

**ENERO
2026**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



ENERO
2026



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si deseas participar o contribuir con algún manuscrito, por favor comunícate 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: Cabo Ortegal is a natural cape located in the Galician Coast, a region with beautiful cliffs, in northern Spain. Here is the a boundary between the Atlantic Ocean and the Cantabrian Sea. Home to some of the oldest rocks on the Iberian Peninsula, showing evidence of ancient continental collisions (Variscan Orogeny), a 350 million year old mountain building event. Photo by **Claudio Bartolini.**

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

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

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

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

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

Revista de difusión y
divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

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



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

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

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



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

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

jhrosenfeld@gmail.com



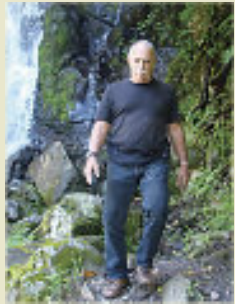
Claudio Bartolini (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio was an associate editor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

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

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

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



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

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

geodoxo@gmail.com



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

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

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



José Antonio Rodríguez Arteaga es Ingeniero geólogo, egresado de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, con más de 30 años de experiencia. En sus inicios profesionales laboró como geólogo de campo por 5 años consecutivos en prospección de yacimientos minerales no-metálicos de la región Centro-Occidental de Venezuela.

Tiene en su haber labores de investigación en Geología de Terremotos y Riesgo Geológico asociado o no a la sismicidad. Es especialista en Sismología Histórica, Historia de la Sismología y Geología venezolanas. Ha recibido entrenamiento profesional en



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

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

ensilvacruz@gmail.com



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

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

diegogabriel807@gmail.com



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

trabajando en preparación de muestras (separación en columnas de intercambio iónico) y análisis (Espectrometría de Masas Multicolector con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-MMS) para medición de isótopos estables de zinc, cobre y hierro en diferentes materiales naturales (agua-roca). También es docente en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES-UNAM Juriquilla).

dcalvo@geociencias.unam.mx



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

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

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

tenreyro2015@gmail.com



Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

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

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

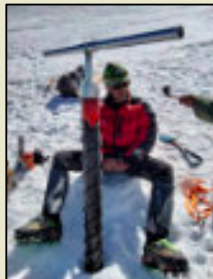
gleon.laura@gmail.com



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



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

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



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

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

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

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



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

Estimados Colegas

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

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

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

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



Prince Christian Fjord in Greenland. It shows a recumbent fold in the metamorphic rocks with some puzzling faulting. Photo by Joshua Rosenfeld.

Esteemed colleagues

Now that we have your attention, we take this opportunity to cordially invite your participation in the Revista Maya de Geociencias in the form of short manuscripts touching upon diverse relevant themes of interest. All work is welcome, as the primary function of the magazine is to broadcast geoscientific ideas.

If the manuscripts are relatively long, they will be published in our magazine's Special Editions since the Special Editions do not have size limitations, as do our monthly issues (below).

Basic Instructions for Authors

Authors submitting material to be published in the Revista Maya de Geociencias are asked to adhere to the following editorial guidelines when sending manuscripts to the editing team and/or its collaborators:

(biographical sketches): a maximum of 3 pages

Notes on pioneers in the geosciences: a maximum of 4 pages

Themes "of interest to the community": a maximum of 4 pages

Geological notes: a maximum of 10 pages

Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

Estimados colegas,

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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



Lazos de colaboración y amistad con la **AAPG**



FELIZ 2026



HAPPY 2026

Estimados lectores,

Es un placer informarles que el Dr. Joshua Rosenfeld ha realizado un índice de todos los Temas de Interés y las Notas Geocientíficas que fueron publicadas por autores de diferentes partes del mundo en la Revista Maya durante el 2024 y 2025.

Este índice le permite a ustedes, los lectores de la revista, encontrar más fácilmente los artículos de su interés. Los años anteriores tendrán también un índice que se publicará mensualmente en el futuro.

Esteemed readers,

We are pleased to inform you that Dr. Joshua Rosenfeld has indexed the Temas de Interés and Notas Geoscientíficas published by authors from different parts of the world in the Revista Maya during 2024 and 2025.

This Index will allow readers of the Revista, to more easily find articles of interest. The preceding years of the Revista are also being indexed, and will appear on this website in the near future.

índice (index) 2025: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/Indice-de-Notas-Geologicas-y-Temas-de-Interes-2025.pdf>

índice (index) 2024: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/Indice-de-Notas-Geologicas-y-Temas-de-Interes-2024.pdf>



CONTENIDO

ENERO 2026

Semblanzas.....	16
Obituarios.....	26
Miscelanea de imágenes.....	29
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	33
Los libros recomendados.....	44

Temas de interés

Sostenibilidad en la transición energética. Las tierras raras, ni tan raras, ni tan limpias

Natalia Silva Cruz.....	50
-------------------------	----

Artificial intelligence and plate tectonics

Claudio Bartolini.....	52
------------------------	----

Minerales y fósiles en la botica antigua: precursores de la farmacología moderna

Jesús S. Porras M.....	62
------------------------	----

La Minería mediana, pequeña y artesanal: Importancia para el desarrollo local

Rafael Guardado Lacaba.....	75
-----------------------------	----

¿ES MARTE LA ULTIMA FRONTERA? Físicos proponen una mega-colonia humana orbitando el planeta enano Ceres

Jhonny e. Casas.....	79
----------------------	----

La Habana nos contempla desde sus rocas

Manuel A. Iturralde-Vinent.....	84
---------------------------------	----

Repensar a Alberto Smith, 1861-1942

José Antonio Rodríguez A.....	91
-------------------------------	----

Fotografías de afloramientos/microscopio.....	97
Notas Geocientíficas	
Las corrientes termohalinas y su capacidad de transporte de sedimento global.	
Parte 2.	
Ramón López Jiménez.....	105
Allostratigraphy of falher member de Spirit River Formation (lower Cretaceous), Alberta, Canada	
Jhonny E. Casas.....	109
Slope and Basin Floor Sandstones in the Wolfcampian Cisco Group in the Eastern Shelf of the Permian Basin	
William A. Ambrose and Tucker F. Hentz.....	124
Theodor Wolf y la fundación de la geología científica del Ecuador: vida, obra y legado territorial	
Jesús S. Porras M.....	138
Geosynclinal Theory Redux	
Jon Blickwede.....	148
De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental	
Rogelio Ramos Aracen.....	151
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	157
GeoLatinas - GeoSeminarios.....	158
Venezuelan American Petroleum Association.....	159
Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.....	160
Sociedad Geológica de España.....	161
GSA Cordilleran Section Meeting.....	162
AAPG different meetings during 2026.....	164
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.....	165
Diferentes temas de interés paleontológico y de astronomía.....	166

Caverna del Arte.....	170
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	175
La casa de los glaciares.....	176
Arizona petrified forest Natl. Park.....	177
El Sumidero Canyon - Mexico.....	178
Asociaciones geológicas hermanas.....	179



Luz María Rodríguez

Luz María Rodríguez, entre la espeleología y la geología de terremotos

BREVE INTRODUCCIÓN

Luz María Rodríguez D. ejemplifica la evolución profesional inquebrantable de una investigadora en diversas áreas del quehacer geocientífico, desde la geología en sus comienzos, a la práctica constante de la investigación en geología de terremotos.

TRAYECTORIA PROFESIONAL Y LIDERAZGO

Ha practicado una labor detallada desde hace 25 años de investigación en disciplinas del área de las Geociencias, y aunque tentado en la ejecución amplia de sus descripciones a nivel cronológico, hemos optado enumerar y distinguir los títulos de su actividad investigativa.

Sus más valiosos logros

Ha conseguido desde el año 2000 hasta fechas actuales en ser la primera mujer Directora (e) del Departamento de Ciencias de la Tierra (actualmente Geología de Terremotos) en la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) e Investigadora (Profesional de investigación 8, rango VIII) y en forma idéntica, la primera mujer en llevar consigo las responsabilidades que implican la presidencia de la Sociedad Venezolana de Espeleología (SVE), en el grupo espeleológico más antiguo del país el cual ha dirigido por 2 períodos consecutivos: (2016 a 2019 y 2019 a 2021). A su vez, desde el año 2017, imparte clases de pregrado en la carrera de Ingeniería Geofísica y post grado en la maestría de Ciencias de la Tierra de la Universidad Simón Bolívar (USB).

En la actualidad es la vicepresidenta del mismo ente científico desde el año 2022 al presente, debiendo hacerse



en ello la necesaria acotación del caso. Históricamente la SVE fue creada en 1967, aunque sus miembros fundadores ya estaban activos desde 1952 estando caracterizada por ser una institución sin fines de lucro, autónoma por naturaleza y cuyo funcionamiento se ha mantenido gracias a la dedicación de un voluntariado actualmente integrado por 11 miembros agrupados en estudios que van desde el catastro espeleológico, pasando por la geo y la bioespeleología hasta llegar a la espeleología física. (para mayor detalle consúltese en su página web: “Fundación de la SVE en Venezuela” (2025). Ella, Luz María, ha integrado algunas de las exploraciones en cuevas desde sus inicios en la SVE ello lo ha mostrado en sus artículos técnicos, a título de “una fracción integrante” del balance histórico de la misma como una exploradora más entre 5 generaciones de espeleólogos. A título de ejemplo mencionemos un par de sus trabajos y algunas fotografías, estas insertadas al final de este ensayo.

2021. Rodríguez, L. M.; Carreño, R.; Macedo, D.; Basile, D.; Astor, J. y Abraham, A. *Experiencias compartidas entre las comunidades rurales y la Sociedad Venezolana de Espeleología en los últimos 10 años*. Mem. II Congreso Col. Espeleología. ESPELEOCOL 2021. pp 134-144. <https://drive.google.com/file/d/1RvNYUC-lYoeMfqFBaQU6mW9iapJNKv1e/view>

2017. Rodríguez, L. M.; Carreño, R. y Urbani, F. *El entorno subterráneo en cuevas venezolanas, cinco décadas haciendo geoespeleología*, 50° aniversario y X. Jornadas de Espeleología. Octubre 2017, Universidad Central de Venezuela. (Resumen en versión CD).

FORMACIÓN ACADÉMICA

Rodríguez Dávila, de gentilicio andino -es merideña-, ha seguido una trayectoria de especialización constante, comenzando con una formación orientada al ejercicio laboral inmediato (1994) y progresando hasta el nivel doctoral (2018), con docentes nacionales y foráneos de inclinación variopinta, pero especialmente orientada en sismología nacional.

Su *handicap* la ha llevado desde un punto de partida, el ser Técnico Superior Universitaria (TSU) en Minas por el Instituto Universitario de Ejido (IUTE) en Ejido, (1994); Geóloga por la Universidad de Oriente, estado Bolívar que le ha proporcionado una base sólida y práctica en los fundamentos de la Geología y que la que orientarían en los temas básicos de su actual desempeño laboral: la investigación en el estudio de los sismos nacionales, (junio 2000); Laboratorio de Geología del Cuaternario, Centro Austral de Investigaciones Científicas - CONICET, Ushuaia, Argentina, Curso de postgrado en Campo, de Geología y Geomorfología del Cuaternario de Tierra del Fuego, (2004); Especialista en Riesgo Geológico por la Universidad de Ginebra, Suiza (*Certificat Complémentaire en Etudes et en Management des Risques Géologiques* (CERG, 2007)., que le permitieron asociar las pesquisas que realizaba en sismología con los efectos que los terremotos que se producen; MSc. en Ciencias de la Tierra por la Universidad Simón Bolívar (USB), Caracas (noviembre, 2008), hasta lograr como cima académica el doctorado en Ciencias de la Ingeniería por la Universidad Central de Venezuela (UCV) con especialización en Geología de Terremotos (julio 2018).

TRABAJOS PUBLICADOS LUEGO DE ARBITRAJE

Desde el año 2006 hasta 2025 ha publicado artículos científicos como autora o coautora en Venezuela, México y Colombia entre otros países, cuyos ejemplos facilitados por su autora, nos hemos permitido citar algunos y comentar si ello fuere necesario:

2025. Audemard, F. A.; Romero, G.; Alvarado, L.; Reinoza-Gómez, C.; Arnaiz, M.; Martínez, A. González; Sánchez-Gamboa, A. K.; **Rodríguez, L. M.;** Lebrun J. F.; Rodríguez, J. A.; Philippon, M.; Singer, A; González, J.; Lotuffo, M. *Sismicidad de profundidad intermedia de la losa de subducción de las Antillas menores, próxima a la península de Paria, Venezuela*, *Boletín de Geología*, Universidad Industrial de Santander. 47(1); 2145-8553. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-0283202500010105

2025. Rodríguez, J. A.; Linares, M. E. y **Rodríguez, L. M.** *Documentación venezolana en el análisis del terremoto de Cúcuta de 1875*. Rev. Observatorio del conocimiento, 10(4):21-32. (Ed. Esp. Sismología). (ONCTI). www.oncti.gob.ve, sección <https://publicaciones/seriadas/revistas>

2025. Rodríguez, L. M. Recensión: Atlas Sismológico de Venezuela. Observatorio del conocimiento Vol. 10 N° 4 (2025) Edición Especial Sismología. Pág. 176-179. Depósito legal: PP201402DC4456 ISSN: 2343-6212. http://www.funvisis.gob.ve/atlas_sis.php

2024. Singer, A.; Audemard, F. A.; Rodríguez, J. A. y **Rodríguez D., L. M.** *Origen y trayectoria del departamento de Ciencias de la Tierra de Funvisis, Venezuela: sus primeros 50 años (1972-2022)*. Revista de la Sociedad Geológica de España 37 (1):10-31, <https://doi.org/10.55407/rsge.103454>

2022. Li, Q.; He, Z.; Naganuma, T.; Nakai, R.; **Rodríguez, L. M.;** Carreño, R. and Urbani, F. *Phylogentic Diversity of Bacteria Associated with Speleothems of a Silicate Cave in a Guiana Shield Tepui*. Microorganisms 2022, 10, 1395. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071395>

2020. Angel, I., Audemard, F., Carcalle, J., Carrillo, E., **Rodríguez L. M.** *Cronología actualizada de nucleidos cosmogénicos en el área de Mucubají, Andes de Mérida (Venezuela)*. *Contribuciones al conocimiento paleogeológico y neotectónico*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. Vol 35 2020, versión digital. saber.ucv.ve/index.php/rev_fiucv/article/view/23672

2020. Aray, J., Audemard, F., **Rodríguez, L.**, Schmitz, M., Avila, J. *Uso del georadar como herramienta para la evaluación de amenaza sísmica: caso El Zumbador, Venezuela*. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. Vol. 35, 2020, versión digital. saber.ucv.ve/index.php/rev_fiucv/article/view/23673

2019. Rodríguez L., Diederix, H., Audemard, F., Mora, H. (2019). *Inventario de sismos con reportes de daños y efectos geológicos co-sísmicos en la frontera colombo-venezolana* Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V. (34):105-303 2019, versión digital. https://www.researchgate.net/publication/304627122_Inventario_de_danos_y_efectos_geologicos_co_yo_post_sismicos_del_sismo_ocurrido_el_18_de_mayo_de_1875_en_la_frontera_entre_Colombia_y_Venezuela

2018. Rodríguez L. (2018). *Neotectónica y paleosismología en los Andes de Mérida en la zona limítrofe colombo-venezolana. Con énfasis en la falla de Boconó y Aguas Calientes.* Boletín de Geología. INGEOMIN. Boletín XXIII, (37):8-180 y mapas https://www.researchgate.net/publication/329841517_Neotectonica_y_paleosismologia_en_los_Andes_de_Merida_en_la_zona_limítrofe_colombo-venezolana_con_énfasis_en_las_fallas_de_Bocono_y_Aguas_Calientes/link/5c1cffd2a6fdccfc705fe3ef/download?tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19

2018. Rodríguez, L., Diederix, H., Torres, E., Audemard, F., Hernández C, Singer, A., Bohórquez, O., Yepez, S. (2017) *Identification of the seismogenic source of the 1875 Cucuta earthquake on the basis of a combination of neotectonic, paleoseismologic and historic seismicity studies.* Journal of South American Earth Sciences (2017) <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.09.019>. (82) 274-291.

2016. Rodríguez, L., Ollarves, R., Audemard, F., Singer, A., Colón, S., Miró, Viete, H., 2016. *Estudio Paleosísmico en la traza activa de la falla El Ávila, Santa Rosa, Caracas, Venezuela.* Rev. Geogr. Venezolana. 57(1):34-53. www.redalyc.org/journal/3477/347746068003/html/

2015. Rodríguez, L., Sarabia, A., Pérez, C., Mora, H., Singer, A., Salcedo, E., Yépez, S., Cifuentes, H., Diederix, H., Torres, E., Rodríguez, J., Audemard, F., Gómez, A., Leal, A., 2015. *Inventario de daños y efectos geológicos Co y/o Post-sísmicos del sismo ocurrido el 18 de mayo de 1875 en la frontera entre Colombia y Venezuela.* Bol. Acad. Nac. Ing. y Hábitat., Caracas. (30):105-263. https://www.academia.edu/22803544/Inventario_de_Da%C3%B1os_y_Efectos_Geol%C3%B3gicos

[os Co y o Post S%C3%ADsmicos del Sismo Ocurrido el 18 de mayo de 1875 en la Frontera entre Colombia y Venezuela](#)

2013. Rodríguez, L. y Singer, A., 2013. *Análisis de tres casos representativos de vulnerabilidad de obras de infraestructura ante movimientos de masa de origen climático y/o cosísmicos en el estado Táchira.* Rev. Geol. Colombiana, (38):89-97 <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/22798/pdf>

ACTIVIDADES EN SIMPOSIOS Y CONGRESOS CIENTÍFICOS NACIONALES E INTERNACIONALES

Desde 2002 en el Departamento de Ciencias de la Tierra hasta reciente 2021 ha participado en estos eventos y “cultivado” la paleosismología, la neotectónica, el riesgo geológico, los estudios binacionales de fallamiento cuaternario colombo-venezolano, sismología histórica, entre otros, bajando su volumen de actividad en ellos por la situación país, muy probablemente, ha encarado con mucha certeza actividades múltiples con otras unidades técnicas como el Departamento de Geofísica, tal como estudios con radar de tierra (GPR), proyectos de ordenanzas municipales, cálculo de parámetros físicos en reuniones de sismología internacional, gestión de riesgo compartidos de poblaciones afectadas por deslizamientos y otros tantos ejemplos adicionales.

COORDINACIÓN DEL ATLAS SISMOLÓGICO DE VENEZUELA

Una muy particular actividad ha sido este multitrabajo compartido con la coordinación de Luz María en esta era de la información digital.

La intención ha sido poner al alcance público y profesional en las Geociencias, la situación sísmica venezolana permitiendo con ello expandir no solo el “vocabulario de los sismos” sino su situación geográfica. Ello ha permitido la ejecución de varias capas de información, en un ejemplar cuyo slogan reza: *Atlas Sismológico de Venezuela*. Este trabajo ha reunido mapas, fotos y datos elaborados durante los primeros 50 años de actividad de FUNVISIS (El Universal, 2024).

CONCLUSIONES “TEMPRANAS” DE SU ACTIVIDAD GEOCIENTÍFICA

Resultados actuales de su actividad, la muestran con una capacidad de liderazgo nato y neto pese a los difíciles tiempos que día a día se suceden, y en la que está involucrada mucha gente. Siempre mantiene una cara amable, una sonrisa y la búsqueda en obtener soluciones a ingentes problemas. Huelga hablar de su evolución profesional y académica, que subraya su compromiso

profundo con el estudio de la sismología nacional y los riesgos asociados que por sí solos se muestran en el presente ensayo, incluso la docencia a la que poco le hemos dedicado la ha practicado o la practica. El corto listado que hemos expuesto la califican en tener, mantener y difundir una sólida contribución que va “in crescendo” cada día más, y de la que conocemos apenas “la punta del iceberg”.





Luz María Rodríguez en pleno trabajo en una trinchera de observación paleosismológica.

REFERENCIAS

EL UNIVERSAL, 2024. *Atlas Sismológico de Venezuela reúne mapas y numerosos datos*, (versión digital), <https://www.eluniversal.com/caracas/167850/atlas-sismologico-de-venezuela-reune-mapas-y-numerosos-datos>. (Nota de prensa).

RODRIGUEZ, L. M. 2025. *Curriculum Vitae Luz María Rodríguez Dávila* (en preparación).

SOCIEDAD VENEZOLANA DE ESPELEOLOGÍA. 2025. *Fundación de la SVE en Venezuela*, [Documentación en línea], (noviembre 12, 2025), <https://sve-espeleologia.org.ve/>

DE SUS ENLACES PARA DETALLAR

<https://www.researchgate.net/profile/Luz-Rodriguez-31>
<https://independent.academia.edu/LuzRodriguez49>
<https://orcid.org/0000-0003-1195-3029>



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

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

rodriguez.arteaga@gmail.com

Richard Cowling Taylor: 1789 - 1851

Richard Cowling Taylor. La exploración e investigación de distritos minerales para oro, plata, plomo, cobre y asfalto

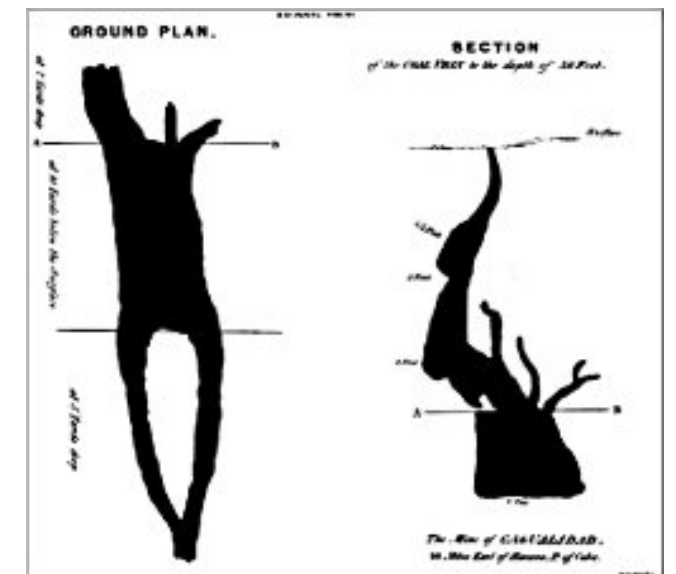
Nació en Hinton, Suffolk, Inglaterra el 18 de enero de 1789 y murió en Filadelfia, Pennsylvania, el 26 de noviembre, de 1851. Fue educado como ingeniero de Minas y geólogo bajo la dirección del autodidacta William Smith, "el padre de la geología británica." En su carrera temprana se involucró en exploraciones y reportes de propiedades mineras en Inglaterra. Richard Taylor, tenía un acercamiento muy práctico a la geología y la minería. Como geólogo economista no tenía pares en su época, ni en los Estados Unidos, ni en Europa.

En 1830, fue inducido a viajar a los Estados Unidos para residir y trabajar en Philipsburg, Pennsylvania. En los Estados Unidos trabajó en la prospección de yacimientos de carbón en Blossburg y continuó ocupado con varios trabajos similares en los Estados Unidos, cobre y asfalto en Cuba, oro en Panamá, asfalto en New Brunswick y en Canadá.

Una parte considerable del año 1836 se dedicó al estudio de la parte nordeste de la isla de Cuba. Una región minera, que hasta aquel momento nunca ha sido visitada con propósitos científicos y hasta solo poco tiempo atrás nunca había sido investigada en objetivos mineros prácticos.¹ En la región de Holguín describe la existencia de mineralización de cobre y oro en varios sectores. En su parte más occidental se manifiesta la inyección de múltiples venas de petróleo y materia bituminosa, no solo en grandes cantidades en las fisuras de las rocas estratificadas, sino en la roca en sí, rellenando células de calcedonia.²

El resultado de los estudios sobre rocas bituminosas cerca de La Habana, fue publicado en 1836,³ 1837⁴ y se reprodujo en marzo de ese propio año⁵ y al siguiente año

en la "Biblioteca Universal de Ginebra", así como en otros periódicos europeos y en 1839 en la Habana. En el artículo se estudian los bitúmenes de la mina La Casualidad, la cual sitúan a tres leguas (12 km) de la Habana sobre el Camino Real que lleva a Guanabacoa. Se trata de una vena de petróleo solido que se observa muy bien en la excavación en rocas margosas relativamente suaves. Constatan la presencia cercana de serpentinitas.



Esquema de la Mina de petróleo solido Casualidad. Taylor, 1837.

Taylor y Clemson refieren que luego de la extracción de la fase sólida quedaba petróleo crudo más ligero llenando las cavidades de masas de calcedonia a unas pocas yardas. En otra parte de su publicación Taylor y Clemson se refieren a otros pozos productores en las serpentinitas no lejos de San Francisco de Paula cuyas estructuras abandonadas todavía eran visibles, con las mismas manifestaciones de petróleo ligero rellenando los lugares de explotación.

En 1848, Richard C. Taylor publica en Filadelfia el libro "Statistics of Coal"⁶ que incluye la distribución de los criaderos de sustancias bituminosas tanto asfalto como petróleo conocidas entonces en todo el globo. Aquí, se

hace la observación que las llamadas minas de carbón de las cercanías de la Habana no eran realmente minas de carbón sino de petróleo sólido, pastoso y semilíquido “the substance denominated chapapote”.

Taylor brinda una explicación y características de otras acumulaciones de chapapote, seis leguas al Este de Guanabacoa y las acumulaciones cerca de la Bahía de

Cárdenas y se hace una evaluación positiva del potencial de petróleo y gas en Cuba. Menciona las grandes manifestaciones en la Habana, Matanzas, Bahía de Cárdenas, Camagüey, Holguín y Mayarí. Además, dice que “De hecho, todo el país está impregnado con materiales bituminosos, en un grado sorprendente. Incluso del cuarzo sólido, las rocas serpentínicas, y las venas de calcedonia tienen celdas y cavidades llenas de petróleo

¹Taylor R. and Clemson T. 1837. Notes relative to the geology of a portion of the district of Holguín in the Island of Cuba, and the mineral region on the North-east coast, from the observations of himself and Thomas G. Clemson, Esq. , Philosophical Magazine Series 3, 11:64-65, 17-33

²Taylor R. and Clemson T. 1837. " Memoir of the Character and Prospects of the Copper Region of Gibara, and a Sketch of the Geology of the N. E. part of the Island of Cuba." Transactions of the American Philosophical Society

³Taylor R. 1836. Notice of a Vein of Bituminous Coal, recently explored in the vicinity of the Havana, in the Island of Cuba. Loudon's Mag. of Nat. Hist., Vol. ix. p. 449, 1836

⁴Taylor R. and Clemson T. 1837. Transactions of the American Philosophical Society Vol. VI. p. 191, " Notice of a Vein of Bituminous Coal (Chapapote) recently explored in the vicinity of the Havana, in the Island of Cuba." (This was jointly with Mr. Clemson.)

⁵Taylor R. 1837. “Notice of a vein of Asphaltum Chapapote, called in the vicinity of Havana, bituminous coal.” London and Edinburgh Phil. Mag., March, 1837,

⁶Taylor R. 1848. "Statistics of Coal " : Published By J. W. Moore, 195 Chestnut Street. Second edition. 1855.



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

Blanca E. Buitrón Sánchez



La doctora **Blanca Estela Buitrón Sánchez** estudió la licenciatura en Biología, la Maestría y Doctorado en Ciencias (Biología) en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Entusiasta académica desde 1962, se ha destacado en las tres tareas sustantivas de la Universidad, la docencia, investigación y extensión de la cultura. Es Investigador Titular nivel “C” de Tiempo Completo del Instituto de Geología y profesora de la cátedra de “Paleontología General”, en la Facultad de Ingeniería, UNAM y ha sido distinguida con el Nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

El estudio de los gasterópodos y equinodermos fósiles, sus implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas con aplicación en la prospección de recursos naturales se ha reflejado en la publicación en revistas de impacto y cuenta con 2017 citas. Ha sido responsable de proyectos nacionales CONACYT, CONABIO, UNAM, e internacionales, UNESCO-IGCP y ECOS Francia en los que participan profesores e investigadores de diversas instituciones nacionales y extranjeras. Ha realizado 132 informes técnicos a PEMEX, PEÑOLES, GEOCA, UNAM, UNISON, UAEGRO y otras instituciones.

Durante sus 60 años de labor científica y docente en la UNAM, se ha destacado en la formación de recursos humanos. Es tutora de los Posgrados de Ciencias del Mar y Limnología, Ciencias de la Tierra y Ciencias Biológicas de la UNAM y del posgrado de Biociencias de la Universidad de Sonora. Ha dirigido 72 tesis de licenciatura y posgrado. La Dra. Buitrón ha realizado estancias académicas en las Universidades de París VI, Poitiers, Tolosa, Marsella y Lyon con beca de Francia en 1977, en el Instituto Mexicano del Petróleo en 1989 y en la UNISON en 2003 y estancias anuales en la Universidad de Lille, Francia y en la Universidad de Sonora desde 2003 al 2019. Desempeña la actividad curatorial de la Colección Paleontológica Didáctica de la Facultad de Ingeniería desde 1971, que cuenta con 6,032 ejemplares y que fue organizada con el patrocinio de un proyecto de la CONABIO. Es conferencista del programa de divulgación “Domingos en la Ciencia”, de la Academia Mexicana de Ciencias y del Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C, cuyas conferencias se imparten en diversos foros del país.

Ha recibido las numerosas distinciones otorgadas por la American Association of Petroleum Geologists. Nuevo León, 2020, por la Universidad de Guadalajara 2020, por la *Red Iberoamericana de Equinodermos* 2019, por la Sociedad Mexicana de Paleontología (SMP) 2019, por la Facultad de Ingeniería, UNAM, 2019, por la Sociedad Geológica Mexicana, 2019. La Unión Geofísica Mexicana (UGM) le otorgó el reconocimiento a la “*Maestra del año*” en 2012, y la UNAM, el “Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz” en 2004. Fue distinguida con el reconocimiento y diploma por “*aportaciones a la investigación en las Ciencias de la Tierra*”, otorgado por la Sociedad Geológica Mexicana en 1990. Ha sido reconocida por su contribución en la creación de museos la Sierra en Arivechi, Sonora, Tepexi de Rodríguez y Santa Ana Teloxtoc, Teziutlán en Puebla, y Oaxaca. También tiene nominación científica de las especies nuevas *Pliotoxaster buitronae* Fornie, *Ophiolepis buitronae* Pineda, Bribiesca Solís y Laguarda, *Parafusulina buitronae* Pérez y Palafox, *Huetamia buitronae* Alencáster, *Stephanosphinctes buitroni* Westermann y Sandoval. <https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Buitron>; <http://www.ojs-igl.unam.mx/index.php/Paleontologia/article/view/638/560>

Krystyna Piotrowska: 1938 - 2022



Con gran tristeza, el 26 de Enero de 2022, a la edad de 83 años, falleció la Profesora **Doctora Krystyna Piotrowska**.

La doctora Krystyna Piotrowska nació el 5 de Julio de 1938 en Łuck, en la actual Ucrania. Al inicio de la guerra, regresó con sus padres a Varsovia, donde completó su educación secundaria y comenzó sus estudios en la Facultad de Geología de la Universidad de Varsovia.

En Febrero de 1962, obtuvo el título de Master en Geología (en estratigrafía y exploración) sobre la base de su tesis titulada: "Budowa geologiczna Wyżniej Świstówki" ("Estructura geológica de la Alta Świstówka"), elaborada bajo la supervisión del profesor Edward Passendorfer. En ese mismo año, se incorporó al Departamento de Tectónica y Cartografía Geológica de la Facultad de Geología de la Universidad de Varsovia y sus investigaciones se centraron en la geología de los Montes Tatra y las Montañas Pieniny, con especial énfasis en el análisis estadístico mesoestructural y en los estudios fotogeológicos.

En 1969 defendió su tesis doctoral (premiada por el Rector de la Universidad de Varsovia) con el título "Análisis fotointerpretativo cualitativo de las estructuras disyuntivas

del basamento cristalino de los Montes Tatra Polacos". En los últimos años de su trabajo en la Facultad de Geología impartió conferencias sobre tectónica y cartografía geológica.

En 1971 comenzó su actividad científica en el Departamento de Ciencias Geológicas (más tarde Instituto de Ciencias Geológicas) de la Academia de Ciencias de Polonia, donde se le ofreció participar en un proyecto internacional co-ejecutado por la Academia de Ciencias de Polonia y la Academia de Ciencias de Cuba, destinado a la preparación del Mapa Geológico de Cuba en la escala 1:250.000. En los años 1971-1975 Krystyna Piotrowska realizó investigaciones y trabajos cartográfico-geológicos sobre la elaboración del mapa geológico de la provincia de Pinar del Río, en el occidente de Cuba y en los años 1977-1982 supervisó una expedición del equipo polaco-cubano que trabajaba en el mapa de la provincia de Matanzas en el centro-occidente de la República de Cuba. En el transcurso de los trabajos de investigación y cartográficos relacionados con dicho proyecto, junto con las especialistas cubanos, se realizaron mapas geológicos y tectónicos en las escalas 1:250.000 y 1:100.000; perfiles y sondeos documentados, así como el reconocimiento de las características tectónicas de Cuba, la unificación de la litoestratigrafía de las unidades formales, la identificación

de nuevas unidades y miles de determinaciones micropaleontológicas y macrofaunísticas. El resultado de estos trabajos fue también una tesis de Krystyna Piotrowska titulada "Estructuras del manto del oeste de Cuba a partir del ejemplo de la Sierra de los Órganos", sobre cuya base se le concedió en 1978 el título de Doctora en Ciencias Naturales. En los años 1994-2002 Krystyna Piotrowska trabajó simultáneamente en el Instituto de Geografía de la Academia Santacrucensis (Świętokrzyskie) como jefa del Departamento de Fundamentos de la Geología. Impartió clases con estudiantes de Ciencias de la Tierra y fue supervisora de numerosas tesis de master y licenciatura.

El primero de Enero de 1995 Krystyna Piotrowska comenzó a trabajar en el Instituto Geológico Estatal (PIB), donde en los años 2002-2006 dirigió el Departamento de Cartografía Geológica. Durante sus 20 años de trabajo en el Instituto, fue responsable de las hojas del Mapa Geológico Detallado de Polonia a escala 1:50.000 y del Mapa Geológico de Polonia a escala 1:200.000, y puso en marcha numerosos proyectos, como los mapas geológicos y turísticos de los parques nacionales y paisajísticos. También es coautora del Diccionario de Unidades Litoestratigráficas de Polonia y fue una de las editoras científicas del Mapa Geológico de Polonia a escala 1:500.000. Su papel fue fundamental en el inicio de la aplicación de métodos de geofísica superficial y en el desarrollo de modelos geológicos en el Instituto, como co-creadora del modelo espacial de la estructura geológica profunda de Polonia. En los años 2005-2015 dirigió su mayor proyecto en el Instituto: trabajos sobre el Mapa Geológico Detallado de los Montes Tatra a escala 1:10.000, reuniendo a un grupo de geólogos de Varsovia, Cracovia, Wrocław y geólogos del Servicio Geológico Eslovaco (Instituto Geológico Estatal Dionýz Štúr).

El proyecto a largo plazo culminó con la publicación de 25 hojas, incluidas 16 hojas limítrofes entre Polonia y Eslovaquia. El efecto de la cooperación extranjera fue también su coautoría del Mapa Geológico-Educativo de los Montes Tatra en la escala 1:50.000 y la producción del Mapa Geológico de los Montes Tatra para el Atlas del Parque Nacional. Durante estos trabajos, se ocupó especialmente de los jóvenes geólogos y apoyó activamente sus trabajos y estudios durante todo el proceso de cartografía geológica.

En el año 2000, Krystyna Piotrowska recibió del Presidente de la República de Polonia el título de Catedrática de Ciencias de la Tierra. Por sus logros, fue condecorada con la Cruz Dorada al Mérito (2005), la Insignia Dorada del Instituto Geológico Polaco (2013) y la insignia honorífica al Mérito de la Geología Polaca.

Fue miembro de muchos Consejos Científicos, entre ellos, el Consejo de la Facultad de Matemáticas y Ciencias Naturales de la Universidad Tecnológica de Silesia, el Comité de Ciencias Geológicas de la Academia Polaca de Ciencias, la Comisión para la Aceptación de Estudios Cartográficos, el Consejo Editorial del Geological Quarterly, el Comité Editorial de Trabajos del PGI y los trabajos del Instituto de Geografía de la Academia Santacrucensis (Świętokrzyska), el Consejo de Programa del Atlas de los Montes Tatra y la Comisión de Unificación y Redacción del Mapa Geológico de Cuba. Como parte de su actividad, asumió la evaluación de los logros científicos y la emisión de opiniones sobre las solicitudes de otorgamiento de títulos científicos, así como la revisión de estudios y artículos cartográficos y fue tutora de dos tesis para el grado de doctor.

Krystyna Piotrowska dedicó su vida profesional principalmente a sus amadas montañas Tatra y a la geología de Cuba. Su dedicación a la tectónica de los Montes Tatra, desde su época universitaria se extendió hasta la práctica del alpinismo realizando escaladas de invierno y verano en equipos femeninos. Fue una persona comprometida y entregada casi hasta el final de sus años. Siempre alegre y amistosa, invitó a cooperar a geólogos de varios centros de investigación. Se unió en la búsqueda de descubrimientos conjuntos, organizó conferencias científicas y numerosas reuniones en el campo. Le gustaba y apreciaba el trabajo con los jóvenes. Entrenó a geólogos cubanos que colaboraron con ella en el levantamiento geológico de Cuba. Siempre llena de energía y carisma, desarrolló en sus alumnos curiosidad por la geología y sensibilidad por la naturaleza.

Durante muchos años, compartió su pasión y trabajo profesional en Polonia y en Cuba con su esposo, también geólogo y cartógrafo, el Dr. Jerzy Piotrowski, finado años antes.

La misa funeral por la Doctora Krystyna Piotrowska se realizó el 4 de Febrero de 2022 a las 12:00 en la iglesia de St. Borromeo y después se le llevó a la tumba familiar en Stare Powązki.

Traducción del polaco por Humberto Álvarez Sánchez, revisada por el Doctor Andrzej Pszczółkowski; sobre la base de la Nota necrológica publicada el 31 de enero de 2022 por el Instituto Geológico Polaco-Instituto Nacional de Investigación. En homenaje a la vida de la Doctora Krystyna Piotrowska.

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Krystyna-Piotrowska-83838866>

OBITUARIOS

Ignacio A. Reyes Cortés: 1953 - 2025



El doctor Reyes nació en la ciudad de Torreón, Coah. el 14 de junio de 1953. Cursó sus estudios de ingeniero geólogo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, obtuvo el reconocimiento al mejor alumno de la generación, pero además fue ganador de la medalla “Gabino Barreda” en el mismo año 1976, Premio que se le otorga al mejor alumno de las escuelas y facultades de toda la universidad. Posteriormente, becado por el CONACYT estudió en la UTEP, donde obtuvo los títulos de Master y Ph.D of Geological Sciences.

En sus primeros proyectos trabajó en el INEN y en URAMEX en los estados de Tamaulipas y de Chihuahua; después en la CFE en Durango y en la compañía Materias Primas Magdalena S.A. de C.V. en el estado de Sonora. Finalmente, dedicó una buena parte de su vida a la academia y a la investigación como Profesor Investigador Titular nivel C de Tiempo completo en la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Publicó 5 capítulos de libros de Ciencias Geológicas, más de 200 artículos de divulgación científica, Apuntes para los cursos de Geología, fue coeditor de libretos guía para excursiones geológicas. Impartió más de 100 conferencias de carácter técnico, muchas de ellas fueron conferencias magistrales. Impartió 6 diplomados, algunos cursos y talleres extra clase, “Solo por difundir el conocimiento” decía él. Siempre invitado como jurado calificador de concursos estudiantiles y magnífico organizador de prácticas de campo. Tan aceptado por los alumnos que 3 generaciones de ingenieros llevan el nombre de “Ignacio A. Reyes Cortés”. Fue consejero universitario, Coordinador de la licenciatura de Ingeniero Geólogo, Coordinador de la maestría en Hidrología Subterránea y Secretario Académico de la Facultad de ingeniería de la UACH.

Por más de 20 años se desempeñó como Miembro de la Comisión técnica de Ciencias de la Tierra del CACEI que es una institución dedicada a la evaluación y acreditación de todas las carreras de Ciencias de la Tierra impartidas por las instituciones de educación Superior en México y en algunos países de Latinoamérica.





Mercedes Muñoz García

En diciembre de 2025, la Sociedad Geológica de España (SGE) lamentó el fallecimiento de Mercedes Muñoz García, su primera presidenta (1992-1994) y catedrática de Petrología y Geoquímica, destacada pionera y referente en la geología española. No hay registros de que una geóloga fundadora de la sociedad haya fallecido recientemente, sino más bien de figuras importantes dentro de ella, como la propia Muñoz García o la influyente Carmina Virgili (fallecida en 2014), quien fue catedrática y decana en la Complutense.

Sobre Mercedes Muñoz García:

Fue la primera presidenta de la SGE entre 1992 y 1994.

Catedrática de Petrología y Geoquímica y decana de la Facultad de Geología de la UCM.

Considerada una pionera y un gran referente para la geología en España.

Miscelanea de Imágenes



Glacier National Park

The land we now call Glacier National Park (GNP), in northwest Montana, has been known by many names through the centuries. To members of the Blackfeet Nation, whose ancestors thrived here for thousands of years, it was the “Backbone of the World,” for its serrated peaks. To explorer and naturalist George Bird Grinnell, who negotiated the purchase of eastern Glacier from the Blackfeet and lobbied Congress to establish it as a forest preserve and later a national park in 1910, it was the “Crown of the Continent,” for its glaciated mountains. Great Northern Railway, which owned the tracks around the park's southern flanks, erected a series of lodges and chalets for its passengers and promoted the area as “America's Switzerland.”

Glaciers carved these mountains, leaving jagged ridges called arêtes, three-sided horn peaks, scooped-out cirque basins and deep U-shaped valleys — a vertical landscape that plunges from 10,448-foot Mount Cleveland to 3,153 feet at the clear waters of Lake McDonald, the park's largest lake. The Continental Divide, which runs north-south through Glacier, sends water to the Pacific and Atlantic oceans, splitting this park of 1,012,837 acres into a west side of long lakes surrounded by coniferous forests and an east side of aspen groves mixed with wildflower meadows.



Swiss National Park

The Swiss National Park (Romansh: Parc Naziunal Svizzer; German: Schweizerischer Nationalpark; Italian: Parco Nazionale Svizzero; French: Parc National Suisse) is located in the Western Rhaetian Alps, in eastern Switzerland. It lies within the canton of Graubünden, between Zerne, S-chanf, Scuol, and the Fuorn Pass in the Engadin valley on the border with Italy. Founded in 1914, the Swiss National Park is the oldest national park in the Alps and in Central Europe. It is part of the worldwide UNESCO Biosphere Reserve[2] and has IUCN category Ia, which is the highest category, signifying a strict nature reserve. Today, the Swiss National Park has an area of 170.3 km²[3] and is the largest nature reserve in Switzerland.

A few million years ago, there was a collision between African and Eurasian plates which caused an area beneath the sea to fold and climb with the pressure, creating some of the Alps' highest peaks. Holding the titles of being the "highest" and "most extensive" mountain range in Europe, the Alps stretch an estimated 1,200km across eight Alpine countries. So, it comes as no surprise that over the centuries, the Alps have captured the imagination of emerging artists such as Turner and Sargent, and intrepid mountaineers like Edward Whymper and Lord Francis Douglas who were among the first to summit the towering Matterhorn (4,478 metres). And today, basking in the beauty of the Alps during a walking or cycling holiday is seeing a revival on travellers' summer bucket lists. Understandably, the idea of fresh Alpine air, expansive open space and a change of pace is a plus for many, so we've highlighted five countries and trips you shouldn't miss if you're planning a holiday in the Alps.



Patagonia National Park - Chile

Patagonia National Park (Spanish: Parque Nacional Patagonia) is a national park in the Aysén Region of Chile. Once a private nature reserve operated as a public-access park, it was donated to the government of Chile by Tompkins Conservation in 2018. The heart of the park is the Chacabuco Valley, an ecologically significant east-west valley that forms a pass over the Andes Mountains, resulting in a transition zone between the Patagonian steppe grasslands of Argentine Patagonia and the southern beech forests of Chilean Patagonia to the west. It is located between General Carrera Lake to the north and Cochrane Lake to the south and extends to the Argentine border to the east. The park contains a network of trails and campgrounds, as well as a visitor center.

The park was created by Conservacion Patagonica, a nonprofit founded with the intent of protecting Patagonia's wildlands and ecosystems.[2] Conservacion Patagonica merged into Tompkins Conservation in 2018. On 29 January 2018, Chilean President Michelle Bachelet and Kris Tompkins, President of Tompkins Conservation, signed a decree creating 5 national parks, one of which was Patagonia National Park. Parque Patagonia was gifted to the Chilean state and combined with Lago Jeinimeni National Reserve, Lago Cochrane National Reserve, and other additional lands to form Patagonia National Park, with a combined area of 260,000 hectares (640,000 acres).



Mount Cook National Park - New Zeland

Mount Cook National Park is a national park located in the Canterbury Region in the central-west of the South Island of New Zealand. It was established in October 1953 and takes its name from the highest mountain in New Zealand, Aoraki / Mount Cook. The area of the park is 707 km² (273 sq mi), and it shares a border with Westland Tai Poutini National Park along the Main Divide of the Southern Alps. The national park consists of reserves that were established as early as 1885 to protect the area's significant landscape and vegetation. Glaciers cover 40% of the park, including the country's largest glacier, Haupapa / Tasman Glacier. In 1990, the park was included in the area designated as the Te Wāhipounamu World Heritage Site. The park is managed by the Department of Conservation (DOC) alongside Ngāi Tahu, the iwi who are mana whenua in the region.

At the end of the most recent ice age approximately 13000 years ago, numerous glaciers in the park were tributaries of a much larger glacier covering all of Hooker Valley and Tasman Valley in hundreds of metres of ice. This glacier reached beyond the southern end of today's Lake Pukaki, up to 40 km (25 mi) south of Aoraki / Mount Cook National Park. As it retreated, it filled the hollowed-out valleys, leaving behind the U-shaped valleys seen today in the national park. Early European surveyors and explorers ventured into the alpine region surrounding Aoraki / Mount Cook from the 1850s. Many of the geographical features in the national park were named by or after them. The Ngāi Tahu Claims Settlement Act passed in October 1998 recognised the original names of some geographical features, establishing dual English / Māori names.

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Maximiliano A. Padilla Orellana

**Paleosismología de la Falla Isla Santa María
(Península de Mejillones, II Región de
Antofagasta), Chile.**

Universidad de Chile, Memoria para optar al título de Geólogo, 2023

Profesor guía: *Gabriel Easton Vargas*

Resumen

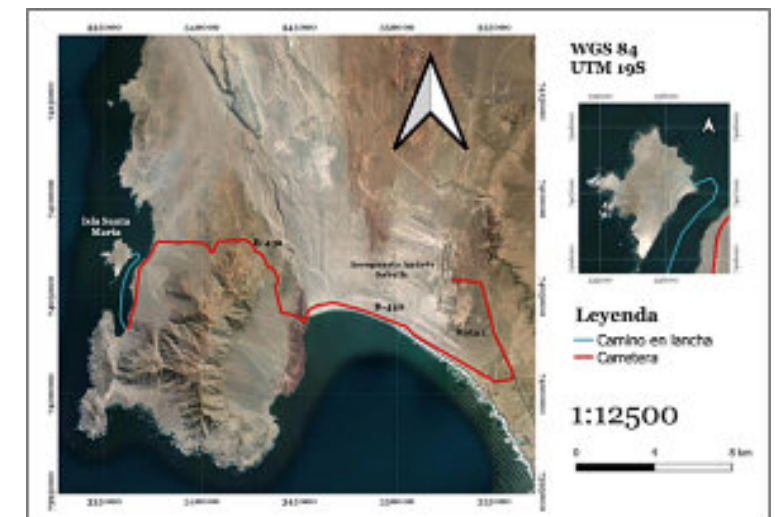
La deformación cuaternaria en la cordillera de la costa en el norte de Chile está controlada en gran parte por sistemas de fallas, entre las cuales destaca el sistema de Falla de Atacama (SFA), junto a otras que se expresan en notorios escarpes de falla. Una de estas estructuras corresponde a una falla ubicada frente a Caleta Constitución, denominada la Falla Isla Santa María, la cual se ubica al sur de la península de Mejillones.

El objetivo principal de este trabajo consistió en realizar una evaluación paleosismológica de la Falla Isla Santa María utilizando evidencia geomorfológica y estructural del conspicuo escarpe que se evidencia en superficie. Mediante trabajo de terreno y a partir de imágenes de dron se construyeron modelos de elevación digital (DEM) y fotomosaicos de precisión. Además, se estudiaron perfiles topográficos y se caracterizó paleosismológicamente una pared expuesta de manera perpendicular a la traza de falla. Para acotar edades cronoestratigráficas se utilizó el método de datación por Carbono 14. Con estas herramientas se pudo caracterizar la falla y determinar su evolución cuaternaria tardía. Los resultados obtenidos indican que la falla presenta una disposición que varía entre N11E/80 W y N15E/70 W. En el lugar donde se estudió la pared del macizo se pudo determinar una cinemática normal, con descenso del bloque occidental y una separación vertical media de 2,75 m.

El análisis morfológico del área de estudio junto con el análisis paleosismológico permitió reconocer al menos 3 paleosismos en esta falla, de los cuales el más reciente tiene una edad máxima pleistocena superior. Utilizando valores de desplazamiento máximos observados en la pared expuesta y perfiles, junto con ecuaciones que permiten vincular la magnitud de momento (M_w) con largos de ruptura se estimaron magnitudes mínimas que varían entre 6,6 y 6,7 y magnitudes máximas entre 6,9 y 7,0, con un largo de ruptura mínimo inferido aproximado de 30 km.

Utilizando los desplazamientos (offsets) inferidos para la Falla Santa María y de corroborarse las edades de radiocarbono, es posible estimar tasas de deslizamiento entre 0,04 y 0,06 mm/año para los últimos 30 mil años, lo que sugiere que esta falla es una falla intraplaca potencialmente activa.

Figura 1.1. Mapa de ubicación y acceso al área de estudio.



<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/PERRILLIAT-Y-VEGA-2003.pdf>

Perrilliat, M. C., and F. J. Vega, 2003, Lower Eocene large ostreids from the Viento Formation; stratigraphic and paleoecologic implications for the La Popa Basin, Nuevo León, Mexico, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, p. 419–426.

Lower Eocene Large Ostreids from the Viento Formation; Stratigraphic and Paleoecologic Implications for the La Popa Basin, Nuevo León, Mexico

María del Carmen Perrilliat

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City

Francisco J. Vega

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City

ABSTRACT

Three species of lower Eocene ostreids are reported from the Viento Formation of the La Popa Basin, Nuevo León, northeastern Mexico. Two of them are described as new: *Ostrea* (Turkostrea) ventosana new species, and *Ostrea* (Turkostrea) ovata new species. *Ostrea* sp. is also reported associated with the new forms. The large size of these species, in contrast with their small relatives from equivalent depositional environments in the underlying Adjuntas Formation, suggests that paleoclimate played an important role in their size development. These ostreids are the youngest fossils reported from the La Popa Basin, as the Viento Formation has remained undated prior to this contribution. The age suggested for the Viento Formation corresponds to the early Eocene, probably the upper part of the Ypresian.

INTRODUCTION

Ostreid bivalves probably are the most abundant fossils found in the entire Difunta Group. Located in northeastern Mexico (Figure 1), the Difunta Group (Upper Cretaceous–lower Tertiary) was accumulated in two sedimentary basins, known as the Parras and La Popa (McBride et al., 1974). The Difunta Group includes several stratigraphic units that range in age from Upper Jurassic to lower Eocene (McBride

et al., 1974; Vega et al., 1989; Giles and Lawton, 1999). Most of the Upper Cretaceous–lower Tertiary formations include paralic sequences in which ostreid banks developed in association with coastal and fluvial depositional systems. Campanian, Maastichtian, and Paleocene strata contain marine ostreids, whereas those from lower Eocene strata are found in brackish water environments.

Several Cretaceous ostreid species have been reported from both the Parras and La Popa Basins. Böse

ANÁLISIS TEXTURAL DE LOS DEPÓSITOS DE CENIZA EMITIDOS POR EL VOLCÁN TUNGURAHUA DURANTE LAS FASES ERUPTIVAS DE MARZO Y JULIO 2013 Y SU RELACIÓN CON EL DINAMISMO ERUPTIVO.

Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: Ingeniera Geóloga, Marzo 2022.

Sustentante: **Pazos Marín Gabriela Alexandra**

Director de tesis: *PhD. Narváez Rivadeneira Diego Fernando*

Resumen

Este trabajo presenta un análisis textural de microlitos de plagioclasas, componentes de la ceniza volcánica recolectada durante las fases eruptivas de marzo y julio 2013 del volcán Tungurahua. Para el análisis se utilizaron imágenes de microsonda electrónica, las cuales fueron procesadas mediante algunos programas computacionales de acceso libre (ej. Weka, CEmin). El tratamiento de estas imágenes permitió obtener varios parámetros, como: los hábitos cristalinos, la densidad numérica de volumen (Nv) y la abundancia de fase (Φ) de la población de microlitos. La densidad numérica de volumen en conjunto con datos geoquímicos de estudios anteriores fue utilizada para calcular la tasa de ascenso magmático. Durante las dos fases seleccionadas se presentaron diferentes dinamosismos eruptivos (ej. erupciones vulcanianas, estrombolianas y fuentes piroclásticas) cuyo comportamiento está influenciado por procesos de cristalización, el contenido de volátiles y la velocidad de ascenso magmático.

Para la fase de marzo se observa una correlación inversa entre la velocidad y la abundancia de microlitos de plagioclasas. Otros estudios demuestran que la actividad se presentó en un sistema abierto para la emisión de gases volcánicos. Por lo tanto, el comportamiento observado en esta fase se interpreta como resultado del ascenso de un magma cuya velocidad está condicionada por la viscosidad que varía dependiendo del grado de cristalización inducida por desgasificación en el conducto. Por otro lado, las muestras emitidas durante el evento vulcaniano del 14 de julio indicaron una correlación directa entre la velocidad y la abundancia de microlitos.

Estudios previos sugieren que el evento se desarrolló en un sistema cerrado debido a la formación de un tapón. Este estudio propone que, a diferencia de los sistemas abiertos, en sistemas cerrados el principal factor que influye en la velocidad de ascenso es la flotabilidad del magma. Es decir que mientras el magma cristaliza por desgasificación, los gases al no poder salir del conducto empiezan a formar burbujas bajo el tapón, las cuales al expandirse disminuyen la densidad del magma (lo hacen más flotable) y provocan un aumento en su velocidad una vez abierto el sistema. Durante el resto de la fase de julio la actividad se desarrolló en un sistema abierto.

Este trabajo muestra que el análisis textural de cenizas, principalmente el estudio de microlitos de plagioclasas, provee indicios acerca de los procesos magmáticos que ocurren dentro del conducto, por lo tanto, este método representa una herramienta efectiva para realizar un monitoreo petrológico de volcanes activos.

