fragmentos de huesos y escamas de peces), intercaladas con lutitas negras calcáreas, una de las cuales, ubicada cerca de la base, presenta gran cantidad de concreciones elipsoidales con restos de amonites sin identificar. Gonzalez de Juana *et al* (1980) menciona la presencia de *Rotalipora appeninica* en capas basales de la formación, por lo que la edad estimada de esta sección en la región de Perijá es considerada Cenomaniense Medio a Superior (Erlich *et al* 1999).



Figura 2. Afloramiento de calizas espesas de la Formación Maraca (base) y sobre ella calizas y lutitas delgadas típicas de la Formación La Luna (tope), ubicado en la Cantera La Luna, La Villa del Rosario. Barra de escala 1 m.

### DESCRIPCIÓN

El fragmento del rostro del pez (Fig. 3), mide unos 69 mm de largo y está preservado tanto en su lado derecho como izquierdo, aunque aparece roto en su parte posterior. Se encuentra reemplazado por fosfato y deformado oblicuamente por compactación de los sedimentos. No existe ornamentación visible a todo lo largo del fósil.

Cada rama del rostro presenta una fila de finos dientes cónicos (más de 70 por lado), recubiertos de una capa translúcida, posiblemente de vitrodentina. El esmalte de estos dientes aparece estriado verticalmente. El tamaño promedio de los dientes oscila de 1 a 1,5 mm de alto (Fig. 4). La dimensión de los dientes disminuye ligeramente hacia la zona distal, y los que se observan en la zona proximal aparecen curvados hacia la parte

distal. El ejemplar fósil fué cedido por el primer autor a la Sección de Paleontología del Museo de Biología, Universidad del Zulia, donde reposa bajo el número de catálogo MBLUZ P-874 (Casas y Moody, 1997).

#### DISCUSION

La familia Aspidorhynchidae comprende cuatro géneros, *Belonostomus*, *Vinctifer*, *Aspidorhynchus* y *Richmondichthys*. Todos los aspidorhynchidos tienen como característica muy distintiva un rostro elongado, menos el último mencionado, todos ellos con una estructura compleja, pero que permite distinguirlos entre sí. En *Belonostomus*, los dientes se disponen a todo lo largo del rostro, mientras que en *Aspidorhynchus*, los dientes están restringidos a la base del rostro. En *Vinctifer*, gran parte del rostro carece de dientes excepto por unos pocos que se encuentran localizados en la parte posterior y que son de tamaño pequeño (Moody y Maisey, 1994).



Figura 3. Fragmento del rostro de *Belonostomus* sp. Escala en cm.

El rostro en *Aspidorhynchus* es corto y relativamente robusto, mientras que en *Vinctifer* es un poco más largo y relativamente voluminoso. En *Belonostomus* sin embargo, el rostro es mucho más delgado y alargado que los anteriores. Existen también otras diferencias importantes en la estructura del cráneo que han sido descritas en detalle por Maisey (1991), Brito (1992) y Bogan *et al* (2011).

El rostro recuperado de los estratos de la Formación La Luna, presenta una forma delgada y bastante alargada (Fig. 2), con gran cantidad de dientes en toda su extensión, lo cual permite asignarlo sin lugar a dudas al género *Belonostomus*.

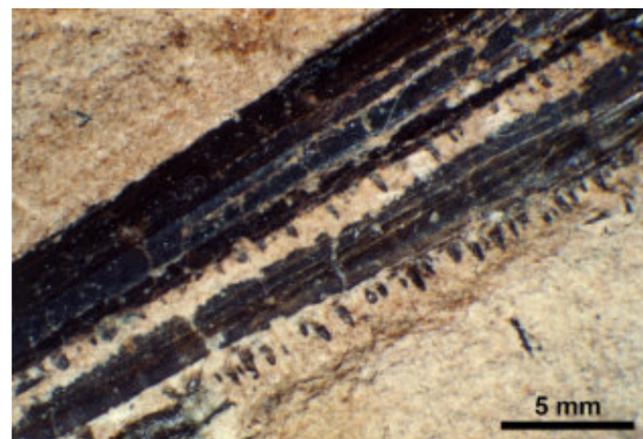


Figura 4. Detalle del rostro, observándose cada lado con una fila de numerosos dientes cónicos.

#### DISTRIBUCION MUNDIAL

*Belonostomus* ha sido registrado desde el Kimmeridgiense hasta el Maastrichtiense en sucesiones marinas a través de Asia, Europa, América, norte de África y Australia (Wilson y Chalifa, 1989), llegando incluso hasta el Paleoceno en Norteamérica (Bryant, 1987).

Entre las especies más importantes halladas en Norteamérica se pueden citar: *Belonostomus longirostris*, el cual ha sido registrado en las Formaciones Red Deer River y Kaskapau en las provincias de Alberta y Saskatchewan (Canada), Formación Judith River (Montana), Lance (Wyoming), así como la Formación Austin Chalk (Texas), todas de finales del Cretácico. En la Formación Hell Creek (North Dakota), *Belonostomus longirostris* aparece dentro de un conjunto de taxones vertebrados ubicados en los últimos 5 m de la formación, antes de alcanzar el límite K/Pg (Pearson *et al* 2002).

Ejemplares de *Belonostomus* sin identificación de especie han sido descritos por Van Vranken *et al* (2019) en la Formación Eagle Ford Shale (Cretácico Superior) y en la Formación Del Rio (Cenomaniense), ambas en Texas, así como en la Formación Eutaw (Santonense Superior) en Alabama y en la Formación Prairie Bluff Chalk (Maestrichtiense) en Mississippi; mientras que *Belonostomus ornatus* ha sido descrito en la Formación Sabinal del Neocomiense de México (Bardack, 1968).

En Sudamérica *Belonostomus longirostris* ha sido descrito en Argentina (formaciones Allen y Coli Toro) y en Chile (Formación Quiriquina), abarcando probablemente desde el Campaniense hasta el Maestrichtiense (Brito y Suarez, 2010). También *Belonostomus lamarquensis* ha sido descrito para el Campaniense-Maestrichtiense de la misma Formación Allen en Argentina por Bogan *et al* (2011).

#### CONCLUSIONES

El descubrimiento e identificación de este ejemplar de *Belonostomus* sp. en Venezuela, ofrece nuevos datos paleontológicos y paleogeográficos acerca de la distribución mundial en sucesiones Cretácicas de este

#### REFERENCIAS

- BARDACK, D. 1968. *Belonostomus* sp. The first Holostean from the Austin Chalk (Cretaceous) of Texas. *Journal of Paleontology*, 42 (5): 1307-1309.
- BOGAN, S., TAVERNE, L. & AGNOLIN, F.L., 2011. Description of a new aspidorhynchid fish, *Belonostomus lamarquensis* sp. nov. (Halecostomi, Aspidorhynchiformes), from the continental Upper Cretaceous of Patagonia, Argentina. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre*, 81: 235-245. [https://www.researchgate.net/publication/273775999\\_Description\\_of\\_a\\_new\\_aspidorhynchid\\_fish\\_Belonostomus\\_lamarquensis\\_sp\\_nov\\_Halecostomi\\_Aspidorhynchiformes\\_from\\_the\\_continental\\_Upper\\_Cretaceous\\_of\\_Patagonia\\_Argentina](https://www.researchgate.net/publication/273775999_Description_of_a_new_aspidorhynchid_fish_Belonostomus_lamarquensis_sp_nov_Halecostomi_Aspidorhynchiformes_from_the_continental_Upper_Cretaceous_of_Patagonia_Argentina)
- BRITO, P. 1992. L'endocrané et le moulage endocrânien de *Vinctifer comptoni* (Actinopterygii, Aspidorhynchiformes) du Crétacé Inferieur du Brésil. *Annales de Paléontologie*, 28 (3): 129-157.
- BRITO, P. & SUAREZ, M. 2010. Late Cretaceous *Belonostomus* (Pisces, Actinopterygii, Aspidorhynchidae) from Algarrobo, Chile, with comments on aspidorhynchid paleodistribution in South America. *Revista Geológica de Chile* 30 (1): 117-127. <http://www.andeangeology.cl/index.php/revista1/article/view/V30n1-a08>
- BRYANT, L.J. 1987. *Belonostomus* (Teleostei: Aspidorhynchidae) from Late Paleocene of North Dakota. *Paleobios*, 43: 1-3. <https://ucmp.berkeley.edu/museum/pbios/backissues/v1no43.pdf>
- CASAS, J. E. & MOODY, J. 1997. First report of *Belonostomus* (Aspidorhynchidae) in the La Luna Formation (Cretaceous), Perijá range, Venezuela. *Boletín Sociedad Venezolana de Geólogos*, 22(1): 51-55.
- ERLICH, R., MACSOTAY, O., NEDERBRAGT, A. & LORENTE, M.A. 1999. Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Cretaceous rocks of western Venezuela. *Palaeo*, 153: 203-208
- GONZALEZ DE JUANA, C.; ITURRALDE, J. & PICARD, X. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas, 1031 p.
- HEDBERG, H. & SASS, L.C. 1937. Synopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela: *Boletín de Geología y Mineralogía*, Servicio Técnico de Geología y Minería, Caracas, 2(4): 83-84.
- MAISEY, J. 1991. *Vinctifer*. En: *Santana Fossils* (J.G. Maisey Ed.), TFH Publications, New Jersey, p. 170-189.
- Mendez, J. 1989. La Formación La Luna. Característica de una cuenca anóxica en una plataforma de aguas someras. *VII Congreso Geológico Venezolano*, Barquisimeto, v. II: 852-866.
- MOODY, J. & MAISEY, J. 1994. New Cretaceous marine vertebrate assemblages from north-western Venezuela and their significance. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 14 (1): 1-8. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02724634.1994.10011534>

Aspidorhynchidae, extendiendo el área de distribución del género hacia el norte de Suramérica, ya que las únicas referencias existentes en dicho continente, correspondían a Argentina y Chile. Caso especial constituye el de Brasil (Maisey, 1991), donde este autor demuestra que durante muchos años *Vinctifer* fue malinterpretado como *Belonostomus*.



Cantera La Luna. De izquierda a derecha: Omar Colmenares, Izaskun Azpirtxaga, Geoff Norris, John Moody y el presente autor.

PEARSON, D.A., SCHAEFER, T., JOHNSON, K.R., NICHOLS, D.J., & HUNTER, J.P., 2002. Vertebrate biostratigraphy of the Hell Creek Formation in southwestern North Dakota and northwestern South Dakota, in Hartman, J.H., Johnson, K.R., and Nichols, D.J., eds., The Hell Creek Formation and the Cretaceous-Tertiary boundary in the northern Great Plains: An integrated continental record of the end of the Cretaceous: Boulder, Colorado, *Geological Society of America Special Paper* 361: 145–167.

[https://www.researchgate.net/profile/John-Hunter-10/publication/236153389\\_Vertebrate\\_biostratigraphy\\_of\\_the\\_Hell\\_Creek\\_Formation\\_in\\_southwestern\\_North\\_Dakota/links/00b4951672208f03d4000000/Vertebrate-biostratigraphy-of-the-Hell-Creek-Formation-in-southwestern-North-Dakota.pdf](https://www.researchgate.net/profile/John-Hunter-10/publication/236153389_Vertebrate_biostratigraphy_of_the_Hell_Creek_Formation_in_southwestern_North_Dakota/links/00b4951672208f03d4000000/Vertebrate-biostratigraphy-of-the-Hell-Creek-Formation-in-southwestern-North-Dakota.pdf)

RENZ, O. 1982. *The Cretaceous Ammonites of Venezuela*. Birkhauser, Basel, 132 p.

RUTSCH R. & SALVADOR, A. 1954. Mollusks from The Cogollo and La Luna Formations (Cretaceous) of the Chejende area, western Venezuela. *Journal of Paleontology*, 28(4): 417-427.

VAN VRANKEN, N., FIELITZ, C. & EBERSOLE, J. 2019. New occurrences of *Belonostomus* (Teleostomorpha: Aspidorhynchidae) from the Late Cretaceous of the North American Gulf Coastal Plain, USA. *Palaeontologia Electronica*. <https://paleo-electronica.org/content/2019/2725-new-belonostomus-record>

WEILER, W. 1940. Fischreste aus der Umgebung von San Cristobal, SW-Venezuela. *Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, Abteilung B 1949: 240-255.

WILSON, M. Y CHALIFA, Y. 1989. Fossil marine actinopterygian fishes from the Kaskapau Formation (Upper Cretaceous: Turonian) near Watino, Alberta. *Canadian Journal Earth Sciences*, 26: 2604-2620.



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 and Perú.

Autor/Co-autor en 57 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, 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 de exploración en la revista Explorer.

Profesor de Geología del Petróleo en la Universidad Central de Venezuela (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2024), en la misma universidad. Mentor en 11 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).

## “De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

Ing. Rogelio Ramos Aracén

[ramosrogelio51@gmail.com](mailto:ramosrogelio51@gmail.com)



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 Inofósiles 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.