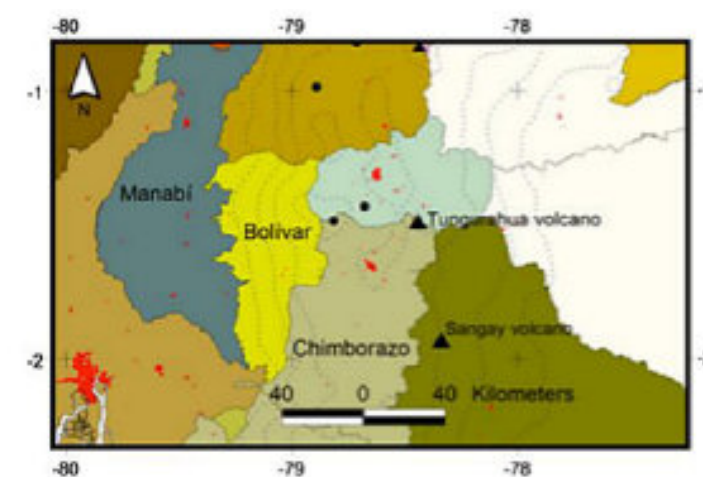


Figura 1.1. Ubicación geográfica del volcán Tungurahua entre las provincias de Tungurahua y Chimborazo. Obtenido de Parra et al. (2016).

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/CANTU-CHAPA-A.-2003.pdf>

Cantú-Chapa, A., 2003, Subsurface mapping and structural elements of the top Jurassic in eastern Mexico (Poza Rica and Tampico districts), in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*; AAPG Memoir 79, p. 330–339.

Subsurface Mapping and Structural Elements of the Top Jurassic in Eastern Mexico (Poza Rica and Tampico Districts)

Abelardo Cantú-Chapa
Instituto Politécnico Nacional, Mexico City, Mexico

ABSTRACT

The configuration of the top Jurassic is based on structural maps derived from oil-well data on the subsurface from the Poza Rica and Tampico regions, eastern Mexico. The maps are based on depths to the contact of the Pimienta and Lower Tamaulipas Formations at the Jurassic-Cretaceous boundary. Lithostratigraphic and chronostratigraphic data are from gamma-ray logs and ammonites, respectively. In the Poza Rica district, the La Mesa syncline was surveyed in the northwest, and the Sultepec homocline in the southeast. The depth to the top Jurassic varies from 2000 to 3700 m in the east and southeast of this region. An elongated area remained emergent during deposition of the Tithonian Pimienta Formation, along the present Gulf of Mexico coast east of Poza Rica, continuing to the southeast of the Tampico area. The Pimienta Formation was eroded in the southeast of Poza Rica along the initial cut of the San Andrés paleocanyon. In the Tampico district, the top of the Pimienta Formation is found from 1000 to 3000 m in depth. Two structures, the Tranquitas anticlinorium and the Tanquian anticlinorium, are observed in the northwest and central part of the Tampico district, respectively. Various areas remained emergent during deposition of this formation to the east and southeast of Tampico. They were part of an ancient continent composed of metamorphic and intrusive rocks, and upper Paleozoic continental origin. In the Bejuco region east of the Tampico district, two structures, the Piedra de Cal anticline and the Jabonera syncline, are observed; depth to the top Jurassic varies from 1400 to 3000 m, respectively. In this same region, two areas, Llano de Bustos and La Aguada, remained emergent during the upper Tithonian.

INTRODUCTION

Various subsurface stratigraphic studies of upper Tithonian rocks have been made for northeastern, east-

ern, and southeastern Mexico, because these are important petroleum exploration areas (Figure 1). These studies are based on gamma-ray logs from wells, ammonites, and microfossils, which provide knowledge

Análisis de la fuente sísmica de dos terremotos anómalos en el norte de Chile.

Universidad de Concepción, Chile

Tesis para optar al grado de Magister en Geofísica, 2023

Sustentante: **Carlos Andrés Tassara Gutiérrez.**

Director de Tesis: *Dr. Matthew Miller.*

Resumen.

El Norte de Chile es una región sísmicamente activa. La sismicidad ocurre segmentada en tres bandas de profundidades: terremotos superficiales, intermedios y profundos. Terremotos de gran magnitud se han observado a diferentes profundidades. Ejemplo de grandes terremotos en el Norte de Chile en las últimas décadas son el terremoto de Tocopilla en 2007 (Mw 7.7), el de Iquique en 2014 (Mw 8.1-8.2), ambos superficiales, y el terremoto de Tarapacá en 2005 (Mw 7.8), de profundidad intermedia. El segmento del margen de placa en el Norte de Chile se ha considerado como un gap sísmico desde la ocurrencia de grandes terremotos al final del siglo XIX (Comte y Pardo, 1991). En 2014, el terremoto de Iquique, con magnitud Mw 8.1-8.2, ha afectado la parte central de este gap sísmico, dejando gaps de menor tamaño hacia el norte y el sur de la región, manteniéndose latente la posibilidad que ocurra un terremoto de gran magnitud, en las cercanías a estos sectores, como se presume haya ocurrido al final del siglo XIX (Ruiz et al., 2014; Shurr et al., 2014; Cesca et al., 2016).

Los mecanismos focales típicos de la sismicidad superficial se caracterizan por terremotos de mecanismo reverso, con orientación Norte-Sur y geometría compatible con la superficie de contacto de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana. Por su parte, los terremotos intermedios también marcan un patrón típico, mayormente caracterizado por fallas normales y con la misma orientación Norte-Sur. Sin embargo, un análisis detallado de la sismicidad y de los mecanismos focales en el período 2004-2018 ha mostrado una posible segmentación también a lo largo del margen de placa en el Norte de Chile (Cesca, 2018), que sugiere tres regiones con mecanismos focales ligeramente diferentes desde el Norte hacia el Sur. Una variabilidad de la sismicidad regional al variar la latitud se ha evidenciado también a partir de una relocalización de la sismicidad reciente (Sippl et al., 2018), que afecta sea la sismicidad superficial que la intermedia.

En 2020 ocurrieron dos terremotos en el Norte de Chile, con mecanismos focales anómalos, según los catálogos de tensores momentos globales (p. ej. Global CMT; Geofon), que se diferencian de los patrones típicos descritos en la literatura actual (Cesca, 2018; Sippl et al., 2018). El sismo intermedio de magnitud Mw 6.8 del 3.6.2020, con mecanismo normal, es interesante por su orientación, inclinada respecto a la del margen de placa. El sismo superficial de magnitud Mw 6.2, del 11.9.2020, en cambio, tiene un mecanismo de strike-slip, en una región y a una profundidad donde típicamente se observan mecanismos reversos. El análisis de estos dos terremotos puede ayudarnos a entender las características de la sismicidad regional y confirmar la hipótesis de su segmentación, con implicaciones para la reconstrucción de la geometría de la subducción, así como para los modelos de propagación de ruptura de grandes terremotos en el Norte de Chile. Considerando la magnitud relevante de estos dos terremotos, su análisis es también relevante para la evaluación de fallas activas y la estimación del peligro sísmico. En este trabajo se pretende caracterizar la fuente sísmica de estos dos terremotos, mediante la determinación del tensor momento y, si es posible, de los parámetros de fuente finita, así como su interpretación de forma conjunta con la distribución espacial de sus réplicas, para identificar la geometría de los planos de fallas y discutir sus implicaciones en la sismicidad local.

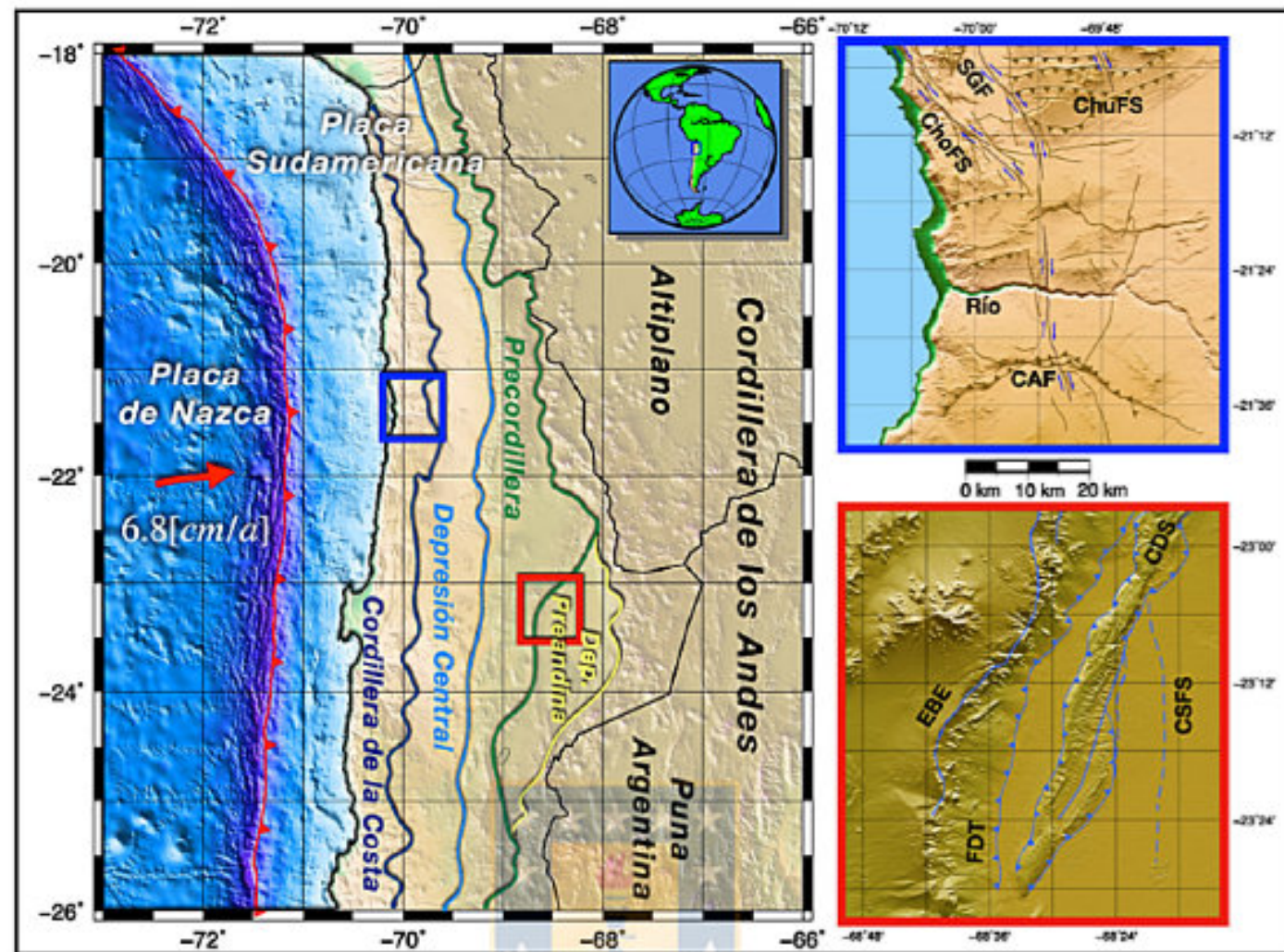


Figura 1.1. Tectónica de los Andes Centrales en el norte de Chile. Línea roja denota un segmento de la fosa de subducción chileno-peruana y la flecha roja representa la dirección de subducción (Vigny et al., 2009; Métois et al. 2012). Líneas coloridas, delimitan las principales unidades tectónicas del norte de Chile (Mpodozis et al., 2005). Los recuadros azul y rojo, definen las áreas de los terremotos estudiados de Río Loa y San Pedro respectivamente, y algunos sistemas de fallas presentes en la zona de estudio (Mittelstadt y Victor, 2020). Figura de elaboración propia.

Evaluación de los principales potenciales almacenes geológicos para el secuestro de CO₂ en el Perú.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Ambientales, 2023

Sustentante: **Jorge Humberto Paredes Angeles.**

Director de Tesis: Dr. Carlos Augusto Antonio Carbonel Huamán

Resumen

Objetivo general de esta investigación es evaluar los potenciales almacenes geológicos y su relación con el confinamiento y la retención permanente (secuestro) de CO₂ en el Perú.

Para tal efecto se hace necesario analizar los datos de exploración geológica, de producción de hidrocarburos, de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) disponible. Información que se obtiene de la perforación de exploración de recursos hidrocarbúferos de las diferentes cuencas sedimentarias del Perú, los reportes especializados de producción petrolera y gasífera, de generación de GEI, que administran las diferentes entidades estatales relacionadas con la ella como PeruPetro, INGEMMET, MINEM, OSINERGMIN.

El análisis y tratamiento de datos se efectuó utilizando herramientas informáticas especializadas, como los paquetes logicales estadísticos, de administración de datos georreferenciados y de estimaciones de recursos de almacenamiento específicos como: Stata y SPSS - en la construcción de la base de datos y su análisis, ArcGIS en la gestión espacial de los datos y la generación de los mapas y CO₂-SCREEN en la estimación de volúmenes y tonelajes.

En esta investigación también se propone un conjunto de datos, luego de discutir su pertinencia; para ser usados en desarrollar una simulación de una formación acuífera salina peruana de almacenamiento geológico con algún software de modelamiento para períodos de entre 1 000 y 100 000 años.

Las estimaciones de la capacidad de almacenamiento de las diferentes formaciones geológicas se hacen de acuerdo a la metodología de USDOE/NETL, que es una metodología robusta y que se ha convertido en la metodología "oficial" por omisión para estas estimaciones en diferentes partes del mundo donde se han desarrollado estimaciones de recursos de almacenamiento de CO₂ (México, Brasil, Sudáfrica, etc.), debido a que los posibles lugares de almacenamiento no están debidamente caracterizados se informa de ellos como una estimación de la capacidad y se emplean simulaciones Montecarlo para considerar las incertidumbres.

El tratamiento de los datos y la revisión de la información recopilada nos lleva a generar un conjunto de mapas que conforman el Atlas de Recursos de Almacenamiento de CO₂ en el Perú y que es el producto más importante de esta investigación.

De los potenciales almacenes geológicos que existen, para los fines de la presente investigación se han evaluado solo los depósitos de petróleo, los depósitos de gas y las formaciones acuíferas salinas. Para los demás, se han esbozado recomendaciones y planteado la necesidad de su futura evaluación detallada.

Las más importantes fuentes fijas o estacionarias de CO₂ del país: las centrales térmicas, refinerías de petróleo y fábricas de Cemento y cal del Perú; contribuyen con un total de emisiones de 21 201.01 Gg de CO₂ cada año.

En el dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento de las formaciones acuíferas salinas se empleó el muestreo de Montecarlo donde se simula 10,000 veces y se calculan los valores de: 22.8 MGg de CO₂ en el P₁₀, 84.5 MGg de CO₂ en el P₅₀ y 242.6 MGg de CO₂ en el P₉₀ de recursos de almacenamiento de CO₂, utilizando el software GoldSim. Estos valores estimados cuando se aplica la regla de Swanson se convierten en 114.2 millones de Gigagramos de CO₂.

La evaluación de la capacidad total de almacenamiento de los diferentes potenciales reservorios de CO₂, nos lleva estimar que los recursos de almacenamiento o secuestro de CO₂ en el Perú son del orden de 114.5 millones de Gigagramos de CO₂.

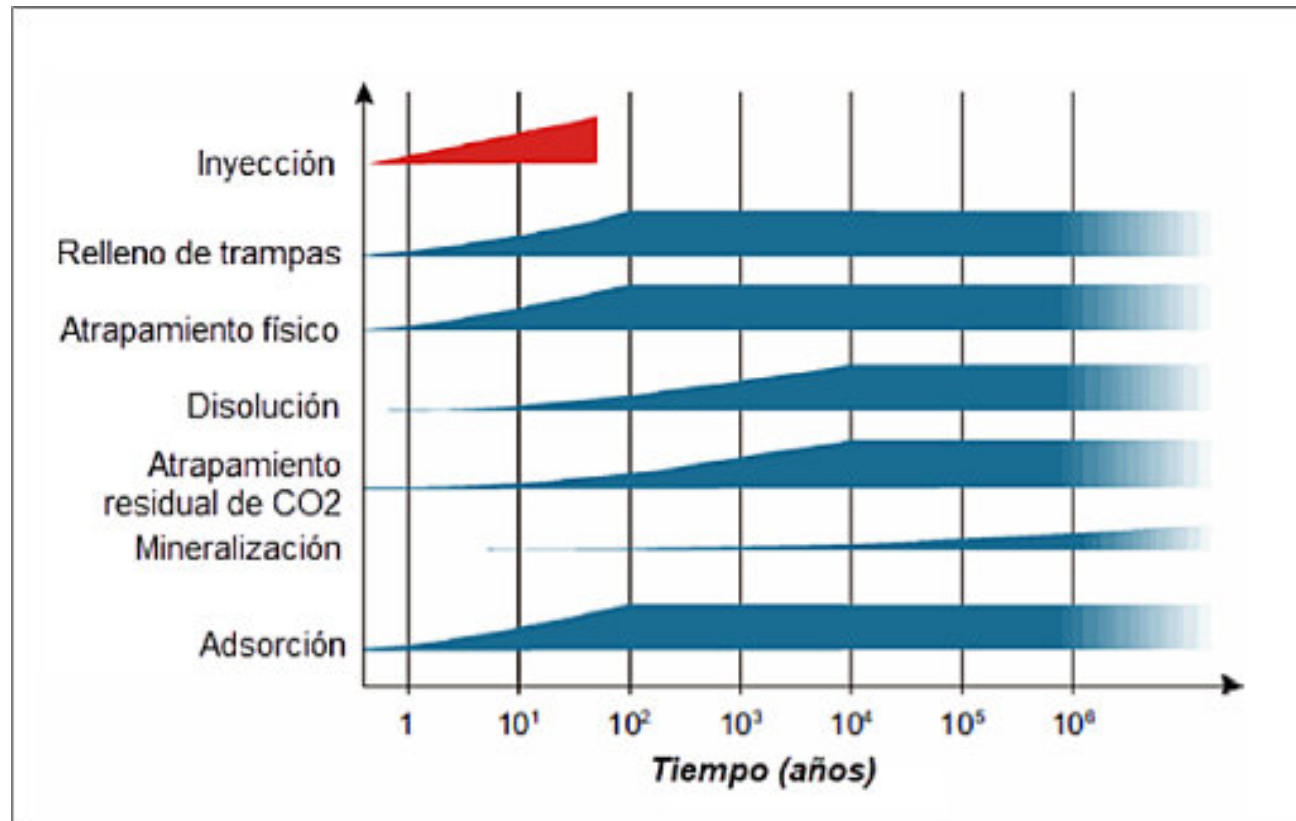


Figura 1.1. Marco temporal de los mecanismos de captura modificado de (Metz & Intergovernmental Panel on Climate Change, 2005).

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/12/SILVA-PINEDA-ET-AL.-2003.pdf>

Silva-Pineda, A., B. Buitrón-Sánchez, J. Arellano-Gil, D. Vachard, and J. Ramírez, 2003, Permian Continental and Marine Biota of South-Central Mexico: A Synthesis, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 462–475.

Permian Continental and Marine Biota of South-Central Mexico: A Synthesis

A. Silva-Pineda

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico

B. Buitrón-Sánchez

Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico

J. Arellano-Gil

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Mexico City, Mexico

D. Vachard

Université des Sciences et Technologies de Lille, U.F.R. des Sciences de la Tierra, France

Joel Ramírez

Escuela Regional de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero, Exhacienda de San Juan Bautista, Estado de Guerrero, Mexico

ABSTRACT

The Permian marine and continental sedimentary sequences in south central México and the biota contained in them are analyzed in this paper. The fossil flora and fauna are contained in Permian strata that correspond to the Guacamaya Formation in the states of Hidalgo and Veracruz; to the Patlanoaya, Los Hornos, Cuxtepeque, and Matzitzzi Formations in the state of Puebla; to the Olinalá Formation in the state of Guerrero; to the Ihualtepec, Ixtaltepec, and Yododeñe Formations in the state of Oaxaca; and to the Paso Hondo Formation in the state of Chiapas.

The microfaunistic association of Olinalá fusulinids can be correlated with the Guadalupe Mountains and the La Mar Formation of Texas in the U.S.A., and with the Difunta Formation of Coahuila and strata of the states of Sonora, Guerrero, and Oaxaca in Mexico. Fusulinids from the Olinalá, Ihualtepec, and Yododeñe Formations suggest that during the Late Permian (Wordian-Capitanian), these organisms were part of the same paleogeographic province that comprised Texas, Arizona, New Mexico, and California in the United States, and northern Sonora, Chihuahua, Coahuila, extending into central Mexico.

Estudio sismológico de la actividad y la estructura del Volcán Isla Decepción (Antártida), mediante el análisis de datos continuos registrados en una estación sísmica permanente (2008-2015).

Universidad de Granada, España, Tesis doctoral, 2021

Sustentante: **Vanessa Jiménez Morales.**

Director de Tesis: *Francisco Javier Almendros González.*

Resumen

La Isla Decepción es un volcán activo ubicado en las Islas Shetland del Sur, Antártida. Aunque las últimas erupciones ocurrieron en 1967-1970, el volcán ha experimentado períodos de crisis sísmicas en 1992, 1999 y 2015. La actividad sísmica del volcán Isla Decepción ha sido registrada durante tres meses al año desde 1986 hasta el presente, coincidiendo con el verano austral. En 2008 se instalaron tres estaciones sísmicas permanentes ubicadas en el volcán Isla Decepción (DCP), Isla Livingston y Caleta Cierva (CCV).

La presente tesis ha tenido como objetivo utilizar el registro continuo en el volcán de la Isla Decepción (incluidos los períodos invernales australes) desde 2008 para estudiar la actividad sísmica a largo plazo del volcán, para mejorar nuestra comprensión del comportamiento, la sismicidad y los mecanismos que generan la actividad volcánica. Asimismo, nos permite modelar la estructura de la velocidad de las ondas S de las capas más superficiales de Decepción y determinar sus características. A partir de este estudio sismológico de la actividad y estructura del volcán Isla Decepción se ha obtenido:

(1) Un modelo 1D de la estructura poco profunda de la costa y bahía interior de la Isla Decepción. Se ha utilizado series largas de registro de ruido ambiental de diferentes estaciones terrestres y marinas desplegadas en la costa y en el interior de la bahía de Isla Decepción, con lo que se ha mejorado los estudios de ruido observando la estabilidad de los picos.

(2) Identificación de una nueva señal sísmica llamada DLDS utilizando un enfoque basado en la evaluación de la energía sísmica promedio contenido en bandas de frecuencia seleccionadas. Se necesita una cantidad suficiente de datos sísmicos durante todo el año para el análisis de DLDS debido a su larga duración y a su modulación estacional.

(3) Se distingue un enjambre precursor de VT distal al SE de la isla Livingston que comienza cinco meses antes de la crisis sísmica registrada en Decepción en febrero de 2015.

(4) Reconocimiento de una modulación anual para algunas de las señales sísmicas de Decepción. Esta modulación anual está relacionada con el ciclo estacional y otras variaciones atmosféricas, influenciada por factores externos, que pueden inducir variaciones de presión en los fluidos volcánicos/hidrotermales, o ser un indicador de tendencias climáticas.

(5) Identificación de un aumento y aceleración de la actividad sísmica a partir del 2011 hasta la crisis sísmica registrada en Decepción en 2015.

(6) Se propone un modelo volcánico para el comportamiento del volcán Decepción durante los 7.5 años de registro continuo de DCP. El volcán empieza en un estado dormido en la fase 1 con un bajo nivel de actividad sísmica. En la fase 2 el volcán se despierta con aumento gradual de la actividad sísmica, donde se produce una intrusión magmática profunda que aumenta la cantidad de gas en el edificio volcánico. Finalmente, el volcán se inquieta en la fase 3 con una aceleración de sismicidad hasta llegar a una erupción fallida.

(7) El registro continuo de datos sísmicos en Decepción, incluso en una sola estación (DCP), permite un salto cuantitativo y cualitativo en nuestra capacidad para caracterizar y comprender el comportamiento volcánico. Por lo tanto, se enfatiza la necesidad de una red sísmica permanente en el volcán Isla Decepción para la evaluación de riesgos volcánicos.

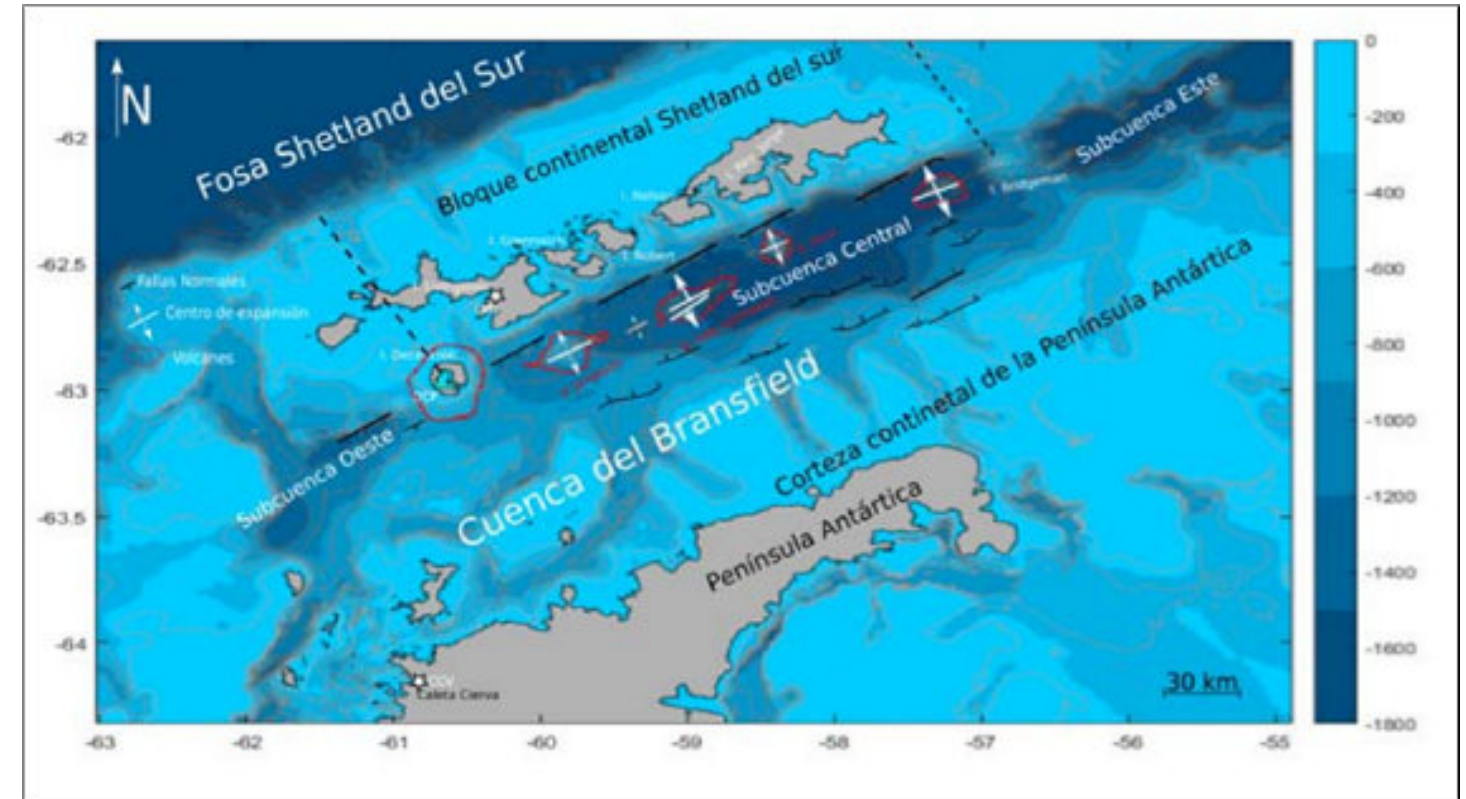
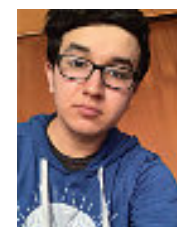


Figura 1.1. Mapa de la región de la Península Antártica y las Islas Shetland del Sur, que muestra la ubicación de la Isla Decepción en el Estrecho del Bransfield. El intervalo de contorno de batimetría (GMRT) es de 200 m. El triángulo rojo representa la ubicación de la estación sísmica DCP. Las estrellas blancas representan la ubicación de las estaciones sísmicas permanentes LVN y CCV.

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



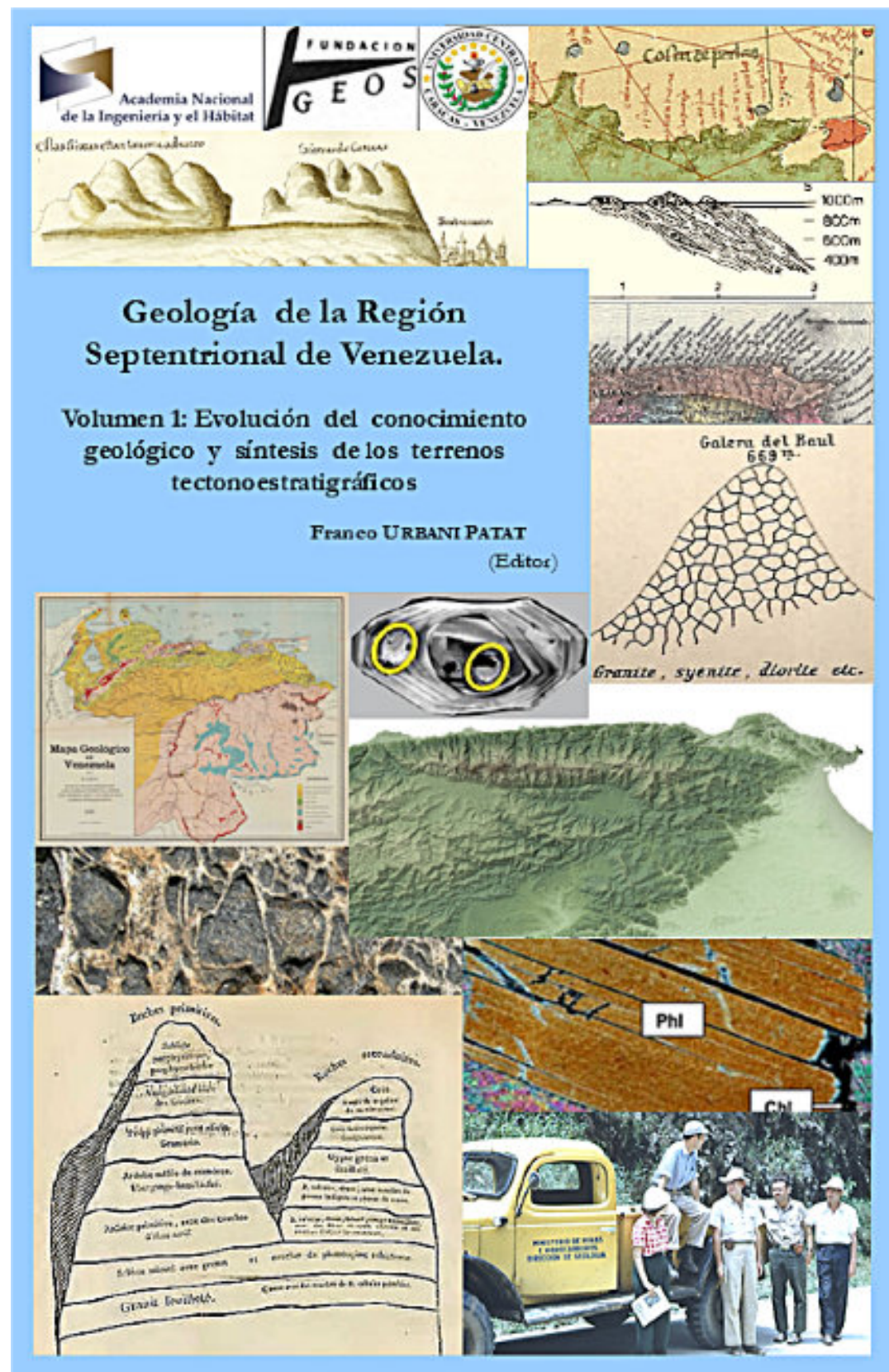
Miguel Vazquez Diego Gabriel, es estudiante de la carrera de Ingeniería Geológica en la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ingeniería), sus principales áreas de interés a lo largo de la carrera han sido la tectónica, geoquímica y mineralogía. Es un

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

diegogabriel807@gmail.com

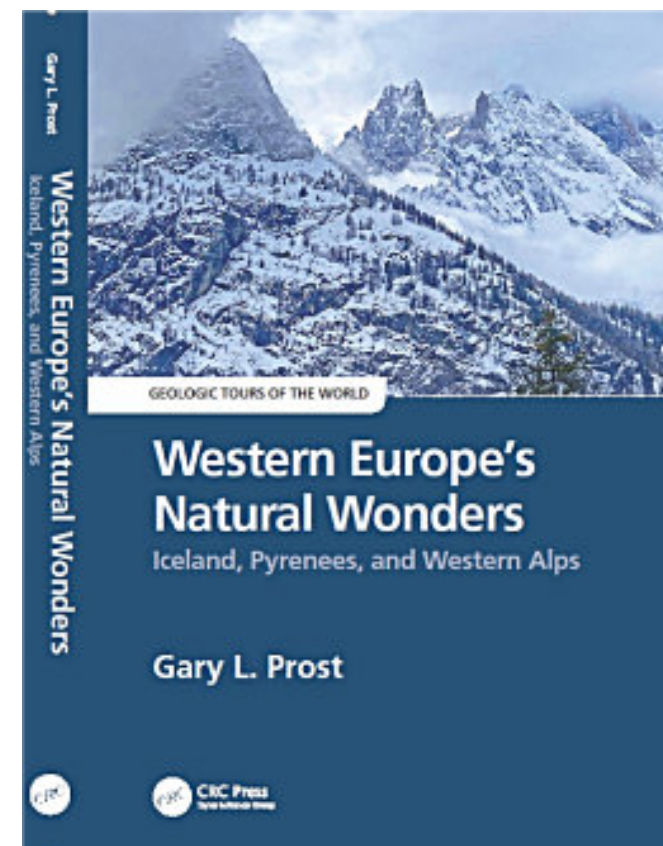
LIBRO RECOMENDADO

<https://www.researchgate.net/publication/398427479>



El libro recomendado

<https://www.amazon.com/Western-Europes-Natural-Wonders-Pyrenees/dp/1032564520>



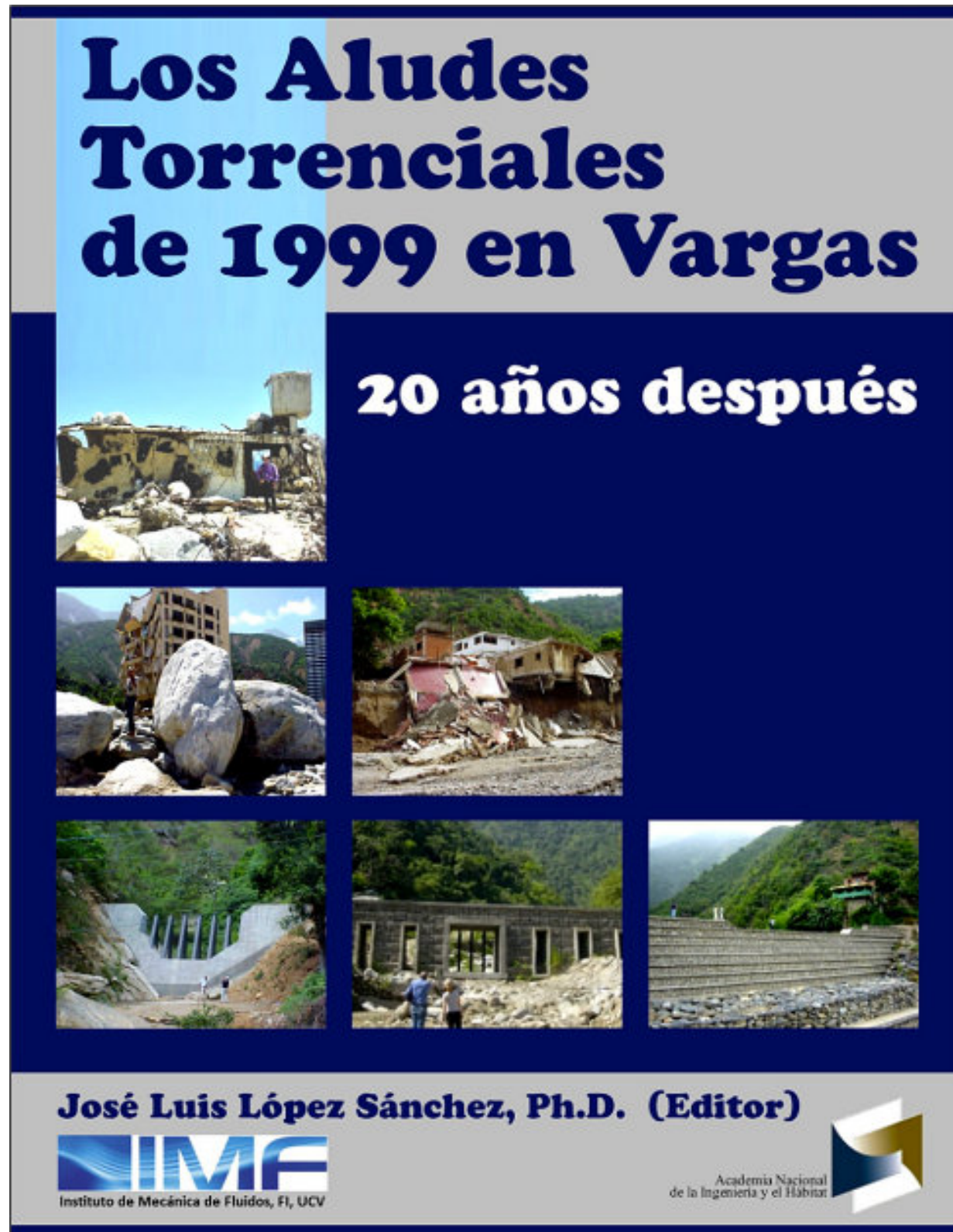
Are you planning a trip to Europe and want to see great geology? Check out *Western Europe's Natural Wonders: Iceland, Pyrenees, and Western Alps – Geologic Tours of the World*. Publication date December 31, 2025. Ask your local bookseller, or preorder hardcover, paperback, or Kindle from Amazon.com (<https://www.amazon.com/Western-Europes-Natural-Wonders-Pyrenees/dp/1032564520>) or direct from the publisher Routledge (<https://www.routledge.com/Western-Europes-Natural-Wonders-Iceland-Pyrenees-and-Western-Alps/Prost/p/book/9781032564517>). Discounts may be in effect.

Western Europe's Natural Wonders is part of a series of books that provides a geologic guide to some of the most iconic, interesting, and geologically significant features of the Earth's surface. This volume of self-guided tours takes readers on three excursions in Western Europe including hot springs, waterfalls, and eruptions in Iceland, salt tectonics and fold-thrust belts in the Pyrenees, and classic locations of stunning beauty and the development of geologic concepts of thrusting and ice ages in the French and Italian Alps.

From the Mid-Atlantic Rift to the mighty Alps, *Western Europe* tells one of Earth's greatest stories—a saga of continents colliding, oceans vanishing, and mountains rising. This book takes readers on three unforgettable geologic journeys: across Iceland's land of fire and ice, where the mid-ocean ridge breaks the surface in a world of volcanoes, glaciers, and geysers; through the Pyrenees, where Africa meets Europe in a slow-motion tectonic dance 50 million years in the making; and into the Alps, born from the closing of the ancient Tethys Ocean and still shaping the continent today. From seabed rocks now perched on summits to vineyards thriving in mountain-born soils, this is geology come alive—where science, scenery, and history all converge.

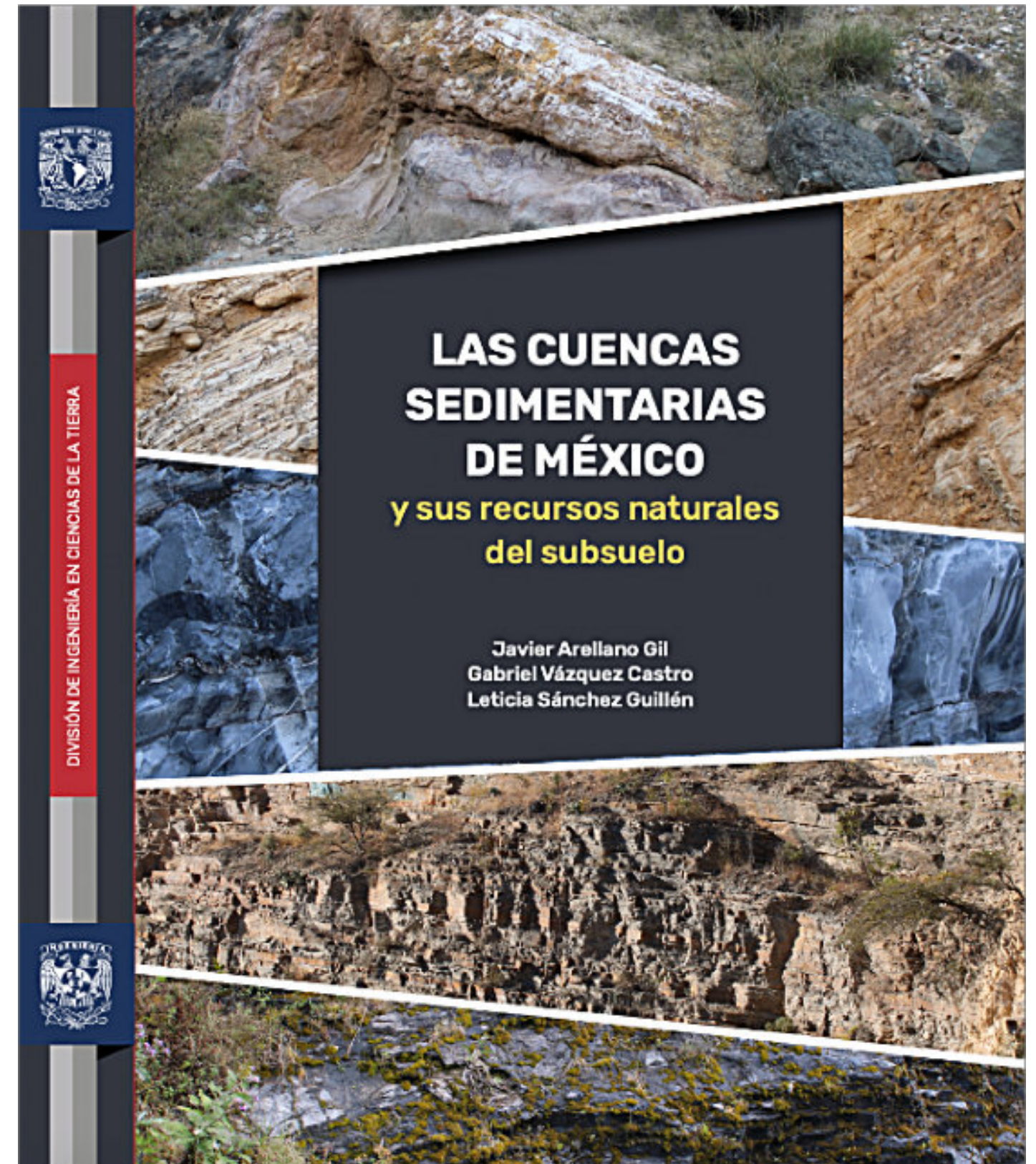
El libro recomendado

http://acading.org.ve/info/publicaciones/libros/pubdocs/Libro_VARGAS_20_anos_despues.pdf



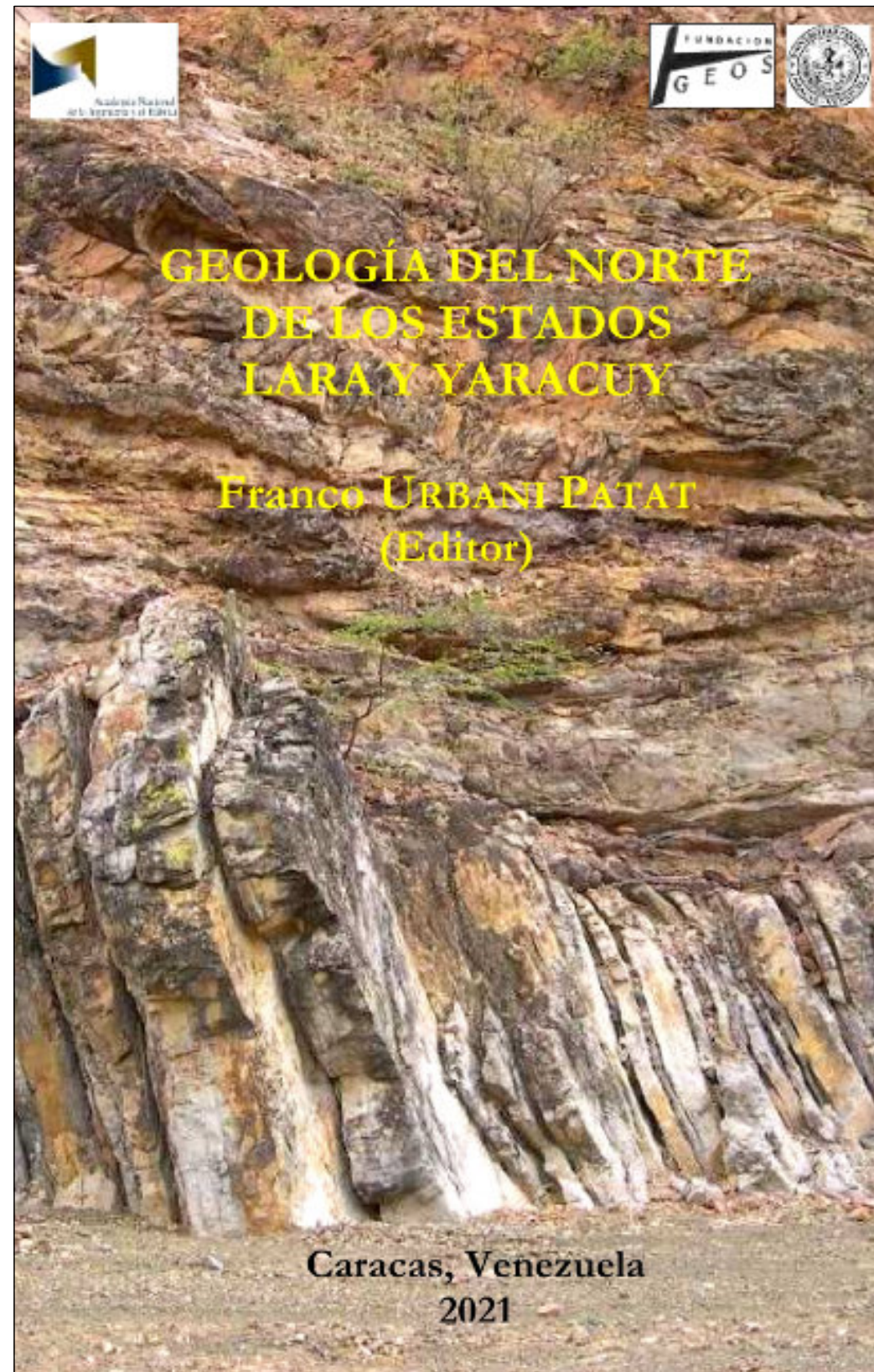
El libro recomendado

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/20254>



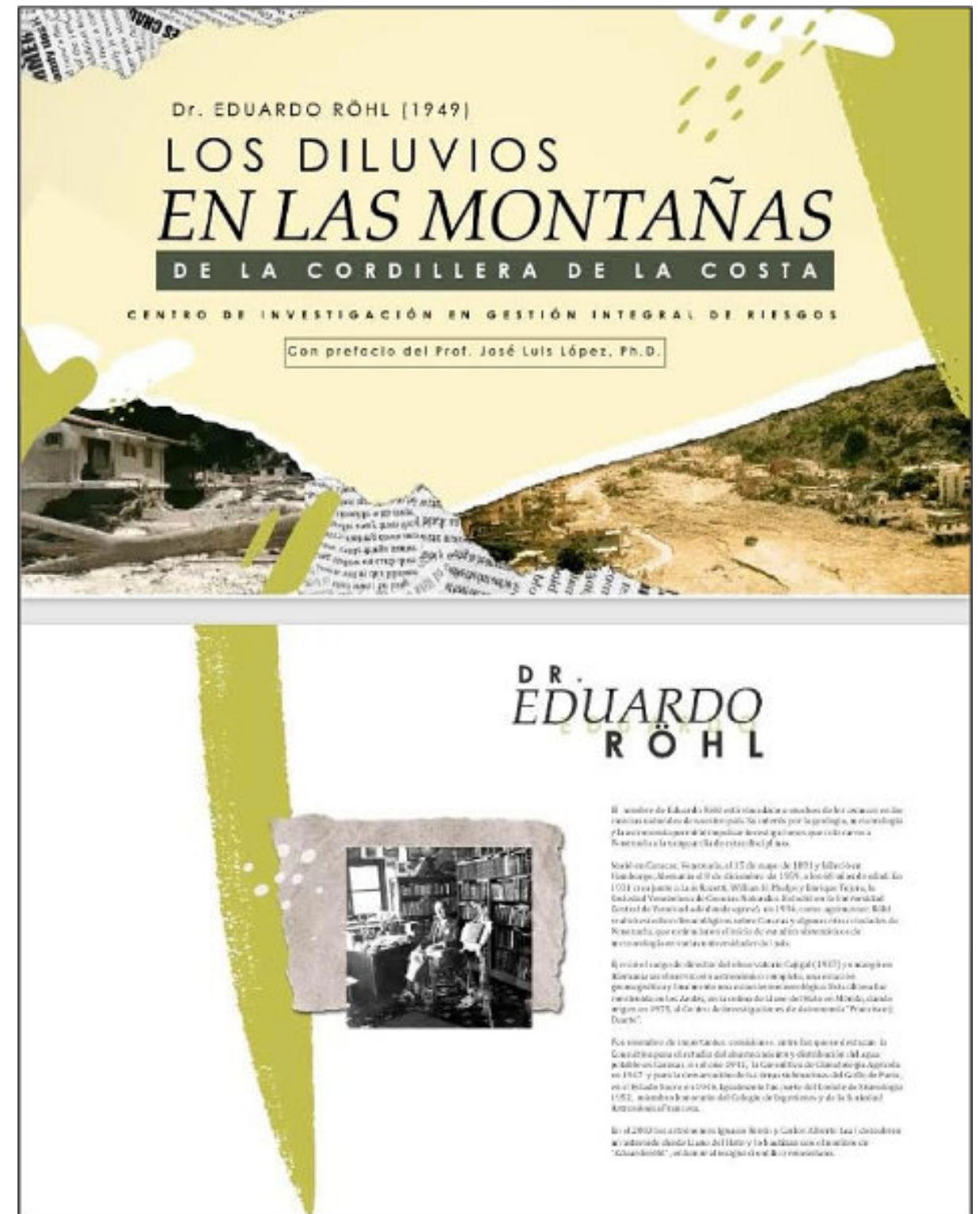
El libro recomendado

<http://www.acading.org.ve/info/publicaciones/libros/pubdocs/Urbani-Ed.-Geologia-norte-Lara-Yaracuy-Vol-1--2021.pdf>



El libro recomendado

https://www.academia.edu/42242786/LOS_DILUVIOS_EN_LAS_MONTA%C3%91AS_DE_LA_CORDILLERA_DE_LA_COSTA_EDUARDO_R%C3%96HL_Corregido_VERSION_DIGITAL



Sostenibilidad en la transición energética.

Las tierras raras, ni tan raras, ni tan limpias.

Natalia Silva Cruz

Colaboradora de la Revista

Existen temáticas que me parecen más complejas de abordar que otras porque en ocasiones pareciera que su aparición se desborda en las noticias hasta inundarnos con su presencia, o ausencia, que sería algo más apropiado para nuestro tópico de hoy: las tierras raras. Hoy quiero que cubramos también lo que no se nos cuenta, como las prácticas que podríamos estar implementando para que nuestro futuro energético sea más sostenible.

Comencemos por lo básico, las tierras raras no son raras. Fueron descubiertas en los siglos XVIII y XIX en composiciones minerales que para ese momento eran desconocidas, eran difíciles de aislar y purificar, por lo que constituían una novedad para la época. Hoy sabemos que el Cerio es el elemento número 25 en abundancia en la corteza terrestre, es inclusive más común que el Cobre. La complejidad yace en que su dispersión es demasiado alta y a que las acumulaciones están comúnmente asociadas a elementos problemáticos como el Torio. En su mayoría, la minería se realiza a cielo abierto para obtener minerales mena de tierras raras como la monacita y la bastanacita, que aparecen comúnmente en granitos y gneises. El refinado requiere múltiples procesos intensivos que son técnicamente muy demandantes, costosos, y que generan residuos que pueden ser radiactivos (como cuando aparece acompañado por Torio), además de que conlleva un consumo de agua bastante alto. China es responsable de la minería del 60-70% de tierras raras a nivel global, del 90% del refinado, y de más del 90% de la manufactura de imanes permanentes¹; esta concentración plantea condiciones geopolíticas que en los últimos años han debilitado su fácil acceso en el resto del planeta.

La cualidad de las tierras raras que las hace tan apetecidas en la transición energética es su capacidad para actuar como imanes permanentes que permiten el funcionamiento competente de aeroturbinas y vehículos eléctricos, aumentando la densidad energética y eficiencia de los equipos. El Neodimio, Praseodimio, Disprosio y Terbio, son los elementos de tierras raras más utilizados en

la industria energética. Si bien existen alternativas, su implementación sacrificaría eficiencia y aumentaría la demanda de otros materiales que tendrían sus propias complejidades.

Analicemos entonces qué podríamos hacer mejor para asegurar la sostenibilidad de la transición energética:

1. Escalar el reciclaje. La obtención de tierras raras es técnicamente posible mediante su reciclaje, sin embargo, no es un procedimiento común. Es posible que los imanes pierdan magnetismo si se someten a altas temperaturas (el imán de neodimio NdFeB, que es el imán más utilizado de tierras raras, tiene una temperatura Curie de unos 320 °C y temperaturas máximas de operación de 80 °C a 230 °C²), por lo cual, no es siempre posible su reutilización directa. Sin embargo, que hayan alcanzado temperaturas altas no es una sentencia de muerte, en la práctica, dependiendo del grado de afectación, los imanes pueden ser magnetizados nuevamente para su reutilización. Por otro lado, el reciclaje a partir de imanes que no han alcanzado altas temperaturas es bastante más sencillo, y también se pueden obtener tierras raras a partir de lámparas fluorescentes y componentes electrónicos. El reciclaje es uno de los puntos de mejora más fuertes que tenemos hoy, es una de las rutas más sencillas donde convergen la sostenibilidad, seguridad de suministro y eficiencia energética, convergen.

2. Diversificación y procesado responsable. La minería y refinado debe ser expandido, la dominación de estas industrias en un único país compromete altamente su distribución a nivel global, el riesgo geopolítico es demasiado alto. La diversificación debe ser incentivada para mitigar problemas de acceso.

3. Los estándares de obtención deben ser elevados para garantizar la sostenibilidad de su procesamiento. Actualmente contamos con tecnologías de extracción más limpias que no se están implementando en masa, como sistemas de disolución y ligandos selectivos de iones que reducen la utilización de ácidos.