### Área de Ciudad Victoria, Tamaulipas

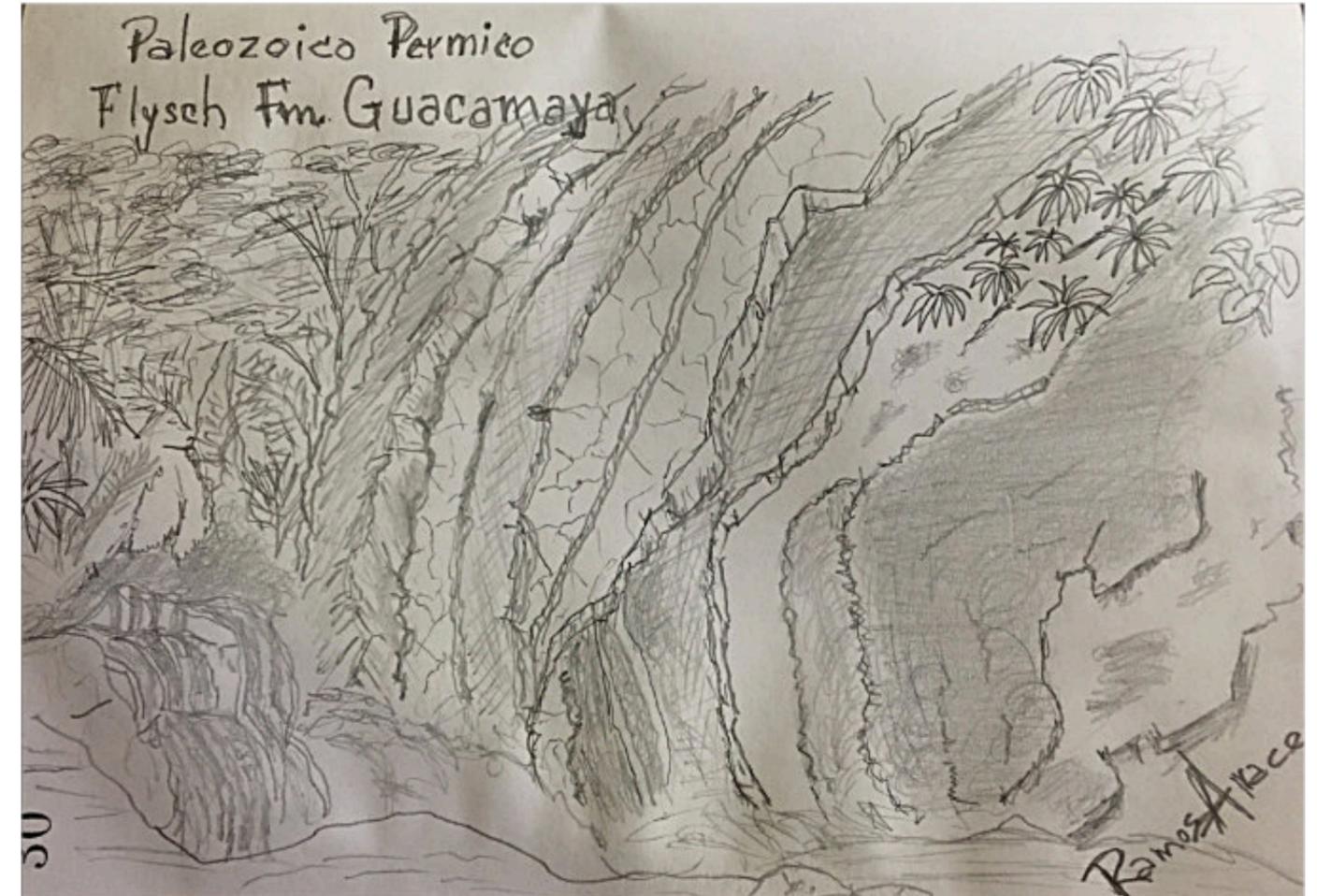
**Discordancia angular entre capas de la Fm. La Joya de edad Jurásico medio con las calizas del Jurásico Superior de la Fm. Zuloaga**

**Localidad,** Cañón de la Peregrina.

**Título,** Discordancia Angular.

**Desarrollo del trabajo:** En los continuos recorridos en la región del Cañón de La Peregrina en la región de Cd Victoria, Tam, se observó el contacto entre las capas rojas continentales de la Fm La Joya de edad Jurásico Medio con la secuencia de plataforma de la Fm Zuloaga de edad Oxfordiano del Jurásico Superior.

**Descripción del Dibujo.** En la figura 1, se describen gráficamente un contacto litológico por franca Discordancia angular entre las capas de areniscas, lutitas y areniscas conglomeráticas d color rojo y amarillo ocre por intemperismo infra yaciendo a series de calizas y calizas dolomíticas de color gris acero en capas gruesas contienen restos de algas de la Fm. Zuloaga que en algunas zonas se observan en las capas una textura similar a la piel de elefante en esas calizas.



### Capas plegadas de la Formación Guacamaya.

**Localidad,** Cañón de la Peregrina, Tamaulipas.

**Título,** Capas plegadas de la Fm. Guacamaya.

**Desarrollo del trabajo:** En los continuos recorridos en la región del Cañón de La Peregrina en la región de Cd Victoria, Tam, se observó a la interesante secuencia del Paleozoico estudiada y definida por el eminente geólogo petrolero Ing. José Carrillo Bravo QEPD, en este caso a las capas tipo flysch de la Fm. Guacamaya de edad Pérmico.

**Descripción del Dibujo.** En este dibujo se presentas a las capas plegadas de una alternancia de areniscas con lutitas de color gris a negro en capas delgadas perteneciente a la Formación Guacamaya de edad Pérmico que cubren al sistema Paleozoico cuyos afloramientos están a la orilla de rio del Cañón de La Peregrina, al cual su entrada se encuentra en el ejido la Libertad y en el parque ecológico Los Troncones, ubicados al NW de Cd, Victoria Tamaulipas.