4. Implementación de economía circular. La manufactura debe realizarse bajo diseños que permitan un desensamblado enfocado en la reutilización de materiales críticos, como los imanes permanentes. Es indispensable que se implementen sistemas en los que se utilice el

volumen mínimo de tierras raras posible y se usen materiales alternativos, dentro de lo posible, algo que solo se alcanza cuando se estimula la inversión en investigación y nuevas tecnologías.

5. Transparencia en la cadena de suministro. El gobierno y la industria deben aumentar la trazabilidad durante todo el proceso, desde la obtención, el refinado y la compraventa de tierras raras para reducir la vulnerabilidad de la exportación e importación en todo el planeta.

Las tierras raras son materiales de alta criticidad para la transformación energética, y tienen múltiples cuellos de botella en aspectos técnicos y políticos que ponen en riesgo nuestra carrera hacia la sostenibilidad energética, necesitamos con urgencia proyectos que garanticen que todos tengamos la posibilidad de beneficiarnos mediante el uso de las tierras raras en la descarbonización de nuestra economía. La transición energética no es automáticamente limpia, el camino es largo y a veces tortuoso, pero nuestros objetivos son claros y tenemos a todas las ciencias a nuestra disposición para alcanzarlos.

¹IEA (2025), With new export controls on critical minerals, supply concentration risks become reality, IEA, Paris <https://www.iea.org/commentaries/with-new-export-controls-on-critical-minerals-supply-concentration-risks-become-reality>, Licence: CC BY 4.0

²e-Magnets. Neodymium Temperature Ratings.

<https://e-magnetsuk.com/introduction-to-neodymium-magnets/temperature-ratings>



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

Artificial intelligence and plate tectonics

Compiled by Claudio Bartolini
Editor of Revista Maya

Artificial intelligence (AI) and machine learning are revolutionizing plate tectonics by building complex Earth models, simulating plate movement faster, analyzing ancient zircon crystals to date the start of tectonics to over 4 billion years ago, and improving earthquake prediction by identifying patterns in seismic data for large, sudden slips. AI helps decode Earth's history, understand current geological processes like subduction, and potentially forecast major seismic events by processing vast datasets beyond human capability, linking deep Earth dynamics to surface phenomena like mineral deposits.

Key Applications of AI in Plate Tectonics:

Modeling Earth's Dynamics: AI builds intricate models to simulate plate movement and boundary evolution, helping understand climate, resources, and Earth's history.

Accelerating Simulations: AI algorithms speed up simulations of fault slips (sudden shifts) by factors of 75x or more, using supercomputers to tackle complex physics.

Deciphering Ancient Earth: Machine learning analyzes ancient zircon crystals to find evidence that plate tectonics started much earlier (over 4 billion years ago) than previously thought, influencing early land formation.

Predicting Earthquakes: AI models analyze seismic signals to predict ground motion and the timing of destructive stick-slip earthquakes (like caldera collapses), improving hazard assessment.

Identifying Tectonic Settings: Deep learning (like Convolutional Neural Networks) classifies tectonic settings more accurately by recognizing patterns in geophysical data, notes ScienceDirect.com.

Uncovering Hidden Controls: AI identifies novel features (e.g., related to deep subduction) that control large earthquakes, validating existing theories and finding new ones.

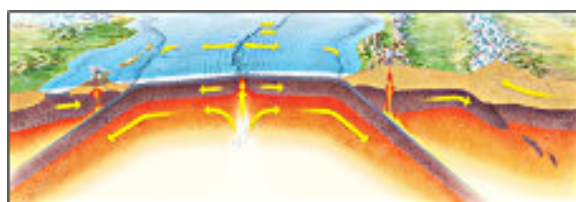
How It Works:

Data Analysis: AI processes massive datasets from GPS, seismic sensors, and geochemical analyses of ancient rocks (like zircons).

Pattern Recognition: Machine learning algorithms find subtle patterns in data (e.g., seismic patterns before a quake, geochemical signatures in minerals) that humans or traditional methods might miss.

Predictive Modeling: AI creates sophisticated models to predict future geological events and understand past Earth processes.

In essence, AI provides powerful tools to model the complex, long-term evolution of Earth's tectonic system, offering deeper insights into its past, present, and future.



Confidence at every stage – How AI is transforming the geological workflow

Victor Cha MAusIMM, Product Strategy Manager – Exploration, Micromine.

As the mining industry continues to evolve, so do the expectations placed on geologists.

While the geology itself hasn't changed, the way decisions are made has. Geological modelling is now a more data-driven and less empirical process, shaped by larger datasets, tighter exploration budgets, and growing pressure to do more with less. Geologists are expected to deliver confident decisions faster and with fewer resources. In this environment, artificial intelligence (AI) - particularly machine learning and neural networks - has emerged as a powerful ally in navigating complexity and supporting better decision-making at every stage.

<https://www.ausimm.com/bulletin/bulletin-articles/confidence-at-every-stage--how-ai-is-transforming-the-geological-workflow/>

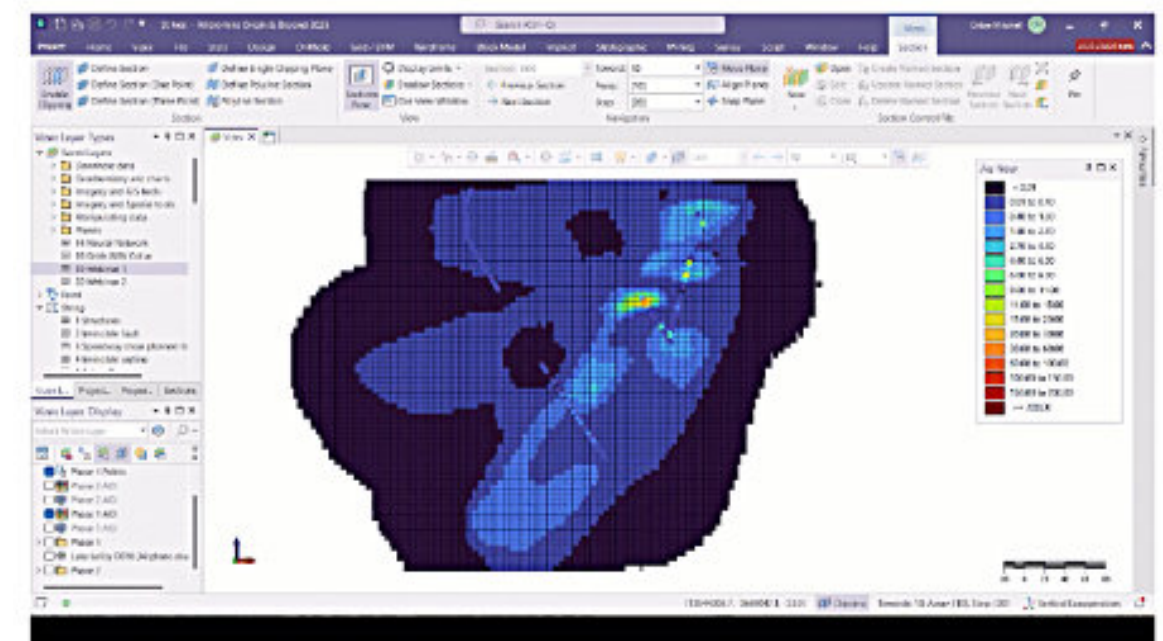


Figure 1: High-grade trend dipping southwest, identified using Micromine Origin Grade Copilot.

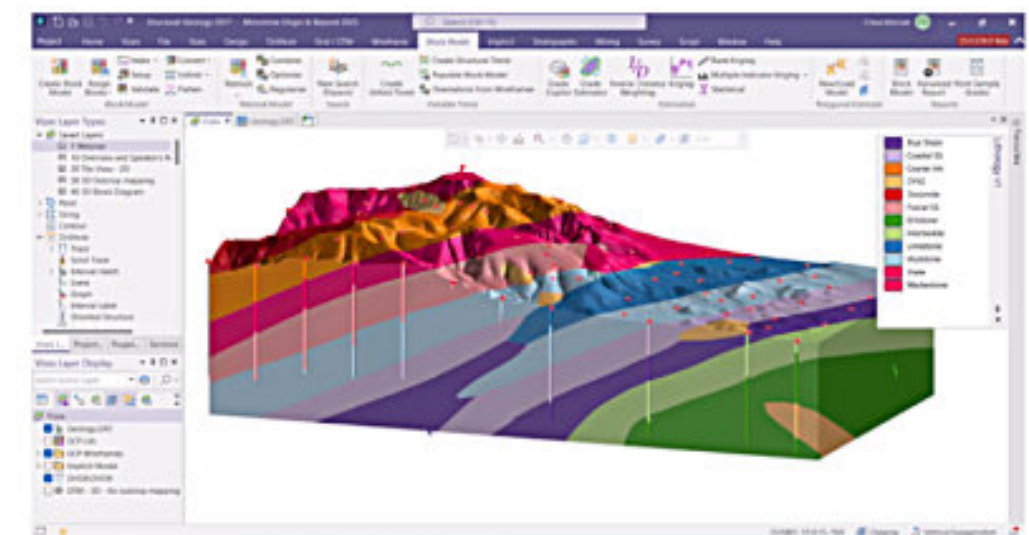


Figure 2: Lithology interpretation generated in minutes with Micromine Origin Grade Copilot.

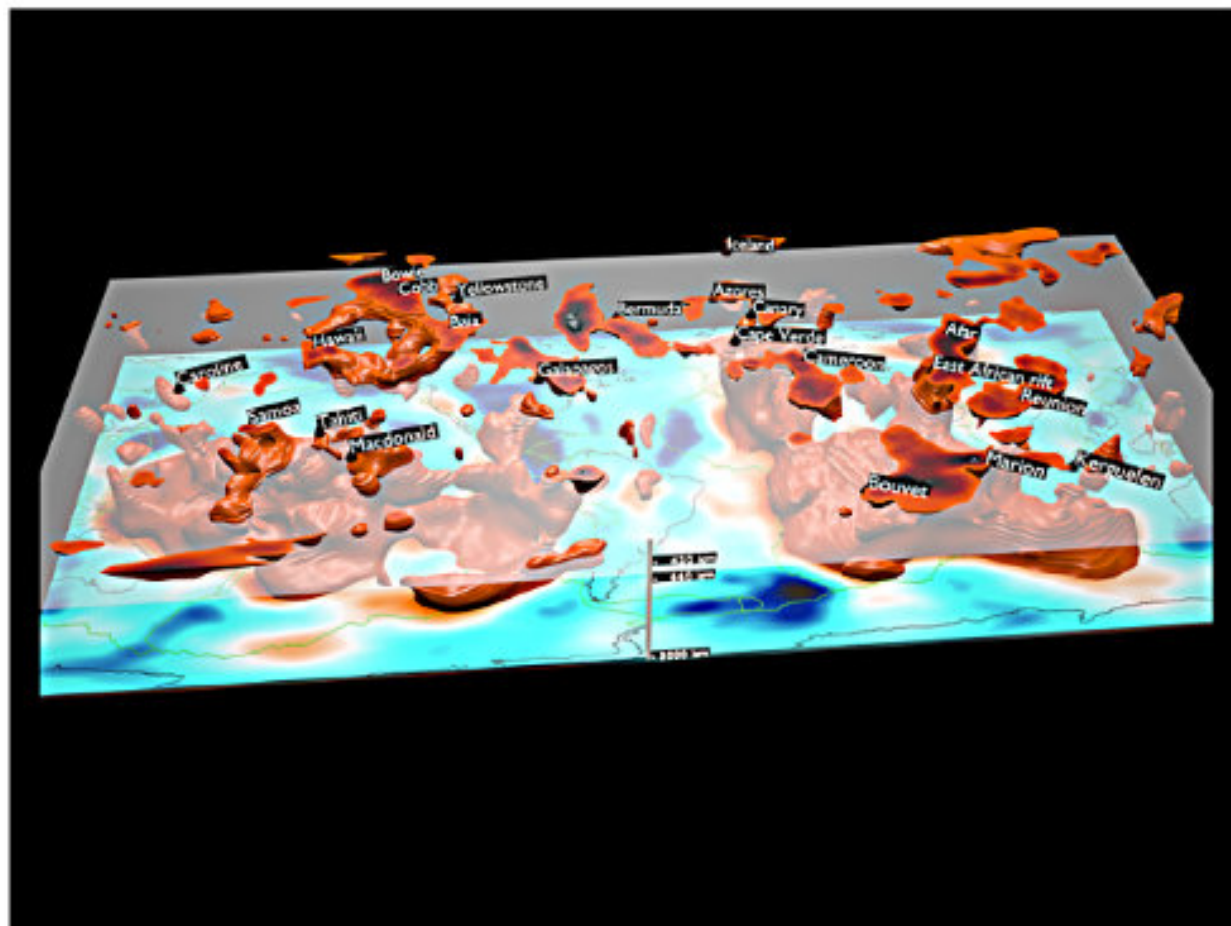
A Tectonic Shift in Analytics and Computing Is Coming

Artificial intelligence combined with high-performance computing could trigger a fundamental change in how geoscientists extract knowledge from large volumes of data.

More than 50 years ago, a fundamental scientific revolution occurred, sparked by the concurrent emergence of a huge amount of new data on seafloor bathymetry and profound intellectual insights from researchers rethinking conventional wisdom. Data and insight combined to produce the paradigm of plate tectonics. Similarly, in the coming decade, a new revolution in data analytics may rapidly overhaul how we derive knowledge from data in the geosciences. Two interrelated elements will be central in this process: artificial intelligence (AI, including machine learning methods as a subset) and high-performance computing (HPC).

Already today, geoscientists must understand modern tools of data analytics and the hardware on which they work. Now AI and HPC, along with cloud computing and interactive programming languages, are becoming essential tools for geoscientists. Here we discuss the current state of AI and HPC in Earth science and anticipate future trends that will shape applications of these developing technologies in the field. We also propose that it is time to rethink graduate and professional education to account for and capitalize on these quickly emerging tools.

<https://eos.org/science-updates/a-tectonic-shift-in-analytics-and-computing-is-coming#:~:text=More%20than%2050%20years%20ago,on%20these%20quickly%20emerging%20tools.>



A Cartesian representation of a global adjoint tomography model, which uses high-performance computing capabilities to simulate seismic wave propagation, is shown here. Blue and red colorations represent regions of high and low seismic velocities, respectively. Credit: David Pugmire, Oak Ridge National Laboratory

Work in Progress

Great strides in AI capabilities, including speech and facial recognition, have been made over the past decade, but the origins of these capabilities date back much further. In 1971, the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency substantially funded a project called Speech Understanding Research, and it was generally believed at the time that artificial speech recognition was just around the corner. We know now that this was not the case, as today's speech and writing recognition capabilities emerged only as a result of both vastly increased computing power and conceptual breakthroughs such as the use of multilayered neural networks, which mimic the biological structure of the brain.

Recently, AI has gained the ability to create images of artificial faces that humans cannot distinguish from real ones by using generative adversarial networks (GANs). These networks combine two neural networks, one that produces a model and a second one that tries to discriminate the generated model from the real one. Scientists have now started to use GANs to generate artificial geoscientific data sets.

These and other advances are striking, yet AI and many other artificial computing tools are still in their infancy. We cannot predict what AI will be able to do 20–30 years from now, but a survey of existing AI applications recently showed that computing power is the key when targeting practical applications today. The fact that AI is still in its early stages has important implications for HPC in the geosciences. Currently, geoscientific HPC studies have been dominated by large-scale time-dependent numerical simulations that use physical observations to generate models [Morra et al, 2021a]. In the future, however, we may work in the other direction—Earth, ocean, and atmospheric simulations may feed large AI systems that in turn produce artificial data sets that allow geoscientific investigations, such as Destination Earth, for which collected data are insufficient.

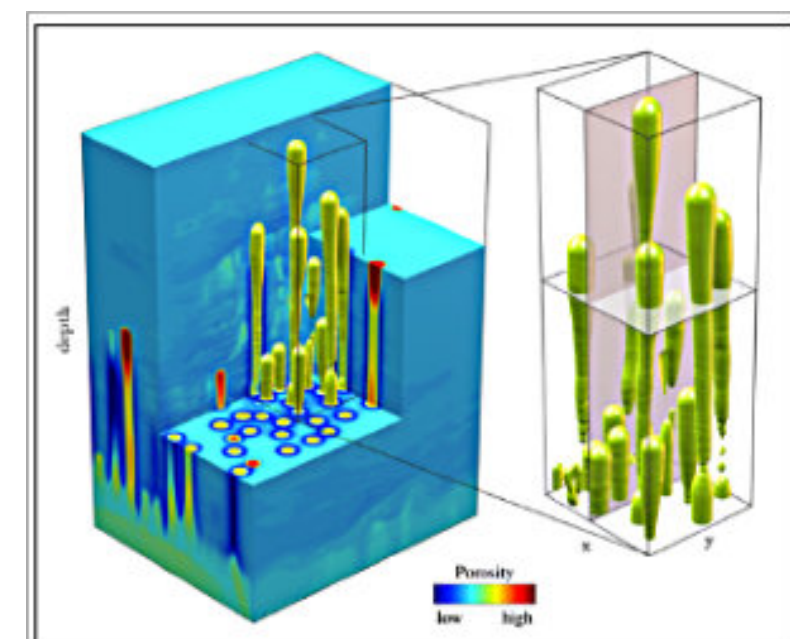


Fig. 2. A 3D modeling run with 16 billion degrees of freedom simulates flow focusing in porous media and identifies a pulsed behavior phenomenon called porosity waves. Credit: [Röss et al. \[2018\], CC BY 4.0](#)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987123001937#f0040>

Geoscience Frontiers 15 (2024) 101726

Contents lists available at ScienceDirect

Geoscience Frontiers

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gsf

Research Paper

Machine learning and tectonic setting determination: Bridging the gap between Earth scientists and data scientists

Pratchaya Takaew^{a,b}, Jianhong Cecilia Xia^a, Luc S. Doucet^{b,c,*}

^a Department of Spatial Sciences, School of Earth and Planetary Sciences, Curtin University, 6845 Perth, WA, Australia
^b Earth Dynamics Research Group, School of Earth and Planetary Sciences, Curtin University, 6845 Perth, WA, Australia
^c State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China

ARTICLE INFO

Article history:
 Received 14 February 2023
 Revised 13 August 2023
 Accepted 6 October 2023
 Available online 25 October 2023
 Handling Editor: R.D. Nasse

Keywords:
 Machine learning
 Artificial intelligence
 Geochemistry
 Igneous petrology
 Basalts
 Tectonic settings

ABSTRACT

Technological progress and the rapid increase in geochemical data often create bottlenecks in many studies, because current methods are designed using limited number of data and cannot handle large datasets. In geoscience, tectonic discrimination illustrates this issue, using geochemical analyses to define tectonic settings when most of the geological record is missing, which is the case for most of the older portion of the Earth's crust. Basalts are the primary target for tectonic discrimination because they are volcanic rocks found within all tectonic settings, and their chemical compositions can be an effective way to understand tectonics-related mantle processes. However, the classical geochemical discriminant methods have limitations as they are based on a limited number of 2 or 3-dimensional diagrams and need successive and subjective steps that often offers non-unique solutions. Also, weathering, erosion, and orogenic processes can modify the chemical composition of basalts and eliminate or obscure other complementary tectonic records. To address those limitations, supervised machine learning techniques (a part of artificial intelligence) are being utilized more often as a tool to analyze multidimensional datasets and statistically process data to tackle big data challenges. This contribution starts by reviewing the current state of tectonic discrimination methods using supervised machine learning. Deep learning, especially Convolutional Neural Network (CNN) is the most accurate approach. However, it requires a large dataset and considerable processing time, and the gain of accuracy can be at the expense of interpretability. Therefore, this study designed guidelines for data pre-processing, tectonic setting classification and objectively evaluating the model performance. We also identify research gaps and propose potential directions for the application of supervised machine learning to tectonic discrimination research, aimed at closing the divide between earth scientists and data scientists.

© 2023 China University of Geosciences (Beijing) and Peking University. Published by Elsevier B.V. on behalf of China University of Geosciences (Beijing). This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

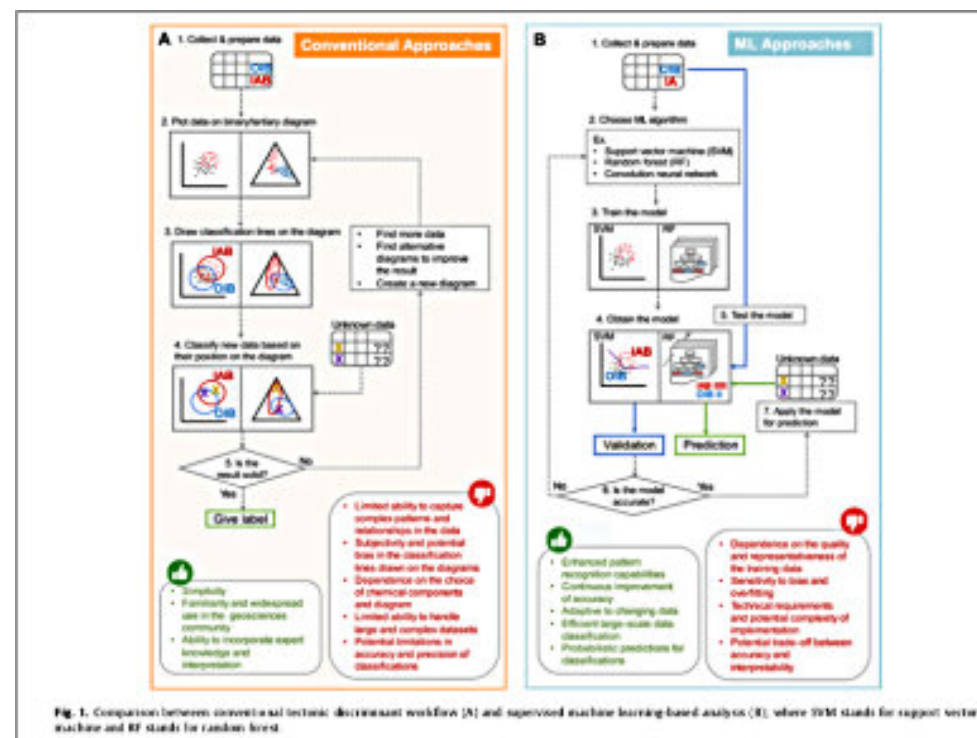
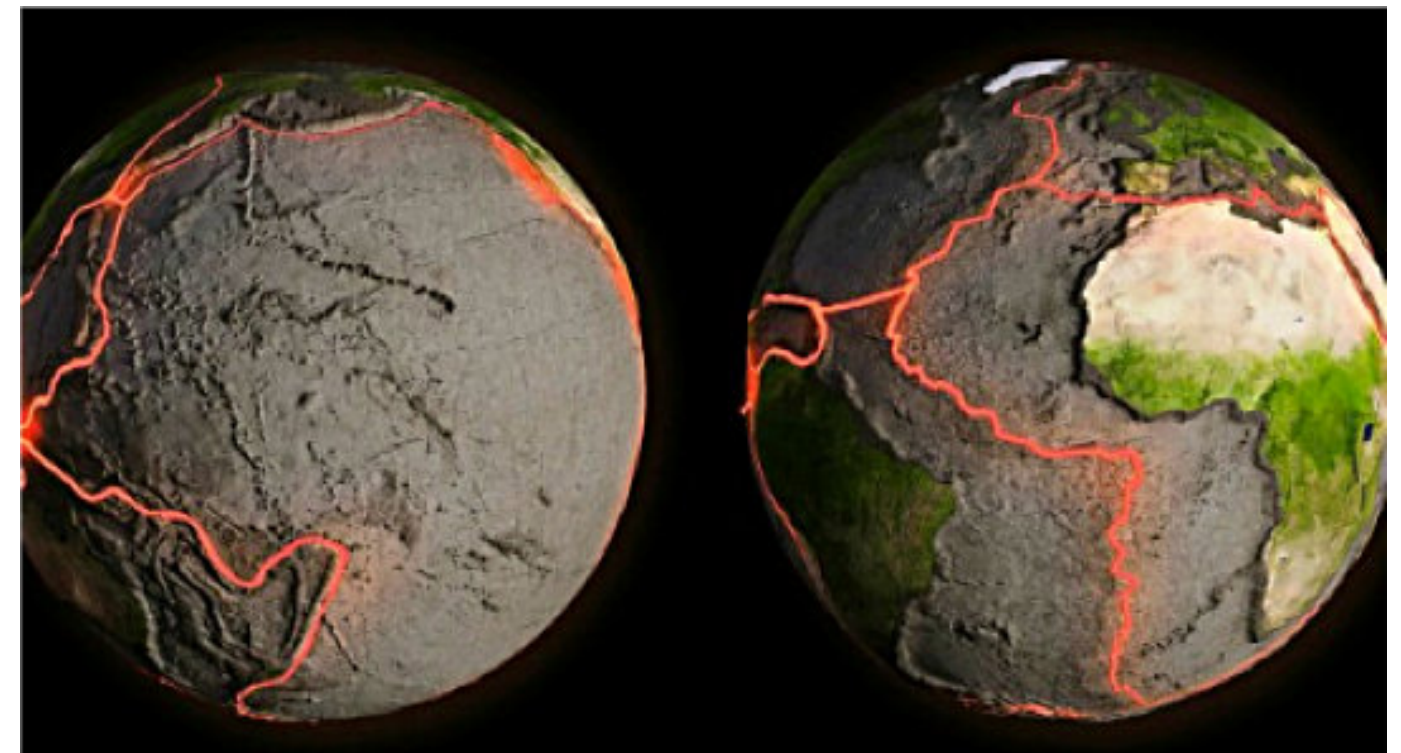


Plate tectonics modelling

Plate tectonics is a highly complex phenomenon that underpins almost every geological process and our understanding of Earth. Increasingly sophisticated computers and statistical approaches, including recent developments in artificial intelligence, allow scientists to build evermore intricate models of the movement of tectonic plates and how their boundaries evolve at different scales of time and space. Which in turn provide a framework to gather further insights on both the history and the future of the planet, the dynamics of various geological processes, location of natural resources, climate and environmental change, and a multitude of other interacting components of the Earth system.

This Collection invites original research on plate tectonics modelling, including multidisciplinary and integrative studies. We will consider contributions to underlying theoretical and statistical aspects, development of new methodological approaches, innovative applications of established techniques, as well as studies showcasing and promoting best research practices.

<https://www.nature.com/collections/idaagfhfea>



Tectonics*

Research Article | [Free Access](#)

An Anticipation Experiment for Plate Tectonics

Tom Gillooly, Nicolas Coltice, Christian Wolf

First published: 30 October 2019 | <https://doi.org/10.1029/2018TC005427>

[VIEW METRICS](#)

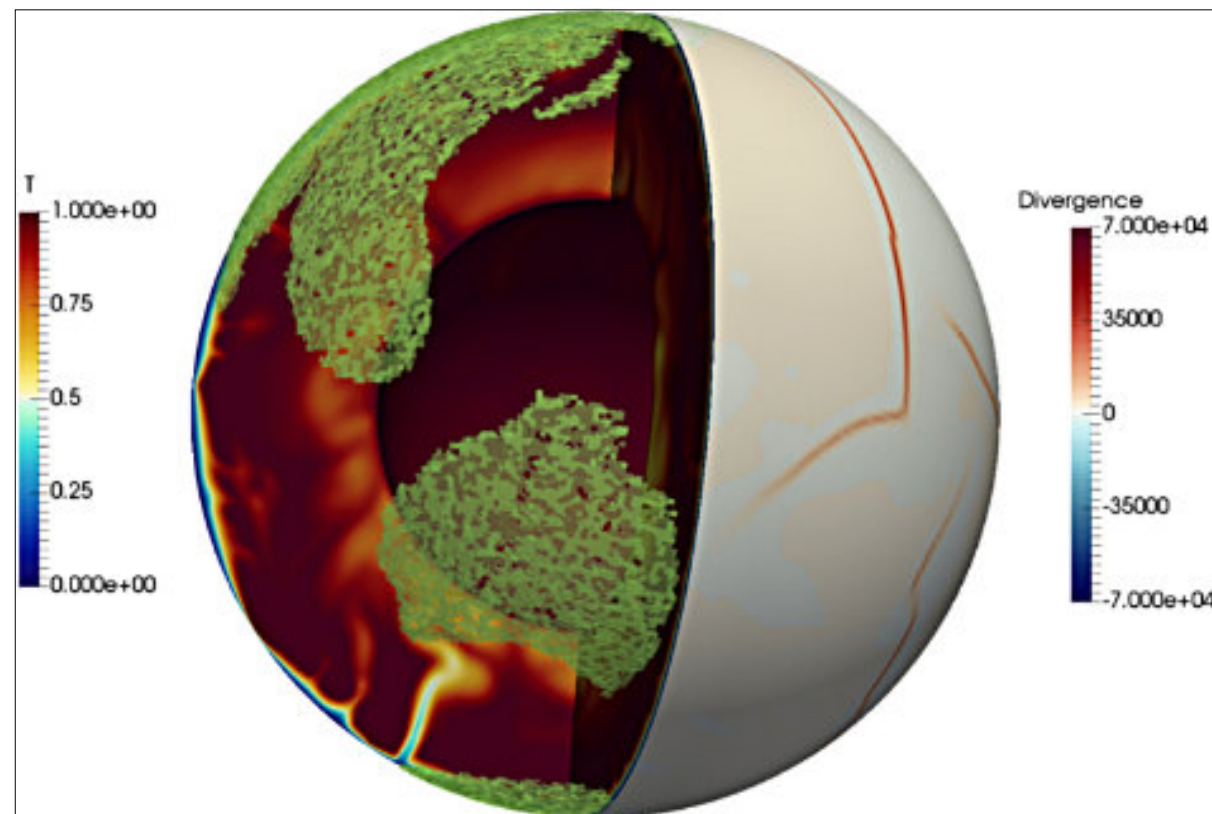
SECTIONS

[PDF](#) [TOOLS](#) [SHARE](#)

Abstract

Although plate tectonics has pushed the frontiers of geosciences in the past 50 years, it has legitimate limitations, and among them we focus on both the absence of dynamics in the theory and the difficulty of reconstructing tectonics when data are sparse. In this manuscript, we propose an anticipation experiment, proposing a singular outlook on plate tectonics in the digital era. We hypothesize that mantle convection models producing self-consistently plate-like behavior will capture the essence of the self-organization of plate boundaries. Such models exist today in a preliminary fashion, and we use them here to build a database of mid-ocean ridge and trench configurations. To extract knowledge from it, we develop a machine learning framework based on Generative Adversarial Networks (GANs) that learns the regularities of the self-organization in order to fill gaps of observations when working on reconstructing a plate configuration. The user provides the distribution of known ridges and trenches, the location of the region where observations lack, and our digital architecture proposes a horizontal divergence map from which missing plate boundaries are extracted. Our framework is able to prolongate and interpolate plate boundaries within an unresolved region but fails to retrieve a plate boundary that would be completely contained inside of it. The attempt we make is certainly too early because geodynamic models need improvement and a larger amount of geodynamic model outputs, as independent as possible, is required. However, this work suggests applying such an approach to expand the capabilities of plate tectonics is within reach.

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018TC005427>



Collaboration between artificial intelligence and Earth science communities for mutual benefit

10 October, 2024 by Dietmar Müller

A recent analysis concluded that Australia is at risk of losing its world-leading advantage in critical and rare minerals if it doesn't sufficiently leverage artificial intelligence (AI). A large international coalition of Earth scientists and AI researchers is now advocating for stronger bidirectional development and impact between AI and Earth science in a new comment published in Nature Geoscience.

Chen, M., Qian, Z., Boers, N. et al. Collaboration between artificial intelligence and Earth science communities for mutual benefit. Nat. Geosci. 17, 949–952 (2024).

View open pdf here: <https://rdcu.be/dWuFp>

https://www.nature.com/articles/s41561-024-01550-x.epdf?sharing_token=3NIWBK0MqFHxxJlynsNN9RqN0jAjWel9jnR3ZoTv0MRARA5992FflrOdNwbTvcylhZzG3RpE_xelzSUGRDfwiIWXK0KI9c_jeOO3GaQUpCbo8fWLHdj-FPSuVw7L8kyfoB7xP6uvYHj4snW4D_aQq5iT-GQTTzrE62bPNrjY%3D



Volume 5, Issue 5, 9 September 2024, 100691

Review

Artificial intelligence for geoscience: Progress, challenges, and perspectives

Tianjie Zhao^{1,30}, Sheng Wang^{2,30}, Chaojun Ouyang^{3,27,30}, Min Chen^{4,30}, Chenying Liu^{5,30}, Jin Zhang^{6,30}, Long Yu^{2,30}, Fei Wang^{7,27,30}, Yang Xie^{8,30}, Jun Li^{2,30}, Fang Wang^{9,27,28}, Sabine Grunwald¹⁰, Bryan M. Wong¹¹, Fan Zhang¹², Zhen Qian⁴, Yongjun Xu^{7,27}, Chengqing Yu^{7,27}, Wei Han², Tao Sun⁷, Zezhi Shao^{7,27}, ...Lizhe Wang² 

Public summary

- What does AI bring to geoscience? AI has been accelerating and deepening our understanding of Earth Systems in an unprecedented way, including the atmosphere, lithosphere, hydrosphere, cryosphere, biosphere, anthroposphere and the interactions between spheres.
- What are the noteworthy challenges of AI in geoscience? As we embrace the huge potential of AI in geoscience, several challenges arise including reliability and interpretability, ethical issues, data security, and high demand and cost.
- What is the future of AI in geoscience? The synergy between traditional principles and modern AI-driven techniques holds immense promise and will shape the trajectory of geoscience in upcoming years.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666675824001292#undfig1>

GRAPHICAL ABSTRACT



Here are some scientific papers and research highlights published in 2025 that leverage artificial intelligence and machine learning for the study of plate tectonics and related geophysical processes:

"Inferring Tectonic Plate Rotations From InSAR Time Series" by Liu et al. (**published in Geophysical Research Letters, June 2025**). This research utilizes machine learning techniques to process InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) time-series data to infer the angular velocity vectors of tectonic plates, with a focus on the Arabian plate. The associated data and modeling codes are available for use.

"Machine Learning Discovers South American Subduction Zone Hotter than previously Predicted" by Ji et al. (**published in the Journal of Earth Science, June 2025**). This paper highlights how machine learning models can refine predictions about the thermal conditions of major tectonic features, specifically finding the South American subduction zone is hotter than previously understood.

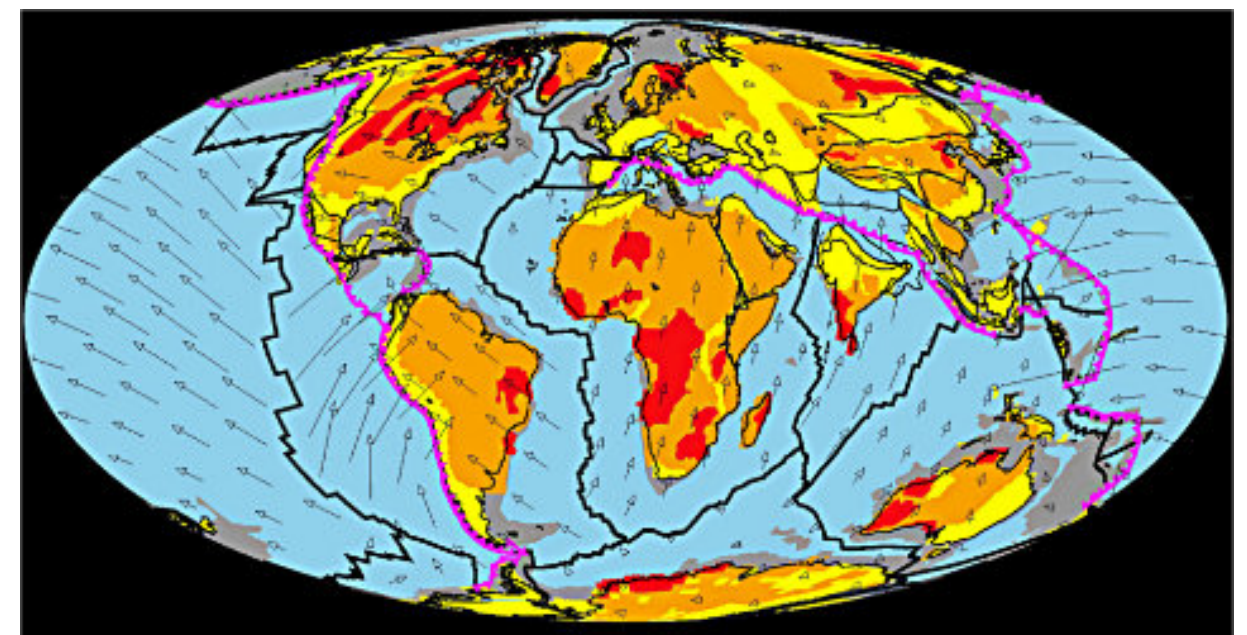
"A machine-learning-based approach using clinopyroxene data to discriminate tectonic settings and magma affinities" by Li et al. (**published in American Mineralogist, July 2025**). This study demonstrates the high accuracy (over 90%) of Support Vector Machines (SVM) and other ML methods in identifying different tectonic settings and magma types based on geochemical data, which was then applied to investigate the breakup of the Rodinia supercontinent.

"Machine Learning and Big Data Mining Reveal Earth's Deep Time Crustal Thickness and Tectonic Evolution: A New Chemical Mohometry Approach" by Zhou et al. (**published in the Journal of Geophysical Research: Solid Earth, May 2025**). This paper presents an ML approach using big data mining of geochemical information to understand the evolution of Earth's ancient crustal thickness and tectonic activity.

"AI could help monitor and predict earthquakes" (**published as a research highlight in AGU Newsroom, July 2025**). This article discusses a Geophysical Research Letter study where scientists trained an explainable AI with a model of subduction zones. The AI identified precursory movements in tectonic plates hours to months before megathrust earthquakes, showing promise for improved monitoring and forecasting.

"A rapid tectonic plate reorganization event driven by changes at subduction locations in a mantle convection model" by Guerrero et al. (**published in Scientific Reports, September 2025**). This paper uses numerical modeling of mantle convection to explore how changes in subduction locations can trigger rapid, global-scale tectonic plate reorganization events.

"Pan-spatial Earth information system: A new methodology for digital Earth" by Chen et al. (**published in The Innovation, March 2025**). This work discusses the use of generative AI to create high-precision digital twin models of Earth's systems, which can efficiently process vast amounts of data and offer insights into historical evolution and future changes in the Earth's environment.



MINERALES Y FÓSILES EN LA BOTICA ANTIGUA: PRECURSORES DE LA FARMACOLOGÍA MODERNA

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente (porrasjs@yahoo.com)



Introducción

La historia de la farmacología y de la medicina está estrechamente vinculada al estudio y la aplicación de sustancias de origen orgánico e inorgánico. Desde las primeras civilizaciones hasta los albores de la química moderna, los minerales y los fósiles dejaron de ser simples objetos de curiosidad para convertirse en componentes esenciales de la terapéutica, la cosmología y la comprensión del cuerpo y la naturaleza.

Culturas como la egipcia y la grecorromana integraron piedras, minerales y fósiles en sus prácticas curativas, rituales y espirituales. Durante la Edad Media, los lapidarios consolidaron este conocimiento al relacionar medicina, alquimia y simbolismo, y al mismo tiempo marcaron un hito en la institucionalización de la práctica farmacéutica mediante la separación formal entre el médico y el boticario, quienes heredaron tanto el acervo lapidario como la tradición alquímica árabe. A partir de la Baja Edad Media, la preparación de medicamentos quedó bajo la responsabilidad de los boticarios, profesionales formados a través de la experiencia empírica y la práctica artesanal.

Entre los siglos XVI y XVIII, la botica se transformó en un espacio privilegiado del conocimiento científico. En ella convergieron la alquimia, la medicina y la historia natural, dando lugar a un laboratorio híbrido donde los boticarios combinaron la práctica empírica con la observación

naturalista. Estos espacios, comparables a auténticos gabinetes de historia natural, o cámaras de maravillas, incorporaron minerales, metales y fósiles tanto en la terapéutica como en la interpretación simbólica de la materia, articulando así una visión del mundo que unía lo empírico, lo espiritual y lo cosmológico. La práctica boticaria impulsó, en este sentido, la transición de la alquimia a la química moderna, convirtiendo a estos profesionales en legítimos precursores de la mineralogía científica y de la farmacología contemporánea.

En este artículo se examina el conocimiento mineral y fósil incorporado por los boticarios en Europa y América entre los siglos XV y XIX, con el propósito de analizar su papel en la consolidación de la botica como espacio experimental, así como en la formación del pensamiento científico que sustentó la farmacia y la medicina modernas. Se resalta el uso de minerales y fósiles en las boticas como precursores de la farmacología moderna, superando el enfoque exclusivo en la materia vegetal y animal.

Los minerales y fósiles en la tradición médica antigua

El interés de los boticarios por los minerales y fósiles se remonta a las raíces mismas de la medicina antigua y medieval, cuando las sustancias inorgánicas constituían un componente esencial de la materia médica, junto a los productos de origen vegetal y animal. Eran valoradas no solo por sus propiedades terapéuticas sino también por el simbolismo natural y espiritual que se les atribuía. Su

significado y aplicación, sin embargo, variaron según el contexto cultural y científico de cada época, como se narra a continuación:

Desde las civilizaciones egipcia, griega y romana, los minerales y fósiles fueron considerados sustancias curativas, protectoras y mágicas. En Egipto, minerales como la malaquita, la galena y el natrón eran empleados en ungüentos, cosméticos, desinfectantes y preparados oculares. Los papiros médicos, como el Ebers (ca. 1550 a.C.), describen el uso de estos compuestos tanto para curar enfermedades como para proteger espiritualmente al paciente (Duffin, 2005).



En Roma, Plinio el Viejo, en su Historia Natural, amplió estas descripciones, incorporando aspectos astrológicos y simbólicos (Galán, 1985; King, 2001). Galeno de Pérgamo (129-ca. 216 d.C.), médico griego del Alto Imperio Romano, sintetizó la tradición médica hipocrática y fundó la farmacopea galénica, base de la medicina occidental por más de mil años. En su tratado De simplicium medicamentorum temperamentis ac facultatibus, clasificó los remedios vegetales, minerales, a los cuales consideraba venenosos, y animales según sus cualidades (calor, frío, sequedad, humedad) y su capacidad para equilibrar los humores corporales. Su enfoque unió observación empírica y teoría humoral, influyendo en la medicina bizantina, islámica y europea hasta el siglo XVII.

Los fósiles, interpretados como “piedras vivas” o “reliquias petrificadas”, fueron usados en polvo o como amuletos protectores. Se creía que conservaban una energía vital capaz de sanar o proteger al portador (Liñán, 2005; Rapp, 2009).

En Grecia, Teofrasto en De Lapidibus (siglo IV a.C.) y Dioscórides en De Materia Medica (siglo I d.C.) sistematizaron los conocimientos sobre piedras y minerales, atribuyéndoles propiedades concretas: el hematites detenía hemorragias, la calcita calmaba dolencias gástricas y la coralina protegía contra el mal de ojo. Liñán (2005a) señala que Dioscórides mencionó en su De Materia Medica diversos materiales de origen fósil, como conchas, almejas, erizos, caracolas, marfil o asfalto, interesándose sobre todo en sus efectos curativos y aplicaciones medicinales.

Figura 1. El uso empírico de remedios y fármacos elaborados con componentes tanto orgánicos como inorgánicos en la antigüedad evolucionó hasta convertirse en una ciencia experimental en el siglo XIX. Las boticas, que surgieron en la Edad Media como talleres artesanales para preparar estos remedios, se transformaron en las farmacias modernas.

Entre la alquimia y el arte boticario medieval

Mundo Islámico Medieval

El mundo islámico amplió la tradición grecorromana al integrar la alquimia con la medicina, estableciendo las bases de una química terapéutica. Yābir ibn Ḥayyān (Geber o Yabir), en el siglo VIII, desarrolló una alquimia farmacológica centrada en minerales como azufre, mercurio, antimonio, alumbre, arsénico, cobre, hierro y sal, aplicando técnicas como destilación, calcinación y sublimación para liberar sus virtudes curativas. En el siglo IX, Al-Rāzī (Rhazes) consolidó esta tradición al crear una mineralogía médica basada en la observación y la experimentación, describiendo las propiedades terapéuticas de minerales como el azufre, antimonio, arsénico, cobre y el hierro. Sus obras, traducidas al latín, influyeron en la farmacopea medieval y anticiparon la farmacología renacentista, al concebir los minerales como auténticos agentes curativos (Levey, 1973; Galán et al., 1985; Newman, 1996).

Son muy escasas las referencias del uso de fósiles en la medicina árabe, las pocas están circunscritas a la Piedra Judaica (equinoideos) y algunos “fósiles químicos” como el ámbar y el asfalto o betún de Judea (Liñán et al., 2014).

Europa medieval

Durante la Edad Media europea (siglos XI-XV), el conocimiento sobre las propiedades curativas y simbólicas de las piedras se transmitió a través de los lapidarios, textos que combinaban saberes de medicina, astrología, teología y mineralogía simbólica. Las piedras se asociaban con planetas, signos zodiacales y virtudes morales, y se usaban en polvo, disueltas o como amuletos. Entre los más influyentes destacan el Lapidario de Alfonso X el Sabio (siglo XIII) y el De Lapidibus de Marbodo de Rennes (siglo XI), que integraron tradiciones hebreas, árabes y latinas. En ellos, las gemas se concebían como entidades dotadas de fuerzas naturales y espirituales capaces de curar enfermedades o alejar influencias negativas (Evans, 1922; Duffin, 2005).

A partir de la Baja Edad Media (siglos XI-XV), la elaboración de medicamentos pasó a manos de los boticarios, profesionales formados por transmisión empírica y práctica artesanal. La autoridad política comenzó a regular su ejercicio, destacando obras como el Compendium Aromatariorum del médico salernitano Saladino d'Ascoli (1488), traducido al castellano por Alonso Rodríguez de Tudela en 1515 (Rey, 2004; Capuano, 2017).



El ejercicio profesional requería licencia o título obtenido tras aprobar exámenes teóricos y prácticos ante médicos o protomédicos, tanto en España como en América. Dichos exámenes incluían conocimientos de latín, farmacología y manipulación de drogas, consolidando la profesionalización del arte farmacéutico (Ronderos, 2007). La regulación del oficio recaía en gremios, consejos municipales y colegios de boticarios, responsables de controlar la calidad de los productos y el ejercicio profesional. Su participación en el gobierno urbano y en las

La figura del boticario se consolidó en la Europa mediterránea medieval, a partir de las Ordenanzas Medicinales de Federico II de Hohenstaufen (1224), que establecieron por primera vez la separación entre el médico, encargado del diagnóstico, y el boticario, responsable de la preparación de los medicamentos (Parrilla, 2018). En los reinos de la Corona de Aragón surgieron denominaciones como especier, apotecari y boticari, asociadas con la manipulación de drogas minerales (alumbres, bórax, betún de Judea, mercurio), animales (almizcle, cera, miel) y vegetales (pimienta, clavo, jengibre, azafrán), destinadas a fines terapéuticos, cosméticos y culinarios. Con el tiempo, los términos boticario y botica se impusieron en la jerga castellana.

Los boticarios heredaron el acervo lapidario y la tradición alquímica árabe. Autores como Avicena y Al-Biruni sistematizaron el uso medicinal de los minerales, vinculando sus propiedades físicas con sus virtudes terapéuticas. En los lapidarios latinos y castellanos, las piedras adquirieron además una dimensión moral y cosmológica: se creía que cada mineral reflejaba la armonía universal y actuaba sobre el cuerpo en correspondencia con los astros y los humores. Desde los siglos XIII y XIV, los boticarios incorporaron técnicas destilatorias, elaborando “aguas destiladas” y otros preparados minerales a partir de calcinación y disolución alcohólica (Rey, 2004). Estas prácticas sentaron las bases de la futura química farmacéutica.

Figura 2. En la Edad Media, surgen las primeras boticas como almacenes y talleres donde los boticarios preparaban remedios a partir de plantas y minerales principalmente. Sus conocimientos, heredados de los lapidarios que fusionaron tradiciones hebreas, árabes y latinas, son prácticos, pero aún sin la base científica moderna.

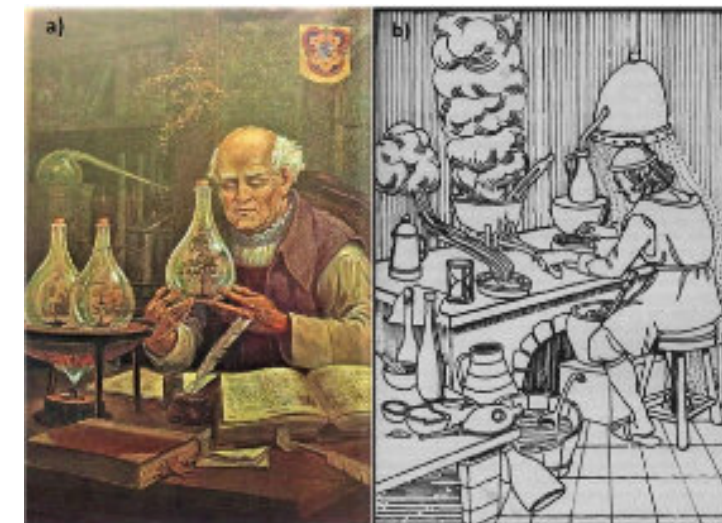
juntas sanitarias durante epidemias reforzó su prestigio social (Parrilla, 2018). En el Nuevo Reino de Granada, las boticas del siglo XVII estaban sometidas a inspección oficial (Rey, 2004).

Renacimiento: la química como nueva ciencia

Con el Renacimiento (siglos XV-XVII), la visión simbólica heredada de los lapidarios cedió progresivamente ante una interpretación más empírica y química de la materia. Paracelso (1493-1541) y sus seguidores establecieron las

bases de la iatroquímica, aplicando principios químicos a la terapéutica y dando origen a una farmacología moderna incipiente. Minerales como el mercurio, el antimonio, el azufre y diversas sales metálicas ingresaron formalmente en la farmacopea, marcando la transición de la medicina lapidaria a la medicina experimental (Debus, 1966).

Durante los siglos XVI y XVII, las boticas se consolidaron como verdaderos laboratorios donde se manipulaban minerales, metales y drogas vegetales con fines curativos. El trabajo con morteros, alambiques y hornos impulsó la observación directa de los procesos químicos, situando al boticario en un punto intermedio entre el artesano y el químico moderno. Su oficio combinaba la tradición galénica con la herencia árabe, centrada en la preparación



Los fósiles también mantuvieron un papel terapéutico: la piedra judaica (lapis judaicus) se usaba contra los cálculos renales, el ámbar como calmante y antiespasmódico, y el asfalto de Judea como antiséptico y cicatrizante (Newman, 1996; Liñán, 2005; Duffin, 2006). En la Historia Naturalis de Juan Gil de Zamora, se consideraban “fósiles químicos” el asfalto, el petróleo y el ámbar, junto con referencias al coral blanco y la piedra aloe (Liñán et al., 2009). Estos materiales se incorporaban en ungüentos, polvos y brebajes, siguiendo la práctica lapidaria medieval.

Influencia Oriental y tradición China

Paralelamente, la medicina china desarrolló un complejo sistema de uso de minerales y fósiles, documentado en el Bencao Gangmu (1596) de Li Shizhen. Sustancias como el cinabrio, malaquita, rejalgá, jade y fósiles denominados longgu (“huesos de dragón”) se empleaban para fortalecer

de remedios simples, su conservación y el uso de técnicas como la destilación y la calcinación.

La iatroquímica paracelsiana impulsó el estudio de estos materiales como agentes terapéuticos activos, mediante procesos de destilación, calcinación y sublimación (Debus, 1966). Aunque su valor simbólico no desapareció del todo, el énfasis se desplazó hacia la observación experimental y la eficacia fisiológica, preparando el camino hacia una farmacología más racional. Sin embargo, persistió el valor simbólico de las piedras preciosas: rubíes, esmeraldas o zafiros se empleaban en polvo o elixires para fortalecer el corazón o calmar el espíritu, prolongando la tradición lapidaria y el imaginario neoplatónico que vinculaba la salud con la armonía cósmica.

Figura 3. a) Retrato de Paracelso (1493–1541) de John Augustus Knapp. Paracelso, médico y alquimista suizo-alemán, considerado precursor de la química médica moderna. Introdujo el uso racional de minerales y metales en la terapéutica y formuló la teoría de los tria prima (azufre, mercurio y sal), base de la iatroquímica del siglo XVI (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80132650>) b) Ilustración de trabajo de laboratorio medieval (<https://www.consciencia.org/paracelso>).

huesos, detener hemorragias o como sedante para tratar el insomnio, la ansiedad, las pesadillas y los estados de inquietud o agitación. Shizhen revolucionó la clasificación de las sustancias al organizarlas sistemáticamente según su origen, corrigiendo errores e imprecisiones de obras anteriores.

Estas ideas orientales ingresaron a Europa durante los siglos XVI y XVII a través de rutas comerciales y contactos jesuítos, influyendo en boticarios y coleccionistas.

La materia mineral china reforzó la concepción de los minerales como portadores de energía y poder transformador, complementando la tradición lapidaria y la alquimia europea.

Boticas y Boticarios de la Época Moderna (siglos XVIII–XX)

Durante la Época Moderna, el oficio del boticario experimentó una profunda transformación que unió tradición, ciencia y exploración natural. En toda Europa, las boticas fueron espacios donde convergían la práctica médica, la alquimia y la historia natural. Las boticas funcionaban como espacios de experimentación y coleccionismo, donde minerales, fósiles y curiosidades eran analizados y transformados con propósitos terapéuticos, simbólicos y especulativos y siguiendo recetas heredadas de los tratados antiguos y lapidarios medievales

En Italia, las boticas eran instituciones de alto prestigio, reguladas por gremios vinculados a médicos y apotecarios. Venecia y Florencia, centros del comercio y de la erudición renacentista, fueron también puntos de entrada de productos orientales: cinabrio, coral, jade, almizcle o betunes traídos desde Asia por las rutas del Levante y del Galeón de Manila.

En Francia, Inglaterra y el ámbito germánico, los boticarios también unieron la práctica farmacéutica con la experimentación química. Boticarios, alquimistas y naturalistas compartían espacios de intercambio entre ciencia y oficio. Las farmacopeas nacionales establecieron normas para el empleo terapéutico de metales y sales, en tanto que la corriente paracelsiana, sustentada en la idea de una farmacia vegetal regeneradora, concebía los minerales como expresión de las fuerzas vitales y de la organización cósmica de la materia. En todos los casos, la botica fue a la vez taller, laboratorio y espacio de contemplación, donde se destilaba, calcinaba y coleccionaba materia inorgánica con fines curativos y especulativos.

A fines del siglo XVIII, el boticario tradicional dio paso al farmacéutico ilustrado, formado en la química analítica y en instituciones académicas. No obstante, persistió una herencia esencial: la idea de que las piedras y los metales poseen una energía y un significado propios, testimonio de la antigua alianza entre arte, ciencia y espiritualidad que caracterizó al saber boticario.



Figura 4. a) Boticario en faena de molienda con mortero (<https://correodelsur.com/ecos/20221127/boticarios-de-altura.html>) b) Interior de botica (<https://sabersenaccio.iec.cat/es/el-obra-del-boticario-y-del-alquimista/>) c) Boticario siglo XVIII. (<https://elpensador.io/curiosidades-de-la-historia-un-boticario-ejemplar/>).

Con el avance de la química moderna y la mineralogía científica, los minerales y metales fueron estudiados como fuentes de principios activos. Se aislaron y definieron elementos medicinales como el hierro, yodo, litio, magnesio, calcio y arsénico, que pasaron a formar parte de la farmacopea oficial (Duffin, 2005). En la actualidad, en culturas milenarias como la china, aún se emplean minerales con fines terapéuticos y rituales. Luo et al. (2023), en un estudio realizado en la región de Mongolia Interior, documentaron el uso persistente de medicamentos de origen vegetal, animal y mineral dentro

de la medicina tradicional china, aunque su aplicación ha disminuido notablemente. Identificaron doce tipos de fármacos minerales, entre los que destacan el cinabrio y el rejalgar, aun cuando no son de producción local, junto con la sal, el arsénico, el loess, el yeso fibroso, el azufre y diversas arcillas silíceas o ferruginosas. Estos materiales se utilizan sobre todo para tratar trastornos mentales y afecciones cutáneas por sus propiedades astringentes, hemostáticas y bactericidas, mientras que el cinabrio y el rejalgar conservan además un uso simbólico en amuletos y prácticas de exorcismo.

Los fósiles, por su parte, fueron progresivamente desplazados hacia el ámbito científico y coleccionista, aunque algunos siguieron figurando en la materia médica homeopática del siglo XIX. La idea de que los minerales poseen “virtudes específicas” se transformó en el concepto moderno de principio activo mineral, fundamento de numerosos medicamentos contemporáneos (Duffin, 2005; Holmes, 2010).

Las Boticas de la América Colonial

En América, la figura del boticario se introdujo a partir del siglo XVI, siguiendo los modelos normativos y profesionales de la Península Ibérica y bajo control estatal y médico. Bajo la autoridad de los protomedicatos y cabildos locales, las primeras boticas urbanas, en México, Lima, Bogotá, Quito o Buenos Aires, asumieron un papel esencial en la elaboración y suministro de medicamentos (Pardo-Tomás, 2002; Lanning, 1985).

Estas boticas reproducían las prácticas europeas de manipulación mineral, vegetal y animal, pero incorporaron rápidamente productos autóctonos que enriquecieron la materia médica colonial. Minerales como el azogue, los

alumbres o el bórax convivieron con betunes, tierras colorantes, cinabrios, y piedras bezoares provenientes de fauna local. En este contexto, la botica se convirtió en un laboratorio de mestizaje entre la farmacopea europea y los saberes indígenas y afroamericanos, articulando una práctica empírica que desbordaba los límites de la tradición galénica (Sánchez-Rivera, 2019).

Los boticarios de las ciudades virreinales no solo preparaban remedios, sino que también recolectaban, clasificaban y comerciaban minerales y fósiles de valor terapéutico o simbólico. Las esmeraldas de Nueva Granada, los bezoares del Perú o las ágatas y jaspes del Río de la Plata circularon entre gabinetes, universidades y cortes europeas, integrándose a los circuitos de intercambio científico y coleccionismo naturalista (Duffin, 2005). En muchas ocasiones, estos materiales se acompañaban de descripciones sobre sus “virtudes” curativas, reproduciendo la tradición lapidaria medieval pero aplicada al nuevo mundo natural americano.



Figura 5. a) Póster de boticario colonial americano del siglo XVIII (<https://www.amazon.com/-/es/boticario-colonial-americano-Colonial-Apothecary/dp/B07CJ213K3>), b) Botica colonial americana (<https://historiacuentosyotrashierbas.blogspot.com/2017/02/de-boticas-y-boticarios.html>), c) Anticuario y farmacia colonial (<https://www.facebook.com/groups/elanticuariodefarmacia/>).

Durante el siglo XVIII, con las reformas borbónicas y la institucionalización de la farmacia, el oficio de boticario comenzó a transformarse. Se fundaron cátedras de química y botánica médica, y las boticas se dotaron de instrumentos analíticos y normas de control, aunque siguieron siendo espacios de síntesis entre ciencia ilustrada y tradición empírica local. En ese tránsito, el boticario americano mantuvo viva la dimensión mineral del saber

médico, integrando la exploración de la naturaleza con la búsqueda de remedios y significados (Pardo-Tomás, 2002).

Las boticas: gabinetes de curiosidades y naturalismo

Entre los siglos XVI y XVIII, el oficio del boticario trascendió la mera dispensación, combinando medicina, alquimia y observación naturalista. Sus boticas se consolidaron como verdaderos laboratorios y gabinetes de historia natural y curiosidades (Wunderkammern en alemán), donde se

mezclaban y estudiaban minerales, fósiles y rarezas en busca de remedios y de revelaciones sobre el orden natural.

Las boticas más prestigiosas contaban con "gabinetes de drogas minerales", prefigurando inventarios de mineralogía. En estos repositorios, la frontera entre remedio, curiosidad y reliquia era difusa: cada objeto mineralizado condensaba una función terapéutica, una lección moral y una evidencia del poder creador de la naturaleza.

“Los “gabinetes de las maravilla” o “gabinetes de curiosidades” florecieron durante la época del rococó. Estaban ubicados principalmente en las residencias privadas de coleccionistas adinerados. Estos gabinetes eran, en su esencia, salas especiales o incluso habitaciones completas dedicadas a albergar las colecciones de rarezas y curiosidades. A menudo, se encontraban en palacios, mansiones o residencias de la aristocracia y la alta sociedad. Los «gabinetes de las maravillas o curiosidades» eran colecciones privadas que albergaban una asombrosa variedad de

objetos. Desde conchas y minerales hasta artefactos culturales y científicos, estos gabinetes reunían rarezas de todos los rincones del mundo conocido. La fascinación por lo exótico y lo inusual guiaba la creación de estas colecciones, convirtiéndolas en auténticos microcosmos de maravillas” (<https://joseantoniofortuny.com/anecdotes/gabinetes-de-las-maravillas/>)

La práctica boticaria unía la experiencia empírica y la contemplación. Al utilizar técnicas como la destilación, calcinación o cristalización, no solo elaboraban medicamentos, sino que también estudiaban la materia, anticipando la química moderna. Muchos boticarios se convirtieron en naturalistas, recolectando y clasificando minerales y fósiles, desarrollando conocimientos precursores de la mineralogía científica.



Figura 6. Los gabinetes de curiosidades o cámara de maravillas “Wunderkammen” eran espacios precursores del museo moderno, donde se reunían objetos naturales, minerales, fósiles, artefactos y rarezas del mundo. Representaba la síntesis entre observación científica, coleccionismo y simbolismo, reflejando la visión unitaria del conocimiento propia del Renacimiento y la temprana Edad Moderna. Estos gabinetes se ordenaban en torno a cuatro categorías básicas o tipos de colecciones: artificiales, naturales, exóticas y científicas a) <https://mnemoshistoria.blogspot.com/2010/05/wunderkammer.html> b) https://es.wikipedia.org/wiki/Cuartos_de_maravillas

A fines del siglo XVIII, aunque la botica se transformó en un espacio reglado por la química analítica y la institucionalización de la farmacia, persistió la atención a la forma, el color y la reactividad de los minerales, un legado directo de la fusión entre ciencia, arte y simbolismo que definió a esta profesión.

Los fósiles: piedras con “formas y vida”

Antes de que la geología los definiera científicamente, los fósiles fueron interpretados por los boticarios y naturalistas como “piedras con vida” o “juguetes de la naturaleza”. Su morfología extraña: conchas, huesos o dientes petrificados, despertó tanto curiosidad médica como especulación. Muchos fueron incorporados a la farmacopea bajo nombres populares que reflejaban su

apariencia y su presunta virtud: las “lenguas de serpiente” (dientes fósiles de tiburón) se empleaban como antídotos contra el veneno, los “huesos de dragón” (restos fósiles de vertebrados) se molían como calmantes, y el ámbar gris, de origen orgánico pero considerado mineral, se utilizaba en perfumes y tónicos. Otros fósiles “corporales” como la piedra árábica (marfil) y la “ostracita” (ostréidos fósiles/bivalvos) se emplearon como cataplasma y en

depilación, respectivamente (Liñán, 2005 a, b). Nombres como ostritas (ostras fósiles), piedra de escorpiones (trilobites), piedras de cangrejos (cangrejos fósiles), piedra de lenguas (dientes fósiles de tiburón) y piedra de cabeza o piedra corsita, entre otros, son citados en antiguos lapidarios junto a sus propiedades terapéuticas (Liñán, 2005a)



Figura 7. Portada y láminas seleccionadas de “La vana speculazione disingannata dal senso” (Agostino Scilla, Nápoles, 1670). En esta obra pionera, Scilla refutó las interpretaciones alquímicas y milagrosas de los fósiles, como las llamadas “piedras judaicas” o “lenguas de serpiente”, proponiendo su origen biológico y marino. Sus ilustraciones naturalistas anticipan el enfoque científico que caracterizaría a la paleontología moderna. Las ilustraciones de la figura muestran con detalle conchas, dientes de peces y erizos fósiles.

Antiguamente, en distintas regiones de Europa, varios tipos de fósiles de aspecto muy diverso fueron interpretados como “piedras meteóricas” o “piedras caídas del cielo” (ceraunias). Se creía que estos objetos descendían junto con los rayos durante las tormentas, siendo por tanto manifestaciones directas de fuerzas

celestes. En algunas zonas, los erizos de mar fósiles eran conocidos como “piedras de trueno” o “piedras de rayo”, mientras que en otras se atribuía el mismo origen sobrenatural a los rostros o puntas de los belemnites, considerados restos de rayos solidificados (Glossopetrae Blog, s.f.).



Figura 8. a) Portada de la obra *Rerum fossilium, lapidum et gemmarum maxime, figuris et similitudinibus liber* de Conrad Gessner (1565) b) Ilustración de belemnites o piedras de rayo (1–4; pp. 91) c) Representaciones de ceraunias o “piedras del cielo” (A–D; pp. 65). Estos objetos fueron interpretados durante el Renacimiento como piedras formadas por la acción del rayo o proyectiles celestes, antes de ser reconocidos como fósiles y herramientas prehistóricas. Ilustran la persistencia de una lectura simbólica de los cuerpos minerales y fósiles en la tradición naturalista temprana.

(<https://www.biodiversitylibrary.org/item/189277#page/125/mode/1up>)

Ibn Zuhr (Avenzoar), continuador de la tradición médica grecolatina de Dioscórides y Galeno, incluyó en su Kitāb al-Taysīr diversas sustancias minerales y biogénicas con fines terapéuticos. Entre ellas se encuentran la “piedra judaica”, empleada contra los cálculos renales; el ámbar, resina fósil vegetal usada como calmante y antiespasmódico; y el asfalto o betún de Judea, utilizado como antiséptico y cicatrizante. Aunque Avenzoar no utilizó el concepto de “fósil” en sentido estricto, su obra refleja un conocimiento empírico y farmacológico de estos materiales naturales, valorados por sus virtudes medicinales más que por su naturaleza geológica (Duffin, 2006; Liñán et al., 2014).

La llamada piedra judaica (lapis judaicus), citada en numerosos tratados médicos y lapidarios medievales, era apreciada por sus supuestas virtudes curativas, especialmente contra los males renales. Su descripción, de forma alargada y estriada, semejante a un proyectil, llevó a asociarla con fósiles de belemnites; sin embargo, algunos autores posteriores aplicaron el término, de manera ambigua, a fósiles de equinoideos (erizos de mar), cuyas púas, conocidas como equinites, pueden alcanzar un tamaño considerable y se ajustan mejor a la descripción morfológica y ornamental transmitida en las fuentes (Liñán, 2005 a,b; Duffin, 2006).

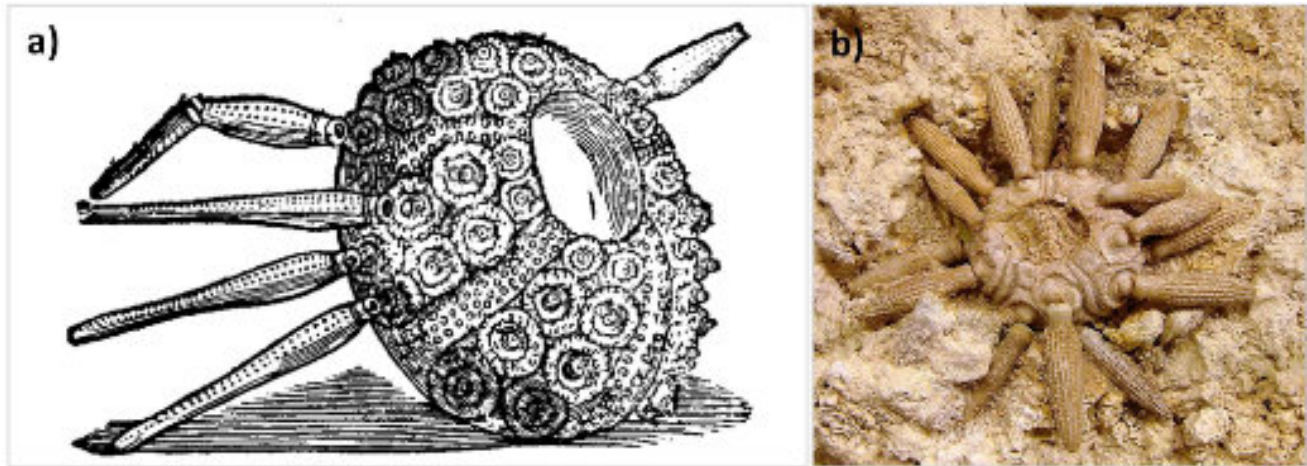


Figura 9. Piedra judaica (Lapis Judaicus) a) Grabado de la Historia Naturalis que representa un fósil de erizo de mar con las púas articuladas, descrita por Ferrante Imperato en 1599 (Duffin, 2006) b) Fósil del erizo Balanocidaris marginata, este fósil fue empleado en la farmacopea renacentista por sus supuestas propiedades purificadoras y descrito como ejemplo de la acción formativa de la naturaleza. (Fuentes: a) Duffin, 2006 b) (https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Balanocidaris_marginata_180308.jpg).

Durante la Antigüedad Clásica, la Edad Media, el Renacimiento y aún en el Barroco, se creyó que el cuerno del unicornio, animal mítico originario de regiones lejanas de Asia, poseía extraordinarias virtudes medicinales. Se afirmaba que, reducido a polvo, tenía la capacidad de neutralizar cualquier veneno y proteger contra sustancias tóxicas presentes en los alimentos o bebidas, motivo por el cual era muy apreciado entre la nobleza y la aristocracia (Glossopetrae Blog, s.f.).

Los lapidarios y tratados renacentistas describían los fósiles con una mezcla de asombro y propósito médico. Autores renacentistas como Aldrovandi e Imperato los veían como expresión de una “fuerza interna” de la naturaleza capaz de transformar lo orgánico en piedra. Por analogía, se creía que esa energía podía emplearse

terapéuticamente para restaurar la salud (Findlen, 2006; Baldwin, 2011).

Los fósiles circularon en boticas, gabinetes y colecciones privadas junto a minerales y conchas exóticas, siendo objeto de clasificación y comercio. Algunos boticarios llegaron a reunir verdaderos “museos”, donde los fósiles coexistían con cristales, metales y piedras preciosas, anticipando el espíritu enciclopédico del siglo XVIII.

Así, el fósil, entendido como “piedra viviente”, se integró en el imaginario médico y espiritual de la botica. Su valor no residía solo en la materia, sino en el testimonio de una vida detenida, convertida en símbolo de permanencia y regeneración. En este sentido, los boticarios actuaron como mediadores entre la tierra profunda y el cuerpo

humano, transformando los restos del pasado geológico en instrumentos de sanación.

Fuentes y tratados representativos

El conocimiento mineral y fósil en la práctica boticaria se sustentó en una serie de textos que, desde la Antigüedad

hasta la Edad Moderna, juntaron y organizaron tradiciones médicas, alquímicas y teológicas. Estas obras sirvieron de guía para la identificación, preparación y uso de sustancias minerales, y al mismo tiempo construyeron un imaginario simbólico donde la materia inorgánica participaba del orden vital y divino. Las más relevantes fueron:

Tabla No. 1. Principales fuentes y tratados consultados o utilizados por boticarios

Periodo (Región)	Autor	Obra	Contenido
Siglo II d.C. (Grecia-Roma)	Damigerón-Evax	Lapidario de Damigerón-Evax	Compendio grecorromano sobre virtudes medicinales y mágicas de piedras y minerales; reintroducido en Europa medieval; influencia directa en boticarios
Siglo I d.C. (Grecia)	Pedanio Dioscórides	De Materia Medica	Sistema de clasificación de plantas, animales y minerales; fósiles y minerales usados por sus efectos terapéuticos más que por descripción naturalista
Siglo I d.C. (Roma)	Plinio el Viejo	Historia Natural	Descripciones de minerales y fósiles; incluye aspectos simbólicos y astrológicos; fundamento para lapidarios medievales
129-216 d.C. (Pérgamo)	Galeno	De simplicium medicamentorum temperamentis ac facultatibus	Clasificación de remedios vegetales, minerales y animales según propiedades humoralistas; minerales considerados venenosos y equilibradores de humores
Siglo VIII-IX (Mundo islámico)	Yābir ibn Ḥayyān (Geber), Al-Rāzī (Rhazes), Ibn Zuhr (Avenzoar)	Diversos tratados alquímico-farmacológicos	Descripción de minerales y metales (azufre, mercurio, antimonio, cobre, hierro, sal); técnicas de destilación, calcinación y sublimación para usos terapéuticos
Siglo XI (Europa)	Marbodo de Rennes	De Lapidibus	Lapidario medieval; combina tradición grecorromana, árabe y hebrea; atribuye propiedades medicinales, morales y astrológicas a piedras y minerales
Siglo XIII (España)	Alfonso X el Sabio	Lapidario de Alfonso X	Integración de saberes árabes, hebreos y latinos; piedras relacionadas con planetas y signos zodiacales; aplicación medicinal y simbólica
Siglo XV-XVI (Europa)	Paracelso	Tratados iatroquímicos	Introducción de iatroquímica; minerales (azufre, mercurio, sal, antimonio) como agentes activos; transición de medicina lapidaria a experimental
1488-1581	Saladino Ferro d’Ascoli	Compendium Aromatariorum	Primer libro en la literatura mundial escrito exclusivamente para boticarios
1546 (Alemania)	Georgius Agricola	De natura fossilium	Clasificación sistemática de minerales y fósiles; influencia en inventarios de boticarios y estudios de mineralogía
1596 (China)	Li Shizhen	Bencao Gangmu	Compendio de materia médica. Registro de minerales y fósiles con propiedades terapéuticas y espirituales; influencia en concepción vitalista de la materia mineral
Siglo XVII (España)	Gaspar de Morales	De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas	Continuación de la tradición lapidaria medieval; visión cristiana y moralizadora de las piedras; vínculo cuerpo-alma
Siglo XVII (Europa)	Nicolas Lemery	Cours de Chymie (1675)	Sistemática de destilación, calcinación y sublimación; marco químico para minerales y metales terapéuticos
Siglo XVII-XVIII (Europa)	Varios	Pharmacopoeia Augustana & Pharmacopoeia Londinensis	Regulación y estandarización de minerales medicinales (antimonio, hierro, cobre, azogue)

Conclusiones

El estudio de los minerales y fósiles en la práctica boticaria revela una profunda continuidad entre magia, alquimia y ciencia. Las piedras y los fósiles fueron, a la vez, materia médica y objeto de contemplación naturalista, vehículos de conocimiento y símbolos de las conexiones entre el cuerpo humano y la naturaleza.

Desde la Edad Media hasta el siglo XVII, los boticarios actuaron como mediadores entre la alquimia, la medicina y la historia natural, integrando saberes empíricos, experimentales y cosmológicos. Con el Renacimiento y el desarrollo de la iatroquímica, esos conocimientos comenzaron a transformarse en farmacología moderna, sentando las bases de la química farmacéutica y de la ciencia de los principios activos minerales.

A través de su práctica cotidiana, los boticarios articularon una visión del mundo en la que lo mineral no era inerte, sino portador de vida y significado. En la confluencia entre Oriente y Occidente, entre el laboratorio y el gabinete, su legado perdura como testimonio de una época en que la materia hablaba todavía un lenguaje simbólico, médico y sagrado.

A lo largo del tiempo, el uso terapéutico de minerales y fósiles experimentó una profunda transformación. Aunque la farmacopea moderna los ha relegado casi por completo debido a su toxicidad, costo y escasa eficacia comprobada, estos materiales continuaron formando parte de las preparaciones médicas hasta bien entrado el siglo XIX. Elementos como el oro, el antimonio, el hierro o el arsénico, que en el pasado se consideraban dotados de virtudes ocultas o espirituales, fueron progresivamente reinterpretados a la luz de la química y la farmacología científica, sustentadas en la experimentación y en el conocimiento racional de la materia.

Referencias & Consultas Bibliográficas

- Aldrovandi U. (1648). *Musaeum Metallicum, in quo mineralium, fossilium, lapidum, metallorum, et huiusmodi corporum naturalium historia traditur*. Bononiae: J. B. Ferronius.
- Astudillo Pombo H. (2011) Las virtudes curativas de las piedras y los lapidarios durante El Renacimiento, Dept. de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida.

<https://glossopetrae.blogspot.com/2011/04/las-virtudes-curativas-de-las-piedras-y.html?m=1>

- Avicenna 1507. Liber canonis. Georg Olms, Hildesheim [1964 reprint].
- Baldwin, M. (2011). "Pious collectors: Ferrante Imperato and the virtuosi of Naples." *Journal of the History of Collections*, 23(3), 347–362.
- Capuano T.M. (2017). El Compendium Aromatariorum de Saladino Ferro D'ascoli (S. Xv) y la Traducción Castellana de Alonso Rodríguez De Tudela (1515). *Romance Philology*, vol. 71 (Spring 2017), pp. 1–33. DOI 10.1484/J.RPH.5.113411
- Debus, A. G. (1966). *The English Paracelsians*. New York: Oldbourne.
- Duffin, C. J. (2005). *The history of minerals in medicine*. Geological Society, London, Special Publications, 241, 45–68.
- Duffin, C. J. (2005). *Marbodius of Rennes and the Medieval Lapidary Tradition*. Geological Society, London, Special Publications, 273, 9–29.
- Duffin C.J. (2006). Lapis Judaicus or the Jews' stone: the folklore of fossil echinoid spines. *Proceedings of the Geologists' Association*, 117, 265–275.
- Etter W. & Schmidt O. (2020). Gessner's fossil crab: An icon for the early history of palaeontology in *Journal of the History of Collections*, Volume 32, Issue 3, November 2020, Pages 411–430, <https://doi.org/10.1093/jhc/fhz039>
- Evans, J. (1922). *Magical Jewels of the Middle Ages and the Renaissance, Particularly in England*. Oxford University Press.
- Findlen, P. (2006). "Natural History." En K. Park & L. Daston (Eds.), *The Cambridge History of Science, Volume 3: Early Modern Science* (pp. 435–468). Cambridge: Cambridge University Press.
- Forli, M., Guerrini, A. (2022). Quaestio de Fossilibus: Glossopetres, Snake Tongues and Ceraunids. In: *The History of Fossils Over Centuries*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04687-2_6
- Forli M. & Guerrini A. (2022). *The History of Fossils Over Centuries From Folklore to Science*. Springer, Cham Eds., 509 p.

Galán E., Liso M.J. y Forteza M. (1985). Minerales Utilizados en la Industria Farmacéutica. *Boletín Sociedad Española de Mineralogía*, 198, pp. 369-378.

Galen. (ca. 180 d.C./2000). De simplicium medicamentorum temperamentis ac facultatibus. En J. Kollesch & D. Nickel (Eds.), *Galen: Ausgewählte Werke* (Vol. II). Berlin: Akademie Verlag.

Gaspar de Morales (1605). De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas. Editor Luis Sánchez, Original de la Librería de Catalunya, Digitalizado en Agosto 27 de 2009, 744 p. (Google books)

Gessner, C. 1565. De Rerum Fossilium, Lapidum et Gemmarum maxime, figures et similitudinibus Liber: non solum mMedicis, sed omnibus rerum Naturae ac Philologiae studiosis, utilis et iucundus futurus. Publisher unknown, Zürich.

Glossopetrae Blogspot
(<https://glossopetrae.blogspot.com/2016/06/huevos-de-serpiente-y-lenguas-de-dragon.html>)

Holmes, F. L. (2010). *Eighteenth-Century Chemistry as an Art of Discovery*. Ashgate

Imperato, F. (1599). *Dell'Historia Naturale di Ferrante Imperato Napolitano*. Napoli: Constantino Vitale.

Internet Archive
(<https://archive.org/details/lavanaspeculazio00scil/page/n9/mode/1up>)

King, C. W. (2001). *The Natural History of Precious Stones and Gems*. Dover Publications.

Lanning, J. T. (1985). *The Royal Protomedicato: The Regulation of the Medical Profession in the Spanish Empire*. Duke University Press.

Levey, M. (1973). *Early Arabic Pharmacology: An Introduction Based on Ancient and Medieval Sources*. Brill.

Liñán, C. (2005). Minerales y fósiles en la medicina medieval y renacentista. Madrid: CSIC.

Liñán, E. (2005).

a) La criptopaleontología en los lapidarios griegos apócrifos. [The Cryptopalaeontology of the apocryphal

Greek lapidaries]. *Revista Española de Paleontología*, 20 (2), 119-126. ISSN 0213-6937. <https://doi.org/10.7203/sjp.20.2.20550>

b) Fósiles y magia en el año de publicación del Quijote: el lapidario del aragonés Gaspar de Morales "De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas" (1605). *Naturaleza Aragonesa*, Np. 14 (Enero-Junio 2005), pp. 4-14.

c) Citas criptopaleontológicas en la obra "Plantas y remedios medicinales" de Dioscórides (siglo I). *Rev. Real Academia de Ciencias*. Zaragoza. 60: 133–142, (2005).

Liñán E., Carrasco J. y Liñán M. (2014). Criptopaleontología: Los Fósiles Contenidos en los Tratados Médicos Hispano-Árabes entre los Siglos X y XII. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 27 (1), pp. 351-359

Liñán M., Carrasco J. y Liñán E. (2009). Fósiles y Farmacia en la Historia Natural de Juan Gil de Zamora (s. XIII). *Naturaleza Aragonesa* NO. 23, (Julio-Diciembre 2009), pp. 21-26.

López de Munain G. (2019) Los fósiles en la Edad Media. Una experiencia de lo fantástico (Publicada 15/11/2019; Actualizado 10/01/2023) (<https://postmortem.hypotheses.org/645>)

Luo C., Zhao W., Liu S., Luo M., Fan T., Zhao Y., Ren Y., Wu F. y Xie J. (2023) Medicamentos de origen animal y mineral en la región de Gansu-Ningxia-Mongolia Interior, República Popular China: una evaluación etnobiológica transcultural. *Front. Pharmacol.* 14:1295806. doi: 10.3389/fphar.2023.1295806

Narváez Padilla, I. y Sarris, I El uso de fósiles en la medicina tradicional. En: Moreno-Azanza, M., Díaz-Martínez, I., Gasca, J.M., Melero-Rubio, M., Rabal-Garcés, R. y Sauqué, V. (coords). *Cidarís*, número 30, VIII Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología, volumen de actas, 211-216.

Newman, W. R. (1996). *Promethean Ambitions: Alchemy and the Quest to Perfect Nature*. Chicago: University of Chicago Press

Pardo-Tomás, J. (2002). El tesoro natural de América: farmacia, botánica y medicina en los virreinos del Nuevo Mundo (siglos XVI–XVIII). CSIC.

Parrilla Valero F. (2018). Los boticarios de Cataluña entre los siglos XIII-XVIII. Una visión socioeconómica y de salud pública. *Ars Pharm.* 2018; 59(4): 207-220

Principe, L. M. (2012). The Secrets of Alchemy. University of Chicago Press.

Rey Bueno M. (2004). El Informe Valles: los Desdibujados Límites del Arte de Boticarios a Finales del Siglo XVI (1589-1594). Asclepio-Vol. LVI-2-2004, 243-268

Ronderos P. (2007). El arte de boticario durante la primera mitad del siglo XVII en el Nuevo Reino de Granada. Fronteras de la Historia 12 (2007): 175-196

SOBRE EL AUTOR:



Jesús S. PORRAS M. es Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela. Posee amplia experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos tanto de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales.

Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Senior liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales.

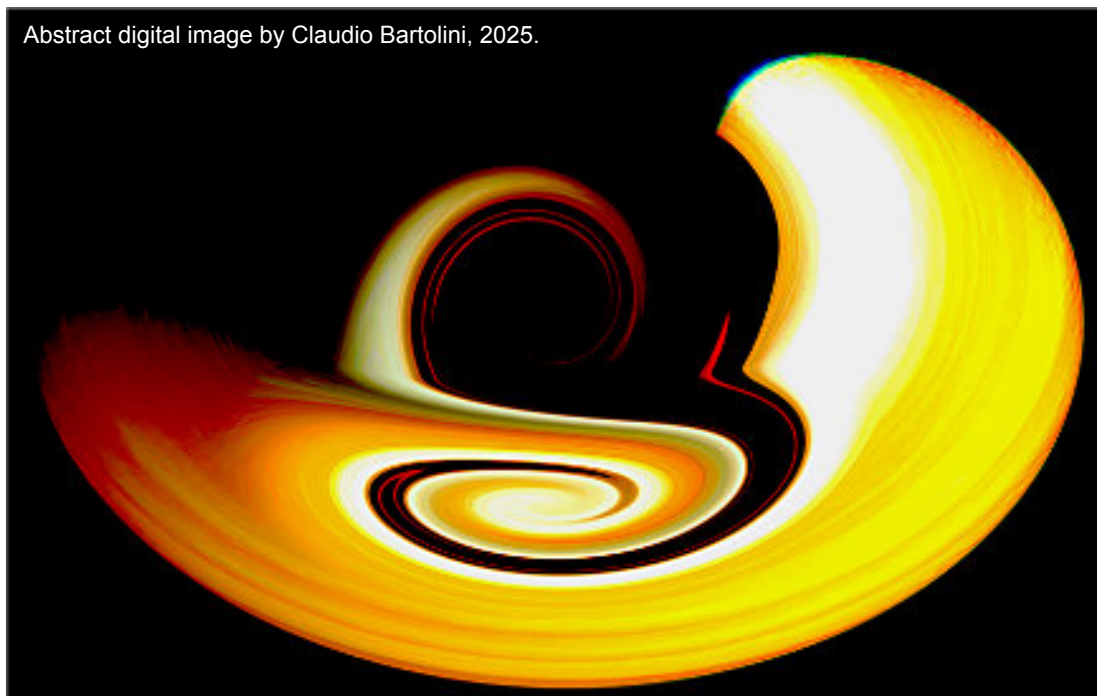
Tiene particular interés en temas de patrimonio geológico, geodiversidad y geoconservación, comunicación en geociencias, geología urbana y geoturismo.

Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 70 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.

Rapp, G. (2009). Archaeomineralogy (2nd ed.). Springer.

Sánchez-Rivera, R. (2019). Boticas coloniales: cultura material y práctica científica en el virreinato del Perú. Fondo Editorial PUCP.

Abstract digital image by Claudio Bartolini, 2025.



La ciencia es la progresiva aproximación del hombre al mundo real.

Max Planck

La Minería mediana, pequeña y artesanal: Importancia para el desarrollo local

Dr. Rafael Guardado Lacaba

Grupo de Reducción de Riesgos y Enfrentamiento al Cambio Climático de la Universidad de Moa. Académico Titular, rafaelguardado2008@gmail.com, ORCID 0000-0003-1075-8176.

Resumen

La economía latinoamericana y caribeña con el paso de los tiempos se ha caracterizado por el progreso de la industria minera: mediana, pequeña y artesanal con un desarrollo minero industrial y su modernización. Para un país como Cuba la minería mediana, pequeña y artesanal representa una necesidad en el desarrollo local de los territorios municipales y provincias. cabe preguntarse: ¿cuáles han sido los principales resultados y el aprendizaje respecto al aporte que puede ofrecer la minería al desarrollo del país?

En este artículo se presentan las características de la minería mediana pequeña y artesanal y propone un modelo genérico dentro de la pandemia de COVID 19 para atender a la población comprometida, y desarrollar empresas mineras territoriales capaces de lograr el desarrollo sostenible que necesitamos.

Palabras Claves. **Minería, Pequeña Minería, desarrollo territorial,**

Abstract

The Latin American and Caribbean economy has been characterized by the opening of the medium, small and artisanal mining industry, margin of industrial mining development and its modernization. For a country like Cuba, medium, small and artisanal Mining represents a need in the local development of the territories and provinces. It is worth asking: what have been the main results and lessons learned regarding the contribution that mining can offer to development?

This article presents the characteristics of small, medium-sized and artisanal Mining and proposes a generic model within the COVID 19 pandemic to serve the committed population, and develop territorial mining companies capable of achieving the sustainable development we need.

Keywords. Mining, Small Mining, territorial development.

Introducción.

América Latina y el Caribe es una región con amplios recursos minerales, por ello es de suma importancia la minería. La minería mediana, pequeña y artesanal, ha de cumplir con el marco normativo del sector, la responsabilidad ambiental y la disciplina en seguridad. Las tendencias de clasificación de esta industria en el mundo ha sido el de dividirla tres grandes bloques; la pequeña, la mediana y la gran minería. Sin embargo, ha sido recurrente el concepto de "ciclo minero" entendiéndolo como una visión globalizada de todas las faenas que se realizan en un yacimiento cuando se le explota. El desarrollo minero, por naturaleza misma, está condicionado al ciclo de vida de la extracción del mineral a los ciclos de los mercados, figura 1.



Figura 1. Ciclo minero.

En la minería moderna la explotación mineral depende de muchos factores diferentes, de ellos los más importantes la calidad y disponibilidad del mineral y los precios en el mercado. El éxito de un buen proyecto de pequeña minería responde las siguientes características:

- Buena ubicación geográfica.
- Fácil acceso, potencialidad del yacimiento.
- Organización eficiente y funcional, correcta inversión de recursos humano y recursos financieros.
- Buenas relaciones con las comunidades aledañas.
- Sensibilización e interés en los problemas ambientales.
- Derechos legales y ambientales a la explotación del medio. Word Bank (2001).

La pequeña minería trabaja sin un plan minero concebido y muchas veces no cuenta con reservas económicamente explotables o en categoría probada o probable, sólo trabajan con muy poco mineral a la vista o recursos inferidos. Al igual que las grandes empresas, los mineros artesanales y en pequeña escala comparan los costos de producción con los precios del mercado. En el caso de la minería artesanal, las herramientas y tecnologías usadas son, bastante rudimentarias –extracción con picotas y palas y lavado en canaletas y bateas con equipo simple.

En Cuba más del 95% de la minería se puede representar como pequeña minería y minería artesanal, las que han de cumplir las legislaciones mineras, medio ambientales y de seguridad minera vigentes en el país. La pequeña minería en nuestro país está condicionada por la Ley No. 76 Ley de Minas y Decreto No. 222 Reglamento de la Ley de Mina que establece la explotación de los minerales no metálicos, incluidos los materiales de construcción. Los depósitos aluviales de oro, las aguas minero medicinales, las piedras semi preciosas, fangos medicinales, etc., no son consideradas como “Pequeñas Producciones Mineras”, esto ocasiona que grandes canteras de materiales de construcción para áridos y los yacimientos para la producción de cemento estén consideradas como mediana y pequeña Minería.

En la situación que atravesamos a raíz del Covid-19, el sector geológico - minero no ha estado exento de haber sufrido este impacto. En ese sentido, específicamente un bastión importante para el país es la pequeña minería y minería artesanal, formal e informal, la cual puede proyectar en el desarrollo local del territorio al PBI nacional, quizás no tan valorado, pero vital para los municipios regiones e importancia para las familias que se encuentran tras esta actividad a pequeña escala. Es por ello que se torna significativo resaltar algunos fundamentos sobre la importancia de activar las actividades de la pequeña minería y minería artesanal en el Cuba.

Fundamentos la pequeña minería y la COVID.

Cuba es un país con una inmensa riqueza geológica. Durante la Colonia y hasta el 1959, hubo un gran desarrollo en la exploración y explotación del oro, cobre, níquel y cobalto, cromo, hierro, manganeso y otros minerales importantes. Depósitos de minerales que con el triunfo de la revolución generaron un buen desarrollo. Es importante señalar que la pequeña minería se ha desarrollado en gran parte en inmediaciones de ecosistemas boscosos, corredores biológicos y hábitat de diversas especies de fauna y flora. Uno de los mayores desafíos enfrentados en el ámbito de la minería, es la integración de la actividad económica con la preservación ambiental, las preocupaciones sociales y sistemas eficientes de gobernanza. Si bien la minería artesanal y a pequeña escala no genera los grandes y significativos impactos ambientales de la minería a gran escala, sí tiene un potencial importante para aportar a la conservación de las funciones ecológicas de sus entornos y evitar impactos ambientales acumulados.

Lo primero es modificar la ley de minas y crear una ley sobre esta actividad, de la cual se ha de especificar los lineamientos para que los titulares mineros presenten su Proyectos, la Prevención y Control de COVID-19, los detalles de reducción de riesgos y medioambientales, que a la fecha puede entregarse la Dirección Minas del Ministerio de Energías y Minas. La legislación minera en Cuba no ha sido exitosa en la interpretación de la realidad de la pequeña minería. La pequeña minería necesita que exista instituciones gubernamentales fuertes y capacitadas, con estabilidad en los niveles de conducción y continuidad con esta política de pequeña minería.

La pequeña minería y minería artesanal ha de contar con Programa Anual de Seguridad y Salud Ocupacional en el Trabajo, un Plan Anual de Capacitaciones, un Plan de Contingencias y un Reglamento Interno de Trabajo, y otros documentos que exige la ley de minas y la dirección de minas del MINEM.

La aparición y surgimiento de tecnologías informáticas y la reducción de trámites impuestos por la legislación ayudan a paliar la pequeña minería y artesanal, pero el estado debe mantener un control y vigilancia sobre las operaciones que en el territorio han de desarrollarse.

La mano de obra pertenece a comunidades, distritos o provincias aledañas, es decir no son de sectores externos a la zona de influencia. No abrir la pequeña minería genera, desempleo de personas que de manera directa e indirecta actúan en esta actividad. Siendo una solución factible el considerar a este rubro y lograr un mejor desarrollo local sostenible.

La visión política de la pequeña mediana y minería artesanal

La pequeña minería incluye también a la artesanal. Se reconoce la existencia de la pequeña minería en todos los países del continente y cada uno tiene sus características particulares. Su aporte a las economías locales y regionales es de suma importancia para el desarrollo del país, siendo, además, una fuente de trabajo. La pequeña minería puede ser una opción de negocios válida en la medida en que aporte el desarrollo local sostenible. Los recursos geomineros descubiertos por la pequeña minería incrementarían el patrimonio económico del país, del territorio etc., Permite asegurar la presencia geopolítica de las zonas apartadas.

La gestión de la pequeña minería. El uso de herramientas de gestión administrativa es limitado encontrándose en general en un estado primario. Los niveles de actividad de explotación, preparación y desarrollo son bajos. Muchas operaciones no tienen una escala que permita alcanzar elevados niveles de mecanización. La pequeña minería no requiere de un personal de alta calificación. Las inversiones y actividades de investigación, de mercado son bajas pero muy necesarias para desarrollo local sostenible del municipio.

La coexistencia y la cooperación entre la pequeña minería y las operaciones mineras de mayor envergadura debe ser posible. El trabajo en asociación permite mejorar la competitividad, reducir costos y facilitar el acceso de los mercados. La experiencia de las asociaciones cooperativas en la pequeña minería debe ser estudiado en nuestro país

El Gobierno Local deberá de realizar planes de corto, mediano y largo plazo, a fin de que se garantice la sostenibilidad en el tema de salud, serán los encargados de fiscalizar el cumplimiento de los planes de vigilancia, no solo del sector minero, también de otros sectores como Producción, Agricultura, Turismo, entre otros.

La necesidad de un enfoque multidisciplinario

En la actualidad los gobiernos, universidades, centros científicos, empresas, e instituciones en general, dejan en general una primera conclusión: cualquier que será la actividad de la pequeña minería en el desarrollo local requiere siempre de un enfoque integral tomando siempre muy en serio los principios geológico-mineros a desarrollar.

En los últimos decenios se ha producido un marcado crecimiento de la pequeña minería y la minería artesanal. La minera aurífera de Ecuador, Colombia, Venezuela, Brasil, Nicaragua, Perú y otros, la de piedras preciosas y semi preciosas en Brasil, Colombia, Venezuela y República Dominicana, y el espectro no mencionado y siempre presente en la explotación de materiales de construcción, en todos los países, son una muestra evidente de esta situación.

La necesidad de un trabajo multidisciplinario requiere de una capacitación de los cuadros de los gobiernos municipales; gobernadores, intendentes, y directivos de las direcciones municipales que pocos conocimientos en esta temática poseen. Requiere la inserción de profesionales en estos municipios y de una amplia capacitación en estos temas de la Geología y Minería Territorial para el desarrollo local.

El objetivo es generar el fomento de la pequeña y artesana minería en el marco del desarrollo local y regional de los municipios y/o provincia, de manera que se promueva una actividad de pequeña y mediana Minería que permita un acceso fluido al mercado nacional e internacional. La gran deuda que el país tiene con la pequeña minería es la falta

de su reconocimiento. Asimismo, Las universidades formadoras de geólogos y mineros no están formando profesionales para poder desempeñarse en la pequeña minería, solo están preocupados por la gran minería. En el caso de la carrera de Minas de la Universidad de Moa no cuenta con un Técnico Medio Superior de Minas que pudiese desarrollar estas actividades en el país están preparando líderes operacionales para pagar en parte esa deuda histórica con la pequeña minería.

A modo de conclusión

Se ha de considerar necesario tener una política del Gobierno para la pequeña minería. Independientemente de la legislación existente se debe trabajar con rigor y definiciones más estables para el éxito de este estrato de producción minera en el país. La ausencia de un tramamiento riguroso, conlleva casi siempre a manejar la pequeña minería como un todo, sin reconocer las diferencias sociales, económicas y técnicas que existen entre las empresas.

Por último, un factor necesario para los proyectos de apoyo a esta actividad radica en que los contenidos y acciones deben estar regidos por el mercado. Si en un proyecto de este tipo no tiene en cuenta las condiciones de mercado no garantizará las operaciones mineras, no tendrá la capacidad de fijar precios, y que en consecuencia lo más importante es gerenciar costos.

La asistencia técnica deberá generar las empresas de las pequeñas minas factibles, entendidas como unidades de producción, que produzcan ganancias, y garanticen una gestión empresarial. Que después de los impuestos recupere la inversión efectuada, disponga de liquidez para la operación, pague costos del cuidado ambiental, permita la reinversión y suministre el sustento minero.

Hay que pensar como el Estado Cubano ha de incorporar esta actividad en los municipios en el marco del desarrollo local sostenible. Controlar la contaminación, y otras actividades económicas sociales propias de esta actividad. La Minería pequeña y artesanal necesitan sus leyes, pero su implementación es más necesaria para elevar el PIB de nuestro país. La pequeña minería para Cuba es un gigante que requiere atención.

Para la planificación de la implementación de tecnologías limpias en la MAPE boliviana, es importante determinar el tipo de condiciones locales en el que se ubican las diferentes operaciones mineras. Para esto, es indispensable realizar una inventariación de las operaciones. Estas deben lograr la siguiente información (Zamora Echenique Gerardo et al, 2012):

“Lugar, infraestructura disponible, acceso, comunidades aledañas, datos climatológicos, relieve, hidrografía, geológicos, etc.)

1. Tipo de uso del suelo (áreas protegidas, reservas forestales, etc.)
2. Tipo de yacimiento, características geológico-morfológicas;
3. Tipo de organización de la mina
4. Minerales producidos
5. Tecnología aplicada (métodos de explotación, extracción, beneficio, comercialización, etc.)
6. Impactos ambientales;
7. Datos socio-económicos y culturales”

Nuestra **pequeña minería** no solo se ha de convertir en un aporte a la producción de materiales de la construcción sino también otros minerales útiles de gran importancia para el territorio y el país, sino que es la tecla del desarrollo local de los municipios con escasas fuentes de trabajo. Este sector da empleo y aporta a al desarrollo local sostenible con, empresas pequeñas y artesanales en los territorios.

BIBLIOGRAFÍA

Berrios, Jorge (1997), “La legislación Minera de los Países de América Latina”, CEPAL, Naciones Unidas. LC/R. 1720,

¿ ES MARTE LA ULTIMA FRONTERA ?

Físicos proponen una mega-colonia humana orbitando el planeta enano Ceres

JHONNY E. CASAS¹

¹ Escuela de Petróleo y Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Universidad Central de Venezuela



Cover photo: NASA/JPL-Caltech

CERES

Ceres fue el primer miembro del cinturón de asteroides en ser descubierto cuando el eminente matemático y astrónomo Giuseppe Piazzi (1746-1826) lo detectó el 1 de enero de 1801. Piazzi escribió en su diario:

«*The light was a little faint, and of the colour of Jupiter, but similar to many others which generally are reckoned of the eighth magnitude. Therefore I had no doubt of its being any other than a fixed star. In the evening of the second I repeated my observations, and having found that it did not correspond either in time or in distance from the zenith with the former observation, I began to entertain some doubts of its accuracy. I conceived afterwards a great suspicion that it might be a new star. The evening of the third, my suspicion was converted into certainty, being assured it was not a fixed star. Nevertheless before I made it known, I waited till the evening of the fourth, when I had the satisfaction to see it had moved at the same rate as on the preceding days*».

Piazzi lo bautizó como «Ceres Ferdinandea», en honor a la diosa romana del grano y del rey Fernando IV de Nápoles y II de las Dos Sicilias (1751-1825). El nombre

de Ferdinandea se descartó posteriormente por razones políticas. Ceres resultó ser el primero y el más grande de los asteroides existentes dentro del cinturón de asteroides. Llamado asteroide durante muchos años, Ceres es mucho más grande y tan diferente de sus vecinos rocosos que los científicos lo clasificaron como un planeta enano en 2006.

LA SONDA DAWN

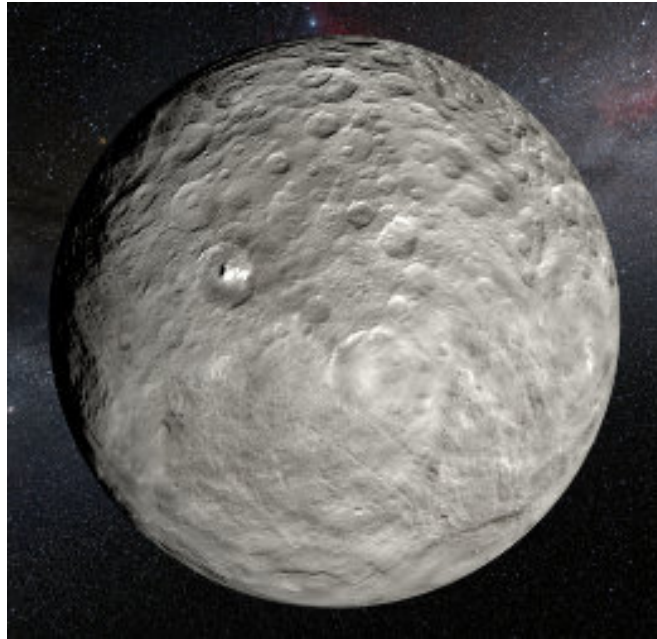
Durante años la NASA planeó una misión a Ceres denominada Dawn. Dawn fue programada para su lanzamiento mediante un cohete Delta 7925-H, que despegaría desde la plataforma de lanzamiento 17-B de Cabo Cañaveral. Fue lanzada el 27 de septiembre de 2007, y exploró primero el asteroide Vesta entre 2011 y 2012 y orbitó el planeta enano Ceres desde 2015 hasta 2018. Ceres se convirtió en el primer planeta enano en recibir la visita de una nave espacial.

La sonda espacial Dawn, llegó al planeta enano Ceres, un cuerpo de 950 kilómetros de diámetro (frente a los 12.742 kilómetros de la Tierra) perteneciente al cinturón de asteroides que hay entre Marte y Júpiter. Poco después la NASA reveló imágenes de Ceres,

captadas con dicha sonda. Ceres es un cuerpo geológicamente activo, con volcanes de hielo y restos de un antiguo océano. Numerosas fotografías fueron tomadas hasta 50 kilómetros de la superficie del astro, las cuales desvelaron nuevas características, como por ejemplo el gran cráter de Occator. Esta abertura de 92 kilómetros de largo y 4 de profundidad, es la zona más brillante de Ceres debido a un material reflectante que tiene en su interior. Los hallazgos ayudaron a descifrar el misterio central de Ceres: Occator se trataba de un cráter de impacto, cubierto de desconcertantes puntos brillantes de sal. Hace tan solo 1,2 millones de años, salmuera subterránea rezumó sobre el lecho de Occator para formar estos depósitos salinos, según sugieren las investigaciones. La intrincada geometría del interior del cráter que contiene hoyos, bóvedas y múltiples fracturas, sugiere una gran actividad geológica en el pasado (el cráter tiene 80 millones de años, muy poco en términos de tiempo geológico). El equipo de la NASA publicó un mapa de color mejorado sobre Ceres, que subraya la diversidad de materiales que tiene en la superficie. Se han visualizado llanuras y montañas que parecen ser de relativa reciente creación.

Los datos recopilados por Dawn, abarcan aproximadamente un año, desde finales de 2017 hasta finales de 2018. Durante las últimas órbitas, antes de agotar su combustible, dichos datos muestran que el planeta enano probablemente tiene líquido salino filtrándose en su superficie, así como montículos y colinas que se formaron cuando el hielo se derritió y volvió a congelarse tras el impacto de un gran asteroide hace unos 20 millones de años. Estas bolsas de salmuera son vestigios de un océano más grande, posiblemente global, que alguna vez existió en Ceres, concluyó el equipo de NASA. Las sales disueltas pueden mantener el agua en estado líquido a temperaturas inferiores a su punto de congelación habitual. En el caso de Ceres, se estima que las salmueras estuvieron a unos -22 °F, lo que requirió seguramente mucha sal y posiblemente mezclada con minerales de grano fino para mantenerse en estado líquido.

Más allá de los volcanes exóticos, los hallazgos añaden a Ceres a la creciente lista de mundos que, en algún momento, contaban con todos los ingredientes necesarios para la vida: agua líquida, energía y moléculas orgánicas con contenido de carbono. Gracias al calor de los impactos de asteroides, los científicos afirman que Ceres pudo haber sido habitable, aunque no necesariamente habitado, durante breves periodos.



Mapa detallado de la superficie de Ceres, a partir de imágenes tomadas por la sonda Dawn de la NASA en órbita alrededor del planeta. Ceres orbita el Sol entre Marte y Júpiter una vez cada 4,6 años. Crédito de la imagen: ESO/L. Calçada/NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

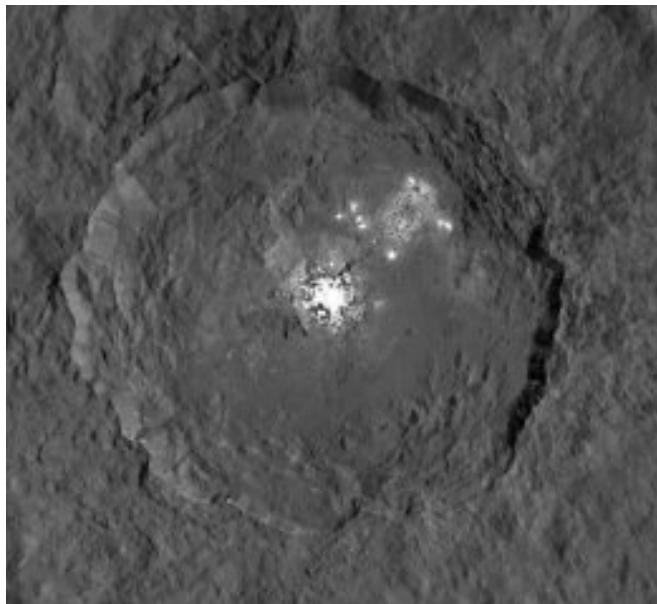


Imagen tomada por la sonda Dawn de la NASA, en órbita alrededor del planeta enano Ceres, muestra las brillantes manchas de material en el cráter Occator. Nuevas observaciones realizadas han revelado diferencias diarias inesperadas en estas manchas, lo que sugiere que cambian bajo la influencia de la luz solar. Crédito de la imagen: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

La sonda espacial Dawn, halló evidencias de material orgánico en el planeta Ceres. Los científicos han usado el espectrómetro visible e infrarrojo de la nave espacial para detectar el material dentro y alrededor del cráter

Ernutet, en el hemisferio norte del planeta. Los investigadores sostienen, además, que los materiales orgánicos son originarios de Ceres y no proceden de un impacto exterior. El hallazgo refuerza la idea de que Ceres tenía en un pasado remoto los ingredientes y las condiciones necesarias para la vida.

ASPECTOS GEOLOGICOS DE CERES

La corteza de Ceres exhibe una composición inesperadamente rica en materiales rocosos, conteniendo aproximadamente un 60% de roca. Este alto porcentaje sugiere un proceso de pérdida significativa de su componente de hielo cortical. Una hipótesis plausible es la sublimación del hielo superficial, posiblemente acelerada si Ceres tuvo un origen en las regiones exteriores del Sistema Solar y posteriormente migró. Alternativamente, la ablación cortical pudo ser el resultado de impactos cósmicos. Ambas explicaciones convergen en un interior que experimentó poca diferenciación, reteniendo una mayor proporción de roca dispersa, aunque algunos hemisferios de Ceres, muestren una superficie intensamente modificada por cráteres de impacto.

Actualmente, Ceres presenta una estructura interna diferenciada, aunque posiblemente simple. En su núcleo se registra una densidad de 2700–2900 kg/m³. Este núcleo está envuelto por una capa de 180 kilómetros de grosor, cuya densidad es menor, oscilando entre 1900 y 2100 kg/m³, y finalmente, una corteza predominantemente rocosa de espesor aún indeterminado.

Una porción de esta capa externa podría alcanzar temperaturas suficientes para posibilitar procesos criovolcánicos, facilitados por la presencia de sales. Esto implicaría la existencia no de un manto de agua líquida pura, sino de un posible "océano de lodo y sales" bajo la superficie. Si se postula que Ceres poseyó originalmente una corteza de hielo prístino, entonces su superficie actual podría interpretarse como la base original de dicha corteza. Esta perspectiva es trascendental: si Ceres albergó en el pasado un océano interior de agua líquida, lo que ahora se observa en la superficie podría ser el fondo sustancialmente modificado de aquel océano. Esta implicación tiene profundas resonancias en el campo de la astrobiología, dada la importancia del agua líquida para la vida.