**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 Simposium 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 Simposium 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

# Foro de discusión Discussion Forum

**A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de la revista de agosto de 2022, 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.**

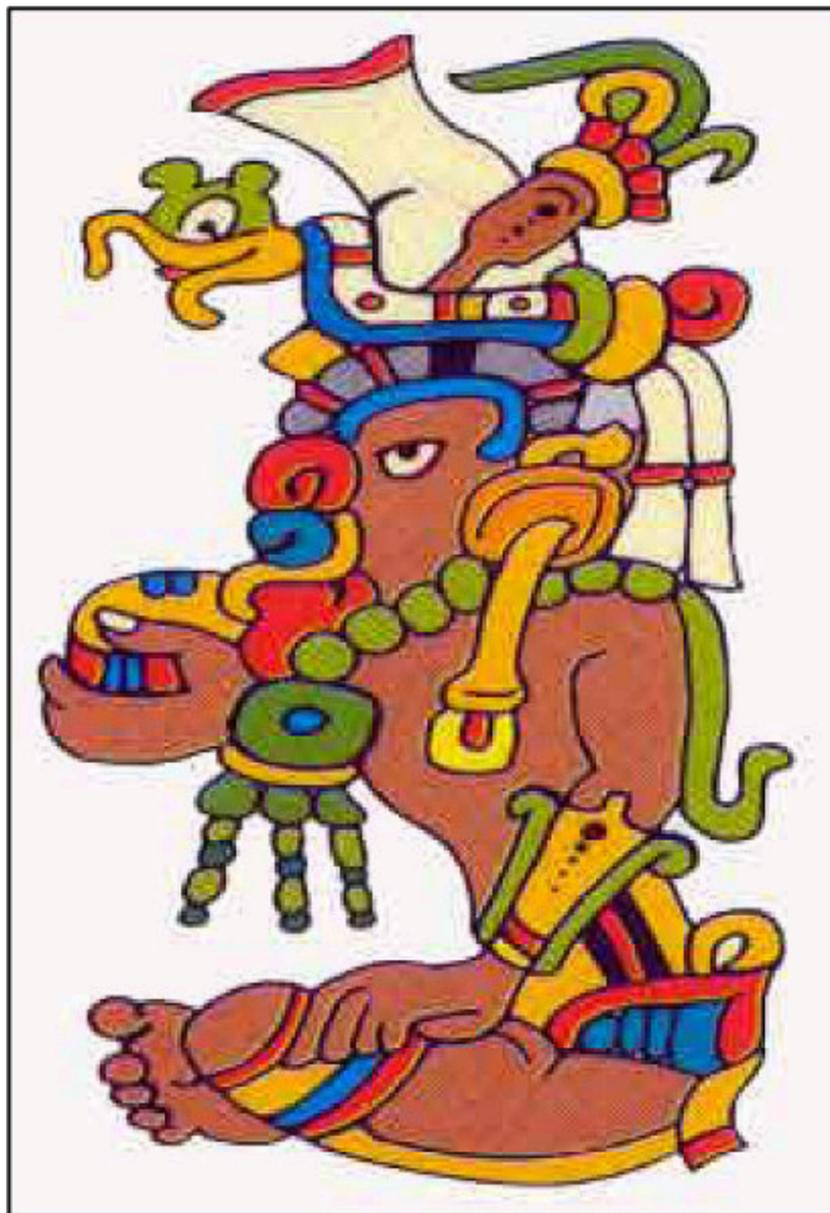
**Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.**

**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 LaSalle de Ciencias Naturales: Costa Rica

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 [bitly/GeoSeminarios2025](https://bitly/GeoSeminarios2025)

TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO **FORMULARIO** ¡Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!

¡TE ESPERAMOS!



Transmisión

Checka nuestros GeoSeminarios en:

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences









En el marco de la declaración de la UNESCO del año 2025 como el Año Internacional de la Conservación de los Glaciares, la UNAM, la Universidad Veracruzana, la Academia Mexicana de Ciencias, el CICESE, la Agencia Mexicana de Estudios Antárticos y la UNESCO organizan el Simposio "Glaciares y su entorno: estado actual" a celebrarse el 21 de marzo de 2025 en el Instituto de Geofísica UNAM, CU. Más información y formato para presentar resúmenes en:

<https://www.geofisica.unam.mx/simposio-glaciares-2025/>

DÍA MUNDIAL DE LOS GLACIARES  
SIMPOSIO



# Glaciares y su entorno: estado actual

- ▲ GEOLOGÍA GLACIAL
- ▲ GLACIARES DE MÉXICO Y OTRAS REGIONES
- ▲ PERIGLACIARISMO
- ▲ ECOLOGÍA DE MONTAÑA
- ▲ ESTUDIOS POLARES

21 marzo 2025 | 09:00 a 18:00 hrs.  
Auditorio Tlayólotl - Dr. Ismael Herrera Revilla

**CHARLAS MAGISTRALES**

MICHAEL ZEMP  
Responsable del World Glacier Monitoring Service (WGMS)

RODOLFO ITURRASPE  
Coordinador del GTNH-LAC y PHI

**COMITÉ ORGANIZADOR**

Alejandro Carrillo • Jorge Cortés • Hugo Delgado • Pablo Lepe  
Miguel Rubio • Víctor Soto • Eric Vázquez • Lorenzo Vázquez

7 de Marzo: Fecha límite para enviar contribuciones; cartel y orales (20 min) a [ambiente@geociencias.unam.mx](mailto:ambiente@geociencias.unam.mx)