A pesar de que sus procesos geológicos pueden no exhibir la misma diversidad que los de Plutón, el otro planeta enano ampliamente estudiado, Ceres es inequívocamente un mundo activo con una historia geológica compleja. Su estudio resulta crucial para obtener una comprensión más completa del origen y la evolución temprana del Sistema Solar. Además, su relativa proximidad a la Tierra lo convierte en un objetivo de particular interés para la exploración espacial.

¿UN MEGASATELITE ORBITANDO CERES?

El físico Pekka Janhunen, del Instituto Meteorológico Finlandés, ha desarrollado una novedosa idea para colonizar un lugar distinto a la Tierra, y no se trata de la Luna ni de Marte. En un artículo publicado, Janhunen sugiere que los humanos podrían habitar un satélite gigante que orbite Ceres, el planeta enano en el cinturón de asteroides entre Júpiter y Marte.

Muchos científicos espaciales han señalado las dificultades y los peligros de intentar colonizar la Luna o Marte, ya que ambos poseen entornos extremadamente hostiles. Muchos expertos en el campo han estado promoviendo la idea de construir una estructura lo suficientemente grande como para albergar a decenas de miles de personas en algún lugar del espacio. Pero hacerlo presentaría sus propios retos y problemas. Por ejemplo, financiar la construcción de un proyecto tan gigantesco y proteger a los habitantes de la radiación solar, o ¿cómo proporcionar gravedad?, y ¿dónde se ubicaría la estructura?

En su artículo, Janhunen sugiere que Ceres sería un lugar ideal para ubicar dicha estructura, lo que la convertiría en un satélite de este enano. Señala que dicha órbita estaría lo suficientemente cerca del planeta enano como para que un elevador espacial de unos 1000 kilómetros de longitud, pudiera transportar material desde la superficie hasta el satélite para su construcción y reabastecimiento. El requisito de resistencia del cable es fácil de cumplir, ya que elevar desde la superficie requeriría solo 54 kJ/kg de energía. Después del ascensor, se necesitarían 20 m/s de delta-v para circularizar la órbita. Lo más importante es que Ceres tiene nitrógeno, agua y dióxido de carbono, más que suficientes para sustentar tal proyecto.

Janhunen también visualiza el satélite con forma de plato: lo imagina con más de un kilómetro y medio de largo y con miles de estructuras cilíndricas interconectadas en su superficie para albergar tanto a los humanos, como también para proporcionar espacio para otras necesidades como la agricultura y recreación. También imagina un par de espejos gigantes a ambos lados del satélite para aprovechar la energía solar. También prevé comenzar con una población de 50.000 personas y una densidad de población razonablemente baja de 500/km².

Para la creación de jardines y árboles, se utilizaría un suelo de 1,5 metros de espesor. La masa por persona sería de 107 kg, la mayor parte de la cual consiste en

escudos de radiación y suelo ligeramente procesados. El objetivo es un mundo sostenible a largo plazo donde todos los átomos circulen. Dado que los viajes dentro de los asentamientos pueden realizarse sin propulsor, lograr este objetivo es posible, al menos en principio.

Por otro lado, extraer los materiales de Ceres para construir la mayor parte del satélite es energéticamente económico en comparación con su procesamiento en hábitats, si se utiliza un ascensor espacial. Dado que Ceres tiene baja gravedad y gira relativamente rápido, el ascensor espacial es viable. Ceres es rico en agua, por lo que también sería posible fabricar propelente H_2/O_2 y usar cohetes para elevar los materiales, sin embargo, el ascensor espacial sería la primera opción porque requiere mucha menos energía por masa elevada.

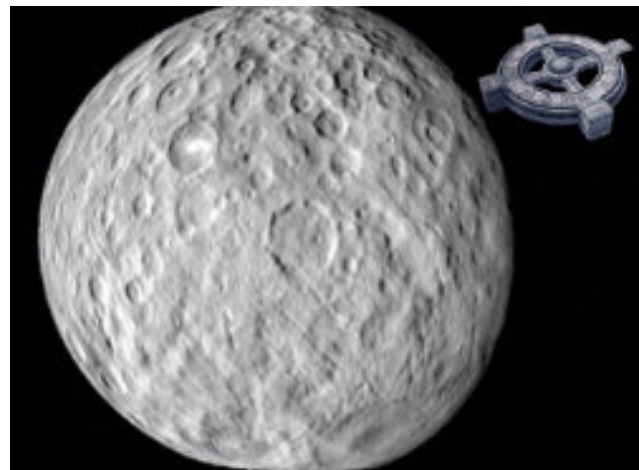
El físico comenta: «Seleccionamos Ceres como el cuerpo fuente porque es más probable que contenga suficiente nitrógeno. El nitrógeno es un elemento crítico, ya que es necesario para las atmósferas de asentamiento. Utilizamos una geometría de disco para el megasatélite porque su simetría elimina el par de marea, de modo que no se necesitan ruedas de reacción para mantener la orientación. Los hábitats estarían iluminados por la luz solar natural. La luz solar se capta en el disco mediante dos espejos planos inclinados a 45° y se concentra a la intensidad deseada mediante espejos parabólicos. La gravedad, podría simularse simplemente girando el satélite a la velocidad adecuada. Se necesitan simulaciones orbitales para determinar cuál es la altitud máxima de una órbita estable a largo plazo alrededor de Ceres».

Otro aspecto clave es preguntarse si una atmósfera de oxígeno puro a presión reducida también funcionaría para la población. Se sabe, gracias a los programas Géminis y Apolo, que los astronautas pueden vivir en dicha atmósfera sin problemas, al menos durante algunas semanas. Sin embargo, con el conocimiento actual, no se pueden descartar efectos a largo plazo en la salud pulmonar. Incluso a presión reducida, y a eso se sumaría que una atmósfera de oxígeno puro también aumenta el riesgo de incendio, ya que no hay gas inerte que contribuya a apagar un incendio. Dado que la densidad de masa del aire sería baja, también dificultaría el vuelo de insectos y aves. Los insectos serían imprescindibles para la polinización, y las personas extrañarían a las aves si no estuvieran presentes. Por lo tanto, se necesitaría una atmósfera

similar a la terrestre con nitrógeno, el cual se puede obtener de Ceres como ya se mencionó.

Al margen de que no habría que preocuparse por cosas como las largas noches lunares, o las tormentas de arena marcianas, Ceres resulta interesante porque podría permitir disponer de un ascensor espacial para extraer del planeta lo necesario. En la Tierra, su construcción sería extremadamente complicada. Ceres, sin embargo, tiene una gravedad inferior al 3% de la Tierra, por lo que, junto a su rápida rotación, hace que la construcción de una estructura así resulte posible y muy económica desde el punto de vista energético. Por lo que el transporte de material sería relativamente simple.

Janhunen finalmente concluye resumiendo: «Hemos analizado un asentamiento megasatélite que proporciona una gravedad de 1 g, interconectividad, capacidad de crecimiento superior a la población mundial actual, 2000 m² de superficie habitable por persona, suelo denso para crear un entorno natural con árboles, además de un clima óptimo y la ausencia de desastres naturales. El asentamiento se construye en la órbita de Ceres mediante la elevación de materiales de Ceres mediante un ascensor espacial. La masa por persona es de 107 kg y la energía de fabricación por persona es de 1013 J. La masa está dominada por los escudos de radiación y el suelo. La energía de fabricación está dominada por materiales estructurales de tracción, como el acero, necesarios para soportar la fuerza centrífuga de la gravedad artificial y la contención de la presión. Los trabajos futuros deberían incluir el análisis de la fase de arranque exponencial y el transporte de personas desde la Tierra a Ceres».



Idealización de una estación espacial orbitando Ceres,

REFERENCIAS GENERALES

JANHUNEN, P. 2021. Terraforming the dwarf planet:

Interconnected and growable Ceres megasatellite world 1-27. arXiv:2011.07487v3 [Physics.pop-ph] arxiv.org/abs/2011.07487 1-27.

WILLIAMS, D., BUCZKOWSKI, D., SCULLY, J., MEST, S., JAUMANN, R. *et al.* 2015. Preliminary Geologic Mapping of the Ac-S-2 Hemisphere of Ceres from NASA's Dawn Mission. EPSC Abstracts, Vol. 10, EPSC2015-134, *European Planetary Science Congress*. https://www.researchgate.net/publication/312195617_Preliminary_Geologic_Mapping_of_the_Ac-S-2_Hemisphere_of_Ceres_from_NASA%27s_Dawn_Mission

<https://www.nationalgeographic.com/science/article/dwarf-planet-ceres-churns-briny-fluids-icy-volcanoes-nasa-dawn>

https://elpais.com/elpais/2016/04/01/ciencia/1459513174_011606.html

<https://solarsystem.nasa.gov/planets/dwarf-planets/ceres/overview/>

<https://science.nasa.gov/dwarf-planets/ceres/>

<https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/jpl/mystery-solved-bright-areas-on-ceres-come-from-salty-water-below/>



jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 38 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú.

Autor/Co-autor en 63 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de más de 40 artículos de divulgación científica.

Profesor de Geología del Petróleo (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2025), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 12 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Counselor para AAPG LACR (2023-2026).

La Habana nos contempla desde sus rocas*

Manuel A. Iturralde-Vinent

Academia de Ciencias de Cuba

El desarrollo de la civilización, desde muy pronto estuvo y seguido estando ligada a los materiales de construcción disponibles en el entorno de los asentamientos, y la Habana es un buen ejemplo de ello. Para construir, transformar y embellecer la ciudad se han utilizado rocas y otros materiales locales, así como provenientes de allende la mar. Pero todos esos materiales tienen su propia historia.

Se puede decir que La Habana surgió de entre las aguas del mar. La sección más antigua fue parcialmente construida sobre un área semipantanosas, mientras que sus cimientos más profundos, son casi todas rocas de origen marino. Hay margas del Eoceno y Oligoceno que se formaron a partir del endurecimiento de cienos acumulados en fondos marinos profundos, hace más de 30 millones de años. Las calizas del Mioceno y Pleistoceno, que tanto se han utilizado en cantería, se acumularon en antiguas plataformas insulares, formadas miles y hasta millones de años atrás, donde existían barras arenosas, arrecifes coralinos y llanuras de seibadal, como se encuentran hoy, en la plataforma insular y en algunas costas de Cuba. Estas rocas emergieron sobre el nivel del mar hace menos de 6 000 años, formando una costa con tramos rocosos, sectores de playas y manglares.

De aquella geografía queda muy poco, a causa de las transformaciones que han ocurrido en estos últimos 500 años, cuando hemos venido rellenado arroyos, pantanos y lagunas; creado profundas oquedades (canteras); y edificando promontorios (edificios) de distintas alturas que albergan familias, oficinas, teatros, museos y monumentos. Por eso se puede sustentar la idea de que La Habana, en cierto sentido, es una ciudad de prehistoria marina.

Los aborígenes fueron los primeros en aprovechar las cavernas labradas por el agua en las rocas calizas como vivienda o templo, y algunas rocas duras a manera de herramientas. En la periferia de la Habana hay tesoros arqueológicos tan interesantes como el enterramiento ritual de la Cueva de la Santa, en Bacuranao, donde aparentemente fue sepultado un cacique, cuya tumba fue

rodeada por los cuerpos de varios guerreros en un círculo cercano, y de numerosos niños en círculos externos, todos sacrificados mediante el golpe certero de un hacha de piedra contra sus cabezas.

Ya durante la colonización, se construyeron las primeras edificaciones gracias a la abundancia de piedra caliza, que era extraída de numerosas canteras que se excavaron entre los límites de la ciudad y progresivamente, hacia su periferia. La más notoria es la situada en la Calle Humboldt, donde el joven José Martí fue condenado a trabajos forzados, quizás reflejo de la práctica de realizar esta minería mediante mano de obra esclava y de convictos.

Aquella cantería inicial explotaba las calizas del Pleistoceno que forman colinas de baja altura cercanas a la costa, pero muy pronto se abrieron canteras en rocas del Mioceno, cuyas cicatrices todavía están presentes en los “hoyos” de El Vedado en las calles F y 21, 23 y 22, así como en los barrios de El Husillo, Río Verde, Cojímar, Jaimanitas, Capellanías, etc. Estas calizas a menudo tienen restos fósiles de animales marinos del Mioceno al Pleistoceno, que se incorporan como elementos del ornamento de los muros y paredes. Los bloques de cantería de algunas paredes y muros se colocan sin cemento, solo en ocasiones se colocan algunos guijarros de roca dura con la doble finalidad de ornamento y ajuste del balance. Ejemplos son, entre muchos otros, antiguos templos, la muralla de La Habana, torreones, y las fortalezas de La Chorrera, La Fuerza, La Punta y la Cabaña (Figura 1), y algunas casas señoriales. Estas calizas son ligeras y porosas, lo cual mantiene los locales frescos y permite labrarlas para crear adornos, como ejemplifican la Catedral, el Palacio del Segundo Cabo, El Torreón de San Carlos y los Castillos de la Fuerza, la Punta, etc.

A veces entre los bloques de cantería se colocaron pequeños guijarros de roca volcánica, extraídos de los lechos de los ríos, que eran utilizados como adorno y para reforzar y balancear la sutura entre los bloques de cantería (Figura 2). Con el paso del tiempo y la continua expansión de la ciudad, las canterías proliferó y surgieron sitios de extracción de roca caliza hacia la periferia hasta El Husillo, el Globo y Río Verde, por mencionar tres de ellas.

Para construir el Capitolio Nacional, el Palacio Presidencial y algunas mansiones particulares en El Vedado, se utilizó una caliza muy resistente que se puede pulimentar y obtener así un elegante acabado (Figura 3). Esta fue



Figura 1. Tramo de la muralla de La Habana y antigua parroquia, confeccionados con bloques de caliza.



Figura 2. Aspecto de las calizas del Mioceno y Pleistoceno en las construcciones de la Habana Vieja, donde se observan corales y ornamentos creados con guijarros. Edificio de la calle Oficio, Plaza de Armas.

extraída de las canteras de Capellanías, situadas al oeste de la ciudad. Aquí es interesante destacar que estas mismas calizas fueron seleccionadas para construir los marcadores de carretera central, dada su probada resistencia a la intemperie. Para enchapar las escaleras, pisos y paredes interiores de las mansiones mencionadas, y en especial del Capitolio, se importaron una gran variedad de mármoles italianos de colores rojo, crema y blanco (Rosso amonítico, Maiólica y Carrara).

Algunas edificaciones de las primeras décadas también se fabricaron con ladrillos, al menos en parte, y sus techos se cobijaron con tejas de cerámica roja. Para la preparación de estos elementos constructivos se utilizaron las rocas amarillo-blancuzcas, relativamente blandas, compuestas de carbonato de calcio y arcilla, denominadas margas, que se extrajeron de canteras anexas a los tejares Consuelo, Andrade y Toledo. También se aprovecharon los suelos de arcilla roja, que aún se explotan entre El Cano y el Wajay, para confeccionar una

gran variedad de cerámica (tiestos, porrones, tinajas y envases decorativos), que sirvieron como adorno de los patios e interior de las mansiones.

Ya desde estos primeros años de construcción de la ciudad se desarrolló la estatuaría ornamental y ritual, elaborada sobre mármoles de carbonato de calcio importados, que con el tiempo fueron en parte sustituidos por otros descubiertos en la isla de la Juventud y otras regiones del país. La construcción de los cementerios de Espada, y después de Colón, incrementó el uso de los mármoles calizos, pero algunas familias prefirieron rocas marmóreas de distinta naturaleza y procedencia, de colores negro, rojizo y verde labradorita, que se importaron de diversos países. Estos mármoles exquisitos también engalanaron la fachada, los pisos, la entrada y el interior de instituciones bancarias y del gran comercio. En la actualidad es frecuente la utilización del mármol gris (Siboney), el rojo Cantabria, y la caliza Jaimanitas con estos propósitos.



Figura 3. Capitolio Nacional desde el Sur. Fachada enchapada con calizas pulidas tipo Capellanías, como se observa en el detalle, donde eventualmente se observan restos fósiles de invertebrados marinos.

Las primeras calles de la Habana colonial eran de fango y piedras, hasta que, mediante un contrato establecido en los primeros años del siglo XX, comenzó la importación de adoquines de granito, procedentes de las canteras de Cape Ann en Boston. Estos venían en distintos tamaños y formas, los mayores para delimitar las aceras y servir como pavimento, y los pequeños, para adoquinar las calles (Fig. 4). En algún momento se importó roca pizarra de color gris oscuro, que sirvió para empedrar tanto algunas aceras como el patio interior de casas y edificios públicos. Finales del siglo XX y en lo que va del XXI, algunas aceras fueron sustituidas por pizarras semejantes, extraídas de canteras situadas en Cuba oriental.

Todas estas rocas sirvieron para construir, engalanar y defender la ciudad desde su fundación, así como para

darle cobija y recrear el alma de los habaneros y visitantes (Figura 5). Con el tiempo y el desarrollo socio-económico, se han visto aparecer estructuras civiles de gran envergadura, verdaderas joyas de arquitectura e ingeniería moderna, como el López Serrano --primer rascacielos cubano--, y las torres del Someillán y del Foxa. En estos, siguen dominando las rocas entre los materiales de construcción y enchapado de paredes y pisos.

En todos los casos, los materiales puestos a disposición de los ingenieros civiles, arquitectos y constructores, han resultado del trabajo de los geólogos e ingenieros de minas, quienes han localizado y puesto a disposición, desde los guijarros, los mármoles y las distintas calizas aprovechadas. Pero estos son los actores generalmente olvidados frente a la magnificencia de las obras.



Figura 4. Aceras con pizarras gris oscuras, contenes con piezas grandes y medianas, así como adoquines grandes y pequeños, todos de granitos de Cape Ann. La entrada de coches está empedrada con cantos rodados. Esquina de Obispo del Palacio del Segundo Cabo. Plaza de Armas.



Figura 5. Parque de la Plaza de Armas con la estatua de Carlos Manuel de Céspedes, esculpida en mármol de Carrara.

Al caminar por las calles de la ciudad vieja, al entrar en sus edificios monumentales, al admirar las texturas y colores de los pavimentos y paredes, podemos percibir que el tiempo y sus memorias, nos contemplan desde las rocas...

(*) Fotos del autor



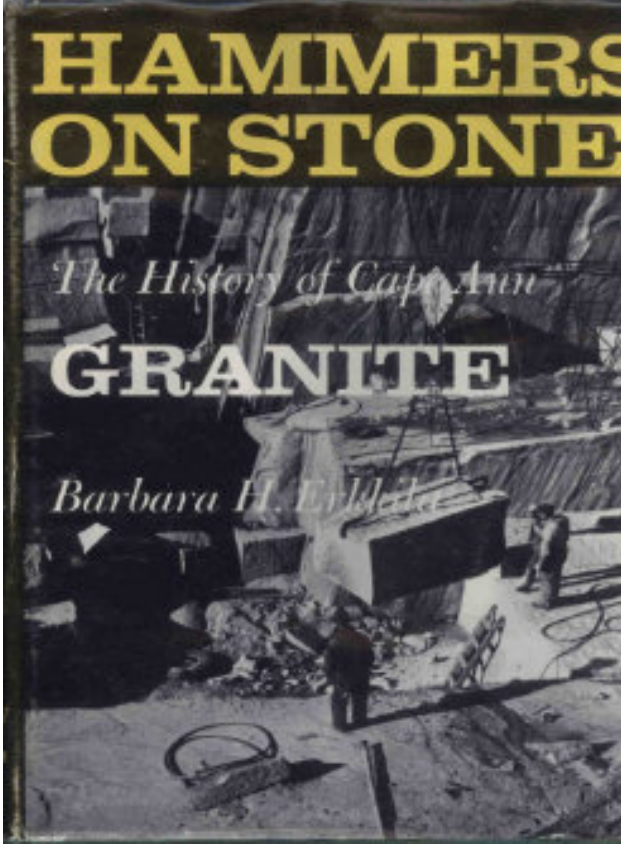
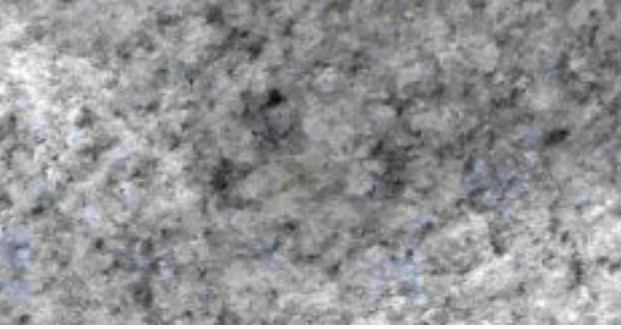
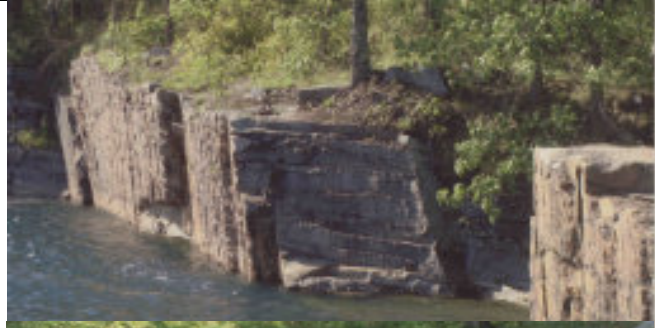
Manuel A. Iturralde-Vinent. Academic emeritus and Doctor in Geological Sciences. Has conducted geological and paleontological expeditions to the Greater Antilles, Central and South América. His leading interests are geology, paleontology, paleogeography and risk assessment. Published several contributions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

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

LA HABANA TE OBSERVA DESDE SUS ROCAS...
LAMINARIO I
Fotos del Autor

Adoquines menores Calle Obispo	Adoquines medianos Calle Obispo
Adoquines grandes Calle Obispo	Contenes de aceras y calles
Adoquines irregulares Calle Obispo	Calle Obispo, Plaza de Armas

LAMINARIO II
CANTERA DE GRANITO EN CAPE ANN
Cortesía de Carl Nelson

Historia de la Cantera de Cape Ann Rockport 	Ruinas de la Cantera en Cape Ann 
Oficinas de la cantera  	Detalle de la cantera abandonada  
Granito de Cape Ann en bruto	Bloques de granito desechados

REPENSAR A ALBERTO SMITH, 1861-1942

José Antonio Rodríguez A.¹
rodriguez.arteaga@gmail.com
 Colaborador de la Revista

RESUMEN

Caracas ha vivido siempre bajo la sombra de los sismos, cronológicamente señalados: 1641, 1766, 1812 y 1900 constituyen hitos que configuraron muy probablemente, la percepción de vulnerabilidad en el valle citadino a finales del siglo XIX, si es que la hubo. Sin embargo, es necesario señalar que el sismo de 1766 bien puede calificarse como foráneo con epicentro al oriente del país. A finales del siglo XIX y producto de las edificaciones construidas *in situ* o importadas de Gran Bretaña y Estados Unidos edificadas o armadas en El Paraíso recibieron el término de “*casas contra temblores*” por sus características de origen. No fue una iniciativa de la prensa circulante que pudo “*aderezar*” el hecho noticioso de las nuevas edificaciones con el término manifestado; ya venían las prefabricadas con alguna norma o código antisísmico de su región de origen, de ello poco se conoce. Sin embargo, la expansión urbana respondió más a los ideales de la modernidad que a *la memoria sísmica* de la población. El Paraíso, concebido como ciudad-jardín, fue un proyecto que buscaba transformar la vida caraqueña: avenidas arboladas, casas con jardines y un aire moderno que contrastase con el centro colonial. Aparentemente no nació como respuesta a un terremoto puntual, sino como apuesta por un nuevo estilo de vida según lo que hemos podido interpretar.

LA HISTORIA DE CARACAS

La historia de la ciudad se entiende mejor en esos términos: proyectos que aspiraban a la modernidad e higiene urbana, frente a una naturaleza que recordaba constantemente su poder; El Paraíso simbolizó esa dualidad: un ideal urbano que convivía con la amenaza sísmica latente y con un agregado, el azote de las inundaciones provocadas por el río Guaire que lo atraviesa.



Alberto Smith fue una figura clave en esa modernización de la capital siendo el profesional que introdujo el hierro y el cemento a finales del siglo XIX en la que sería El Paraíso construida hacia el SO de Caracas. Fueron pioneras en las edificaciones denominadas “*casas antisísmicas*” o “*resistente a los temblores*” luego de la ocurrencia del devastador terremoto de 1900, aunque también impulsor del auge de la ampliación moderna *caraqueña*. Ello plantea un doble ejercicio: ¿se construyó meramente por la modernización que la alejaba de la bulliciosa Caracas colonial?, o ¿para evitar los destrozos con un sismo por venir?

De acuerdo a datos históricos se puede hablar de la inexistencia de un único promotor en su construcción. Ella fue promovida por un movimiento de visionarios y arquitectos como Alejandro Chataing (1873-1928) arquitecto fundamental que diseñó y renovó residencias importantes en la zona, como Villa Zoila, adaptando la arquitectura a las nuevas necesidades que la misma solicitaba; al ingeniero Ricardo Razetti Martínez (1868-1932) profesional que con sus planos y visión, impulsó la expansión urbana hacia la zona a principios del siglo XX y a figuras como Julio Torres Cárdenas (1868-1940). En resumen, no fue una sola persona, sino una conjunción de visionarios, arquitectos y empresas privadas (como *Tranvías de Caracas*) que, como servicio

público facilitó la urbanización, atrayendo a la élite caraqueña. Es así que, a principios del siglo XX, se transforma El Paraíso en la primera respuesta moderna de Caracas independientemente de los desafíos naturales que la aquejaban, rompiendo con el esquema venido de la colonia. En este caso, el ingeniero Alberto Smith cuyo nombre no ha sido mencionado en el grupo es sido considerado como promotor de la “*modernidad constructiva en Venezuela*” repartida en esta primera expansión que tiene Caracas. De tal forma que dicha urbanización se constituye en el primer suburbio habitacional de la alta burguesía caraqueña.

Smith se fue desarrollando para ello, gracias al empuje que le diera, por un lado, la firma del contrato acordado en 1891 entre la administración del presidente de la República Raimundo Andueza Palacios (1846-1900) y la empresa *Tranvías de Caracas* por el otro, cuyos dueños adquirieran los terrenos de la antigua hacienda Echezuria, A Leal (2017:441) y Sosa (2018). El presente ensayo analiza la obra de Smith y sus *casas de El Paraíso* adquiridas por familias de buen poder adquisitivo a objeto, posiblemente, de garantizar la seguridad de sus inversiones ante los riesgos sísmicos que acosaban a Caracas de tiempo en tiempo y de la cual había experiencia previa como la que se señalara anteriormente. Insertas en el texto, se mostrarán a título de ejemplo, el producto de sus planes: al menos 2 de sus edificaciones y el tipo constructivo empleado.

RESPECTO A LA INTRODUCCIÓN DE HIERRO Y CEMENTO

Una breve bibliografía de Alberto Smith

Además de Ingeniero, fue político, hijo de Guillermo Smith, oficial de la Legión Británica y de Concepción Mijares. Cursó estudios superiores en la Universidad Central de Venezuela de la cual obtuvo los títulos de agrimensor en 1879, doctor en filosofía en 1881 e ingeniero civil en 1883, completando su formación en Inglaterra (1883-1885). Trabajó en la construcción del paseo Guzmán Blanco de Caracas (hoy conocido como *El Calvario*) y en el tendido de un tramo del *Gran Ferrocarril de Venezuela*, concluido en 1888. Fue socio fundador

junto a Ricardo Zuloaga de la Electricidad de Caracas (1895) y de la Fábrica Nacional de Cementos en 1907 donde desarrolló el mismo papel que en la empresa eléctrica.

Su presencia fue fundamental al establecer la primera fábrica de cemento en La Vega, Caracas. Esto marcó un antes y un después en la construcción nacional al hacer disponible un material moderno y local: el cemento *Portland*, material de construcción para la fabricación de concreto que, al mezclarse con otros elementos adquiere la propiedad de conformar una masa resistente y duradera, el hormigón, hecho que lo vincula directamente con la promoción y uso de este material en Venezuela facilitando su implementación en proyectos urbanísticos.

Por otra parte, Smith intervino en la construcción de la nueva urbanización, donde incluso emplazó casas prefabricadas, sistemas metálicos ya contruidos previamente a su montaje producidos en Gran Bretaña y Estados Unidos, muchos de ellos de acuerdo al sistema «*Danly*», diseñado y patentado por el ingeniero civil Joseph Danly (1839-1899) (Fig. 1). Dicho sistema modular de hierro prefabricado fue patentado en 1885 compuesto de lámina de hierro fijadas con tornillos, livianas, fáciles de transportar y armar, reduciendo el tiempo de construcción no requiriendo mano de obra especializada. Al respecto la denominada *Casa de Hierro* (1901) conocida luego como *Villa Julia* fue el primer inmueble construido en El Paraíso. Al respecto (González, *com. pers.*, 2025) ha manifestado que el uso de tornillos, unido igualmente al uso de columnas circulares y metálicas reducían aún más los esfuerzos laterales de un sismo, razón para emplearlos, Cabe señalar que, en la observación de una sección circular de las columnas empleadas, éstas hacen que el esfuerzo lateral sea repartido en todas direcciones disminuyendo los esfuerzos. Un comentario de la señora Mónica Panaifo el 1° de marzo de 2022, correspondiente al blog de la Fundación Arquitectura y Ciudad, 2014 señala: *Gracias por la publicación de Danly* [se refiere al ingeniero civil Joseph Danly] *ya que (...) sus casas prefabricadas se vendieron en varios países y en mi ciudad,*



Fig. 1. Sistema modular prefabricado con estructura y cerramientos metálicos cuyo uso se hizo popular en El Paraíso.

Fuente: <https://fundaayc.com/category/crono-arquitectura-venezuela/1900-1909/1901/>

en Iquitos-Peru hay dos estructuras, la casa de fierro y el mercado antiguo (...). Queda así mostrada la amplitud de este sistema constructivo en diferentes países. No obstante, el del hierro seguía siendo un material clave como elemento y también ornamental, al popularizarse el uso de rejas, balcones y quicios decorativos, muchos de ellos importados.

Una lectura sintética señala que (...) *como consecuencia del terremoto que afectó a Caracas el 29 de octubre de 1900, causando muertos, heridos y casas destruidas, un grupo de ciudadanos inicia la importación de un sistema de estructuras modulares prefabricadas para construir «casas contra temblores»* con arreglos y cerramientos metálicos (Fundación Arquitectura y Ciudad, 2017). Estas estructuras, así como la construcción de la nueva urbanización junto a puentes, acueductos, etc., hicieron uso de hierro y cemento, siguiendo las tendencias venidas de otros continentes. Esto plantea 2 puntos de vista: (1) El material empleado fue para protección antisísmica o, (2) Con su uso se iniciaba la modernidad de la ciudad. El repensar el trabajo de Smith establece una doble corriente: - el inicio de la modernización caraqueña con la ejecución de un nuevo centro urbanístico alejando su arquitectura de los viejos cánones coloniales y

proyectando una imagen de progreso y civilización (Fig. 2), o garantizar la protección ante los sismos.

La experiencia de Smith como Ingeniero municipal que resalta su biografía (Diccionario Polar, 1997) en los proyectos ya mencionados le dio un amplio conocimiento en el uso de nuevas técnicas y materiales, incluyendo las estructuras de hierro ya mencionadas. Ahora bien, ¿justificó la construcción de casas en la urbanización El Paraíso como “*estructuras contraterremotos*”, o fue producto de la modernidad en la que entraba Caracas, *la ciudad de los techos rojos*? La pregunta no deja de ser interesante luego del planteamiento hecho por Leal (2017:442) posterior a la consulta del único ensayo hallado por la investigadora que vincula a Smith, los sismos y las estructuras antisísmicas (Silva, 1999): “*Alberto Smith y las construcciones a prueba de temblores a raíz del terremoto de Caracas en 1900*”.

Leal (2017:442) afirma:

(...) *Diversos eventos sísmicos de nuestra historia han inspirado el diseño y la construcción de casas contra temblores, las cuales constituyen un tópico interesante, pero casi inédito en la historia de la ingeniería sismorresistente en nuestro país (...), [antes llamada antisísmica y modificada ex profeso a partir de nuevos*



Fig. 2. Las familias pudientes de Caracas inician la construcción de sus casas particulares las cuales se diferencian de sus anteriores viviendas del centro de Caracas, por ser aisladas, contar con 4 fachadas, más de 1 piso, jardín y espacio para estacionar automóviles. Fuente: <https://fundaayc.com/category/crono-arquitectura-venezuela/1900-1909/1901/>

códigos de construcción por ejemplo el del año 1982 del siglo XX que lo justificaba].

Razón no le falta a su autora al señalar esta frase para lo cual invitamos al lector a la revisión detallada del mencionado trabajo y de otros como los presentados por importantes estudiosos: Franco y Maskrey, 1996; Gasparini y Margolies 1998; Leal Guzmán *et al.*, 2014, entre otros-.

Otros proyectos de Alberto Smith

Su trayectoria no solo fue significativa en El Paraíso, sino que abarcó grandes obras de ingeniería y una importante labor institucional en Venezuela. De sus proyectos y contribuciones más relevantes tenemos (1) El actual parque El Calvario en el que participó en su construcción y diseño; inaugurado en 1883, representó un importante proyecto de embellecimiento urbano y paisajismo en Caracas; (2) En el denominado Gran Ferrocarril de Venezuela en la línea férrea de Caracas a Valencia en la

que trabajó y cuya inauguración data de 1888, contribuyendo al desarrollo de la infraestructura vial del país; (3) Además de la promoción de la urbanización, en parte objeto de este ensayo, para la instalación de estructuras o unidades habitacionales prefabricadas, y (4) La construcción de importantes obras públicas realizadas con motivo del Centenario de la Independencia de Venezuela: como el Panteón Nacional y la edificación de un organismo donde fue probado el uso estructural del nuevo cemento nacional.

HITOS DEL NUEVO URBANISMO Y SUS CONSTRUCCIONES

El terremoto de 1812, antes del correspondiente a 1900, dejó una profunda cicatriz en la memoria colectiva caraqueña unida a las vicisitudes de la Guerra de Independencia.

La introducción del hierro y el cemento 8 decenios después por ingenieros como Alberto Smith fue la respuesta técnica al desafío constructivo que imperaba.

Unido al mismo estaba La adopción de nuevas técnicas, constituidas esencialmente por esqueletos de hierro trabado con cemento (precursor del hormigón armado) para garantizar estabilidad ante los movimientos sísmicos; ello era un factor decisivo para la inversión inmobiliaria y El Paraíso lo tuvo (Fig. 3). Otro de los factores que incidieron en las edificaciones de aquella moderna

urbanización fueron los techos metálicos, que reemplazaron las pesadas tejas de barro por techos metálicos, que redujeron significativamente la carga sísmica de las estructuras. Este proceso no solo fue una mejora ingenieril, sino una declaración social: solo las élites podían permitirse la *tecnología de la seguridad y la modernidad*.



Fig. 3. Armazón de una casa contra temblores (Fuente: Leal, 2017).

Sin embargo, la expansión urbana hacia los nuevos terrenos de El Paraíso, trajo consigo consecuencias sociales por la profundización y segregación socio-espacial que ello trajo. Mientras la nueva élite se mudaba a estas lujosas y seguras casas, el centro histórico y sus alrededores comenzaron a ser ocupados por la clases media y popular manteniendo la estructura antigua de la colonia con sus consabidos problemas de hacinamiento y salubridad. La Caracas decimonónica era, por lo tanto, una ciudad dual: un centro tradicional y un sector emergente y moderno que simbolizaba la esperanza de un futuro tecnificado y próspero, aunque accesible solo para una minoría.

CONCLUSIONES

La ciudad de Caracas es un valle a la “sombra de los terremotos” que de una u otra manera la han azotado. En el caso que ha sido atendido corresponde a finales del

siglo XIX. El él se fue configurando la percepción de vulnerabilidad sísmica basada en un evento puntual, el sismo del 900’ -posible y no seguro- pues se le han dedicado escasos artículos y las características mostradas por lo pronto no han apuntado a las condiciones de fundación y del suelo y sí, en parte, al tipo de edificación. Cemento y hierro han imperado en todo el discurso y además es menester mencionar al ingeniero A. Smith, como el iniciador de la modernidad urbanística caraqueña, no solamente dedicado a estos menesteres, sino a otro tipo de estructuras como aparte era característico de muchos de los profesionales de ese entonces.

Como colofón esta nueva urbanización, trajo consigo un nuevo modelo de “futuro tecnificado” al cual solamente tuvieron acceso algunas familias. Muy a nuestro pesar, muchas de estas casas aun cuando pudimos oír de su

existencia, no llegamos a conocerlas, la “picota” de la renovación continua caraqueña cayó sin misericordia sobre las mismas y fueron echadas al suelo alejándonos de valores intangibles de la cultura capitalina por ese afán de destruir lo que por derecho bien pudo constituirse en patrimonio cultural de la capital venezolana.

BIBLIOGRAFÍA

FRANCO E, MASKREY A. 1996. *Los desastres del Alto Mayo, Perú, de 1990 y 1991*. (Maskrey A Ed.). Terremotos en el trópico húmedo. La gestión de los desastres del Alto Mayo, Perú (1990, 1992), Limón, Costa Rica (1991) y Atrato Medio, Colombia (1992). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Lima, Perú, pp. 29-30.

FUNDACIÓN ARQUITECTURA Y CIUDAD. 2014. *Construcción de primeras casas en El Paraíso*. <https://fundaayc.com/2014/05/10/1901-construccion-de-primeras-casas-en-el-paraiso/>

FUNDACIÓN ARQUITECTURA Y CIUDAD. 2017. 1901, *Se inicia la importación de un sistema modular prefabricado para construir «casas contra temblores»*. <https://fundaayc.com/2017/08/09/1901-se-inicia-la-importacion-de-un-sistema-modular-pre-fabricado-para-construir-casas-contra-temblores/>

AGRADECIMIENTOS

El suscrito desea dar su agradecimiento a los doctores André Singer, Alejandra Leal Guzmán y Jorge González por aclarar algunos puntos surgidos en este trabajo y sobre todo a éste último que nos dio luces en algunos aspectos “antisísmicos” del tipo de estructuras empleadas y la disipación de la energía en ellos.



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

GASPARINI G, MARGOLIES L. 1998. *Arquitectura de tierra cruda en Venezuela*. Armitano Ed., Caracas, Venezuela, pp. 50, 91, 135.

LEAL GUZMÁN, A.; RODRÍGUEZ, J. A. y AUDEMARD, F. A. 2014. *A prueba de temblores. Reflexiones sobre construcciones y sismorresistencia en la Venezuela de 1900. Caso del sismo de San Narciso del 29 de octubre de 1900*. Boletín ANIH. 26(1):89-134. https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/BOLETIN_26.pdf

LEAL, G., A. 2017. *Las casas contra temblores. Un aporte al estudio de la ingeniería sísmica en Venezuela*. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. 29:441-451. https://www.researchgate.net/publication/262825217_A_Pueba_de_Temblores_Reflexiones_sobre_Construccion_y_Sismorresistencia_en_la_Venezuela_de_1900_Caso_del_Sismo_de_San_Narciso_del_29_de_octubre_de_1900

RODRÍGUEZ C., M. 1997. *Alberto Smith*. Diccionario Polar <https://bibliofep.fundacionempresaspolarg.org/dhv/entradas/s/smith-alberto/>

SOSA, D. 2018. *La plaza Washington y la urbanización El Paraíso*. La Guía de Caracas, <http://laguiadecaracas.net/60259/la-plaza-washington-y-la-urbanizacion-el-paraiso/>

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

Fotografías de campo con el maestro Bernardo García Amador (UNAM).



Prácticas de campo del curso de Sedimentología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Alrededor del poblado Los Reyes Metzontla, Puebla, México.

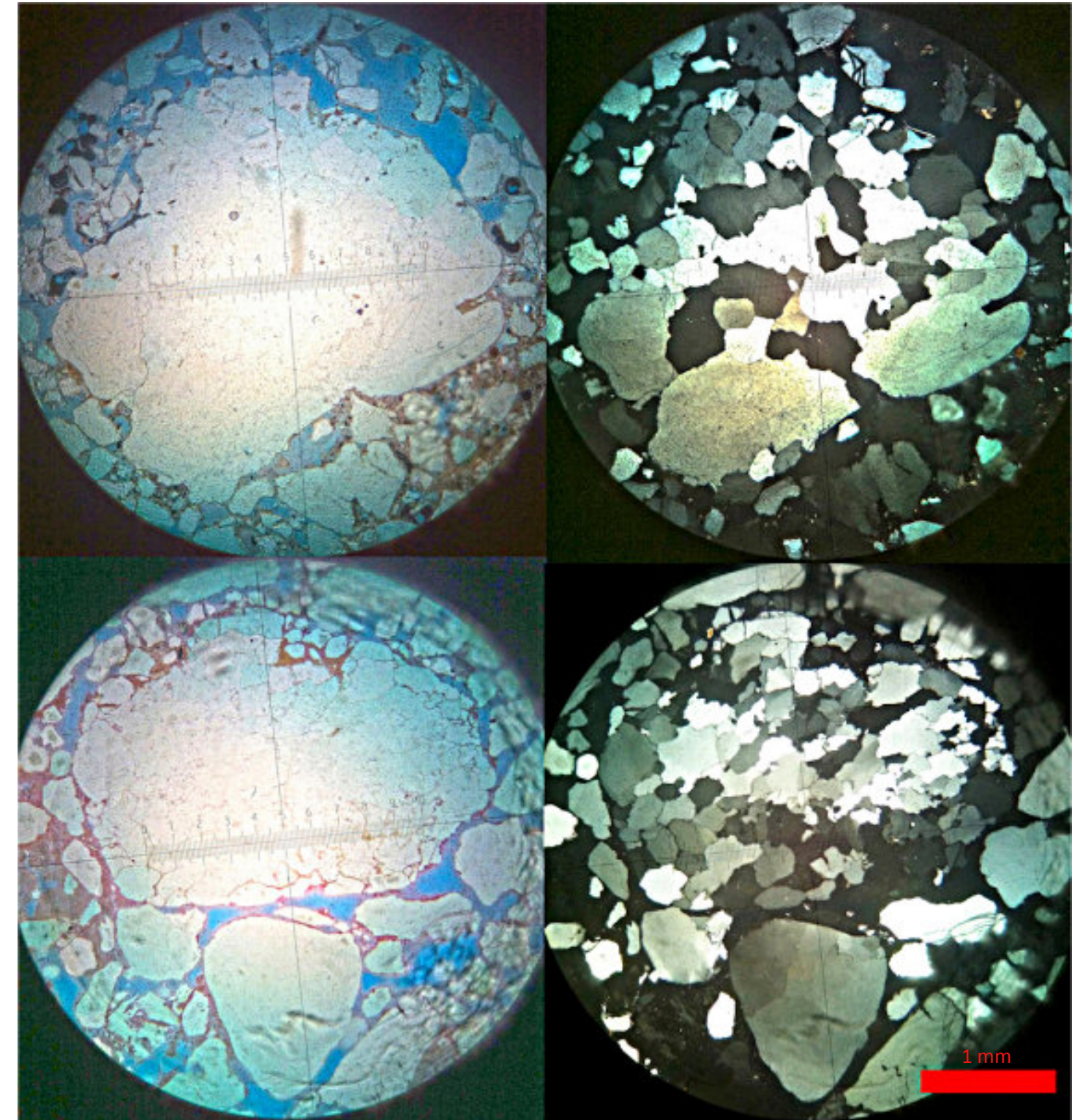


Trabajo de campo en Acajutla, El Salvador. Muestreo de sedimentos costeros en una trinchera cavada en la cercanía de la playa. Estudiantes de la carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad de El Salvador.

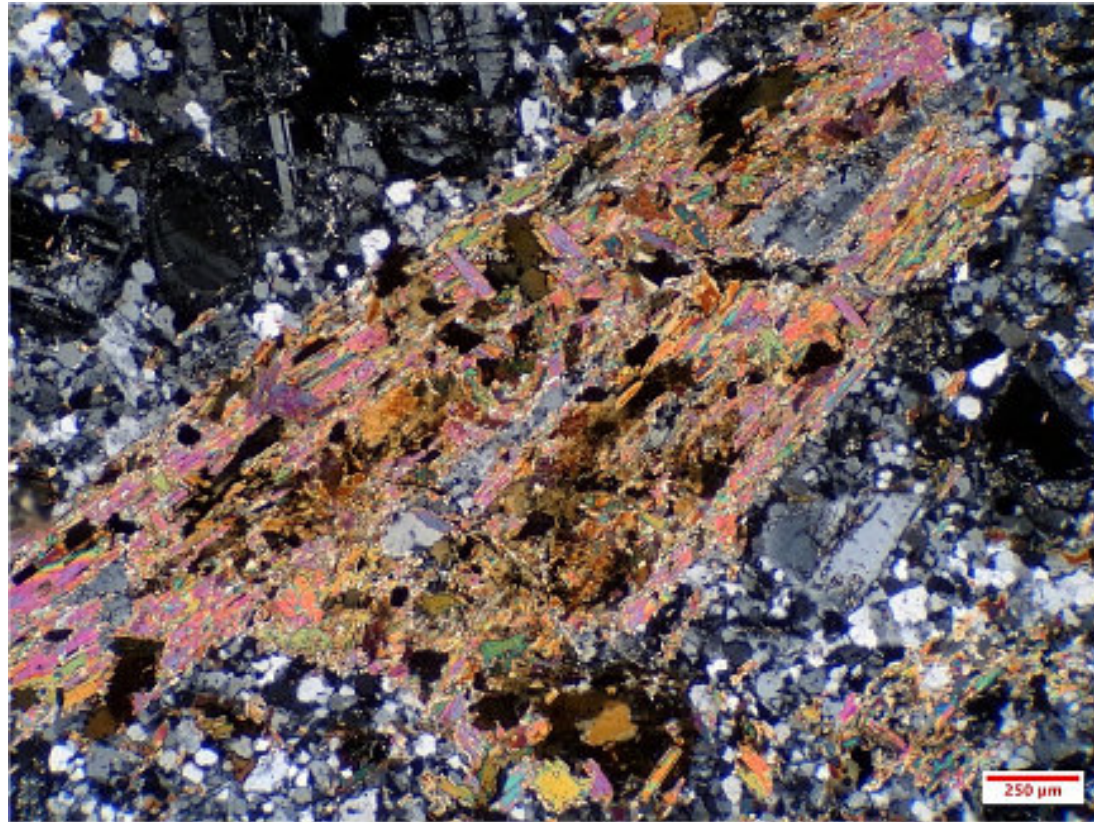




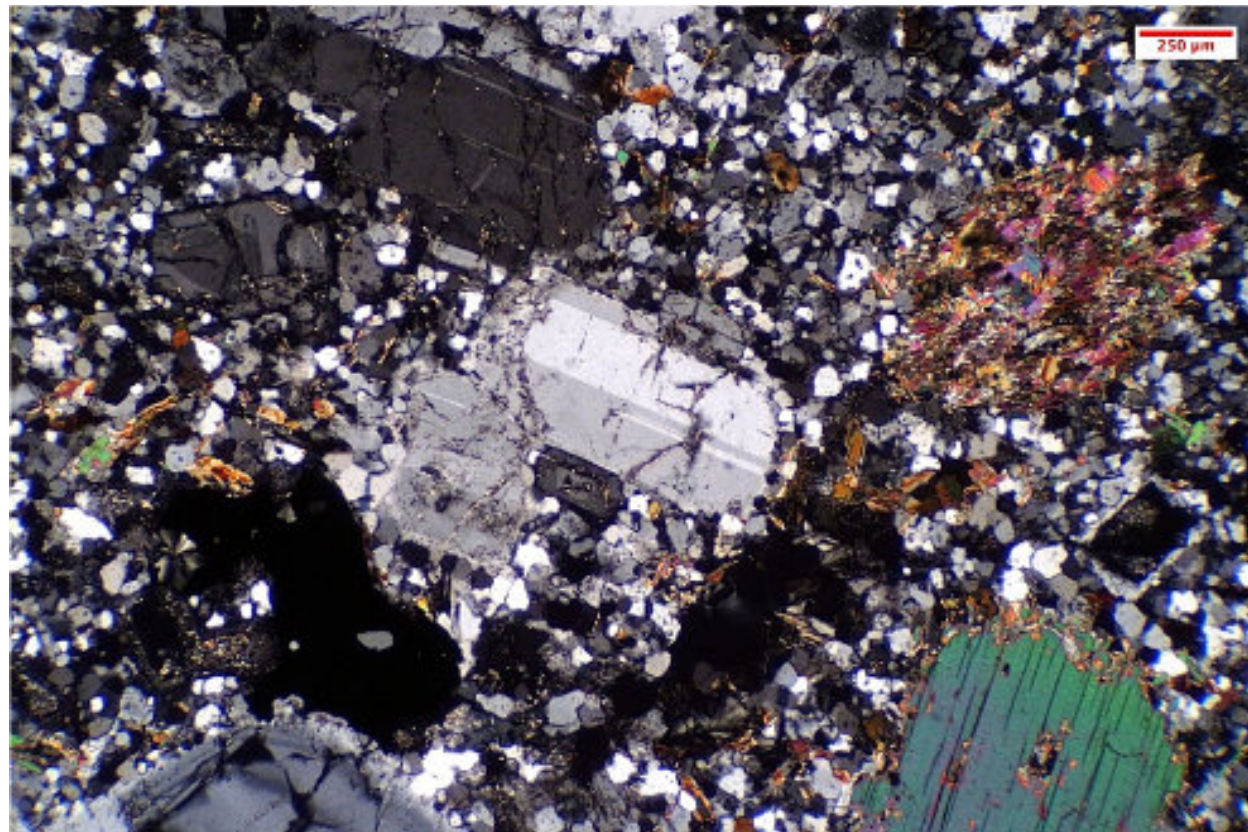
Sigmoides gnéísicos dentro de milonita, cortada por diques máficos. Falla Caltepec, Puebla, México. Foto de **Bernardo I. García-Amador**.



Cuarzos policristalinos dentro de la Formacion Oficina (Mioceno) en la Faja Petrolifera del Orinoco. Estos cuarzos provienen de las rocas metamórficas del Complejo Imataca (2700-3600 Ma). Fotomicrografía de **Jhonny E. Casas**.



Detalles de la composición mineralógica del pórfido cuprífero de Ixtacamaxtitlán, Estado de Puebla, México. Tritlla, J., Camprubí, A., Morales-Ramírez, J. M., Iriondo, A., Corona-Esquivel, R., González-Partida, E., ... & Carrillo-Chávez, A. (2004). The Ixtacamaxtitlán kaolinite deposit and sinter (Puebla State, Mexico): a magmatic-hydrothermal system telescoped by a shallow paleoaquifer. *Geofluids*, 4(4), 329-340.



Una fotografía de los años 90's. Tomando pulque con algunos compañeros de Pemex y del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), durante un viaje de campo para reconocer la estructura y la estratigrafía de la Sierra Madre Oriental.

De izquierda a derecha: Agustín Galindo, Joshua Rosenfeld (Amoco), Javier Banda, Jaime Patiño, Roberto Flores (QEPD) y Cruz Bartolo (QEPD).



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

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

Comunícate con

Bernardo García-Amador
bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOCIENTÍFICAS

Las corrientes termohalinas y su capacidad de transporte de sedimento global.

Parte 2

Ramón López Jiménez
Consultor, Instructor e Investigador independiente
en Channels Geoconsultancy
r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

En la parte 1 diferenciamos entre dos tipos de corrientes: (1) las de ambiente marino poco profundo que están controladas por las mareas y (2) aquellas corrientes puramente gravitacionales asociadas a desprendimientos de sedimento o roca en zonas relativamente cercanas a la línea de costa (llamados generalmente corrientes turbidíticas). Podríamos añadir que el primer tipo son periódicas y predecibles, ya que están controladas por el efecto de los campos gravitatorios de la luna y el sol, mientras que el segundo tipo son 'esporádicas' e más difícilmente predecibles (salvo por ejemplo cuando hay grandes descargas de ríos en la plataforma continental).

Ambos tipos de corrientes erosionan y depositan sedimentos en el fondo marino, pero hay otro tipo de corrientes que pueden hacerlo también: las corrientes termohalinas. Estas corrientes son movimientos de grandes masas de agua marina a escala tanto regional como global controladas, una vez más, por la gravedad. Como el propio nombre sugiere la temperatura (termo) y la salinidad (halina) del agua Marina son los elementos clave que hacen que el agua se mueva. Dicho sencillamente, cuanto más fría y más salada esté el agua, más densa esta será y esto hará que el campo gravitatorio de la tierra la atraiga a una posición más cercana al centro terrestre; esto es, el fondo marino (ver los aspectos clave de las corrientes termohalinas en la Tabla 1).

Table 1. Thermohaline currents: Key Info

Mean cause for the water movement	Differences in density because variations of temperature and salinity: The Earth gravity field 'takes' denser water closer to the seafloor.
Alternative causes and phenomena that partially controls the current direction	Tidal-related currents, Coriolis force
Name given to some of these currents when transporting sediments	Bottom currents, drift currents, nepheloid layers
Types of produced bedforms (from photographs)	Ripples, barchan-like sediment waves, straight waves, scours of multiple geometries and more (dimensions from millimetres to kilometres)
Names for different types of deposits depending of their internal structures (from seismic data)	Drifts, moats (dimensions in the range of kilometres)
General name to their resultant deposits	Contourites

Las corrientes termohalinas pueden ocurrir básicamente en cualquier profundidad. Pueden empezar en la misma superficie del mar, como explica el "dense shelf water cascading process" (Canals et al., 2006) y han sido observadas en las zonas más profundas de los océanos, las fosas de subducción (Thomson et al., 2010). Las corrientes termohalinas aún no se comprenden bien ya que están conectadas a un complejo sistema que integra a la atmósfera y a la dinámica de los océanos. La acción combinada de la fuerza del viento sobre la superficie oceánica con el Efecto Coriolis produce una serie de remolinos a escala regional llamados Giros (Gyres). Estos Giros están también conectados con corrientes ascendentes y descendentes oceánicas portadoras de gran cantidad de nutrientes la cuales son capaces de alcanzar el fondo marino (ver *Upwelling* y *Downwelling currents* en la Figura 1).

Simplification of the global seawater circulation

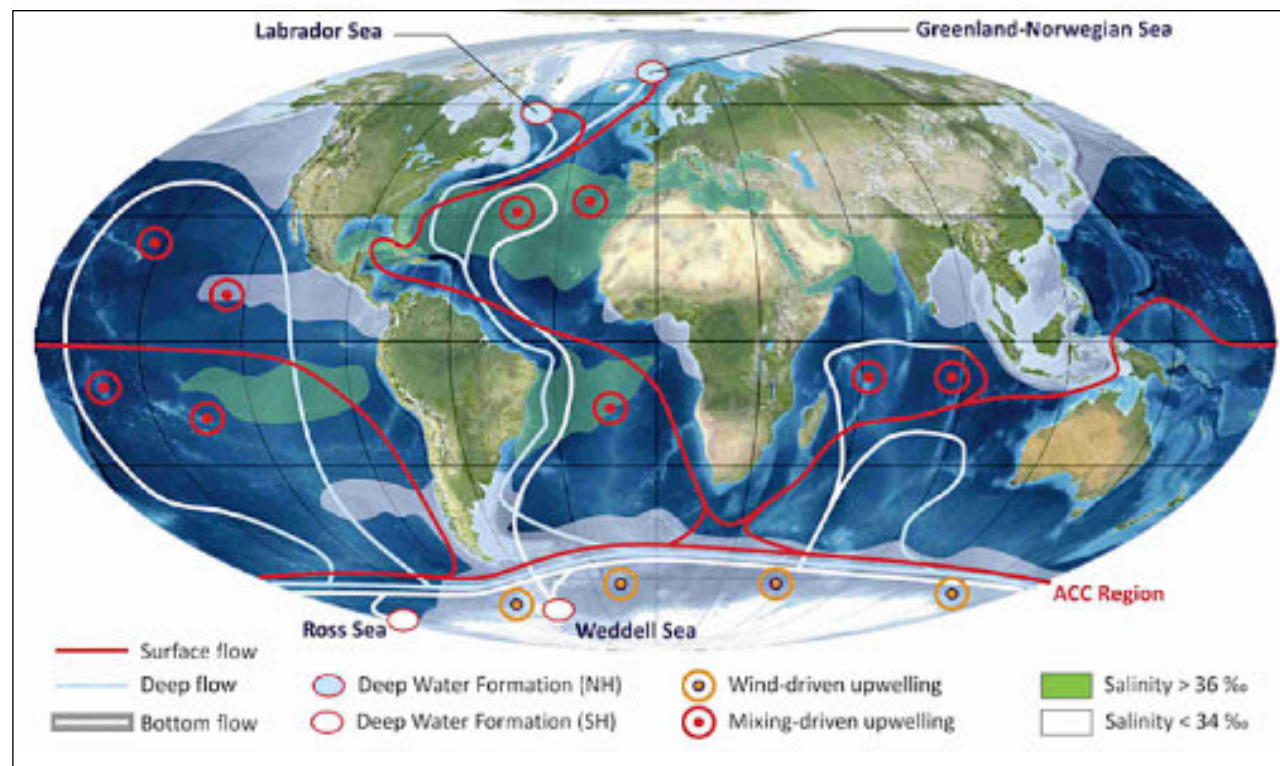


Figura 1. La circulación global termohalina Esta proyección de Mollweide de la Tierra muestra una simplificación de las corrientes superficiales y en profundidad a escala global y regional donde el agua se hunde (Deep water formation o downwelling) y donde asciende a la superficie (upwelling) a causa de las diferencias de densidad. Fuente: Rebesco et al. 2014.

Si buceamos hasta profundidades abisales donde hay corrientes termohalinas veríamos ripples y 'excavaciones' producidos por las corrientes termohalinas (ver tabla 1). Sin embargo, en una escala mucho mayor sobre el fondo marino estas corrientes crean acumulaciones de capas de sedimentos en el fondo oceánico con geometrías (visibles en datos sísmicos) que pueden ser similares a aquellas que se observan también en los sistemas de canales submarinos que se forman por corrientes esporádicas puramente gravitacionales (del tipo 2 mencionado al principio). Los depósitos producidos por las corrientes termohalinas alrededor de los canales son en general de mayores dimensiones que los *levees* y están típicamente formados por sedimentos de grano más fino. Identificar un depósito formado por corrientes puramente termohalinas (contornitas) de otros producidos por corrientes gravitacionales esporádicas (turbiditas). Algunos canales termohalinos están conectados a canales submarinos en el margen continental producidos por corrientes puramente gravitacionales y corrientes mareales. Una de las áreas más estudiadas de este tipo es el Golfo de Cádiz (Figura 2).

Example of themohaline pathways and their deposits

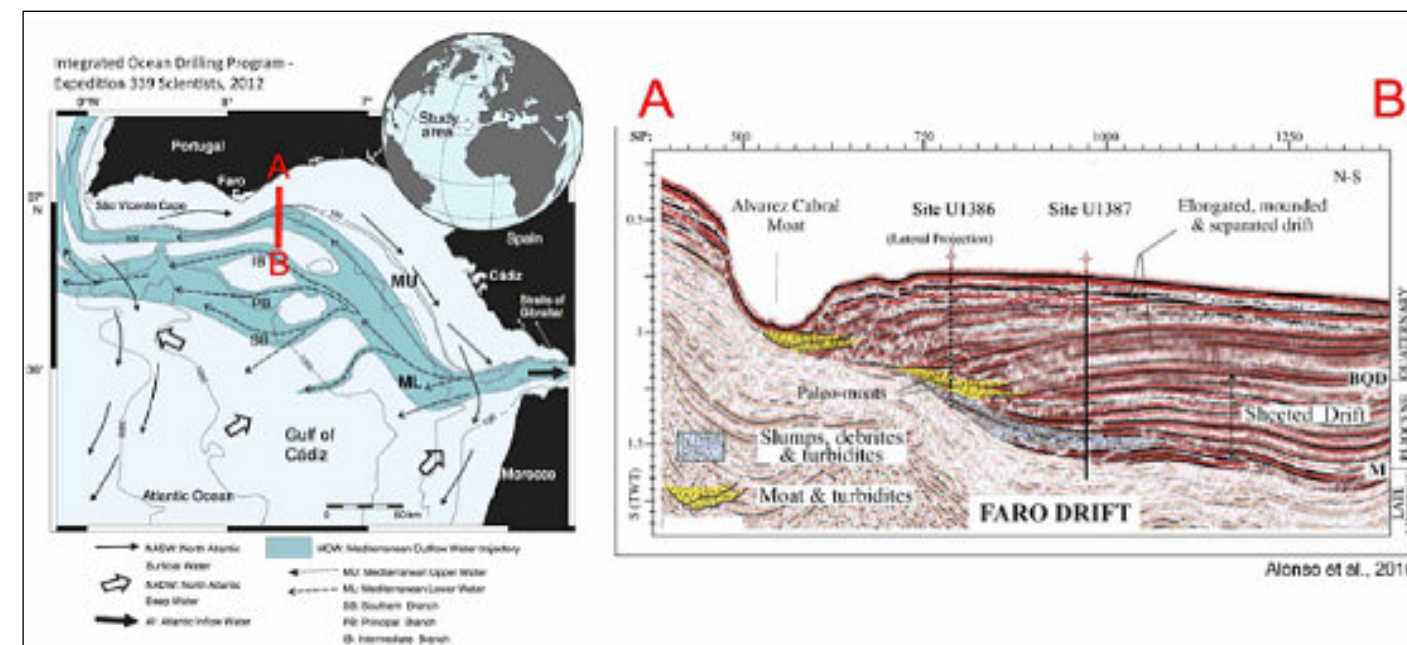


Figura 2. Los canales termohalinos del Golfo de Cádiz. La figura de la izquierda muestra los continentes en negro y el agua en azul. En azul oscuro, se muestran los canales termohalinos conectados con el Estrecho de Gibraltar. La figura a la derecha muestra una sección sísmica del canal termohalino más al norte, el cual ha producido un drift o pseudo-*levee* que se ha llamado Drift Faro (ver línea A-B en la figura de la izquierda).

Es fácil suponer cómo de importantes son las corrientes termohalinas en el control y evolución del clima global. De hecho, se asume que estas corrientes tienen un papel crucial en el control del clima global, pero el impacto que tienen en los procesos físicos y químicos oceánicos no es está bien comprendido. Por tanto, está aún en discusión cuáles son los efectos del cambio climático producidos por el ser humano en las corrientes termohalinas y cómo finalmente esto impacta en los sistemas marinos profundos geológicos y biológicos. La clave es, más investigación.

Más información acerca de las corrientes termohalinas y el clima global en:

<https://easac.eu/publications/details/a-sea-of-change-europes-future-in-the-atlantic-realm/>

Referencias

- Alonso, B., Ercilla, G., Casas, D., Stow, D.A., Rodríguez-Tovar, F.J., Dorador, J. and Hernández-Molina, F.J., 2016. Contourite vs gravity-flow deposits of the Pleistocene Faro Drift (Gulf of Cádiz): Sedimentological and mineralogical approaches. *Marine Geology*, 377, pp.77-94.
- Canals, M., Puig, P., de Madron, X.D., Heussner, S., Palanques, A. and Fabres, J., 2006. Flushing submarine canyons. *Nature*, 444(7117), pp.354-357. Integrated Ocean Drilling Program - Expedition 339 Scientists, 2012. Mediterranean

outflow: environmental significance of the Mediterranean Outflow Water and its global implications. IODP Prel. Rept., 339. doi:10.2204/iodp.pr.339.2012.

Rebesco, M., Hernández-Molina, F.J., Van Rooij, D. and Wåhlin, A., 2014. Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. *Marine Geology*, 352, pp.111-154.

Thomson, R.E., Davis, E.E., Heesemann, M. and Villinger, H., 2010. Observations of long-duration episodic bottom currents in the Middle America Trench: Evidence for tidally initiated turbidity flows. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C10).



Ramón López Jiménez

Consultor, Instructor e Investigador independiente en Channels Geoconsultancy

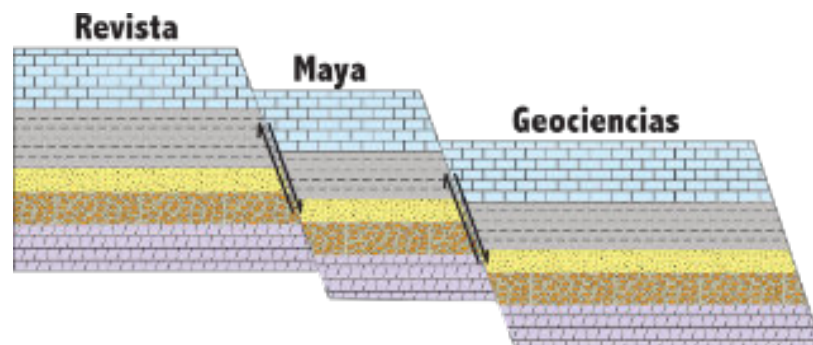
Ramón López (Ph.D.) es un geólogo con 14 años de experiencia en investigación y en varios sectores de la industria y servicios públicos. Es un especialista en obtención de datos en campo, su análisis y su conversión a diversos productos finales. Ha trabajado en EEUU, Mexico, Colombia, Reino Unido, Turquía y España. Su especialidad es la sedimentología marina de aguas profundas. Actualmente realiza investigación en afloramientos antiguos de aguas someras y profundas de México, Turquía y Marruecos en colaboración con entidades públicas y privadas de esos países. Es instructor de cursos de campo y oficina en arquitectura de yacimientos de aguas profundas y tectónica salina por debajo de la resolución sísmica.

www.channelsgeo.com

www.linkedin.com/in/ramon-lopez-jimenez

www.twitter.com/Montxolopez

www.researchgate.net/profile/Ramon-Lopez-Jimenez



ALLOSTRATIGRAPHY OF FALHER MEMBER D, SPIRIT RIVER FORMATION (LOWER CRETACEOUS), ALBERTA, CANADA

JHONNY E. CASAS¹

¹ Escuela de Geología, Minas y Geofísica y de Petróleo, Universidad Central de Venezuela



Core 6-25-71-10W6

INTRODUCTION

Allostratigraphy constitutes the sole established methodology for the formalization and nomenclature of stratigraphic units delimited by observable bounding discontinuities (unconformities or unconformity-equivalent surfaces). Conversely, sequence stratigraphy presents a robust conceptual framework for the interpretive analysis of allostratigraphic units, positioning them within the context of cyclic eustatic and/or tectonic forcing governing changes in accommodation space and sediment accumulation rates.

Both allostratigraphy and sequence stratigraphy address the stacking of sedimentary rocks, but they serve different functions. Allostratigraphy is the formal, generic descriptive system, defining and naming rock units (alloformations or allomembers) purely by observable bounding discontinuities for the purpose of stable, objective nomenclature. In contrast, Sequence stratigraphy is a powerful interpretive model that explains the formation of these discontinuities and rock packages (sequences, systems tracts) as a function of cyclic changes in the balance between accommodation space and sediment supply, driven primarily by eustasy. While sequence stratigraphy is invaluable for understanding and predicting stratigraphy, its current lack of universal terminological, semantic ambiguities and consistency, prevents it from being used for the

formal naming of rock units, a role reserved exclusively for the descriptive framework of allostratigraphy. For example, Miall (2010) asserted that applying the term "sequence" to autogenic deposits is misleading. Consequently, the designation of "parasequence" should be reserved strictly for allogenic, regionally extensive regressive or transgressive units that formed over a geological timescale.

The Falher Member (Spirit River Formation) provides an excellent opportunity to study well-cored successions and systems tracts in nonmarine to marine settings and how relative sea level changes affected the facies distribution. The study will be concentrated in Falher D unit where the core control will allow the correlation of these systems tracts and the identification of facies changes within the systems tracts. The study area (Figure 1) was selected where Falher D change from nonmarine facies in the south to shore-zone and basin facies to the north (Cant, 1984; 1995), because it is in the transition zone where the sea level changes are best documented. This makes this study area an ideal location for a detailed stratigraphic study of the lateral and vertical relationships of facies.

The Spirit River Formation (Upper Mannville Group) is a 350 m thick clastic wedge which prograded into an epeiric Boreal Sea in Alberta and British Columbia during the Early Cretaceous as a result of tectonic

events in the Cordilleran orogenic belt of western Canada. The Spirit River Formation is divided into three lithostratigraphic members (Figure 2): the Wilrich, Falher and Notikewin. Within the Falher, five units (Falher A through Falher E) are recognized, each of them composed of a coarsening upward sandbody capped by regionally extensive coals or coaly mudstones. Previous authors have based the subdivision of the Falher Member on the occurrence of these capping coals (Jackson, 1984; Smith, *et al.*, 1984; Cant, 1984) but some papers demonstrate the presence of new stratigraphic units and associated bounding discontinuities within the existing Falher A and B units (Rouble & Walker, 1994; Cant, 1995) and Falher D (Arnott, 1994).

THE STUDY AREA AND DATABASE

The study area is located in west-central Alberta (Figure 1). In this area a thick wedge of sedimentary rocks is part of the filling of the Alberta Foreland Basin, which was created as a response to lithospheric loading by an arc during the Middle Jurassic. This caused subsidence from the Upper Jurassic to the Eocene. The rocks of the Alberta foreland basin are now contained in four major structural elements, (1) the eastern part of the Rocky Mountain belt, (2) the folded and thrust Foothills belt, (3) the area of maximum subsidence (foredeep) and (4) the broad, undeformed platform of sediments to the east that comprises the Plains of the Alberta Foreland Basin (Jackson, 1984; Cant, 1989).

Within the Plains, the area adjacent to the Foothills in western Alberta and eastern British Columbia is termed the "Deep Basin" (Figure 1), because of the depths of present oil and gas drilling targets. The northwestern part of the "Deep Basin" within the study area was also referred as the Elmworth/Wapiti area (Smith *et al.*, 1984). The study area covers about 5200 km² and extends from Township 66 to 73 and Ranges 7-13, west of 6th meridian (Figure 1). The database consists of 333 well logs; 60 of them with cores in Falher D.

REGIONAL STRUCTURAL SETTING

Stratigraphic, paleontologic and geochronologic data presented by van der Heyden (1992) suggest that the tectonic features of the Western Canadian Cordillera can be interpreted in terms of Middle Jurassic accretion of a single composite superterrane (Stikinia/Wrangellia/Alexander) to ancestral North America in a single arc collision event. The Coastal belt is interpreted primarily as the result of successive

intraterrane, magmatic, metamorphic, structural and stratigraphic overprints related to prolonged subduction of Pacific Ocean lithosphere beneath the North American margin. The Insular and Intramontane superterrane, previously viewed as widely separate entities prior to mid-Cretaceous time, were already amalgamated to the Coastal belt before Middle Jurassic.

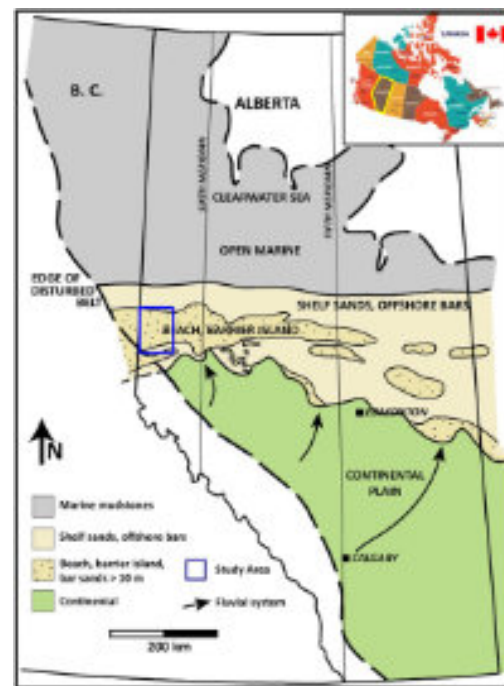


Figure 1. Falher paleogeography (Units C, D and E) in Alberta, simplified from Jackson, 1984, p. 74, but using his terminology. Dash-dot line to the north indicates the erosional edge of the Upper Mannville. Study area is shown by rectangle in west-central Alberta, covering Townships 66-73, Ranges 7-13W6. Dashed line symbol to the west/southwest, denotes edge of Foothills deformed belt. Modified from Newitt & Pedersen (2022).

The tectonic evolution of all these areas was the result of prolonged east dipping subduction in a primary subduction-related Andean magmatic arc, which created a complex succession of magmatic arcs and related intraterrane compressive and extensional structures (van der Heyden, 1992). During the Middle Jurassic, a foreland basin was created by lithospheric loading of the arc. The basin was affected by two large basement structures which originated in the Paleozoic, but which also affected sedimentation in the Cretaceous, the Peace River Arch and the Sweetgrass Arch (Figure 4). They moved upward and downward, probably in response to thrust loading in the Cordillera, affecting the stratigraphy, facies distribution and thicknesses of the units overlying them (Cant, 1989; O'Connell *et al.*, 1990). The foreland basin continued

subsiding and receiving sediments until the Eocene when the basin was filled.

REGIONAL DEPOSITIONAL HISTORY OF THE LOWER CRETACEOUS IN ALBERTA

Following a period of Early Cretaceous (Hauterivian) uplift and erosion, the area began to subside and receive sediments from the rising Cordillera to the west. During the Barremian, alluvial fan and braid-plain conglomerates of the Cadomin Formation were deposited, followed by Aptian fluvial and delta plain sediments of the Gething Formation (Smith *et al.*, 1984). In early Albian time, continued subsidence of the trough resulted in a major transgression from the north by the Boreal sea. This event is represented by the coastal and shallow marine sandstones of the Bluesky Formation (Figure 2). The Bluesky was capped by the marine shales of the Moosebar Formation and the Wilrich Member (Spirit River Formation) as the Boreal sea continued to deepen and advance southward (Smith *et al.*, 1984). During middle-to-late early Albian time, a major flood of sediment restored the continental conditions. The regressive, coastal/deltaic sandstones and conglomerates of the Falher and Notikewin members from the Spirit River Formation (Figure 2), represent the northward advance of the coastline during this period of marine retreat (Smith *et al.*, 1984).

Another major marine transgression occurred during the early part of the middle Albian. This event is represented by the marine shales of the Harmon Member (Figure 2), which cap the Notikewin Member. A well-developed regressive cycle, represented by the coastal plain to shallow marine sediments of the Paddy and Cadotte members (Figure 2) occurs within this transgressive pulse, which continued until at least the end of Albian time (Smith *et al.*, 1984). Caldwell *et al.* (1978) identified the *Marginulinopsis collinsi-Verneulinoides cummingsensis* Subzone (early middle Albian) in the middle-upper part of the same formation and in the Clearwater Formation, both equivalents of Falher-Wilrich Members (Figure 2). For the transition between the Moosebar Formation and Notikewin Member, the same authors identified the zone *Gaudryina nanushukensis* Zone (middle Albian), and for Falher Member the subzone Strictch & Schroeder (1999) defined the subzone *Haplophragmoides gigas minor*.

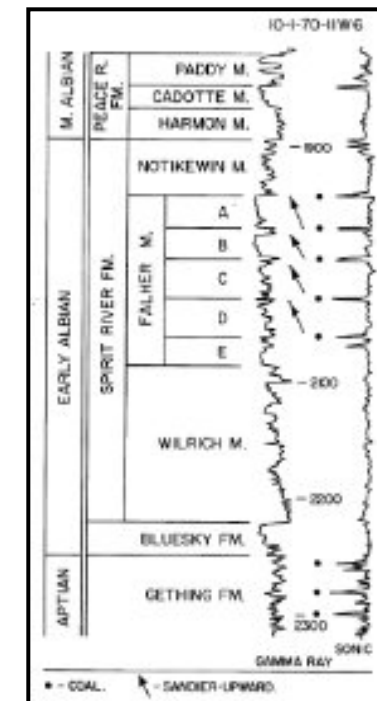


Figure 2. Stratigraphic context of the Falher Member of the Spirit River Formation, as illustrated by well 10-1-70-11 W6. Gamma-ray and sonic logs are shown. Note that the Falher can be subdivided into five Units A through E. Most of the Units have prominent sandier-upward succession (arrows) and are separated from the next Unit by coal (black circles). Stratigraphy based on Smith *et al.*, (1984) and Cant (1984).

OIL AND GAS CONTENT

Great volumes of oil and gas have been generated, migrated and trapped in the clastic sediments of the lower Cretaceous Mannville Group (Spirit River equivalent) of Alberta Basin (Figure 2). Within the Spirit River Formation, specifically in Falher units A, B and D, major reserves have been discovered. Each of these units contains lenticular bodies of conglomerate that were the main conventional reservoir (Cant & Either, 1989) in the so called "Deep Basin".

The sandstone reservoirs in the "Deep Basin" have average porosities of 8.0 % and average permeabilities from 0.001 to 0.5 millidarcys, reflecting the "tight sand" nature of the "Deep Basin". Massive hydraulic fracturing may allow high flows from these "tight sands" but economic production is a function of technology and gas prices (Masters, 1979). However, the coarse-grained sandstone and conglomerate reservoirs have much higher average permeabilities, ranging from 20 to 80 millidarcys. As a result, in areas of the "Deep Basin" containing such reservoir rock, gas productivity is quite high (Smith *et al.* 1984).

Well performance in the “Deep Basin” was variable. High-productivity wells were capable of producing as much as 100 mmcf/d from a high-permeability conglomeratic sandstone. Low-permeability tight sandstones, although gas charged, are incapable of producing at commercial rates into conventional gathering systems (Smith, 1984). The total gas reserves in the Elmworth/Wapiti area alone have been estimated to be approximately 9.8 Tcf (Masters, 1984; Smith, 1984).

The Spirit River Formation within the Alberta “Deep Basin” due to previous minor oil industry interest as a result of vertical poor producing wells from the low permeability sandstone reservoirs. Falher members of the Spirit River Formation were drilled vertically and produced hydrocarbons economically from very well-sorted conglomerate facies since the mid-1970s (Masters, 1979; Cant and Ethier, 1984) and therefore were studied in stratigraphic detail for many authors: Leckie & Walker (1982; Leckie (1983); Cant (1984; Jackson, (1984); Leckie (1986); Arnott (1993); Rouble & Walker (1997); Casas & Walker (1997a); Armitage et al., (2004), and Zonneveld & Moslow (2004).

Advances in drilling horizontal wells and multistage hydraulic fracturing, have resulted in these sandstone reservoirs being economically producible and sparking renewed interest in industry and academic research. The Falher Member is widely considered today as a mostly continuous sandstone unit. A methods-based sequence stratigraphic approach allowed for the mapping of individual sand body reservoirs (allomembers, parasequence sets, parasequences), has positively impact the unconventional exploration and developments, as each sand unit exhibited unique reservoir properties, such as reservoir pressure and hydrocarbons content (Newitt & Pedersen 2022).

FALHER ALLOMEMBER D - FACIES DESCRIPTIONS AND INTERPRETATIONS IN THE STUDY AREA

The basal surface of Falher D is defined by a marine flooding surface, interpreted as a transgressive surface of erosion (TSE), in places modified by a regressive surface of erosion (RSE). This surface overlies mostly nonmarine deposits (coals, mudstones and sandstones) of Falher E. Southward, in T66 and T67, the marine flooding surface probably changes in character and the logs suggest that the marine flooding surface passes into a flooding surface (FS) characterized by a contact of lagoonal-on-nonmarine deposits; however, lack of core

control makes tracing this flooding surface almost impossible. The upper part of Falher D consists of nonmarine rocks over the entire study area and the top is defined by the basal marine transgressive surface of Falher C (TSE, depending on location). Unit D can be subdivided into five parts (units D1 through D5) with different stratigraphic and geographic distributions (Casas 1996; Casas & Walker 1997b).

LOG CHARACTER FACIES INTERPRETATION

Four well-log facies (Figure 3) have been recognized inside Falher D, and have been calibrated with cores. The **spiky-sonic** facies representing nonmarine floodplain deposition, the **blocky and sandier-upward** facies representing prograding shoreface deposits and the **variable** log facies representing shoreface to offshore storm deposits. Occasionally, **blocky to muddier-upward** log facies are present and interpreted as channel fills.

Inside the Falher D section, coal beds are present in some cores. Where there is no core control, log criteria used to identify the coals included (1) gamma-ray values indicating shale volumes equal to or less than 30%, (2) density values lower than 2.1 gm/cm³, (3) resistivity values greater than 60 ohm/m and (4) interval transit time greater than 3 00 µs/m (Wyman, 1984). To identify conglomeratic intervals in wells without core control, the criteria used were (1) low gamma-ray values, (2) high resistivity values, (3) bore hole diameter (caliper), (4) low acoustic travel time (5) high density porosity values and (6) positive microlog separation (Sneider *et al.*, 1984).

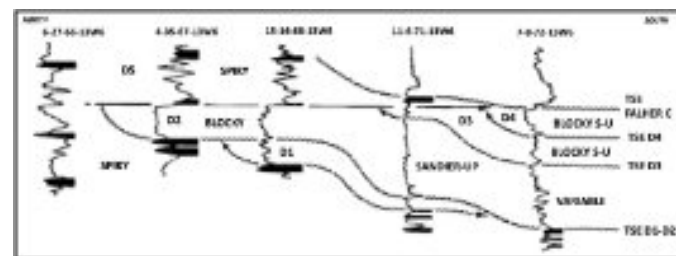


Figure 3. Geographic distribution of Falher D well log responses (GR), showing spiky-sonic log responses in the south and across the study area in the upper part of Falher D. Blocky-to-sandier-upward(S-U) responses occur north of the spiky-sonic responses, and variable responses occur in the lower part of Falher D in the north. Black portions of well logs indicate coals. The basic geometry within Unit D (D1 through D4) is also shown. Key surfaces shown are transgressive surfaces of erosion (TSE) and flooding surfaces which juxtapose lagoonal facies on top of nonmarine facies. Only for

this diagram purpose, the tops of the main sandbodies have been used as datum.

Blocky to Sandier-Upward Sandstones

Blocky to sandier-upward gamma-ray signatures (Figure 3) occur from T68 northward. The resistivity log mirrors the gamma ray. Commonly, two sandier-upward successions are superimposed. Thicknesses are very variable and range from 5 to 25 m. Good examples of this facies occur in wells 6-16-68-11W6, 7- 23-69-13W6 (shorefaces D1 and D2) and 11-6-71-13W6.

There are 21 cores of this facies, because it forms the main pool in Unit D. Two of the best are 11-7-68-12W6 and 6-8-67-9W6. The successions consist of very fine- to fine-grained sand-stones with swaley cross-stratification (SCS; Leckie & Walker, 1982) to hummocky cross-stratification (Figure 4), and horizontal stratification. As in out-crop, the SCS is characterized by parallel to subparallel lamination, cut by isolated swales in which the stratification conforms to the base of the swale but flattens out upward (Leckie & Walker, 1982). In places, the sandstone is medium-grained and contains medium-scale cross-stratification. Moderately well sorted conglomeratic beds are commonly interbedded with the sandstones.



Figure 4. Fine-grained sandstone containing low angle cross-lamination interpreted as swaley cross-stratification (Well 10-1-73-13W6, depth 1667.6 meters).

Trace fossils include *Macaronichnus* (Figure 5a), *Paleophycus* (Figure 5b), *Teichichnus*, *Planolites* and *Terebellina*. In many cores the sandstone is diffuse or apparently structureless and this is interpreted to be the result of the action of interstitial meiofauna. The meiofaunal bioturbation (Casas, 1997), now called cryptobioturbation, due to its scale of action, can potentially completely disturb sediments, but with little or no distortion of the original lamination (Figure 6). This is not always the case, as numerous examples observed here, where this kind of bioturbation completely alters and homogenizes the sediment, giving the appearance of massive sedimentary layers, a structure that it could be mistaken in some cases. In these facies, *Macaronichnus* and *Paleophycus* are normally present together, in high concentrations. They are present in almost every core, along with the intervals showing meiofaunal bioturbation (Casas, 1997) or cryptobioturbation. *In situ* root traces are present in the top of the blocky to sandier-upward facies.



Figure 5a. Above: plain view of a fine-grained sandstone completely bioturbated by traces of *Macaronichnus*. Figure 5b. Below: plain view of a very fine-grained sandstone completely bioturbated by traces of *Paleophycus*. Above: Well 6-30-72-11W6, depth 1788.3 meters and below: Well 6-13-68-11W6, depth 2280.6 meters



Figure 6. Fine-grained sandstone bioturbated by meiofauna. It is possible to observe the original cross-lamination, but diffuse as a "ghost". (Well 7-25-71-13W6, depth 2010.4 meters).

In townships 67-68, conglomerates and conglomeratic sandstones are commonly present. The conglomerates are normally a few centimeters to 2 meters thick, poorly sorted and either clast or sand-matrix supported. Conglomeratic sandstones (Figure 7) are moderately sorted with only a few scattered large pebbles, all interpreted as beach/shoreface conglomerates. Cross-stratification is the most common structure in both the conglomerates and conglomeratic sandstones. The presence of SCS, plus a clear ichnofacies *Skolithos-Cruziana* (Pemberton, *et al.*, 1992a; 1992b), and intense meiofaunal bioturbation or cryptobioturbation (Pemberton, *et al.*, 2007), suggests that these facies was deposited as a wave- and storm-dominated prograding shoreface.

Variable Mudstone and Sandstone

Northward from T70, the basal part of Falher D displays variable gamma-ray, density-porosity and neutron logs (Figure 3). This is well displayed in 7-8-72-13W6 and good examples are present in cored wells 6-6-72-12W6 and 10-23-72-11W6. The thickness of the facies ranges from 5-15 m.

The well logs suggest a sandier-upward succession in places. In core these facies consisted of very fine-grained sandstones interbedded with dark mudstones and siltstones. The sandstones vary from a few cm to 2 m in thickness and contain flat to low-angle divergent lamination interpreted as hummocky cross-stratification (HCS). The contacts with the mudstones are always sharp and/or erosive. The commonest traces include *Planolites*, *Teichichnus* and *Helminthopsis*, with a few *Terebellina* and *Rosselia*. The interbedding of mudstones with HCS sandstones suggests storm deposition in a lower shoreface to offshore setting.



Figure 7. Stratified clast-supported granule-conglomerate succession showing different grain size and sorting (Well 6-19-68-13W6, depth 2675.8 meters).

Spiky Sandstones and Mudstones

These facies is characterized by its very "spiky" well-log appearance, both in the gamma-ray and sonic logs (Figure 3). The larger spikes in the sonic log correlate with coals and coaly mudstones. There is no overall trend in the log signature. In T66-67, the entire thickness of Unit D (20-30 m) is made up of these facies (wells 6-27-66-13W6 and 10-25-67-11W6). It thins to about 15 meters in T68-69 (wells 11-7-68-12, 6-16-68-11W6 and 11-13-69-12W6) and the facies almost disappears by Township 73. Good examples of this log

signature, where it can be calibrated with core, are in wells 11-7-68-12W6, 15-16-68-13W6, 6-10-68-10W6 and 6-20-68-9W6.

In core the facies consist of dark mudstones and siltstones, interbedded with very fine- to fine-grained sandstones, coaly mudstones and coals up to 1 meter thick. The sandstones are a few cm to 5 meters thick and display fining-upward trends. Sedimentary structures include ripple cross-lamination and convolute lamination, with some parallel lamination. Plant fragments and *in situ* root traces are common. There is a very low diversity trace fossil assemblage dominated by small *Planolites*. Freshwater and brackish water bivalves are found in the southwestern part of the area (T68, R12-13). The abundance of plant remains, coaly shales and coal, with the presence of *in situ* root traces and a very restricted trace fossil assemblage, suggest deposition on a nonmarine floodplain.

Blocky to Muddier-Upward Sandstones

Good examples can be seen in wells 10-31-69-12W6, 11-7-70-12W6, 11-9-70-11W6 (D1 channel) and 10-11-71-11W6 (D5 channel). Calibration with core is possible in 6-7-67-8W6, 6-10-68-10W6 and 6-17-72-9W6. The blocky to muddier-upward log profile is well developed in the gamma-ray log (wells 11-9-70-11W6 and 10-11-71-11W6). The facies ranged from 1-6 meters thick.

These facies can occur anywhere within the study area. It consists of coarse to medium-grained sandstones with trough crossbedding, parallel lamination and ripple cross-lamination. The grain size always becomes finer upward, accompanied by an increase in the proportion of mudstone. The core of well 6-17-72-9W6 contains large, mudstone clasts (Figure 8), within the coarse-grained sandstone. There are no visible trace fossils. The fining-upward grain size trend, the absence of trace fossils and the presence of trough crossbedding suggest that the sandstone is a channel fill. Some angular mudstone clasts are interpreted as having formed by channel wall collapse.

CROSS-SECTIONS AND MAPS

In order to study the onshore to offshore (south to north) facies changes, several cross-sections were constructed and one of them is shown in Figure 9. These have been condensed into one cross-section for this paper, emphasizing the core control in Unit D. Careful examination of the well-log cross-sections

suggests that the well-log facies described above have distinct and systematic spatial distributions.

The systematic facies changes suggested by the cross-sections were then mapped by assigning every part of every well log to one of the facies described above. In most cases, the facies represented by the log was clear, but in a few examples the logs appeared to be transitional between one facies and another. Ambiguous logs were compared with all adjacent logs, in the context of the emerging map patterns (Figure 10), to try and make the best possible facies classifications.



Figure 8. Medium grained sandstone with mud and some sideritized clasts, interpreted as channel sandstones. Well 6-17-72-9W6, depth 1724.7 meters

The individual facies descriptions and interpretations discussed above, were combined with the map patterns to sharpen the interpretations. Upper shoreface and beach conglomerates are concentrated mainly in the western part of the study area (Figure 9), suggesting that the main source of these conglomerates was located west of the study area, somewhere close to the British Columbia border.

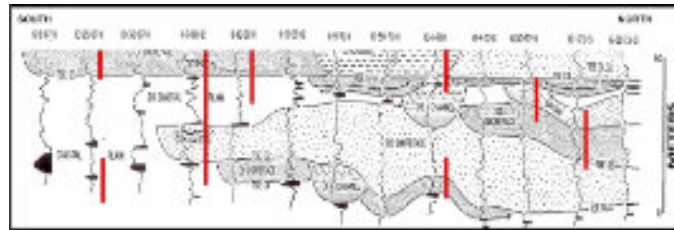


Figure 9. North-south log cross-section (logs are all gamma ray, with black portions indicating coals). Datum is the base of the main Falher C sandbodies (transgressive surface of erosion TSE C3, RSE and TSE C4). Stratigraphically, Unit D extends from TSE D1/2 to TSE C1, C2, C3 or C4, depending on which is the lowest Falher C surface in any location. Vertical red bars indicate cored intervals. Different densities of stipple and dashes have been used to identify different subdivisions of the D Units). The section is about 70 kilometers long.

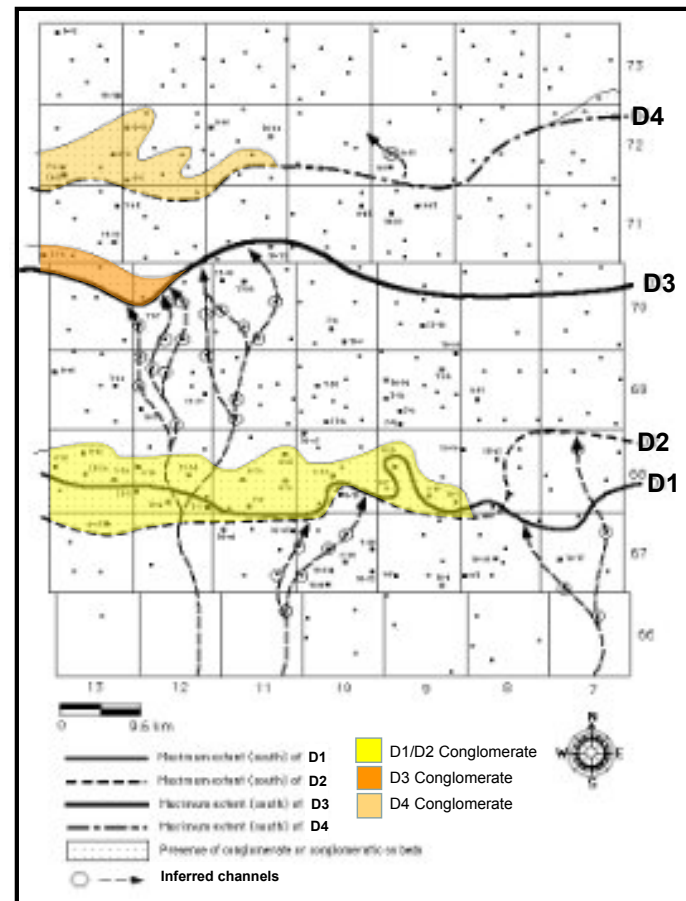


Figure 10. Map showing the southern limits of shorefaces D1 through D4, as defined from Casas (1996) and Casas & Walker (1997). In different tones of yellow, the conglomeratic shorefaces are highlighted, showing the position and extension of these gas prolific facies. As a reference, every square (township/range) is about 10 km².

FALHER D FACIES RELATIONSHIPS AND EVOLUTION

Unit D can be divided into five parts, D1 through D5. The facies relationships are shown in figure 11. In the south, the section is characterized by the spiky log

facies, representing nonmarine environments through the entire thickness of Unit D. Northward, the spiky facies are replaced by the blocky to sandier-upward facies, as seen in wells 11-7-68-12W6 and 6-16-68-11W6 (Figure 9). In detail, there appear to be two separate developments of this facies.

Unit D1 in well 6-16-68-11W6 is laterally equivalent to coals and floodplain deposits in 11-7-68-12W6. Unit D2 overlies both D1 and the equivalent coals in wells 6-16-68-11W6 and 11-7-68-12W6 (Figure 9) and extends a little farther to the south than D1. In cores, D1 is commonly separated from D2 by thin, muddier horizons (suggested by the gamma-ray log in figure 9), suggesting two separate shoreface developments. The southward limits of these shorefaces are shown in figure 9. Conglomerates are present within the D2 shoreface, as shown in figure 9, 10 and 11.

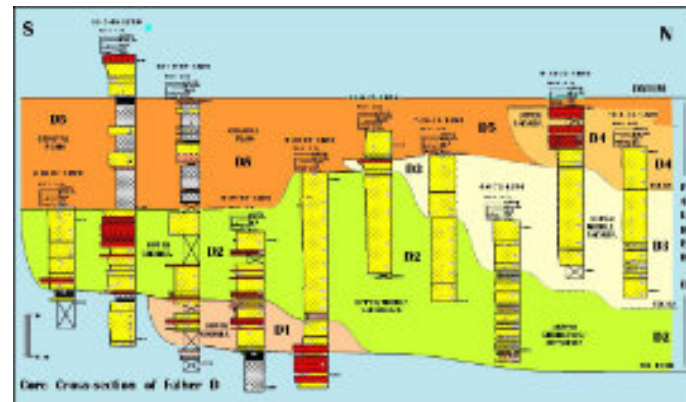


Figure 11. North-south core cross-section in the western part of the study area showing the vertical and lateral relationships between the different Falher D unit and the interpreted sedimentary environment. The section is about 70 kilometers long.

Unit D1 appears to become thinner northward and disappears at about T71. Unit D2 thickens as D1 thins (wells 7-23-70-13W6, 69-13-70-13W6 to 6-8-70-13W6 and wells 11-13-69-12W6 to 6-30-72-11W6). From about T70 northward, the blocky to sandier-upward log facies appear to be stacked (e.g., 6-30-72-12W6 and 10-1-73-13W6 in figure 9), with as many as three successions in any one well. The breaks between the sandier-upward successions can be expressed in several ways in core. First, there may be a dark mudstone horizon a few centimeters thick separating fine-grained sandstones with SCS. Mudstone partings of this type can be seen in cores 6-8-72-9 and 10-1-73-13 (Figure 11). Second, there may be a dark mudstone horizon with a layer of pebbles at the base (Figure 12). This is



Figure 12. Fine to medium-grained sandstone. The lower half of the core represents the end of shoreface D2. The pebble horizon and overlying offshore mudstone are interpreted as a transgressive lag. The sharp contact represents a Transgressive Surface of erosion (TSE). (Well 11-6-71-13W6, depth 2215.4 meters).

interpreted as a transgressive lag at the base of transgressive mudstones and in figure 11 defines TSE D3 in well 11-6-71-13 (Figure 13). Third, there may be a distinct grain size and facies change, from fine-grained SCS sandstone below to conglomerate above.

Fourth, there may be a horizon of ripped-up mudstone clasts (core 7-8-72-13W6, figure 14) separating similar fine-grained sandstones (Casas, 1996). On the gamma-ray logs, the breaks that separate sandier-upward successions may be subtle or invisible, or they may be very prominent where they are (presumably) representing mudstone horizons like cores: wells 6-8-72-9W6 (Figure 15), 7-8-72-13W6, 16-5-72-1W63, and 10-1-73-13W6 (Figure 16). This last core shows for example, only 25 centimeters of offshore dark mudstones preserved between shoreface D3 and D4 (Figure 17).



Figure 13. TSE D3 is defined by shoreface sandstone deposits (below the TSE arrow) overlain by a marine transgressive pebbly mudstone (between the TSE and RSE arrows). Well 11-6-71-13W6 (2212.7-2217 meters)

These breaks that define sandier-upward successions have been correlated in detail from well to well (Casas, 1996). They form surfaces that dip gently northward and allow the separation of units D2, D3 and D4. The southern limits of units D3 and D4 are shown in figure 10. In some wells, the breaks between D2, D3 and D4 are difficult to pick, raising the question of whether they are truly separate shorefaces, as can see in the example of core 6-6-72-12W6 (Figure 18).

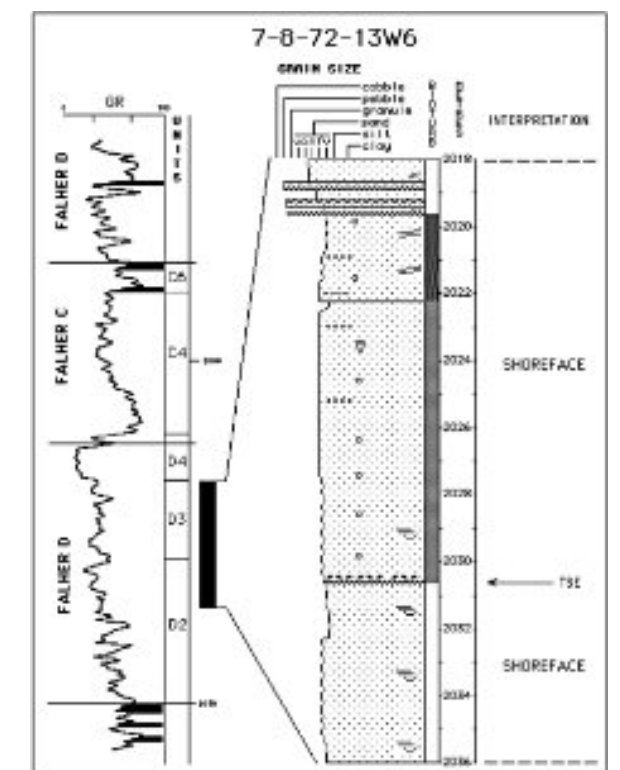


Figure 14. Log-Core well 7-8-72-13W6 (description and interpretation), showing the blocky to sandier-upward log facies. Source: Casas (1996).

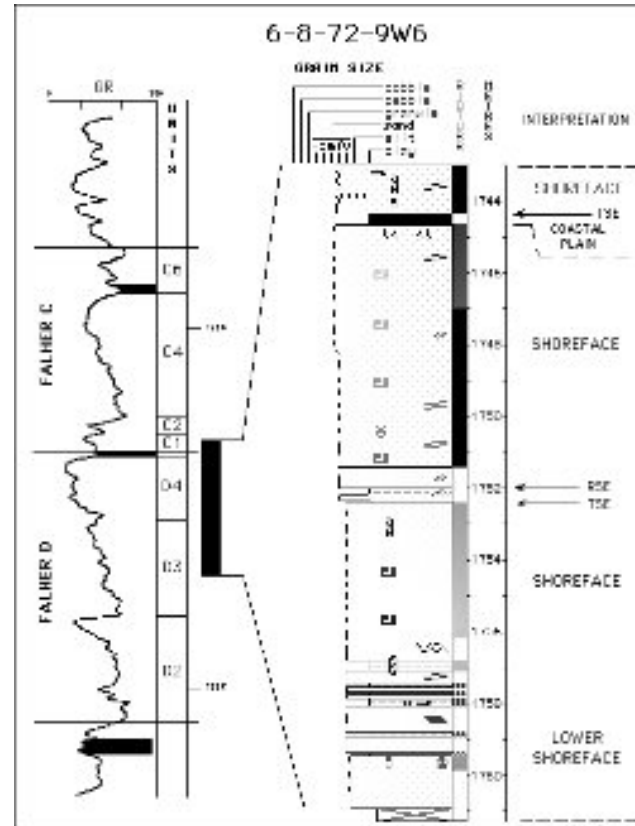


Figure 15. Log-Core well 6-8-72-9W6 (description and interpretation). Source: Casas (1996).

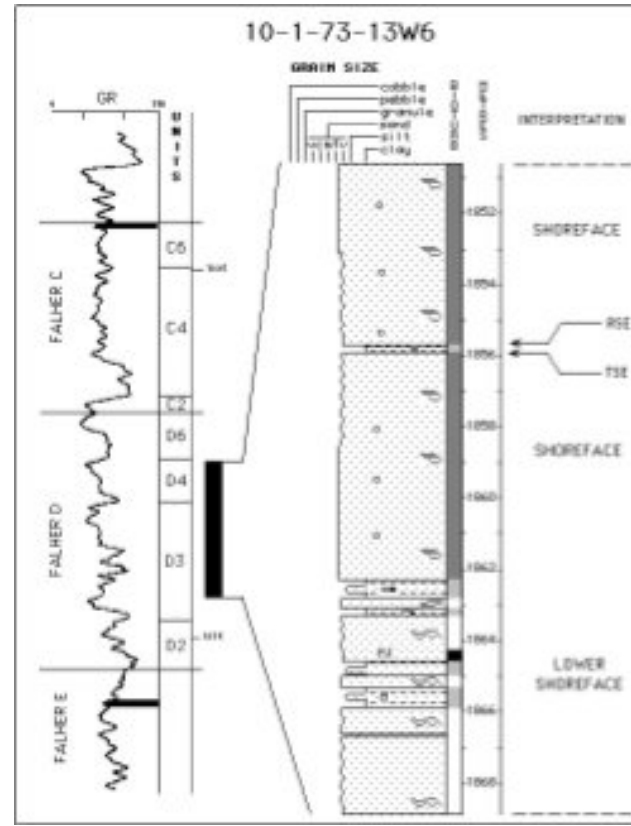


Figure 16. Log-Core well 10-1-73-13W6 (description and interpretation). Source: Casas (1996).

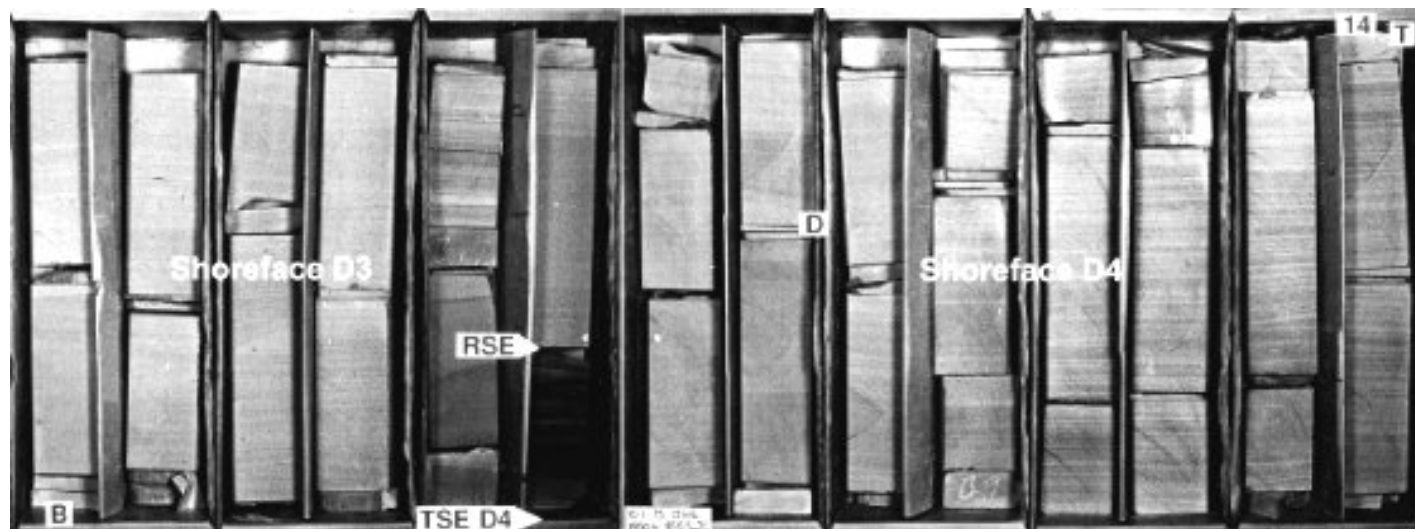


Figure 17. Core 10-1-73-13W6 showing D3 and D4 shorefaces, separated by a TSE overlaid by a dark transgressive offshore mudstone, partially eroded by a RSE during the progradation of D4. Depth interval: 1850.6-1859.1 meters.



Figure 18. Core 6-6-72-12W6 showing D2 and D3 shorefaces separated by a TSE. The facies consist of interbedded sharp-base sandstones (interpreted as hummocky cross-stratified) and bioturbated mudstones. The mudstones become thinner and less abundant upward, and the base of the shoreface is taken at the point where the section becomes continuously sandy. Core is 4 inches. Depth interval: 1983.8-2002.4 meters

The fact that the southern limits of D2, 3 and 4 form systematic map patterns that are fairly straight and trend east-west on the map (Figure 10) strengthens the argument that they are indeed separate shorefaces. The breaks between the shorefaces are interpreted as minor transgressive surfaces that developed during the over-all progradation of the Falher D shoreface. Very similar situations, with mud and conglomeratic drapes on prograding shoreface profiles, have been described and analyzed in detail by Hart & Plint (1993).

Conglomerates are associated with the D3 and D4 shorefaces in the western part of the study area (Figure 10). In the northern part of the area, the blocky to sandier-upward log facies commonly overlies the variable log facies, interpreted to represent the lower shoreface to offshore transition. Unit D5 consists of the spiky log facies and represents non-marine coastal plain facies and coals that were deposited over most or all of the entire study area after the progradation of shoreface D4 to the north (Figure 19). It thins from south (20 meters) to north (less than 1 meter) and may be completely eroded by the transgression at the base of Falher C (Casas, 1996).

Sandbodies D1 through D4 are separated mostly by mappable mudstone partings (some with a pebble lag at the base) 10 centimeters or more in thickness. It is very unlikely that such thin and continuous mudstones could be deposited within a storm-dominated shoreface. They are therefore interpreted as the remnants of transgressive mudstones. It is suggested that after progradation of shoreface D1, a rise of relative sea level (RSL) terminated progradation and deposited a mudstone drape on the northern edge of the sandbody. A subsequent fall of ASL led to the progradation of shoreface D2. Continued fluctuations of RSL led to the

progradation and draping of shorefaces D3 and D4. All of the shorefaces are overlain by floodplain mudstones, sandstones and coals to the south (Figure 19).

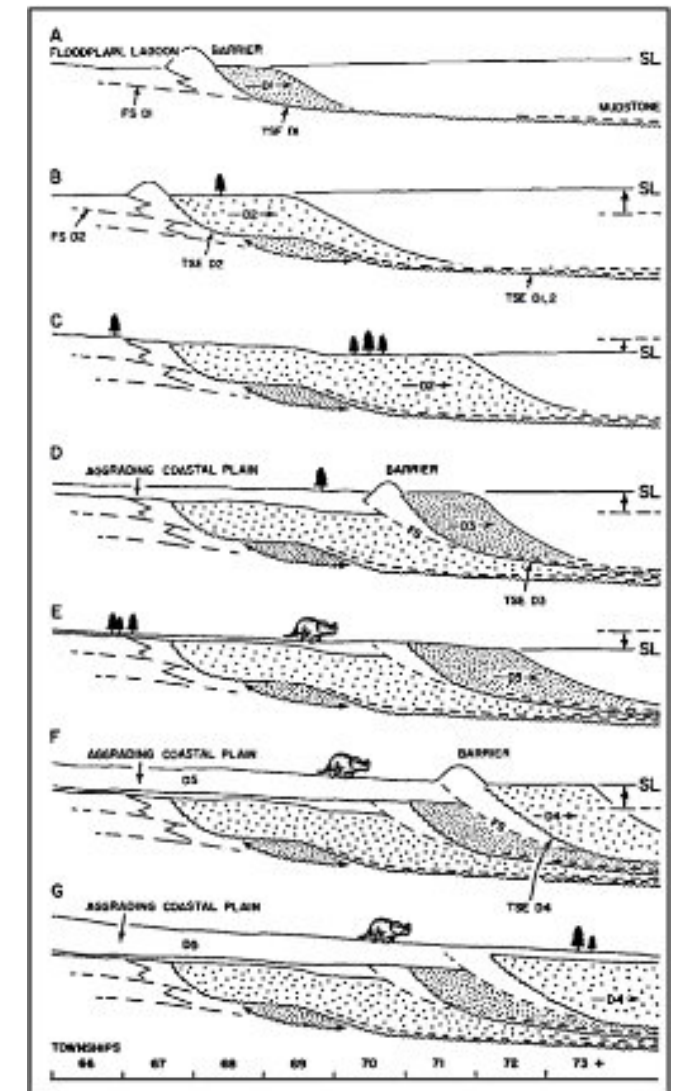


Figure 19. Interpretation of Unit D. Panel A shows transgression of a barrier-lagoon system, followed by progradation of shoreface D1. This progradation was cut off

(panel **B**) by a rise of relative sea level (RSL) forming TSE D2. After stabilization of sea level, shoreface D2 prograded, perhaps accompanied by a small drop of RSL (panel **C**). In panel **D**, rising RSL has caused another barrier-lagoon system to transgress, followed by progradation of shoreface D3 during falling RSL (panel **E**). In panel **F**, there has been yet another transgression, with a barrier-lagoon transgressing on TSE D4. Panel **G** shows the progradation of shoreface D4 beyond the study area and aggradation of the D5 coastal plain. Depicted trees and dinosaurs emphasize subaerial exposure. Vertical scale is approximate, with the D2 shoreface reaching a maximum preserved thickness of about 30 m.