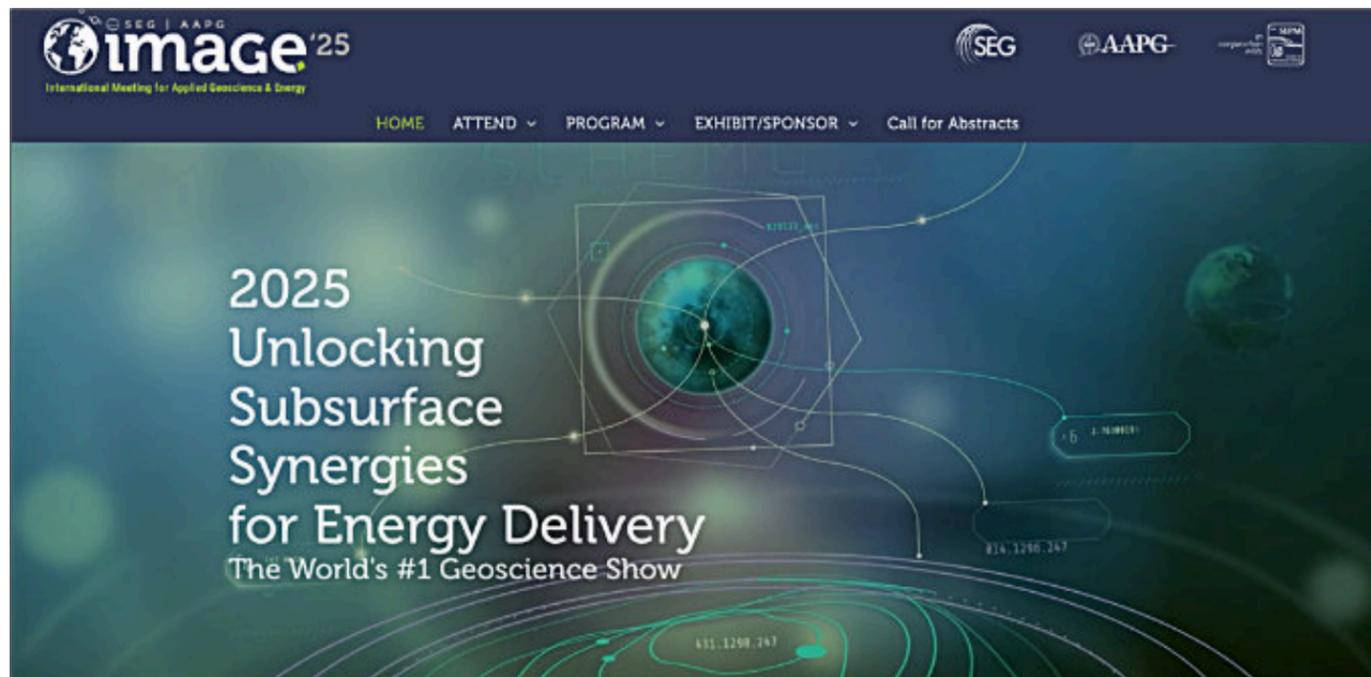




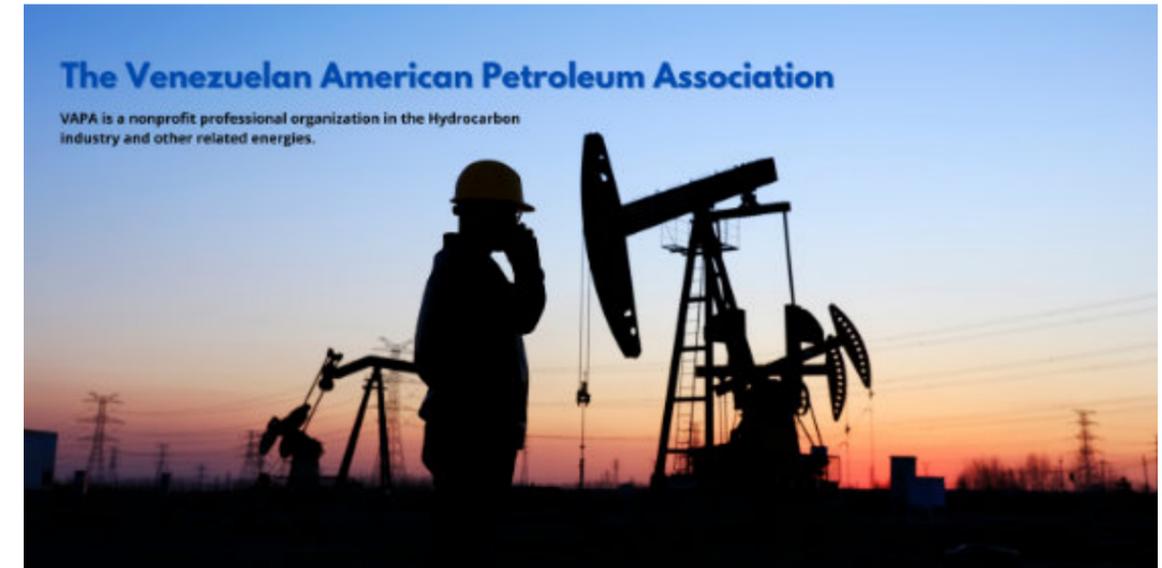

<https://ccusevent.org/latinamerica/2025/>



<https://www.imageevent.org/>



<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.

**XXXVI**  
CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE  
**MINERÍA**  
**ACAPULCO 2025**  
LA MINERÍA UNIDA POR MÉXICO



**Convocatoria para la presentación de trabajos técnicos en la XXXVI Convención Internacional de Minería**

La **Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A.C.** (AIMMGM, AC) se complace en invitar a participar en su XXXVI CONVENCIÓN INTERNACIONAL DE MINERÍA 2025, los días **19 al 22 de noviembre de 2025** en el Recinto Ferial **Mundo Imperial de Acapulco Guerrero, México.**

Considerado como el evento más importante en el ramo de la minería en el país, la Convención Internacional de Minería se ha caracterizado por presentar los avances en investigaciones e innovaciones tecnológicas del sector de parte de los expertos nacionales e internacionales.

Por tal motivo, la AIMMGM, AC extiende la presente CONVOCATORIA para la presentación de TRABAJOS TÉCNICOS bajo los siguientes requisitos:

**1. Temas.**

Los trabajos participantes deben contribuir al progreso del sector minero en los siguientes ejes temáticos:

- a) Minería
- b) Metalurgia
- c) Geología
- d) Temas Generales

El autor deberá indicar en que eje temático desea insertar su trabajo.

Los trabajos para presentar pueden ser investigaciones, aplicaciones, iniciativas, proyectos, estudios de caso o experiencias exitosas o fallidas, a partir de las cuales se pueden inferir aprendizajes a futuro.

Los trabajos no deben contener publicidad acerca de productos o equipos.

La programación técnica tratará de responder a las expectativas del gremio, presentando una revisión actualizada de las tendencias y estrategias a seguir en nuestro sector.

Nuestro compromiso como comité responsable del componente técnico de la Convención incluye: ofrecer a los convencionistas información técnica de alto nivel que les permita establecer las opciones más convenientes para la solución de problemas concretos; facilitar el intercambio de conocimientos y experiencias entre los colegas que permitan el avance de la Minería en su conjunto y ofrecer la oportunidad para la interacción entre los profesionales nacionales y los expertos internacionales invitados.



[www.convencionmineramexico.mx](http://www.convencionmineramexico.mx)

**XXXVI INTERNATIONAL MINING CONGRESS AND EXHIBIT 2025**

MINING UNITED FOR MEXICO



**Call for Technical Paper Submissions at the XXXVI International Mining Convention**

The **Association of Mining Engineers, Metallurgists, and Geologists of Mexico, A.C. (AIMMGM, A.C.)**, is pleased to invite you to participate in its XXXVI INTERNATIONAL MINING CONVENTION 2025, to be held from **November 19 to 22, 2025**, at the Mundo Imperial Fairgrounds in **Acapulco, Guerrero, Mexico.**

Recognized as the most significant event in Mexico's mining industry, the International Mining Convention showcases advancements in research and technological innovation presented by national and international experts.

In this regard, the AIMMGM, A.C., announces this CALL FOR TECHNICAL PAPER SUBMISSIONS under the following requirements:

**1. Topics**

Submissions must contribute to the advancement of the mining sector in the following thematic areas:

- a) Mining
- b) Metallurgy
- c) Geology
- d) General Topics

Authors must specify the thematic area to which their work pertains.

Submissions may include research, applications, initiatives, projects, case studies, or lessons learned from successful or failed experiences that provide valuable insights for future endeavors.

Submissions must not contain advertising for products or equipment.

The technical program aims to address the industry's expectations by presenting an updated review of trends and strategies within the sector.

The committee responsible for the technical component of the convention is committed to:

- Providing attendees with high-level technical information that supports the identification of optimal solutions for specific challenges.
- Facilitating the exchange of knowledge and experiences among colleagues to advance the mining industry as a whole.
- Creating opportunities for interaction between national professionals and invited international experts.



[www.convencionmineramexico.mx](http://www.convencionmineramexico.mx)

## Consortios de Investigación

En varias universidades de Estados Unidos se han establecido numerosos consorcios para atender la demanda de especialidades geológicas de la industria del petróleo. Esto ha permitido que los grupos de investigación y académicos en dichas universidades, perciban ingresos económicos que utilizan para el desarrollo de proyectos de investigación, y la financiación de equipos y materiales.

A continuación listamos algunos de esos consorcios, para que tengamos una noción de cómo se se organizan sus capacidades en relación con la industria.

**Consortio Interdisciplinario de Carbonatos de Kansas:** <https://carbonates.ku.edu/>

**Consortio de Cuencas Conjugadas, Tectónica, e Hidrocarburos:** <http://cbth.uh.edu/>

**Programa de Bases de Datos de Análogos Sedimentarios:** <https://geology.mines.edu/research/sand/>

**Consortio para Modelado Electromagnético e Inversión:** <http://www.cemi.utah.edu/>

**Consortio de Investigación de Interacción Sal-Sedimento:** <https://www.utep.edu/science/its/>

**Consortio de Laboratorio de Geodinámica Aplicada:** <https://www.beg.utexas.edu/agl>

**Proyecto de Síntesis Depositional: Golfo de México:** <https://ig.utexas.edu/energy/gbds/>

**Consortio de Investigación de Fracturas y su Aplicación:** <https://www.beg.utexas.edu/frac>

**Consortio para la Energía Avanzada:** <https://www.beg.utexas.edu/aec>

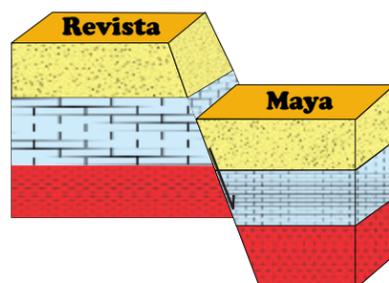
**Laboratorio de Sedimentología Cuantitativa:** <http://www.qsc.uh.edu/>

**Consortio: Análisis Tectónico:** <https://www.tectonicanalysis.com/#top-bar>

**Investigación por Hidrocarburos (EGI):** <https://egi.utah.edu/research/hydrocarbon/>

**Procesado Sísmico e Interpretación Atributos:** <http://mcee.ou.edu/aaspi/>

**Laboratorio de Registros de Pozo:** [https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL\\_LOGGING\\_LABORATORY.aspx](https://www.spwla.org/SPWLA/Technical/Software/WELL_LOGGING_LABORATORY.aspx)



# Caverna del arte

## Don Roncamión

La tarde era gris y soplaban un viento fresco, cuando Don Neptuno se dirigía hacia la parte alta del cerro a poner su poltrona debajo del único árbol en ese lugar. Pronto se escucharía el crujir de la vieja madera, conforme el viejo se mecía en ella. Don Neptuno vivía en un caserío pobre que había sido construido precariamente por obreros de la construcción en la periferia de Pachuca, Hidalgo. Desde que Neptuno construyó su casa en su juventud, vivió allí toda la vida. Allí nacieron y crecieron sus once hijos, quienes conforme iban creciendo se fueron a trabajar de ilegales a los Estados Unidos, pero nunca se acordaron de enviarle algún dinero para que se mantuviera.

Hacía ocho años que había muerto su esposa, y como sus hijos nunca volvieron a visitarlo, el viejo vivía en completa soledad. Todos los días acostumbraba cargar su vieja poltrona de madera a la cima del cerro, desde donde podía ver una gran parte de la ciudad. Desde muy temprano empezaba a tararear canciones mientras se mecía en la ruidosa poltrona. Una parte del día la pasaba contemplando la naturaleza, y el resto del tiempo era para dormir la típica siesta. Neptuno había sido un hombre simple, y realmente disfrutaba de la vida cotidiana. Antes del anochecer, el viejo cargaba la poltrona cerro abajo rumbo a su casa, como todos los días, era su fiel compañera.

Para fortuna del viejo, en el mismo lugar jugaban los niños del vecindario, con quienes, a través de los años nació una bonita amistad. Casi todos los días, los chicos le preguntaban por su familia, y por qué vivía tan solo, pero el viejo solo contestaba, mi familia ya vendrá por mí. Uno de tantos días, mientras Neptuno se mecía en su poltrona, se posó en su hombro un búho sin ojos, quien le dijo con mucha compasión: “no te sientas triste, tus familiares ya vendrán a buscarte, no te han olvidado, ten paciencia”, y el viejo asintió con la cabeza.

Era tal su soledad, que a veces, el viejo no tenía ningún interés en regresar a su vivienda, así que permanecía en su desvencijada poltrona la mayor parte del día, sin importarle si soleaba o llovía, si el día era polvoriento, o incluso en el invierno, cuando la nieve cubría parte de su cuerpo. El contacto con la naturaleza le hacía sentir bien emocionalmente y le daba fuerzas para seguir viviendo. Qué ironía tiene la vida pensaba Neptuno, haber tenido y criado a tantos hijos, y ahora me encuentro solo en el mundo, ni siquiera se si tengo nietos

Los niños del barrio querían al viejo como si fuera su abuelo, y se divertían mucho cuando él se dormía a pierna suelta y empezaba a roncar como una locomotora, y por este motivo, le pusieron de apodo “Roncamión”. En varias ocasiones, los chicos traviesos le pusieron una lagartija en su cabeza, o un ratón en la bolsa del pantalón, o piedras en sus manos, pero el viejo nunca se enojó con sus travesuras, pues eran ellos los únicos seres humanos que se le acercaban para brindarle amistad. Los veranos eran muy divertidos porque no había

escuela, y los chicos pasaban todo el día alrededor del viejo, y cuando éste tenía hambre y sed, ellos traían comida y agua de sus casas.