CONTROLS OF RELATIVE SEA LEVEL FLUCTUATIONS

The detailed high-resolution study of the Falher D suggests a cyclicity of relative sea level (RSL) fluctuations of 10-30 meters (Casas, 1996), on the order of a few tens of thousands of years (about 40,000). Some of the cyclicity might be autocyclic, due to changes in the point of sediment input into the basin, superimposed on steady regional subsidence. Some of the cyclicity may be allocyclic, reflecting eustatic sea level changes superimposed on the Alberta Basin. These would be fourth- or fifth-order cycles that might best be explained glacioeustatically. This has always raised problems in the Cretaceous, allegedly a period without continental glaciation.

However, a work based on strontium concentrations in Lower Cretaceous deep-sea sediments indicates that "an Antarctic ice sheet may have existed despite overall climatic warmth" and that "global sea level fluctuated about 50 meters over time scales of 200,000 to 500,000 years" (Stoll & Schrag, 1996, p. 1771). Additional evidences of ice in the Cretaceous are provided by Rodriguez, *et al.*, (2023) and Wang, *et al.*, (2024). Thus, some combination of autocyclic switching of the point of sediment input, local rates of tectonic subsidence and allocyclic glacioeustatic sea level changes may have controlled the RSL changes implied by the various stratigraphic intervals within Units C and D and their bounding discontinuities (Casas & Walker, 1997a; 1997b).

The only evidence from outside the study area favoring an autocyclic control is a recurring sediment depocenter within the Falher Member which occurs in the northeastern part of British Columbia, about 38 kilometers west of the Alberta-British Columbia border (Leckie, 1986). The abandonment of strandplain deposits that characterize the upper part of Falher D

within the study area can be related to a switching event of this depocenter in British Columbia (Casas & Walker, 1997). Also, the upper shoreface conglomerates in each Falher D unit (D1-D4) show an east-west trend, pinching out eastwards (Figure 9) suggesting a distribution of coarse sediment along strike and downdrift from a point source somewhere west of the study area.

The alternation between conglomerates and fine- to medium-grained sandstones in the upper shoreface successions of Falher D units suggests that these might be explained by temporal changes in sediment supply related to autocyclic process involving switching of deltaic lobes.

CONCLUSIONS

1. Using an allostratigraphic approach, Falher D was subdivided into 4 shoreface units (allomembers) based on different well-log signatures, calibrated with cores. Each of these units (D1, D2, D3 and D4) represents a transgressive-regressive depositional event.
2. The distribution of well-log facies, as shown in cross-sections and maps, suggests that Falher D is a composite stratigraphic unit, bounded by regionally extensive transgressive surfaces of erosion (TSEs) and containing several internal TSEs. The internal TSEs allow recognition of units D1 through D5.
3. Units D1 through D4 represent prograding shoreface sandstones, separated by TSEs. Some of the TSEs are overlain by thin transgressive mudstone layers that can be identified in core, correlated and mapped using gamma-ray logs. Unit D5 represent aggrading floodplain deposits and coals that built northward on top of the prograding shorefaces.
4. Units D1-D4 were deposited as a barrier-strandplain system. The transgressive systems tracts are probably preserved as barrier sandstones in the shoreline position at the time of maximum transgression. Lagoonal deposits, coarse transgressive lags and transgressive mudstones were partially preserved seaward of the barrier during each shoreface retreat. The highstand systems tracts are composed of shoreface successions which prograded as strandplain systems.
5. Upper shoreface conglomerates in Falher D are mainly regressive. These conglomerates trend east-west, parallel to the paleoshoreline. Small and thin transgressive marine conglomerates occur only as lag deposits at the base of the shoreface units.

6. The marine flooding surface at the base of each shoreface unit correlates landward with a nonmarine flooding surface. This flooding surface represents initial flooding of topographic lows and development of lagoons along the inner coastline, landward of the barrier system as it moves southward.
7. The detailed high-resolution subdivision of Falher D indicates RSL fluctuations of 10-30 meters. A rough estimate of time available suggests that the various episodes of shoreface progradation took place within just over 40 000 years at average rates of about 0.5 to 1.5 m/year. These rates compare with those from the Coast of Nayarit (4.2 m/year), Brazilian prograding strandplains (1.1 to 1.4 m/year) and Galveston Island (1.4 m/year).
8. Controls of the geometries of the depositional units and their bounding discontinuities are difficult to unravel. It is concluded that autocyclic switching of

points of sediment input, variations in local subsidence rates and glacio-eustatic sea level fluctuations all played a part. The glacio-eustatic influence, generally discounted in the Cretaceous, seems possible given the recent research results of several authors about the possible existence of ice sheets during that period of time.

9. The high-resolution stratigraphic subdivision of Falher D permitted predict the stratigraphic and geographic placing of the gas productive shoreface conglomerates in units D2, D3 and D4. The upper shoreface and beach conglomerates are concentrated mainly in the western part of the study area, suggesting that the main source of these conglomerates was located westwards of the study area, somewhere close to the British Columbia border.

REFERENCES

- Armitage, I., Pemberton, S.G., Moslow, T. 2004. Facies succession, stratigraphic occurrence, and paleogeographic context of conglomeratic shorelines within the Falher "C", Spirit River Formation, Deep Basin, west-central Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 52(1): 39–56 <https://pubs.geoscienceworld.org/cspg/bcp/g/article-abstract/52/1/39/57897/Facies-succession-stratigraphic-occurrence-and?redirectedFrom=fulltext>
- Arnott, R.W.C., 1993, Sedimentological and Sequence stratigraphic model of the Falher "D" Pool, Lower Cretaceous, northwestern Alberta: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 41: 453-464.
- Bromley, R.G., 1990, *Trace Fossils: Biology and Taphonomy*. Unwin Hyman, London, 280 p.
- Cant, D.J., 1984. Development of shoreline-shelf sand bodies in a Cretaceous epeiric sea deposit: *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 541-556.
- Cant, D.J., and Ethier, V.G., 1984. Lithology-dependent diagenetic control of reservoir properties of conglomerates, Falher Member, Elsworth Field, Alberta: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 68: 1044-1054.
- Cant, D.J., 1989, Zuni Sequence: The Foreland Basin, in: Ricketts, B.D., ed., Western Canada Sedimentary Basin : A Case History: *Canadian Society of Petroleum Geologists*, 251-267.
- Cant, D.J., 1995, Sequence Stratigraphic analysis of individual depositional successions: Effects of marine/nonmarine sediment partitioning and longitudinal sediment transport, Mannville Group, Alberta Foreland basin, Canada: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 79: 749-762.
- Casas, J. 1996. Sedimentology, facies association and sequence stratigraphy of Falher divisions C and D, Lower Cretaceous Spirit River Formation, West-Central Alberta, Canada., McMaster University, Unpublished Master Thesis, 232 p.
- Casas, J. 1997. Importance of bioturbation by interstitial meiobenthos in ancient sedimentary successions. *Memorias I Congreso Latinoamericano de Sedimentología*, Soc. Ven. Géol. Tomo I, Margarita, 157-160.
- Casas, J. & Walker, R. 1997a. Sedimentology and depositional history of unit C and D of the Falher Member, Spirit River Formation, West-Central Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 45(2): 218-238. <https://www.semanticscholar.org/paper/Sedimentology%2C-Facies-Associations-and-Sequence-of-CASAS/9034bb0c3695c1136244acf3bb71c9e50c02016c>
- Casas, J. & Walker, R. 1997b. High resolution sequence stratigraphy of Falher Division D, Spirit River Formation, Alberta, Canada. *Memorias I Congreso Latinoamericano de Sedimentología*, Soc. Ven. Géol. Tomo I, Margarita, p. 145-155.
- Clifton, H.E., and Thompson, J.K., 1978. Macaronichnus segregatis: a feeding structure of shallow marine polychaetes: *Journal of Sedimentary Petrology*, 48: 1293-1302.
- Cullen, D.J., 1973. Bioturbation of superficial marine sediments by Interstitial Meiobenthos: *Nature*, v. 242, p. 223-324.

- Hart, B.S. and Plint, A.G., 1993. Origin and erosion surface in shoreface sandstone of the Kakwa Member (Upper Cretaceous Cardium Formation, Canada): importance for reconstruction of stratal geometry and depositional history, in: Posamentier et al., eds., *Sequence Stratigraphy and Facies association: International Association of Sedimentologists, Special Publication 18*, 451-467.
- Jackson, P.C., 1984. Paleogeography of the Lower Cretaceous Mannville Group of western Canada, in: Masters, J.A., ed., *Elmworth -- Case Study of a Deep Basin Gas Field, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 38*, 49-79.
- Leckie, D.A., and Walker, R.G., 1982, Storm- and tide-dominated shorelines in Cretaceous Moosebar-Lower Gates Interval -- outcrop equivalents of Deep Basin gas trap in Western Canada: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 66: 138-157. <https://www.scopus.com/pages/publications/0019925593>
- Leckie, D.A., 1986. Rates, controls, and sand-body geometries of transgressive-regressive cycles: Cretaceous Moosebar and Gates Formations, British Columbia: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70: 516-535.
- Masters, J.A., 1984. Lower Cretaceous oil and gas in western Canada, in: Masters, J.A., ed., *Elmworth - Case Study of a Deep Basin Gas Field, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 38*, 1-35.
- Miall, A.D., 2010. The geology of stratigraphic sequences, second edition: Springer-Verlag, 522 p.
- O'Connell, S.C., Dix, G.R., and Barclay, J.E., 1990, The origin, history, and regional structural development of the Peace River Arch, Western Canada: *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 38A: 4-24. https://www.researchgate.net/publication/292660792_The_origin_history_and_regional_structural_development_of_the_Peace_River_Arch_western_Canada
- Pedersen, P. & Newitt, D. 2022. Observational data-based sequence stratigraphy of a clastic wedge within an active foreland basin, Spirit River Formation, west-central Alberta, Canada. *Marine and Petroleum Geology* 140: 1-16.
- Pemberton, S.G., MacEachern, J.A. and Frey, R.W., 1992a. Trace fossil facies models: Environmental and allostratigraphic significance, in: Walker, R.G. and James, N. P., eds., *Facies models: response to sea level change: Geological Association of Canada*, 47-72.
- Pemberton, S.G.; Van Wagoner, J.C. and Wach, G.D., 1992b. Ichnofacies of a wave-dominated shoreline, in: Pemberton, G.S., ed., *Applications of Ichnology to Petroleum exploration - A Core Workshop: Society of Economic Mineralogists and Paleontologists, Core Workshop*, 17: 339-382.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J., Gingras, M. & Saunders, T. 2007. Cryptobioturbation and the work of sedimentologically friendly organisms. *AAPG Annual Convention*, Long Beach, California. Abstracts. <https://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2007/annual/abstracts/lbPemberton.htm>
- Rodriguez, J., Liesa, C., Luzón, A., Muñoz, A., Mayayo, M., Murton, J. and Soria, A. 2023. Ice-rafted dropstones at midlatitudes in the Cretaceous of continental Iberia. *Geology*, 52(1): 33-38. <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article/52/1/33/628547/Ice-rafted-dropstones-at-midlatitudes-in-the>
- Rouble, R.G. and Walker, R.G., 1994. High resolution sequence stratigraphy and depositional environments of Falher Members A and B, Lower Cretaceous Spirit River Formation of Northwestern Alberta: *Canadian Society of Petroleum Geologists, Mannville Core Conference*, Alberta, 1-12.
- Smith, D.G., 1984. Gas reserves and production performance of the Elmworth/Wapiti area of the Deep Basin, in: Masters, J.A., ed., *Elmworth - Case Study of a Deep Basin Gas Field: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 38*, 153-172.
- Smith, D.G., Zorn, C.E., and Sneider, R.M., 1984. The paleogeography of the Lower Cretaceous of western Alberta and northeastern British Columbia in and adjacent to the deep basin of the Elmworth area, in : Masters, J.A., ed., *Elmworth - Case Study of a Deep Basin Gas Field, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 38*, 79-115.
- Stoll, H. and Schrag, D. 1996. Evidence for Glacial Control of Rapid Sea Level Changes in the Early Cretaceous. *Science*, 272(5269): 1771-1774. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8662480/>
- Stritch, R.A. and Schroder, A. 1999. Foraminiferal response to albian relative sea-level changes in northwestern and central alberta, canada, *Canadian Journal of Earth*, 36(10): 1617-1643.
- Wang, T., Songlin H., Zhang, Q., Ding, L., Farnsworth A., Cai, F., Wang, C., Xie, J. 2024. Ice sheet expansion in the Cretaceous greenhouse world. *Fundamental Research*. 4(6): 1586-1593. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325823001358
- Wyman, R. E., 1984, Gas resources in Elmworth coal seams, in: Masters, J.A., ed., *Elmworth -- Case Study of a Deep Basin Gas Field: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 38*: 173-187.

Zonneveld, J. & Moslow, T. 2004. Exploration potential of the Falher G shoreface conglomerate trend: evidence from outcrop. *Bulletin Of Canadian Petroleum Geology*. 52(1): 23-38.

file:///Users/jhonny/Downloads/2004_ZonneveldMoslow_CSPGBulletin_FalherG.pdf

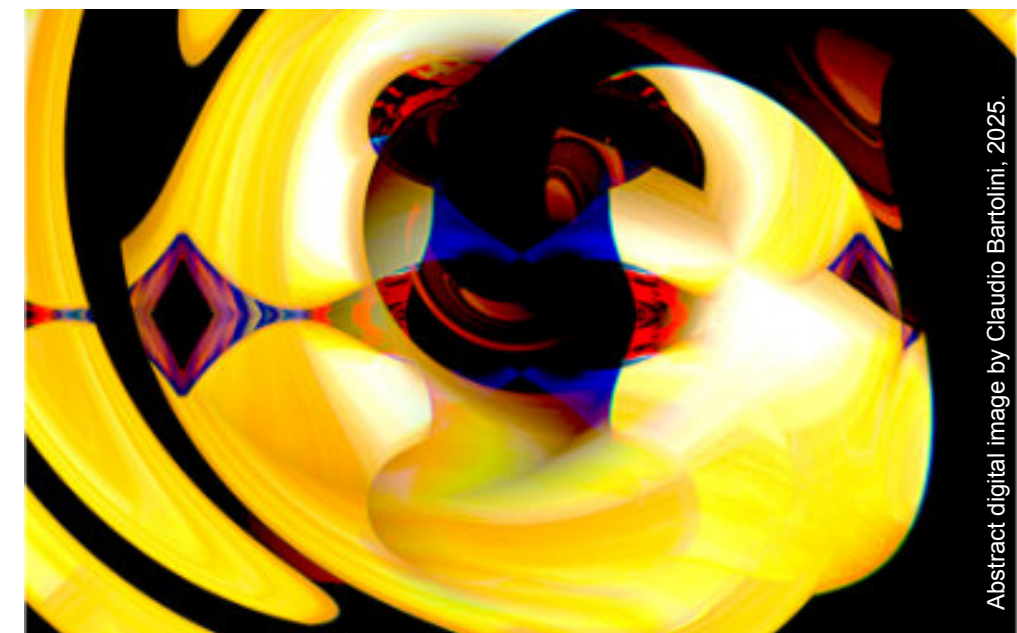


jcasas@geologist.com

Jhonny E. Casas es Ingeniero Geólogo graduado de la Universidad Central de Venezuela, y con una maestría en Sedimentología, obtenida en McMaster University, Canadá. Tiene 38 años de experiencia en geología de producción y exploración, modelos estratigráficos y secuenciales, caracterización de yacimientos y estudios integrados para diferentes cuencas en Canadá, Venezuela, Colombia, Bolivia, Ecuador y Perú.

Autor/Co-autor en 63 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de mas de 57 artículos de divulgación científica.

Profesor de Geología del Petróleo (1996-2004). Profesor de materias de postgrado tales como: Estratigrafía Secuencial, Modelos de Facies y Análogos de afloramiento para la caracterización de yacimientos (2003-2025), en la Universidad Central de Venezuela. Mentor en 12 tesis de maestría. Representante regional para la International Association of Sedimentologist (2020-2026) y ExDirector de Educación en la American Association of Petroleum Geologists (AAPG) para la región de Latinoamérica y del Caribe (2021-2023). Advisory Counselor para AAPG LACR (2023-2026).



Abstract digital image by Claudio Bartolini, 2025.

Para viajar lejos, no hay mejor nave que un libro.

Emily Dickinson

Slope and Basin Floor Sandstones in the Wolfcampian Cisco Group in the Eastern Shelf of the Permian Basin

William A. Ambrose¹ and Tucker F. Hentz¹

¹Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin, University Station, Box X, Austin, TX, 78713-8924.

Introduction

Slope and basin-floor sandstones in the Wolfcampian Cisco Group are part of thick (>2,500-ft [>760-m]) successions of interbedded mudrock, sandstone, and limestone that underlie shelf, shelf-edge bank, and shelf-edge delta systems in the Eastern Shelf of the Permian Basin. Siliciclastic strata predominate in the lower part of these successions, whereas carbonates are most prominent in the upper Cisco Group.

Proximal-slope-channel sandstone bodies in the Cisco Group in Lake Trammel South field in Nolan County occur in narrow (500- to 3,000-ft [150- to 900-m]), sinuous and anastomosing trends composed of fine-grained sandstone beds. Channel systems in Lake Trammel South field were deposited in an unconfined slope setting. They are bounded laterally by extensive areas of very fine grained sandstones and siltstones of levee/overbank origin. Thin (<2-ft [<0.6-m]) carbonate debris-flow deposits are sparsely interbedded with siliciclastic deposits. The distribution of sandy depositional axes in each Cisco successive channel depositional unit records autocyclic, lateral shifting of channels. Although these depositional axes shifted laterally, some areas were preferentially re-occupied in the western and north-central parts of the field. In contrast, the southern and southeastern parts of the field contain fewer sandy channel depositional axes.

Siliciclastic sections of distal-slope origin in the Cisco Group in Sterling County are composed of mudrock and thin siltstone beds in units 10 to 100 ft (3 to 30 m) thick, interbedded with 10- to 30-ft (3- to 9-m) intervals of sandstone with spiky and serrate gamma-ray (GR) and spontaneous potential (SP) wireline-log responses. Individual sandstone beds in these sandy intervals are commonly <2 ft (<0.6 m) thick. They are erosion-based, upward fining, and contain organic fragments and clay clasts. Stratification in the lower part of these sandstone beds is massive and laminated, grading upward into centimeter-scale plane beds and mudstone-draped ripples. Accessory features include normal graded bedding, convolute stratification, and flame structures.

Distal-slope and inner-basin-floor deposits in the Cisco Group in Howard County have high (>70%) percent-sandstone values. They are composed of thick (>200-ft [>61-m]) sections of amalgamated, fine-to-medium-grained sandstone beds. These sandstones are dominated by poorly stratified Bouma A and planar-stratified Bouma B beds. Although ripple-laminated Bouma C and muddy Bouma D beds are also present, they are thinner and incompletely preserved. These sandstone beds are composed of distal sheets within continuous lobes, with sandy sheets predominant over muddy levee-overbank facies. Distal sheets typically have low-relief, lobate geometries and are composed of channelized sandstone units of the type in distal facies tracts in the Pleistocene Brazos-Trinity fan system in the Gulf of Mexico. Sandstone-rich fan systems in basin-floor deposits in Howard County are inferred to have moderate to good lateral and vertical sandstone-body connectivity, in contrast to compartmentalized slope-sandstone systems in Lake Trammel South field.

Proximal Slope Systems: Nolan County

Cisco oil and gas reservoirs in Lake Trammel South field (figs. 1 and 2) are part of the Upper Pennsylvanian slope sandstone play that by 1983 had already produced ~99 MMbbl (million barrels) of oil (Vest, 1970; Galloway et al., 1983). Ultimate recovery in the play is projected to be <110 MMbbl because of the low, 21% recovery efficiency, the result of low average-permeability values of 25 md (millidarcies) and extreme reservoir heterogeneity. Reservoirs in the play occur in poorly connected, slope-channel sandstone bodies. The predominant trap mechanism is updip porosity pinchouts controlled by narrow, channel-fill sandstone bodies pinching out into low-permeability slope mudstones and siltstones. The main drive mechanism is solution gas, although waterfloods have been employed in several fields (Galloway et al., 1983).

The Cisco Group records a significantly increased sediment supply coupled with rejuvenation of the Ouachita Fold Belt (Palacios, 2020). In Nolan County it is composed of siliciclastic deepwater slope deposits interbedded with relatively thinner carbonate debris-flow deposits (Brown, 1973; Galloway and Brown, 1973; Galloway et al., 1983; Brown et al., 1990). In Lake Trammel South field, the Cisco Group is a cyclic series of thirteen mudrock, limestone, and sandstone facies from the top of the Home Creek to the top Coleman Junction Limestone (Hentz et al., 2017 [figs. 3 and 4]). It is a 1,000- to 1,700-ft (300- to 520-m) succession of slope-channel deposits that lap onto and overtop aggradational carbonate-reef and mound deposits in the underlying Canyon Group (fig. 5).

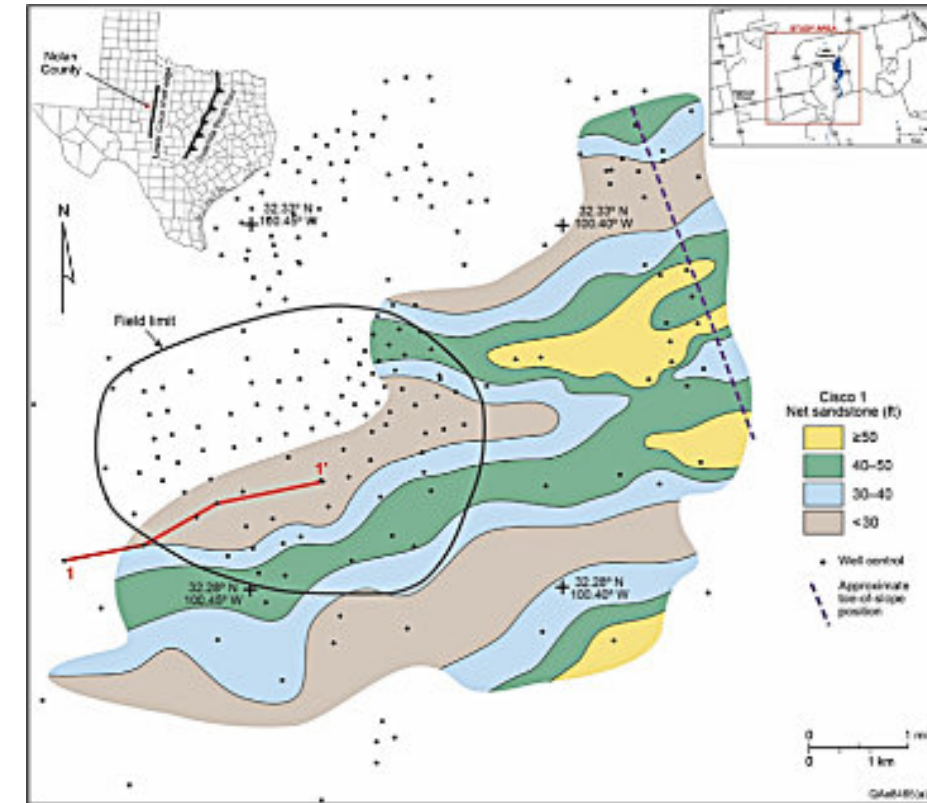


Figure 1. Location of Lake Trammel South field and adjacent areas in Nolan County, Texas. Net-sandstone map of the Cisco 1 depositional unit (basal siliciclastic-dominated unit, between the Cisco 1 marker bed and top of the Canyon Group) is also shown. Regional location of the field is shown in figure 2. The Cisco stratigraphic succession is illustrated in figures 3 and 4. Structural cross section 1-1' is shown in figure 5. From Ambrose and Hentz (2020) and Ambrose et al. (2022).

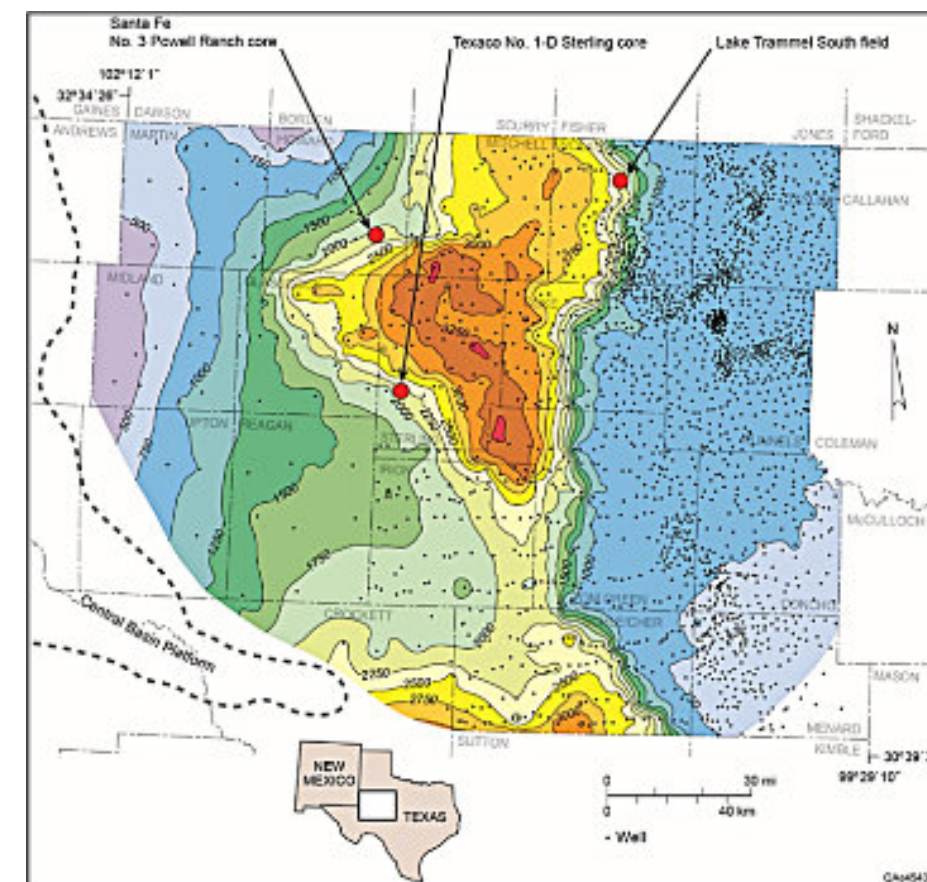


Figure 2. Isochore map of the Upper Cisco Group, with locations of Lake Trammel South field, the Texaco No. 1-D Sterling core, and the Santa Fe No. 3 Powell ranch core. Thickest strata coincide with greatly thickened slope systems comprising siliciclastic and carbonate debris-flow deposits and thick sections of slope mudrock. The narrow zone of abrupt thickness change at about the 1,000-ft isochore corresponds to the Crystal Fall Limestone shelf edge, the approximate updip (eastward) limit of the Cline Shale (fig. 3). Detailed location of Lake Trammel South field is shown in figure 1. Stratigraphic position of the Crystal Falls Limestone is shown in figures 3 and 4. Description of the Texaco No. 1-D Sterling core is shown in figure 11. Description of the Santa Fe No. 3 Powell core is shown in figure 13. Modified from Hentz et al. (2017).

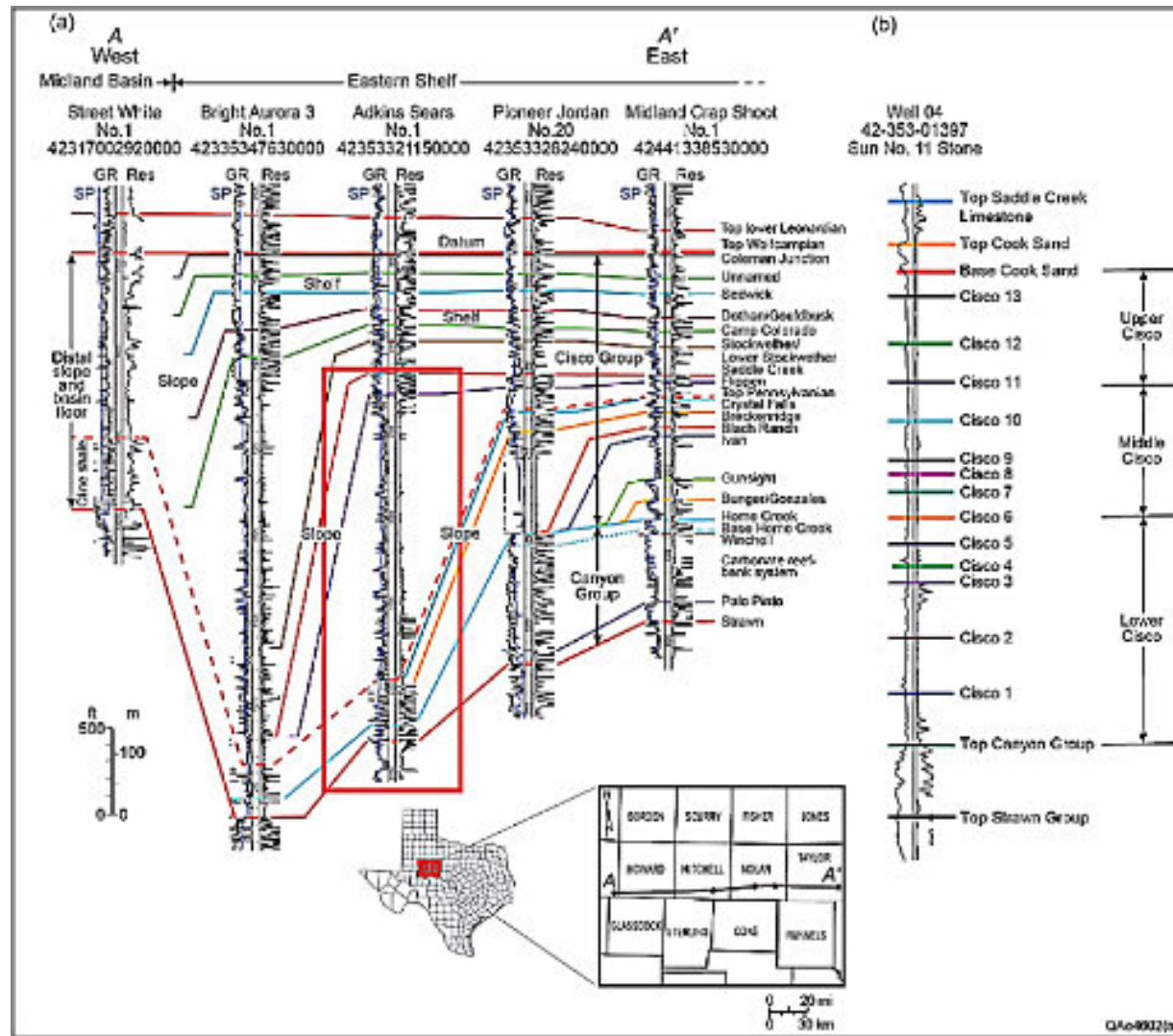


Figure 3. (a) Regional west-east stratigraphic cross section in the Cisco and Canyon Groups that includes part of Nolan County, south of Lake Trammel South field. Datum is the top of the Coleman Junction Limestone. (b) Type log (Sun No. 11 Stone well [API No. 42-353-01397]) in Lake Trammel South field contains the Cisco section that is stratigraphically equivalent to the stratigraphic section in the red rectangle in the cross section in part (a) of this figure. Cross section from Ambrose et al. (2022), modified from Hentz et al. (2017).

The Cisco 8 depositional unit, defined as the interval bounded below by the Cisco 7 stratigraphic marker and above by the Cisco 8 stratigraphic marker (figs. 3, 5, and 6), is an example of a productive slope-channel reservoir in Lake Trammel South field. It is cored in four wells—the Sun B. K. Stone No. 6, 8, 9, and 17 (fig. 7).

The Sun No. 9 B. K. Stone core features the Cisco 8 depositional unit from 5,220 to ~5,260 ft (1,591.5 to ~1,603 m) (Fig. 8). The basal 8-ft (2.4-m) section is composed of 4 ft (1.2 m) of mostly mudstone overlain by ripple-stratified, very fine grained sandstone with microfaults. This basal, 8-ft (2.4-m) section is truncated at 5,252 ft (1,601.2 m) by an upward-fining section that

grades upward into mudstone interbedded with very fine grained, ripple-stratified sandstone to 5,232 ft (1,595.1 m) (Figs. 8 and 9a). The coarsest-grained material in this upward-fining section consists of carbonate bioclasts at 5,246 ft (1,599.4 m). The top of the section in the Sun No. 9 B. K. Stone core is a 6-ft (1.8-m) interval of fine-grained sandstone interbedded with sideritic mudstone with asymmetric current ripples (Fig. 8).

The Cisco 8 depositional unit in the Sun No. 17 B. K. Stone core is a heterogenous section of very fine and fine-grained sandstones interbedded with minor volumes of sideritic mudstones (fig. 10). The section contains numerous, thin (1- to 2-ft [0.3- to 0.6-m]) upward-fining

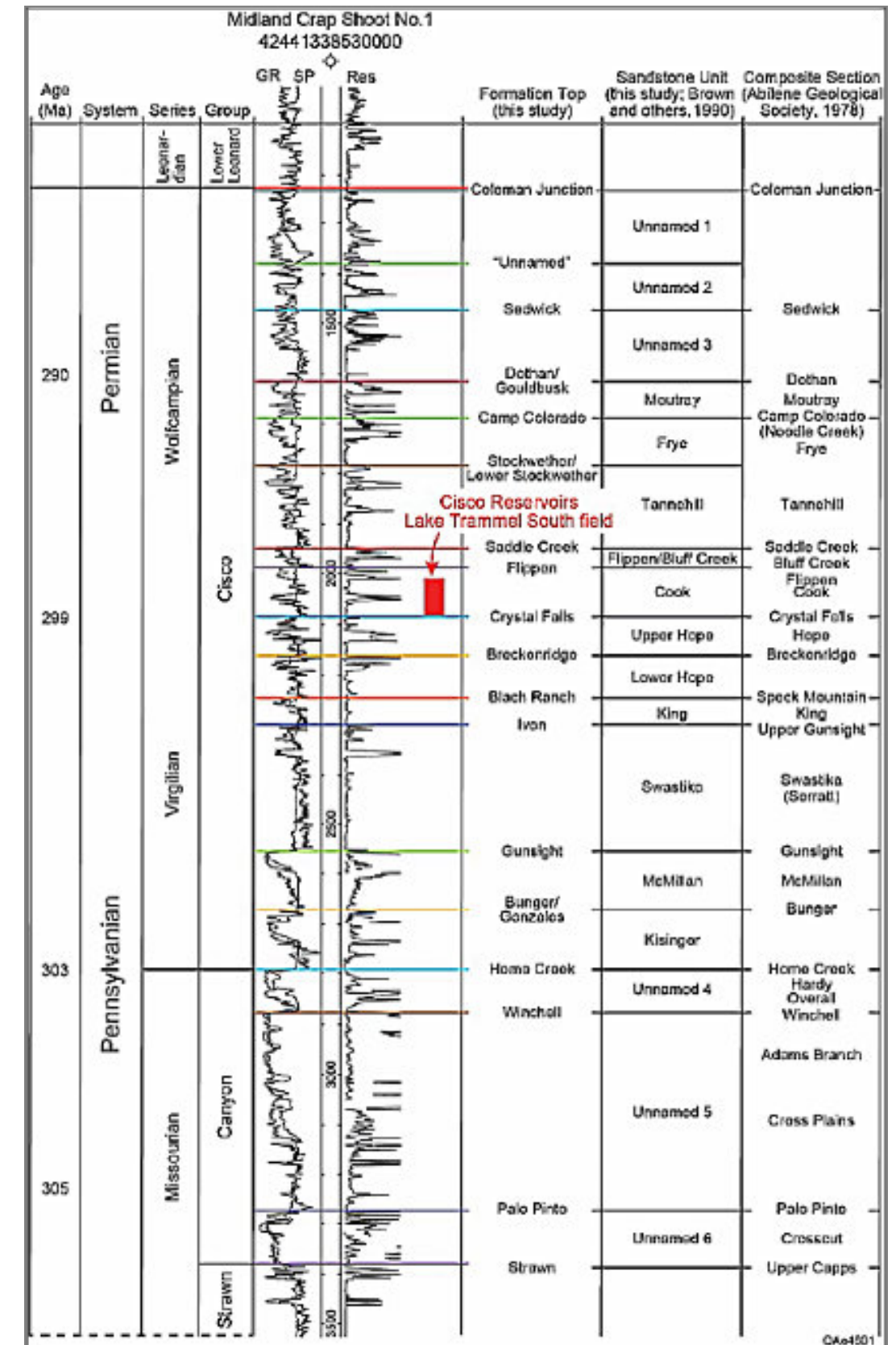


Figure 4. Stratigraphic column of the upper Strawn Formation to the top of the Cisco Group in the area of Lake Trammel South field. Cyclic deposition in the Cisco Group was controlled mainly by relative sea level fluctuations, with regressive siliciclastic wedges bounded by transgressive limestones. Age dates are from Heckel (2008) and Lawton et al. (2021). Modified from Hentz et al. (2017).

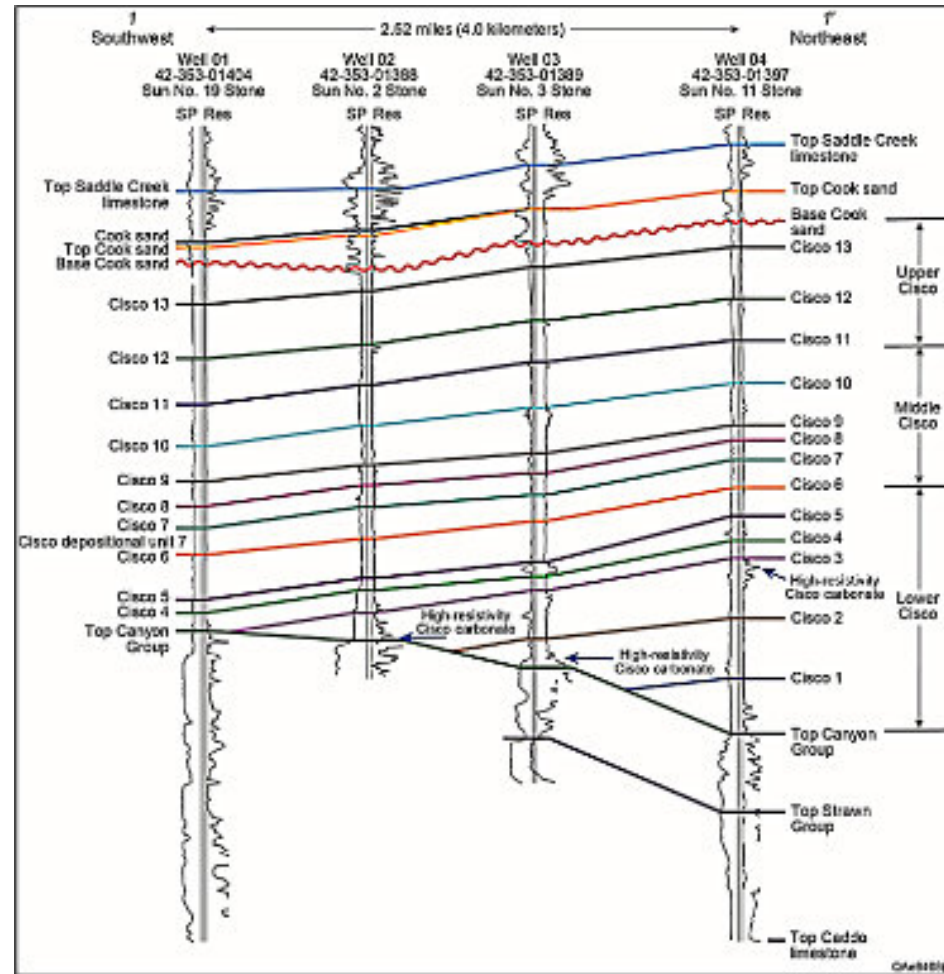


Figure 5. Structural cross section 1-1' in Lake Trammel South field. Cross section is parallel to depositional dip and portrays lower Cisco depositional units downlapping onto carbonates in the Canyon Group. The Sun No. 11 Stone well on the right side of this cross section is also shown in figure 3. Cross section is located in figures 1 and 7. From Ambrose et al. (2022).

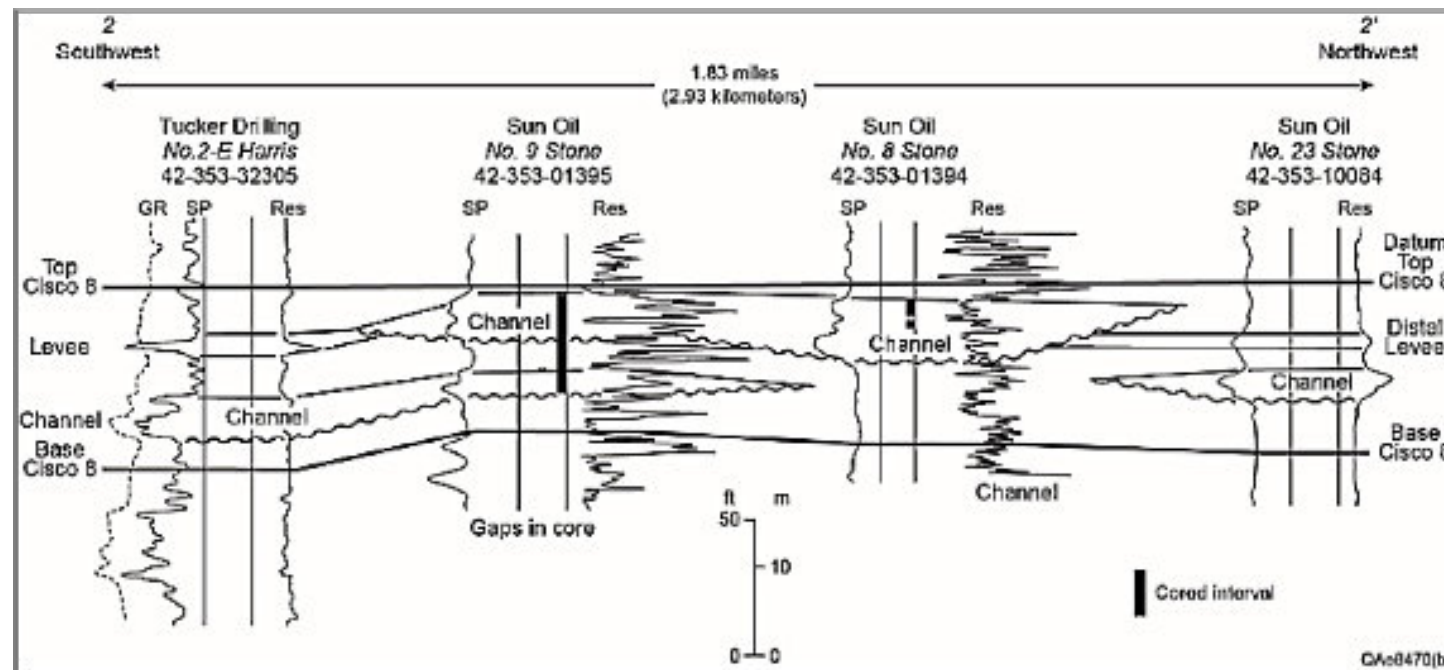


Figure 6. Stratigraphic dip section 2-2' in the Cisco 8 depositional unit displaying vertical and lateral complexity in channel and levee systems. Base Cisco 8 stratigraphic marker bed is also indicated as the Cisco 7 stratigraphic marker bed in figures 3 and 5. Cross section is located in figure 7. Core description of the Cisco 8 depositional unit in the Sun No. 9 B. K. Stone well (second well from the left side of this cross section) is shown in figure 8.

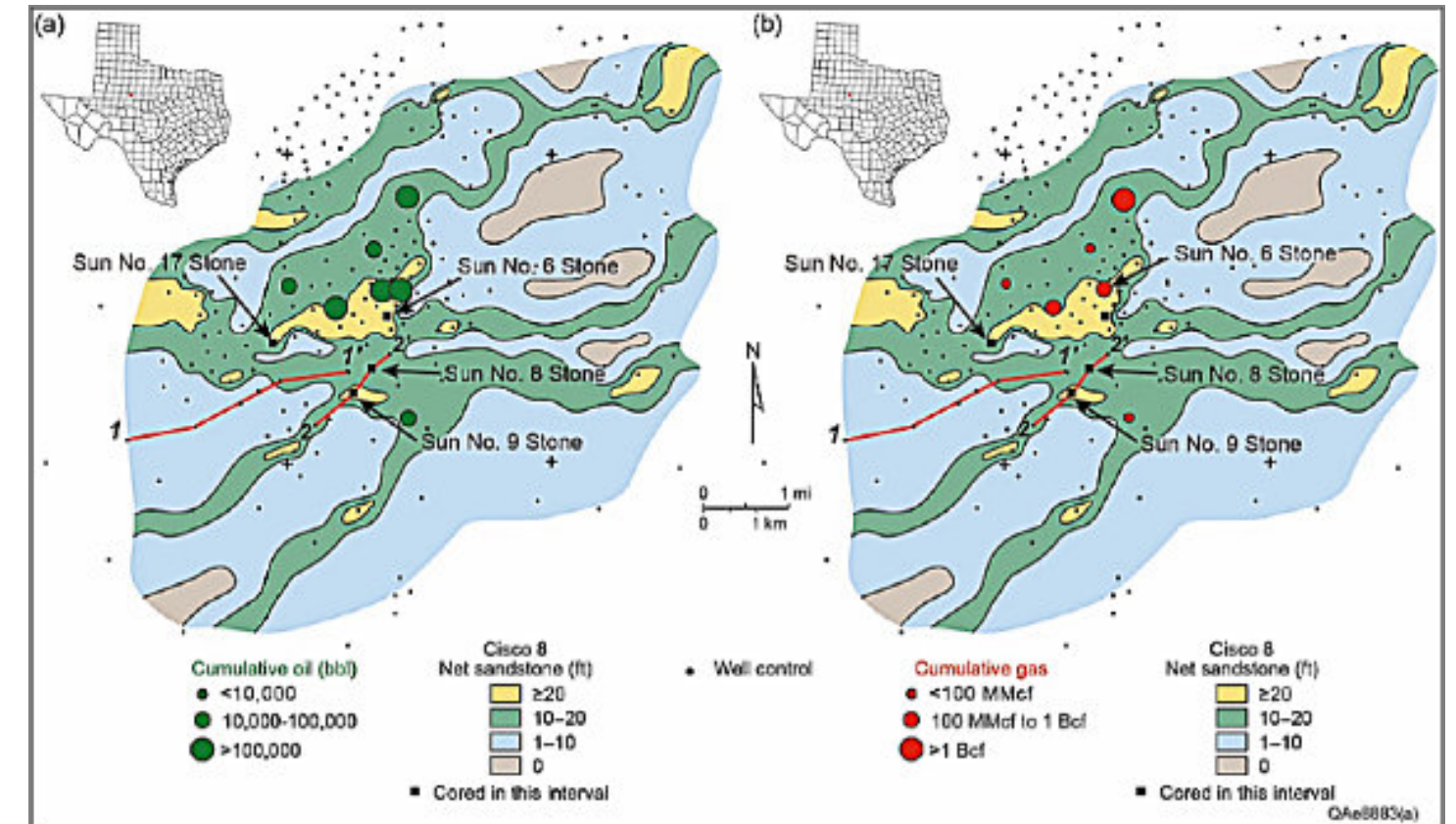


Figure 7. Net sandstone, Cisco 8 depositional unit, defined as the interval bounded below by the Cisco 7 stratigraphic marker and above by the Cisco 8 stratigraphic marker (figs. 3, 5, and 6). (a) Cumulative oil production in individual wells. (b) Cumulative gas production in individual wells. Core descriptions of the Sun No. 9 and No. 17 B. K. Stone wells are shown in figures 8 and 10, respectively. Core photographs are shown in figure 9. Structural dip section 1-1' and stratigraphic dip section 2-2' are shown in figures 5 and 6, respectively.

beds with erosional surfaces. Individual beds in the section are as thin as 1.5 inches (3.8 centimeters). Some 4-inch (10.2-centimeter) sections contain (1) laminated, very fine grained sandstone with ripples and faint, planar stratification, (2) fine-grained sandstone with abundant, sideritic mud-rip-up clasts, (3) very fine grained sandstone with convolute bedding, and (4) fine-grained sandstone with faint, planar stratification (fig. 9b).

Net sandstone distribution in the Cisco 8 depositional unit is complex, with dip-elongate, anastomosing patterns across the study area (fig. 7). Individual depositional axes are narrow (commonly <2,000 ft [<610 m] across) and have 10 to 20 ft (3 to 6 m) of net sandstone. They merge into a broad, sandy main depocenter in the center of the field, where net-sandstone thickness is >20 ft (>6 m) (fig. 7). A wide (approximately 1-mile [1.6-kilometer]) belt of >10 ft (>3 m) of net sandstone is projected westward from the field and two narrow (<2000-ft [<610 -m]) net-sandstone trends are projected to the southwest.

The Cisco 8 depositional unit has a complex, anastomosing and dip-elongate geometry (fig. 7). These dip-elongate net-sandstone trends represent narrow, slope-channel deposits. However, this apparent anastomosing geometry may be the result of the Cisco 8 depositional unit being a composite succession of multiple channel-fill sandstone beds (figs. 6 and 10). Channel-fill processes in the Cisco 8 depositional unit were episodic, alternating with periods of temporary channel abandonment. This is recorded as a heterogeneous succession of multiple, erosion-based sandstone beds and minor volumes of mudstone beds in the Sun No. 17 B. K. Stone core (Fig. 10).

Levee/overbank deposits are poorly represented in cores in the Cisco 8 depositional unit, a function of their axial position (fig. 7). However, limited levee/overbank deposits are present in the Sun No. 9 B. K. Stone core, where they are composed of very fine grained sandstone with mudstone-draped ripples and microfaults at 5,252 to 5,256 ft (1,601.2 to 1,602.4 m) (fig. 8).

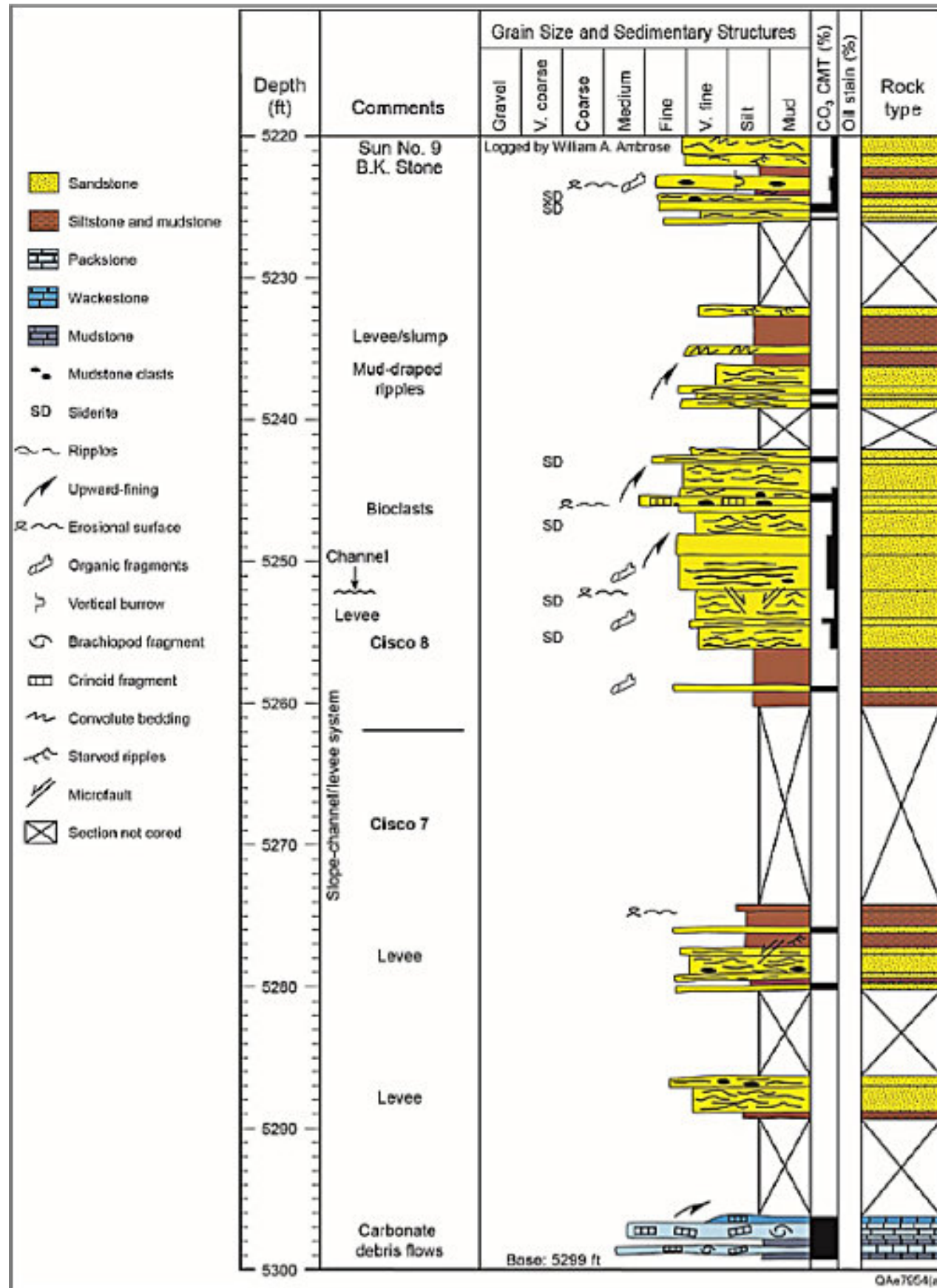


Figure 8. Description of the Sun No. 9 B. K. Stone core from 5,220 to 5,299 ft (1,591.5 to 1,615.6 m), showing the upper part of the Cisco 7 and lower part of the Cisco 8 depositional units. Wireline-log and stratigraphic position of cored section are shown in stratigraphic cross section 2-2' (fig. 6). Location of well is shown in figure 7. Core photograph at 5,236 ft (1,596.3 m) is shown in figure 9a.

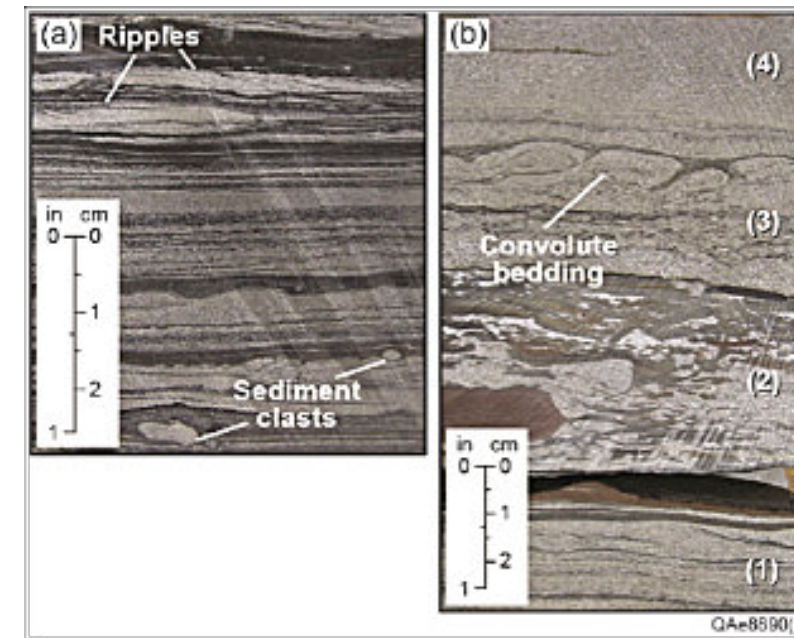


Figure 9. Photographs of slabbed cores in the Cisco 8 depositional unit in Lake Trammel South field. (a) Very fine grained, laminated and ripple-stratified sandstone with mudstone drapes at 5,236.0 ft (1,596.3 m) in the Sun No. B. K. Stone 9 well. (b) Very fine grained and fine-grained sandstone with sideritic mudstone-rip-up-clasts and convolute bedding at 5,234.9 ft (1,596.0 m) in the Sun No. B. K. Stone 17 well. Core descriptions of the Sun No. 9 and 17 B. K. Stone wells are shown in figures 8 and 10, respectively. Locations of cored wells are shown in figure 7.

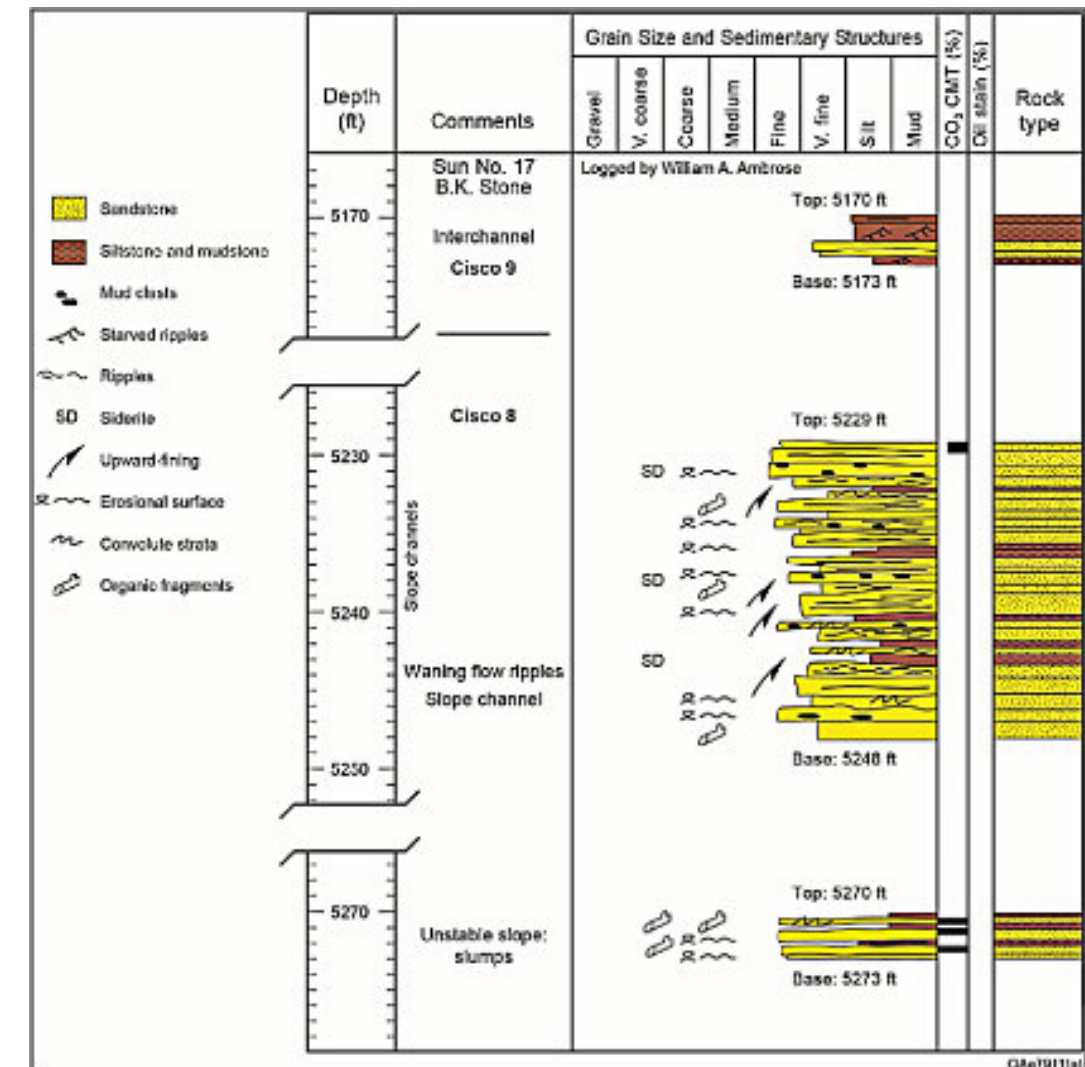


Figure 10. Description of the Sun No. 17 B. K. Stone core from 5,170 to 5,173 ft (1,576.2 to 1,577.1 m) and 5,229 to 5,273 ft (1,594.2 to 1,697.6 m) in the Cisco 9 and Cisco 8 depositional units, respectively. Location of well is shown in figure 7. Core photograph at 5,234.9 ft (1,596.0 m) is shown in figure 9b.

Seven wells in Lake Trammel South field in the Cisco 8 depositional unit are oil-productive (fig. 7a). Three of the most productive wells, each with cumulative production exceeding 100,000 barrels, occur in a sandstone-rich area in the central part of the field at the confluence of slope-channel systems (fig. 7a). Six wells are also gas-productive (fig. 7b). Greatest individual-well production is from the northernmost slope-channel trend on the northeastern margin of Lake Trammel South field, where one well has produced >1 billion cubic feet (Bcf) of gas.

Distal-Slope and Basin-Floor Systems: Sterling and Howard Counties

Sterling County

The Texaco No. 1-D Sterling well is located in a distal-slope setting, westward of the axis of thickest Cisco slope deposits in Sterling County (fig. 2). A cored interval from 7,764 to 7,864 ft (2,367.1 to 2,397.6 m), is composed of

multiple, 10- to 20-ft (3- to 6-m) sections of fine-to-medium-grained sandstone interbedded with mudstone with thin (1- to 2-ft [0.3- to 0.6-m]) beds of very fine to fine-grained sandstone (fig. 11). Most of these 10- to 20-ft (3- to 6-m) sections, with the exception of the upward-coarsening one from 7,835 to 7,842 ft (2,388.7 to 2,390.9 m), have a blocky to slightly upward-fining vertical grain-size profile and are composed of individual, 1- to 3-ft (0.3- to 0.9-m) beds of predominantly massive and weakly planar-stratified, and fine-to-medium-grained sandstone (fig. 12a and 12b). Sections of planar-stratified sandstone in the core are capped by thin (<1-inch [<2.5 -centimeter]) beds of fine-grained sandstone with ripple stratification (fig. 12b). Accessory features in these sandstone bodies include elongate clay clasts (fig. 12a) and organic fragments. Muddy sections are composed of discontinuous and distorted, millimeter- and centimeter-scale beds of very fine grained sandstone and sideritic mudstone (fig. 12c).

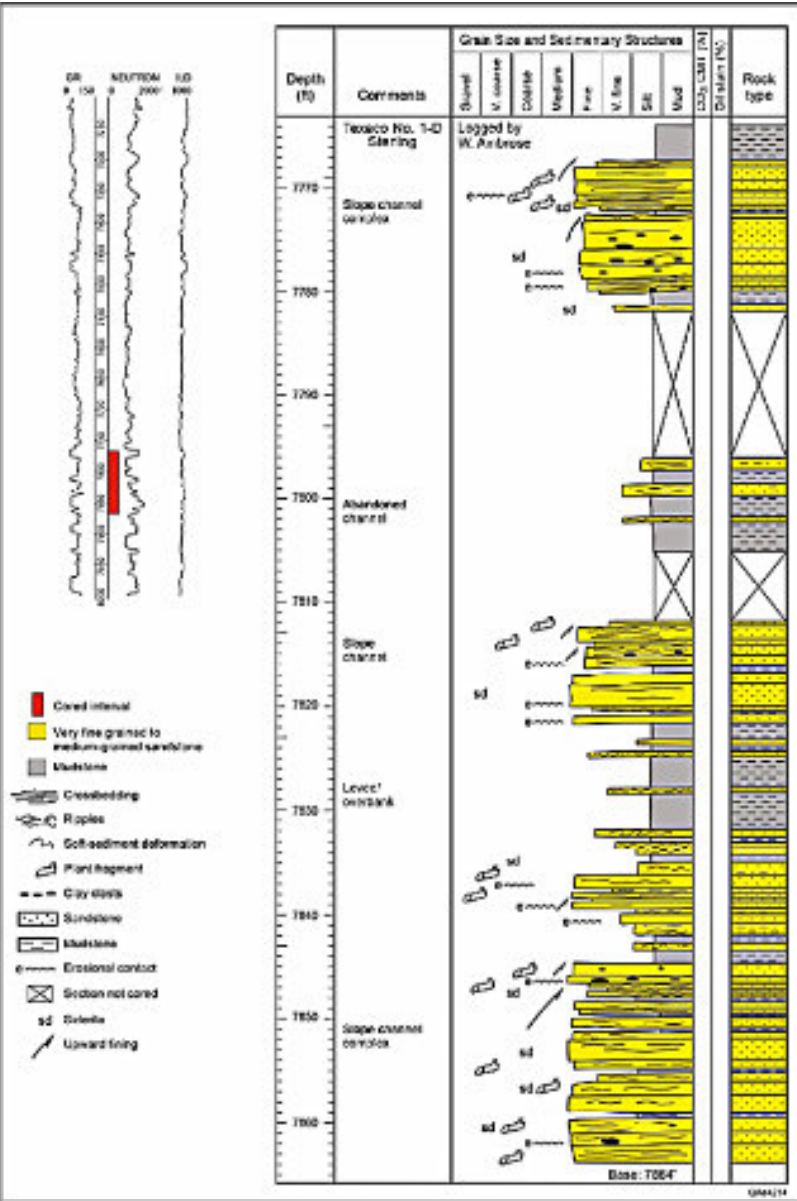


Figure 11. Core Description of distal-slope channel-fill and levee deposits in the Texaco No. 1-D Sterling well from 7,764 to 7,864 ft (2,367.1 to 2,397.6 m). Well is located in figure 2. Core photographs are shown in figure 12.

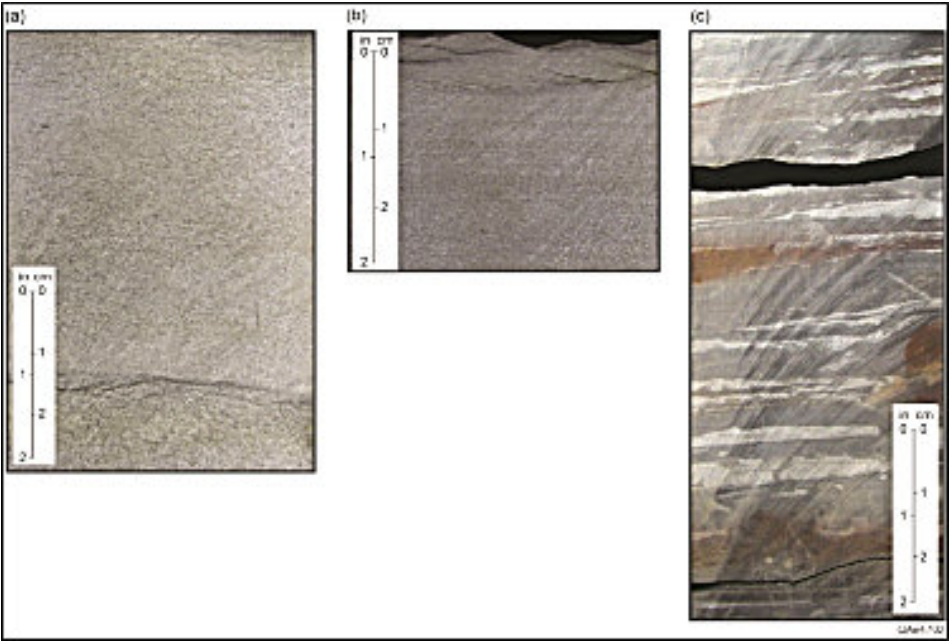


Figure 12. Core photographs of slope deposits in the Texaco No. 1-D Sterling well. (a). Fine-to-medium-grained, faintly planar-stratified sandstone in channel-fill facies at 7,861.7 ft (2,396.9 m). (b). Fine-grained sandstone with planar stratification overlain by climbing-ripple stratification in upper-channel-fill facies at 7,812.9 (2,382.0 m). (c). Lenticular beds of very fine grained sandstone interbedded with sideritic mudstone in levee-overbank facies at 7,834.8 ft (2,388.7 m). Core description is shown in figure 11.

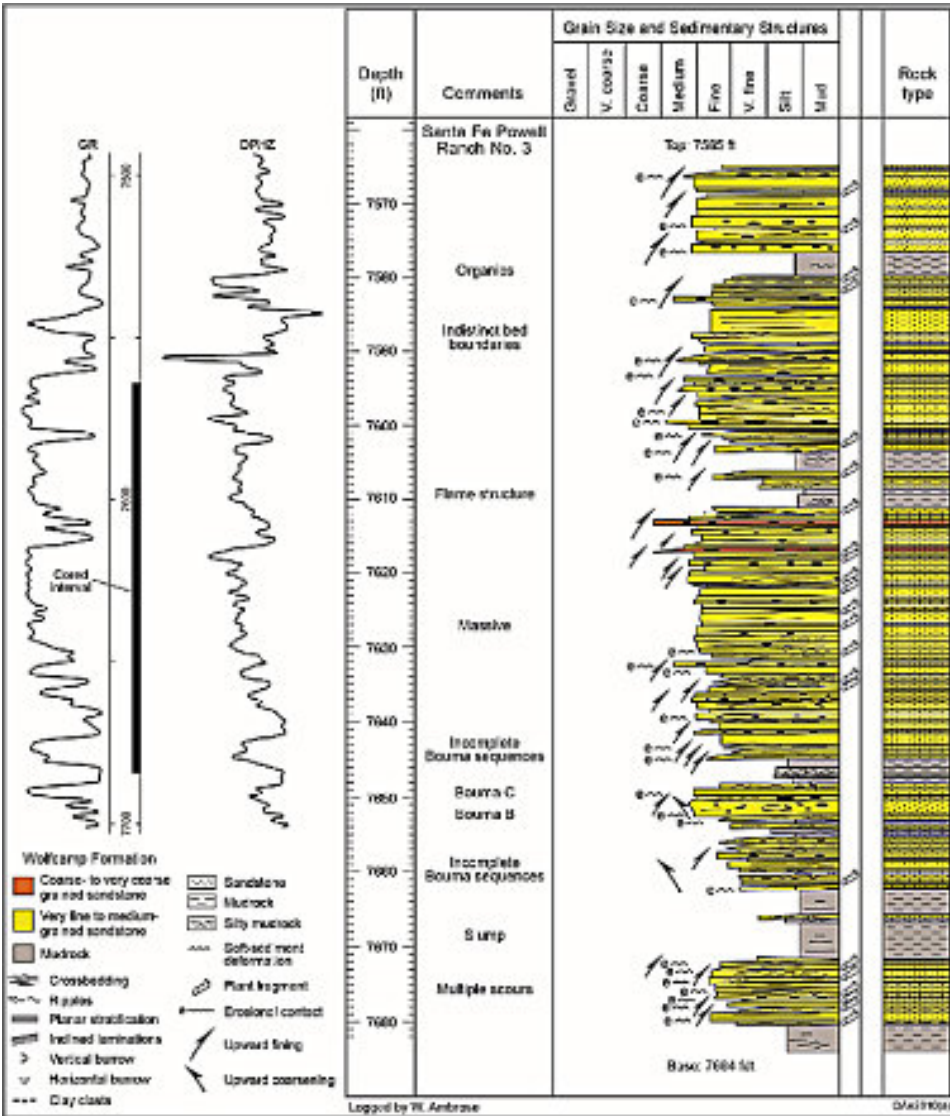


Figure 13. Core description of distal-slope to basin-floor deposits in the Cisco Group in the Santa Fe No. 3 Powell Ranch well from 7,564 to 7,684 ft (2,306.1 to 2,342.7 m). Well is located in figure 2. Core photographs are shown in figure 14.

The Texaco No. 1-D Sterling core contains channel and levee deposits in a distal-slope setting. Channel deposits in the cores are 10- to 20-ft (3- to 6-m) successions of fine-to-medium-grained sandstone with abundant scour surfaces and clay clasts (figs. 11, 12a, and 12b). They have an overall blocky to slightly upward-fining vertical grain-size profile. Composed of numerous, erosion-based, 1- to 2.5-ft (0.3- to 0.8-m) beds, they record repetitive turbidity flows that formed incomplete Bouma sequences. The upper parts of these incomplete Bouma sequences are composed of Bouma C climbing ripples (fig. 12b). Levee deposits in the Texaco No. 1-D Sterling well consist of thin (<1-ft [<0.3 -m]) beds of very fine to fine-grained, ripple-laminated and weakly planar-stratified sandstone interbedded with silty, organic-rich mudstone beds. Other fabrics are thin (millimeter- to centimeter-scale), discontinuous and broken beds of very fine grained sandstone and sideritic mudstone (fig. 12c).

Sandstone beds in the Texaco No. 1-D Sterling well, based on the presence of multiple and thin (commonly <30 ft [<9 m]) composite channel-fill facies, are composed of narrow, sinuous channels in a muddy, distal slope system. The stratal architecture of sandy framework facies in the Texaco No. 1-D Sterling well is similar to that described by Galloway and Hobday (1996), Gardner (1997), Dutton et al. (2003), and Prather (2003) for slope depositional systems,

with a point-sourced, elongate and sinuous channel-feeder system with shoestring plan geometries. Reservoir development in such muddy slope systems is challenging because of thin and narrow channel-fill sandstones and a high degree of interbedded sandstone and shale beds (Kendrick, 2000).

Howard County

Distal-slope to inner-basin-floor deposits in the Cisco Group in Howard County (well located in fig. 2), have high (>70%) percent-sandstone values. They are composed of thick (>200-ft [>61 -m]) sections of amalgamated, fine-to-medium-grained sandstone beds. The Santa Fe No. 3 Powell Ranch well is a sandstone-dominated section that extends from 7,564 to 7,684 ft (2,306.1 to 2,342.7 m) (fig. 13). The section is composed of several, 10- to 35-ft (3.0- to 10.7-m) successions of fine-to-medium-grained sandstone beds separated by thinner, 5- to 10-ft (1.5- to 3.0-m) beds of sideritic mudstone. Individual sandstone beds range in thickness from 0.5- to 2-ft (0.2- to 0.6-m). They are erosionally based, upward-fining, and contain organic fragments and clay clasts (fig. 13). Stratification in individual sandstone beds consists, from base to top, of faintly laminated to massive bedding, grading upward into centimeter-scale plane beds overlain by asymmetrical, mud-draped ripples (fig. 14a). Other sections are dominated by 2- to 4-inch (5.1- to 10.2-centimeter) zones

of sandy laminae, interbedded with 1- to 1.5-inch (2.5- to 3.8-centimeter) beds with mud-draped ripples (fig. 14b). Accessory features include graded bedding, convolute bedding, and flame structures (fig. 14c) that record episodes of soft-sediment deformation resulting from the weight of overlying, water-saturated beds that have forced underlying, water-saturated beds to push upward, forming small, arcuate features.

The 10- to 35-ft (3.0- to 10.7-m) sandy successions in the core of the Santa Fe No. 3 Powell Ranch well are composed of multiple, incomplete Bouma sequences dominated by poorly stratified Bouma A and planar-stratified Bouma B beds of the types described by Bouma (2000). Although ripple-laminated Bouma C and muddy Bouma D beds are also present, they are relatively thinner and incompletely preserved (figs. 13 and 14a). These sandy successions represent sand-rich, distal sheets within continuous lobes in an inner basin-floor fan setting. This interpretation is based on a distal setting, the high overall net-sandstone content of the section (>70% sandstone), the amalgamated nature of the sandstone bodies, and sparse levee-overbank facies. Sandstone beds in the Santa Fe No. 3 Powell Ranch core, based on the aggradational succession of sandstone beds and its great percent-sandstone content, are inferred to be components of broad, sheet-like to low-relief, lobate sandbody geometries composed of channelized sandstone units of the type described by Beaubouef et al. (2003) in distal facies tracts in the Brazos-Trinity fan system in the Gulf of Mexico. Sand-rich fan systems in distal-slope to basin-floor settings commonly form broad sheets within constructional, low-relief mounds (Reading and Richards, 1994), and have good lateral and vertical sandbody connectivity (Richards and Bowman, 1998; Richards et al., 1998).

References

- Ambrose, W. A., and Hentz, T. F., 2020, Geologic controls on stratal architecture and regional sediment distribution in the Cisco Group, Eastern Shelf of the Permian Basin, (abs.): South-Central Section of the Geological Society of America, <https://gsa.confex.com/gsa/2020SC/meetingapp.cgi/Paper/343209>, last accessed March 22, 2023.
- Ambrose, W. A., Hentz, T. F., and Smith, D. C., 2022, Facies variability and geologic controls on reservoir heterogeneity in deepwater slope reservoirs in the Pennsylvanian Cisco Group, Lake Trammel South field, Nolan County, Texas: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Report of Investigations No. 288, 35 p., <http://doi.org/10.23867/RI0288D>.

Conclusions

Siliciclastic slope and basin-floor oil and gas reservoirs in the Wolfcampian Cisco Group are part of the prolific Upper Pennsylvanian slope sandstone play in the Eastern Shelf of the Permian Basin. Although the play has accounted for ~100 MMbbl of oil production, it still has the potential for additional oil recovery because of great reservoir heterogeneity, particularly in proximal-slope reservoirs in Nolan County, where they are composed of poorly connected and fine-grained slope-channel sandstone bodies. In Lake Trammel South field, proximal-slope reservoirs occur in narrow (500- to 3,000-ft [150- to 900-m]), sinuous and anastomosing trends. They are bounded laterally by extensive areas of muddy deposits of levee/overbank origin. In contrast, inner-basin-floor deposits in Howard County are sandstone-rich, occurring as sandy, amalgamated sections of fine-to-medium-grained sandstone within incomplete Bouma A and B deposits. These sandstone beds are components of broad, sheet-like to low-relief, lobate sandbody geometries inferred to have a greater degree of both lateral and vertical reservoir continuity than proximal-slope deposits along the Upper Cisco shelf margin in Lake Trammel South field.

Acknowledgments

This study was funded by the STARR (State of Texas Advanced Oil and Gas Resource Recovery) program at the Bureau of Economic Geology, the University of Texas at Austin, under the guidance of Lorena Moscardelli. Francine Mastrangelo, Paula Beard, Nancy Cottingham, and Jana Robinson prepared the illustrations under the direction of Jason Suarez, Manager, Media Information Technology. Publication authorized by the Director, Bureau of Economic Geology.

Beaubouef, R. T., Abreu, V., and Van Wagoner, J. C., 2003, Basin 4 of the Brazos-Trinity slope system, western Gulf of Mexico: the terminal portion of a late Pleistocene lowstand systems tract, in Roberts, H. H., Rosen, N. C., Fillon, R. H., and Anderson, J. B., eds., Gulf Coast Section-Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Foundation, 23rd Annual Bob F. Perkins Research Conference, p. 182–203.

Bouma, A. H., 2000, Fine-grained, mud-rich turbidite systems: model and comparison with coarse-grained, sand-rich systems, in Bouma, A. H., and Stone, C. G., eds., Fine-grained turbidite systems: American Association of Petroleum Geologists Memoir 72/ Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication No. 68, p. 9–20.

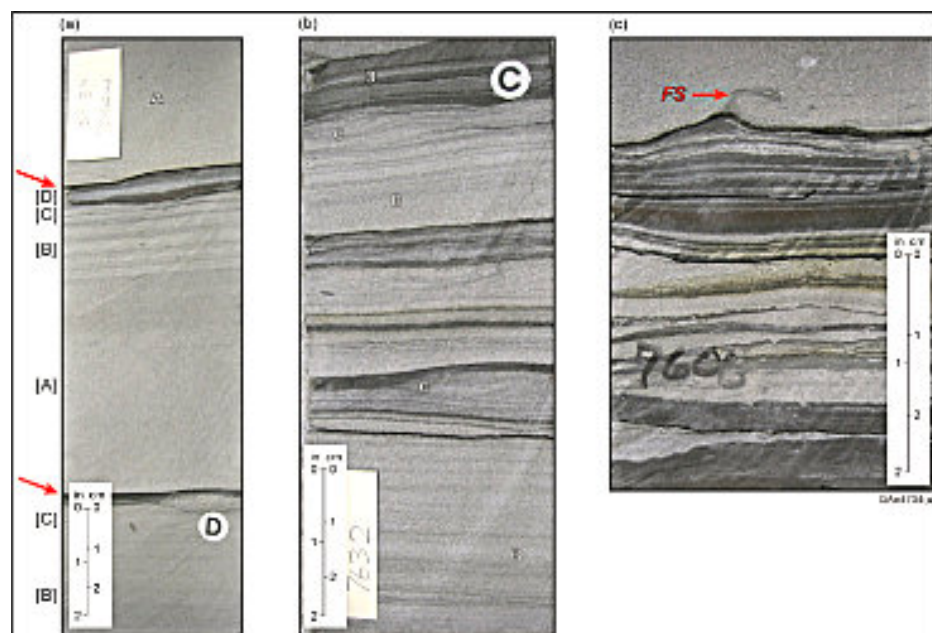


Figure 14. Core photographs of distal-slope to basin-floor deposits in the Santa Fe No. 3 Powell Ranch well. (a). Incomplete Bouma sequence between two arrows (erosional surfaces) at 7,644 ft (2,330.5 m). [A]: massively bedded to weakly planar stratified, fine-to-medium-grained sandstone in basal Bouma A facies. [B]: Planar-stratified, fine-grained sandstone in Bouma B facies. [C]: Ripple-stratified, fine-grained sandstone in Bouma C facies. [D]: Thin (millimeter-scale) bed of very fine grained sandstone interbedded with comparably thin mudstone beds in Bouma D facies. (b). Planar- and ripple-stratified, very fine grained sandstone in Bouma B and Bouma C facies at 7,632 ft (2,326.8 m). Top of core photograph features muddy Bouma D facies. (c). Muddy interchannel-levee facies composed of draped-ripple stratification at 7,608.2 ft (2,319.6 m). Section is truncated by thin (1-ft [0.3-m]) bed of fine-grained sandstone with flame-structure (FS). Core description is shown in figure 13.

Brown, L. F., Jr., 1973, Cisco depositional systems in North-Central Texas, in Brown, L. F., Jr., Cleaves, II, A. W., and Erxleben, A. W., eds., Pennsylvanian depositional systems in North-Central Texas: a guide for interpreting terrigenous clastic facies in a cratonic basin: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Guidebook No. 14, p. 57–73, ISSN: 0363-4132.

Brown, L. F., Jr., Solis Iriarte, R. F., and Johns, D. A., 1990, Regional depositional systems tracts, paleogeography, and sequence stratigraphy, Upper Pennsylvanian and Lower Permian strata, north- and west-central Texas: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Report of Investigations No. 197, 116 p. + oversized plates.

Dutton, S. P., Flanders, W. A., and Barton, M. D., 2003, Reservoir characterization of a Permian deep-water sandstone, East Ford field, Delaware basin, Texas: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 87, p. 609–627.

Galloway, W. E., and Brown, L. F., Jr., 1973, Depositional systems and shelf-slope relations on cratonic basin margin, uppermost Pennsylvanian of North Texas: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 57, No. 7, p. 1185–1218.

Galloway, W. E., Ewing, T. E., Garrett, C. M., Jr., Tyler, N., and Bebout, D. G., 1983, Atlas of major Texas oil reservoirs: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, 139 p., doi.org/10.23867/AT0002D.

Galloway, W. E., and Hobday, D. K., 1996, Terrigenous clastic depositional systems: applications to fossil fuel and groundwater resources (2nd ed.): New York, Springer-Verlag, 489 p., doi.org/10.1007/978-3-642-61018-9.

Gardner, M. H., 1997, Characterization of deep-water siliciclastic reservoirs in the upper Bell Canyon and Cherry Canyon formations of the northern Delaware basin, Culberson and Reeves Counties, Texas, in Major, R. P., ed., Oil and gas on Texas state lands: an assessment of the resource and characterization of type reservoirs: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Report of Investigations No. 241, p. 137–146.

Heckel, P. H., 2008, Pennsylvanian cyclothems in Midcontinent North America as far-field effects of waxing and waning of Gondwana ice sheets, in Fielding, C. R., Frank, T. D., and Isbell, J. L., eds., Resolving the late Paleozoic ice age in time and space: Geological Society of America Special Paper No. 441, p. 275–289, DOI:10.1130/2008.2441(19).

Hentz, T. F., Ambrose, W. A., and Hamlin, H. S., 2017, Upper Pennsylvanian and Lower Permian shelf-to-basin facies architecture and trends, Eastern Shelf of the southern Midland Basin: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology Report of Investigations 282, Austin, Texas, 68 p. and oversized plate, doi.org/10.23867/RI0282D.

Kendrick, J. W., 2000, Turbidite reservoir architecture in the northern Gulf of Mexico deepwater: insights from the development of Auger, Tahoe, and Ram/Powell fields, in Weimer, P., Slatt, R. M., Coleman, J., Rosen, N., Nelson, C. H., Bouma, A. H., Styzen, M. J., and Lawrence, D. T., eds., Deep-water reservoirs of the world, Gulf Coast Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Foundation, 20th Annual Bob F. Perkins Research Conference, p. 450–468.

Lawton, T. F., Blakey, R. C., Stockli, D. F., and Liu, L., 2021, Late Paleozoic (Late Mississippian–Middle Permian) sediment provenance and dispersal in western equatorial Pangea: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 572, article no. 110386, 35 p., DOI:10.1016/j.palaeo.2021.110386.

Palacios, F., 2020, Sediment supply and tectonic controls on the stratigraphic architecture of the Cisco Group, southern Eastern Shelf of the Permian Basin: South-Central Section of the Geological Society of America, <https://gsa.confex.com/gsa/2020SC/meetingapp.cgi/Paper/343310>, last accessed March 22, 2023.

Prather, B. E., 2003, Controls on reservoir distribution, architecture and stratigraphic trapping in slope settings: Marine and Petroleum Geology, v. 20, p. 529–545, doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.03.009.

Reading, H. G., and Richards, M., 1994, Turbidite systems in deep-water basin margins classified by grain size and feeder system: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 78, p. 792–822.

Richards, M., and Bowman, M., 1998, Submarine fans and related depositional systems II: variability in reservoir architecture and wireline log character: Marine and Petroleum Geology, v. 15, p. 821–839.

Richards, M., Bowman, M., and Reading, H., 1998, Submarine-fan systems I: characterization and stratigraphic prediction: Marine and Petroleum Geology, v. 15, p. 687–717.

Vest, E. L., Jr., 1970, Oil fields of Pennsylvanian-Permian Horseshoe Atoll, West Texas, in Halbouty, M. T., ed., Geology of Giant Petroleum Fields—Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir No. 14, p. 185–203.



William A. Ambrose is a Senior Research Scientist (retired) at the Bureau of Economic Geology, the University of Texas at Austin, where he holds a Master of Arts degree in geological sciences. He is currently Co-Chair of the Astrogeology Committee of the American Association of Petroleum Geologists (AAPG). His research interests in planetary geology include energy resources in the Solar System and lunar geology, with an emphasis on crater morphology and secondary craters associated with large impact basins. Bill has given numerous presentations on planetary science at meetings of the LPSC (Lunar and Planetary Science Conference), GSA (Geological Society of America), and AAPG. He is co-editor of GSA Special Paper 477, “Recent Advances and Current Research Issues in Lunar Stratigraphy” and AAPG Memoir 101 “Energy Resources for Human Settlement in the Solar System and Earth’s Future in Space”.



Tucker F. Hentz is a geologist specializing in siliciclastic sequence stratigraphy and basin analysis. He received his M.S. degree in geology from The University of Kansas in 1982. He joined the Bureau of Economic Geology in 1982 and has conducted studies in several Mid-Continent and Gulf of Mexico basins, including the Eastern Shelf of the Midland Basin (field mapping of Pennsylvanian and Permian continental strata), Delaware Basin (native sulfur in the Castile Formation), Anadarko Basin (Cleveland Formation and Cherokee Group), Val Verde Basin (Ozona Canyon Formation), Gulf Coast Basin (Wilcox Lobo trend, Miocene of offshore Louisiana), Burgos Basin (Miocene strata), Fort Worth Basin (Bend Conglomerate), and East Texas Basin (Woodbine Group). Hentz also has worked on several major play atlases of the northern Gulf of Mexico and Mid-Continent published by the BEG. His contact information is — email: tucker.hentz@beg.utexas.edu, address: Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin, University Station, Box X, Austin, TX, 78713-8924.

THEODOR WOLF y LA FUNDACIÓN DE LA GEOLOGÍA CIENTÍFICA DEL ECUADOR: VIDA, OBRA y LEGADO TERRITORIAL

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente (porrasjs@yahoo.com)



Resumen

Theodor Wolf (1841-1924) fue un geólogo y geógrafo alemán cuya obra constituye el primer esfuerzo sistemático por interpretar el territorio ecuatoriano desde una perspectiva geológica moderna. A partir de extensos viajes de campo realizados entre 1870 y 1892, Wolf elaboró descripciones pioneras sobre la geología regional del Ecuador continental y de las islas Galápagos, integrando observaciones litológicas, geomorfológicas y cartográficas. Este trabajo analiza su trayectoria científica, su metodología geognóstica y sus principales aportes.

Asimismo, se examina el valor histórico y patrimonial de su obra como fundamento de la geología aplicada, la planificación territorial y la interpretación contemporánea del paisaje ecuatoriano. El estudio posiciona a Wolf como figura clave en la transición desde el conocimiento empírico colonial hacia la geología científica en América Latina.

Palabras clave: historia de la geología, Ecuador, Theodor Wolf, geognosia, geoheritage.

1. Introducción

La construcción del conocimiento geológico en América Latina durante el siglo XIX estuvo marcada por una transición progresiva desde descripciones naturalistas fragmentarias hacia interpretaciones científicas basadas en el trabajo sistemático de campo. En el Ecuador, este proceso fue particularmente tardío debido a limitaciones institucionales, dificultades de acceso al territorio y la ausencia de programas científicos estables tras la independencia. En este contexto, la figura de Theodor Wolf emerge como central en la consolidación de una lectura geológica coherente del país.

Antes de Wolf, el conocimiento del subsuelo ecuatoriano se limitaba a observaciones aisladas de viajeros y naturalistas, entre ellos Alexander von Humboldt, sin una síntesis regional ni una clasificación litológica consistente. La llegada de Wolf al Ecuador en 1870 marcó un punto de inflexión, al introducir métodos de observación propios de la geología alemana del siglo XIX y una visión integradora del territorio.

El objetivo de este trabajo es analizar de manera crítica la vida y obra de Theodor Wolf, destacando su contribución a la geología ecuatoriana, su metodología científica y el legado patrimonial de sus estudios.

2. Formación y contexto científico de Theodor Wolf

Franz Theodor Wolf nació en 1841 en Bartholomä, Rauhen Alb (Alemania), en un contexto intelectual dominado por el desarrollo de la geognosia, la mineralogía descriptiva y la cartografía científica. Se formó en ciencias naturales en universidades alemanas, donde adquirió una sólida base en observación de campo, clasificación de rocas y análisis del relieve, influenciado por la tradición geológica centroeuropea.

Su formación coincidió con la consolidación de la geología como disciplina científica autónoma, caracterizada por el abandono de interpretaciones puramente especulativas y la adopción de métodos empíricos rigurosos. Este bagaje metodológico sería fundamental para su posterior trabajo en el Ecuador, un territorio que hasta entonces carecía de estudios geológicos sistemáticos. Allí desarrolló sus investigaciones, primero como profesor de la Escuela Politécnica de Quito (1870–1875) y, posteriormente, como geólogo del Estado (1875–1892).



Figura 1. Retrato de Franz Theodor Wolf, geólogo, paleontólogo, geógrafo, naturalista, explorador y teólogo alemán, pionero en los estudios geográficos y geológicos en Ecuador.

(Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Franz_Theodor_Wolf)

3. Theodor Wolf antes de 1870: formación y primeras experiencias

Antes de llegar al Ecuador en 1870, Wolf se formó en Alemania durante la consolidación de la geología como ciencia moderna. Recibió una educación científica sólida en ciencias naturales, con énfasis en geognosia, mineralogía y geografía física, disciplinas que privilegiaban la observación directa y el trabajo de campo.

Durante este período, Wolf se familiarizó con los métodos de cartografía geológica y con la interpretación

regional del relieve y las rocas, en una tradición académica marcada por el empirismo y el rigor descriptivo. Asimismo, estuvo expuesto a los debates científicos del siglo XIX sobre la historia de la Tierra, el tiempo profundo y los procesos geológicos, lo que configuró una visión naturalista y secular de la geología (Cuvi et al., 2014a; Cuvi et al., 2014b). Estas vivencias formativas resultaron decisivas para su posterior labor en el Ecuador, donde aplicó y amplió los enfoques aprendidos en Europa.

4. El darwinismo y la Compañía de Jesús (1862-1870)

La relación entre Theodor Wolf y la Compañía de Jesús se inscribe en el proceso de reorganización educativa y científica del Ecuador en la segunda mitad del siglo XIX. Incorporado en 1870 a la Escuela Politécnica Nacional, institución de fuerte impronta jesuita, Wolf compartió inicialmente el interés por la observación científica y el conocimiento del territorio. Sin embargo, su adhesión a una geología histórica y empírica, basada en el tiempo profundo y en procesos naturales de larga duración, contrastó con la tendencia jesuita a integrar las ciencias dentro de un marco filosófico-teológico. Estas diferencias cognitivas, junto con los cambios políticos posteriores a 1875, derivaron en su distanciamiento institucional (Cuvi et al., 2014a, Cuvi et al., 2014b). Su trayectoria refleja la transición del Ecuador desde una ciencia tutelada por estructuras religiosas hacia una geología moderna, profesional y laica, y explica tanto el carácter pionero como el relativo aislamiento de su obra. Su trayectoria como estudiante, investigador y docente, para este periodo, se resume en la Tabla 1:

Tabla 1. Línea de tiempo de T. Wolf (1862–1870), antes de su arribo a Ecuador

PERIODO	ETAPA	RESUMEN
1862	Envío a Bonn	Es enviado por la Compañía de Jesús a la Universidad de Bonn. La decisión responde a una estrategia institucional para enfrentar el darwinismo mediante formación científica avanzada.
1862–1865	Formación científica y exposición al darwinismo	Estudios en botánica, zoología y geología en un ambiente académico laico y altamente influido por las ideas evolucionistas. Tiene contacto con profesores vinculados a Darwin y con evidencias fósiles.
1865–1866	Primer trabajo científico con enfoque evolucionista	Realiza y publica un estudio sobre el desarrollo de las flores de las orquídeas, premiado académicamente, con un enfoque implícitamente evolucionista.
1866–1869	Intentos de conciliación entre ciencia y religión	Adopta una postura conciliadora, aceptando el tiempo geológico profundo y buscando compatibilizar evolución y fe cristiana, evitando la polémica pública.
1869	Docencia en Colegio María Laach	Enseña ciencias naturales en un colegio jesuita y expone la teoría de la descendencia basada en hechos empíricos, dejando abierta su interpretación filosófica. En María Laach estuvo a cargo también de iniciar colecciones, ampliar las existentes y establecer un jardín botánico. Investigó además el origen y formación de las bombas volcánicas del lago de Laach.
1870	Nombramiento en Quito	Es nombrado profesor de mineralogía y geología en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, lo que le permite postergar la formación teológica y dedicarse plenamente a la ciencia.

5. Carrera en Ecuador y labor académica

Theodor Wolf llegó al Ecuador en 1870 como parte del grupo de científicos alemanes convocados para la fundación de la Escuela Politécnica Nacional de Quito, institución desde la cual impulsó la enseñanza moderna de las ciencias naturales y promovió el trabajo de campo como herramienta esencial para el conocimiento del territorio (Cuví et al., 2014). A diferencia de otros científicos extranjeros de paso, Wolf permaneció en el país durante más de dos décadas, lo que le permitió recorrer extensas regiones de la Sierra, la Costa y el archipiélago de Galápagos.

Durante sus primeros años participó activamente en la organización académica y la docencia, y en 1870 publicó, junto al padre Menten, un estudio sobre el sistema pedagógico jesuita aplicado en el Ecuador. En 1871, Theodor Wolf introdujo en Quito el evolucionismo y el darwinismo a través de lecciones de geología en la Escuela Politécnica. Inicialmente impartidas sin difusión oficial, estas clases se formalizaron en 1871–1872 como cursos públicos semanales, donde se trataron temas como el darwinismo, la antigüedad del ser humano y la geología del Ecuador, combinando enfoques científicos y prácticos (Cuví et al., 2014).

Sin embargo, un punto de inflexión en su trayectoria ocurrió en 1874, cuando la defensa pública de la teoría de la evolución provocó un conflicto con la Iglesia y derivó en su separación de la Compañía de Jesús. A partir de ese momento, Wolf se consolidó como científico independiente, vinculado institucionalmente al Estado ecuatoriano.

En 1875, Wolf fue nombrado geólogo nacional del Estado ecuatoriano y se estableció en Guayaquil, cargo que ejerció hasta 1891. Desde esta función recorrió el país evaluando recursos minerales, al tiempo que desarrolló actividades docentes, investigaciones y trabajos técnicos para instituciones públicas y élites regionales (Restrepo, 2022).

En 1876 realizó su primer viaje científico a las islas Galápagos, fundamental para su proyección internacional y para sus estudios geológicos y naturalistas.

Durante la década de 1880 llevó a cabo una intensa labor de exploración y cartografía, que culminó en obras de referencia como *Geografía y Geología del Ecuador*. Bajo los gobiernos de José María Caamaño (1884) y Antonio Flores Jijón (1891) fue contratado para elaborar la carta

geográfica y la carta geológica del Ecuador (Restrepo, 2022; MCN Biografías, 2025).

En 1888, tras contraer matrimonio civil en Lima, se cerró su etapa ecuatoriana, que concluiría formalmente en 1891, antes de su regreso definitivo a Alemania.

6. Metodología geognóstica y viajes de campo

La metodología de Wolf se basó en la observación directa del terreno, la descripción detallada de afloramientos y la relación entre litología, relieve e hidrografía. Sus “viajes geognósticos” respondían a una lógica sistemática: reconocimiento del paisaje, identificación de tipos de rocas, análisis estructural básico y vinculación con procesos geológicos de gran escala.

Este enfoque integrador permitió a Wolf superar la simple descripción de rocas, incorporando elementos de geomorfología y geografía física. Su trabajo se inscribe así en la transición entre la geognosia clásica y la geología moderna, anticipando enfoques regionales que serían desarrollados plenamente en el siglo XX.

7. Las provincias costeras en la obra de Wolf

Uno de los aportes más significativos de Wolf para la geología costera ecuatoriana se encuentra en su artículo *Geognostische Mittheilungen aus Ecuador* (1874), donde incluye la “Relación de un viaje geognóstico por la provincia del Guayas”. Este texto constituye el primer estudio geológico formal de la región.

Wolf describe la cuenca del río Guayas como una extensa planicie aluvial y estuarina, formada por sedimentos recientes, blandos y poco consolidados. En contraste, identifica los cerros costeros y relieves aislados como afloramientos de rocas más antiguas, de origen ígneo y metamórfico, frecuentemente de tonalidades verdosas. Estas rocas, hoy interpretadas como parte de complejos ofiolíticos y unidades metamórficas del margen occidental andino, fueron reconocidas por Wolf como materiales firmes, aptos para la construcción.

Sus observaciones permiten comprender el uso histórico de piedra local en Guayaquil, particularmente en cimientos, zócalos y obras portuarias durante finales del siglo XIX e inicios del XX. Reconoció las calizas silíceas cretácicas blancas y amarillentas, de textura semicristalina, que se extraen en las canteras entre Chongón y Guayaquil, empleadas para empedrar el malecón.

Wolf documentó fósiles cerca de Guayaquil en lajas calcáreo-silíceas usadas como material de construcción, con abundantes restos de conchas marinas. Identificó

fósiles del género *Inoceramus*, característicos del Cretácico, lo que permitió asignar una edad geológica precisa a estas rocas. Aunque no logró ubicar la cantera original, sus hallazgos evidenciaron el pasado marino de la región y fueron confirmados posteriormente por especialistas europeos.

Como producto de sus investigaciones y estudios publicó importantes obras de carácter científico, entre ellas destaca una Memoria sobre la Geografía y Geología de la Provincia de Esmeraldas incluida una carta Geográfica, impresa originalmente en Alemania en 1872; verificada y publicada en Ecuador el año 1879 por orden del Supremo Gobierno liderado por el presidente de la nación Ignacio de Veintemilla. (<https://www.facebook.com/EsmeraldasDelAyer>)



Figura 2. Carta Geográfica de la Provincia de Esmeraldas (Original de T. Wolf, 1872)

Martínez (1934) señala que la península de Santa Elena, en la costa del Pacífico, fue escenario de una exploración sistemática realizada por Wolf. La singularidad de su flora y fauna, las capas cuaternarias ricas en petróleo y sal marina, la presencia de restos fósiles de mastodonte

(*Mastodon andium*), así como el “volcancito” de lodo y las fuentes termales con yodo y bromo, ocuparon al científico durante prolongadas jornadas de estudio.

En 1866, Wolf participó y dirigió temporalmente el proyecto de abastecimiento de agua potable de Guayaquil. Posteriormente, tuvo un papel clave en la construcción de la nueva fábrica de gas para el alumbrado público, para la cual elaboró los planos y asumió la dirección de la obra hasta 1890. A la ciudad también le dejó su plano topográfico, considerado el más preciso y detallado de la época (Martínez, 1934).

8. Aportes a la geología de Galápagos

La obra de Wolf no se limitó al territorio continental. Sus estudios sobre las islas Galápagos representan uno de los primeros análisis geológicos detallados del archipiélago.

Wolf describió el carácter volcánico de las islas, la morfología de conos y calderas, y la superposición de coladas basálticas, estableciendo una base científica para estudios posteriores. En reconocimiento a su contribución, uno de los volcanes más activos y extensos de las islas Isabela lleva su nombre: el Volcán Wolf, testimonio del impacto duradero de su trabajo.

El volcán Wolf, es el más alto de Galápagos (1.710 m.s.n.m.) y se ubica al noroeste de la isla Isabela, sobre la línea ecuatorial. Es un área de protección estricta con acceso restringido a investigación científica. Alberga ecosistemas prístinos y especies endémicas únicas, como la iguana rosada (*Conolophus marthae*), sin presencia de asentamientos humanos cercanos.

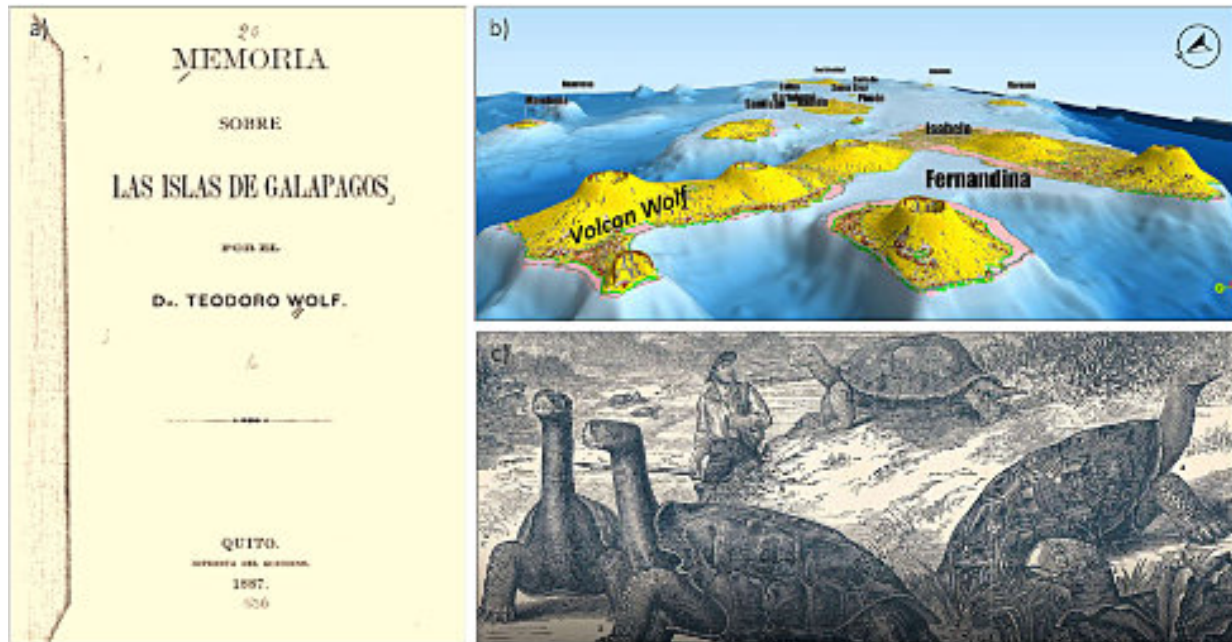


Figura 3. a) Portada del libro Memoria sobre las Islas Galápagos (Wolf, 1887) b) DEM del sector norte del archipiélago de Galápagos, mostrando el volcán Wolf, nombrado así en honor a Teodoro Wolf (vista NO) (https://geodata.fcdarwin.org.ec/static/geoapps/visualizador-geoformas/GEOMORPHONS_ANIMATION.html) c) Ilustración de la época con naturalista y tortugas gigantes (<https://x.com/elcomerciocom/status/912149663423352833/photo/1>)

Según Sevilla (2016), Theodor Wolf forma parte de la tradición de viajeros científicos inspirados por Darwin que exploraron las islas Galápagos. Realizó dos expediciones al archipiélago, en 1875 y 1878, cuyos resultados plasmó en varios trabajos sobre su historia natural y geología, así como en un capítulo completo de Geografía y geología del Ecuador (1892). En Memorias sobre las islas Galápagos (1887), Wolf abordó las islas no

solo desde una perspectiva científica, sino también económica y política, analizando la explotación de recursos como el oro, la orchilla y el guano, así como los proyectos de colonización. Además, anticipó enfoques conservacionistas al advertir sobre el riesgo de extinción de especies emblemáticas, como las tortugas gigantes, y al proponer medidas de manejo y protección racional de la fauna.



Figura 4. Paisaje de la Isla Santa Cruz (Isla Infatigable) a) Ilustración de Teodoro Wolf (1892) b) Fotografía J. Porras (2025)

Su primer viaje a Galápagos tuvo lugar en 1875, tras su separación de la Compañía de Jesús y con el respaldo del Estado ecuatoriano. Aunque la expedición fue

inicialmente concebida junto al presidente García Moreno, Wolf zarpó solo y permaneció seis meses en el archipiélago. Fue el único científico del siglo XIX en

realizar dos expediciones a las islas, circunstancia favorecida por la cercanía geográfica y su nueva posición institucional.

9. Geografía y Geología del Ecuador (1892): una síntesis fundacional

La culminación de la labor científica de Wolf se materializó en la publicación de Geografía y Geología del Ecuador (1892). Esta obra constituye la primera síntesis integral del territorio ecuatoriano, combinando información geológica, geomorfológica, climática e hidrográfica.

El libro tuvo una influencia decisiva en la comprensión del país como unidad territorial compleja y sentó las

bases para el desarrollo de la geología aplicada, la ingeniería civil y la planificación de infraestructuras. Durante décadas, fue la principal referencia científica sobre el Ecuador tanto a nivel nacional como internacional.

“Geografía y Geología del Ecuador” es una obra científica completa que describe, en 671 páginas, incluyendo anotaciones y suplementos (12 láminas, 42 ilustraciones y 2 cartas), el territorio ecuatoriano como un sistema natural interrelacionado. Consta de cinco partes o capítulos principales: Topografía, Geología, Meteorología, Geografía Botánica y Zoológica, y Archipiélago de Galápagos.



Figura 5. Portada y Cartas Geológica y de Vegetación del Ecuador contenidas en la Primera Edición del tratado “Geografía y Geología del Ecuador”, obra maestra de Wolf. Este estudio constituye la primera síntesis integral del territorio ecuatoriano, reúne información geológica, geomorfológica, meteorológica, climática e hidrográfica. Incluye además un estudio botánico y zoológico del país.

A partir de una detallada caracterización topográfica, Wolf organiza el país por regiones naturales y sistemas fluviales, estableciendo la base para su análisis geológico. El núcleo del libro lo constituye el estudio de las formaciones geológicas, desde el basamento metamórfico hasta el volcanismo reciente, incorporando descripciones petrográficas, recursos minerales y fenómenos sísmicos. Las secciones dedicadas a

meteorología, biogeografía y Galápagos amplían esta visión, integrando clima, vegetación, fauna y procesos volcánicos. Hace además un resumen de la geografía histórica, política y civil del Ecuador. En conjunto, la obra representa el primer estudio científico sistemático del Ecuador y un referente fundacional para la geografía y la geología del país.



Figura 6. Ilustraciones seleccionadas del libro “Geografía y Geología del Ecuador” de T. Wolf: a) Volcancito de lodo y fuentes termales de San Vicente b) Cotopaxi visto desde los cerros de Chaupi c) El Pichincha y Quito desde la Loma de Puengasí d) Punta de Cormorant en la isla Floreana, vista del NO. Nota de Wolf autor b) y c) según dibujos de Stübel.

10. Legado científico y patrimonial

El legado de Theodor Wolf trasciende el ámbito estrictamente académico. Su obra representa el paso definitivo desde el conocimiento empírico heredado de la época colonial hacia una interpretación científica del territorio ecuatoriano. Asimismo, proporciona un marco conceptual para comprender la relación entre geología, ocupación humana y uso de materiales locales.

Desde una perspectiva de patrimonio geológico y cultural, los trabajos de Wolf permiten revalorizar paisajes, afloramientos y materiales constructivos como testimonios de una historia geológica profunda. En el caso de Guayaquil, sus observaciones constituyen una clave fundamental para interpretar la ciudad como una

respuesta arquitectónica y urbana a un entorno geológico específico.

A lo largo de su vida, Wolf publicó una serie de trabajos científicos que abarcaban diversos aspectos de la geología, la geografía y la fauna ecuatoriana. Además de su obra maestra Geografía y Geología del Ecuador (1892), entre sus escritos más importantes se incluyen: Viajes por Manabí, Azuay, Esmeraldas; Apuntes sobre el clima de las islas Galápagos; Memoria sobre las islas Galápagos; Viaje científico por Loja; Memoria sobre el Cotopaxi y su última erupción; Relación de un viaje geognóstico por la provincia del Guayas; Crónica de los fenómenos volcánicos y temblores en el Ecuador y Monografía de la especie Potentilla (MCN Biografías, 2025)