Conforme pasaban los años, el viejo ya difícilmente podía cargar la poltrona, por lo que le ayudaban entre todos los chicos a subirla y bajarla del cerro. Para corresponderles, Neptuno les contaba historias sobre su juventud, y de las muchas etapas difíciles o emocionantes de su vida, o especialmente cuando se puso de novio y se casó. En ocasiones entretenía a los chicos contándoles en detalle la historia de México, particularmente sobre la revolución mexicana. La relación amistosa entre el viejo y los niños pronto se convirtió en una gran amistad, incluso ya lo llamaban abuelo. Pero conforme pasaba el tiempo, la pregunta sin embargo, surgía de nuevo de parte de los ya adolescentes, cuando vendrán sus parientes Don Roncamión?, y él respondía amablemente, ya muy pronto chicos.

El tiempo continuó su marcha. Era ya muy difícil diferenciar entre el crujido de la vieja madera de la poltrona y los porosos huesos del viejo Neptuno, porque ambos envejecían al mismo tiempo. En los veranos húmedos, cuando había muchos moscos, él los aplastaba con sus manos contra su cara, y así permanecía por varios días, con manchas rojas como si tuviera viruela. Igualmente, cuando le picaban hormigas en las piernas, el viejo solamente untaba su propia saliva en las heridas para aliviar el dolor, nunca tomaba medicamentos, ya se había acostumbrado a todo. Sin duda, se decía para sí mismo, “la soledad es la única compañera de la vejez”.

Una tarde de otoño mientras el viejo descansaba tranquilamente, un cuervo blanco voló hasta su pierna, y le dijo, “Neptuno, prepárate, mañana es tu día, el momento ha llegado, tus parientes vendrán por ti...finalmente, exclamó el viejo”. En cuanto pudo llamó a todos los chicos del barrio para darles la buena noticia. Miren chicos, mañana vendrán mis familiares a llevarme con ellos, por lo que quiero darles las gracias por su compañía, he sido muy feliz al lado de todos ustedes durante todos estos años, y los voy a extrañar. Gracias también por ayudarme a cargar la poltrona hasta el cerro y de allí a casa, no tengo con que pagarles por eso. Los chicos se sentían muy tristes y empezaron a llorar diciendo, “te vamos a recordar siempre Roncamión”. Aprovecharon la tarde para darle la despedida a Neptuno. Durante horas jugaron a la lotería, a las adivinanzas, contaron chistes, cantaron y bailaron como nunca, realmente era la última vez que verían al viejo Neptuno puesto que al día siguiente llegarían sus parientes a llevárselo.

A la mañana siguiente, Neptuno estaba sentado en la poltrona más temprano que de costumbre. Se le veía muy serio pero feliz, sin duda era un día diferente. De pronto se escuchó un gran estruendo de motores y el lento desplazamiento de una gran nave espacial que se posicionó directamente sobre la cima del cerro donde se encontraba el viejo. Seguidamente, se abrió una portezuela automática en la base de la nave espacial para dar paso a un rayo de luz inmenso y extremadamente brillante que cubrió a Neptuno por completo, haciéndolo desaparecer en cuestión de segundos....por fin, después de toda una vida esperando, sus parientes extraterrestres vinieron por él, y solo quedó la desvencijada poltrona, como único testigo de la vida de un hombre solo pero lleno de esperanzas.

## Placa oceánica

## Ejército de terracota

El Ejército de terracota refiere a los miles de modelos de arcilla de soldados, caballos y carros, en tamaño real, que se depositaron alrededor del gran mausoleo de Shi Huangdi, primer emperador de China y fundador de la dinastía Qin, situado cerca de Lishan en la provincia de Shaanxi, en el centro de China. El propósito del ejército probablemente era actuar como figuras guardianas de la tumba o servir a su gobernante en la próxima vida. El

yacimiento se descubrió en 1974, y las realistas figuras de los guerreros proporcionan una visión única de la antigua guerra china, desde las armas hasta las armaduras o la mecánica de los carros y las estructuras de mando. Shi Huangdi buscaba desesperadamente la inmortalidad y, al final, le fue dada por su Ejército de terracota, compuesto por más de 7000 guerreros, con 600 caballos y 100 carros, al menos de nombre y de hecho. El emplazamiento del mausoleo es Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, aunque el interior de la tumba aún no ha sido excavado.



## El primer emperador de China

Shi Huangdi (también conocido como Shi Huangti) fue el rey del estado Qin, que unificó China a partir del 221 a.C. y luego fundó la dinastía Qin. Gobernó como primer emperador de China hasta su muerte en el 210 a.C. Su reinado fue corto pero estuvo lleno de incidentes, la mayoría de ellos lo suficientemente infames como para que Shi Huangdi se ganara una reputación duradera de déspota megalómano. En este período se construyó la

Gran Muralla China, ocurrió la célebre Quema de los libros, en la que se destruyeron miles de obras literarias y filosóficas, y se construyó un suntuoso palacio real. El emperador parece haber tenido un especial interés en adquirir la inmortalidad, una búsqueda que sin duda se vio motivada por haber sobrevivido a tres intentos de asesinato. Se encomendó a los científicos la tarea de descubrir elixires que prolongaran la vida, y se enviaron jóvenes emisarios a través del Mar del Este en busca de la legendaria Penglai, tierra de los inmortales.

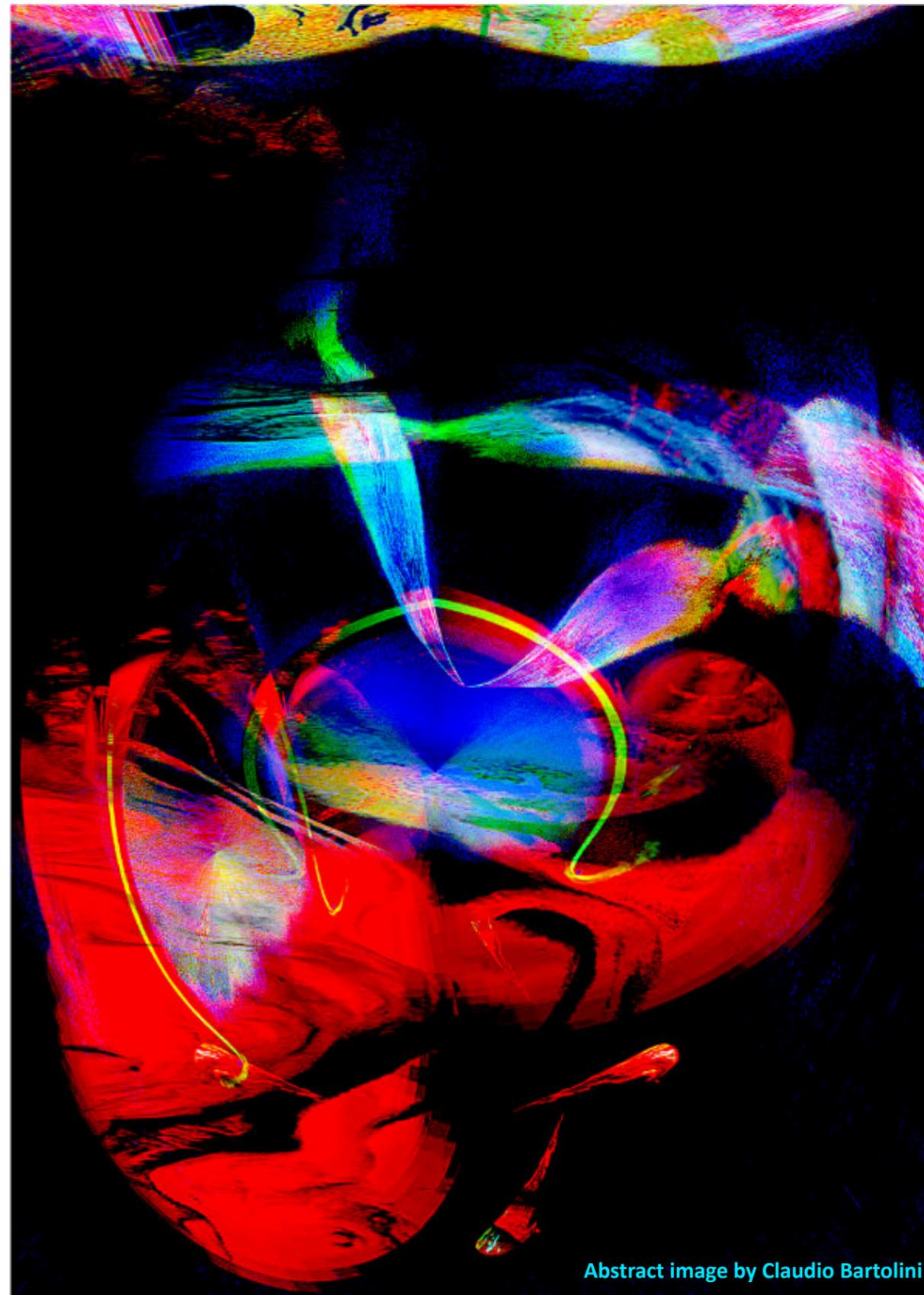
Al fracasar en su empeño de prolongar su vida de forma no natural, Shi Huangdi recurrió a la antigua costumbre de los gobernantes autocráticos y mandó construir un enorme mausoleo. De hecho, todo el enorme proyecto se inició en los primeros años de su reinado, ya que se necesitaba una enorme cantidad de trabajo para tenerlo listo. Allí se estableció un distrito administrativo, se reubicaron 30.000 familias a la fuerza y se les encomendó la tarea de construir la mayor tumba jamás vista en la historia de China o de cualquier otro país. Al final, sin duda porque Huangdi se dio cuenta de que el tiempo se agotaba, se enviaron cientos de miles de trabajadores forzados para llevar a cabo el proyecto. De un modo u otro, Shi Huangdi iba a ser recordado mucho después de su reinado. El Ejército de terracota parece haber logrado ese objetivo.

**El mausoleo de Huangdi**

El mausoleo de Shi Huangdi, que en realidad es un complejo funerario que ocupa la increíble extensión de 35 a 60 kilómetros cuadrados, fue descubierto en 1974, enterrado al pie del monte artificial Li, cerca de Lishan (la actual Lintong), a 50 kilómetros al este de la capital de Qin, Xianyang, en la provincia de Shaanxi, en el centro de China. La tumba en sí sigue sin ser excavada, pero su espectacular ejército de defensores de terracota ha sido revelado en parte y ya se ha ganado el título de "Tumba más grande del mundo". El túmulo de la tumba enterrada tiene forma de pirámide de tres escalones, mide unos impresionantes 1640 metros de circunferencia, 350 metros a lo largo de cada lado, y se eleva hasta una altura de 60 metros. El conjunto está rodeado por un doble muro.



<https://www.worldhistory.org/>



Abstract image by Claudio Bartolini

**La inspiración existe, pero tiene que encontrarte trabajando.**

*Pablo Picasso*



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 Homo sapiens

[https://www.nationalgeographic.org/topics/resource-library-human-origins/?q=&page=1&per\\_page=25](https://www.nationalgeographic.org/topics/resource-library-human-origins/?q=&page=1&per_page=25)

<https://humanorigins.si.edu/evidence/human-fossils/species/homo-sapiens>

<https://www.nhm.ac.uk/discover/who-were-the-neanderthals.html>

<https://www.smithsonianmag.com/science-nature/essential-timeline-understanding-evolution-homo-sapiens-180976807/>

<https://www.yourgenome.org/stories/evolution-of-modern-humans>

<https://www.history.com/news/humans-evolution-neanderthals-denisovans>

[https://curiositystream.com/search/Homo%20Sapiens?utm\\_campaign=D-PerformanceMax-US&utm\\_medium=display&utm\\_source=google&utm\\_placement=&utm\\_content=&gclid=CjwKCAjwgb6lBhAREiwAgMYKR7gV-WuEXSf1NKMo7n053GSjUS5dJXuiQkU2hgJ-C2VgEALMVuaDxoC4TsQAvD\\_BwE](https://curiositystream.com/search/Homo%20Sapiens?utm_campaign=D-PerformanceMax-US&utm_medium=display&utm_source=google&utm_placement=&utm_content=&gclid=CjwKCAjwgb6lBhAREiwAgMYKR7gV-WuEXSf1NKMo7n053GSjUS5dJXuiQkU2hgJ-C2VgEALMVuaDxoC4TsQAvD_BwE)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_evolution](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_evolution)



## The Bernese Oberland, Switzerland

The Bernese Oberland, this is where mighty, snow-capped mountains tumble down into lush, green valleys. Waterfalls spill over the cliffs, cows and their musical bells wander the fields, charming villages dot the hillsides, and hiking trails connect small hamlets and towns. Located in central Switzerland, the Bernese Oberland is home to some of the most dramatic mountain scenery in all of Europe. For many visitors (ourselves included), this region is the highlight of a trip to Switzerland. The alpine views, the cozy, charming villages, and the soaring cable cars create a magical destination.

<https://peakvisor.com/range/bernese-alps.html>

<https://www.earthtrekkers.com/bernese-oberland-travel-guide-jungfrau-region/>

<https://switzerlandtravelcentre.com/en/che/destination/bernese-oberland>

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/7195/bernese-alps-switzerland>

<https://privatetoursswitzerland.com/day-trips/zurich/best-of-bernese-alps>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/article/paid-content-bernese-oberland-switzerland>

<https://www.youtube.com/watch?v=fz56RjorWRU>

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/>





Pieza de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA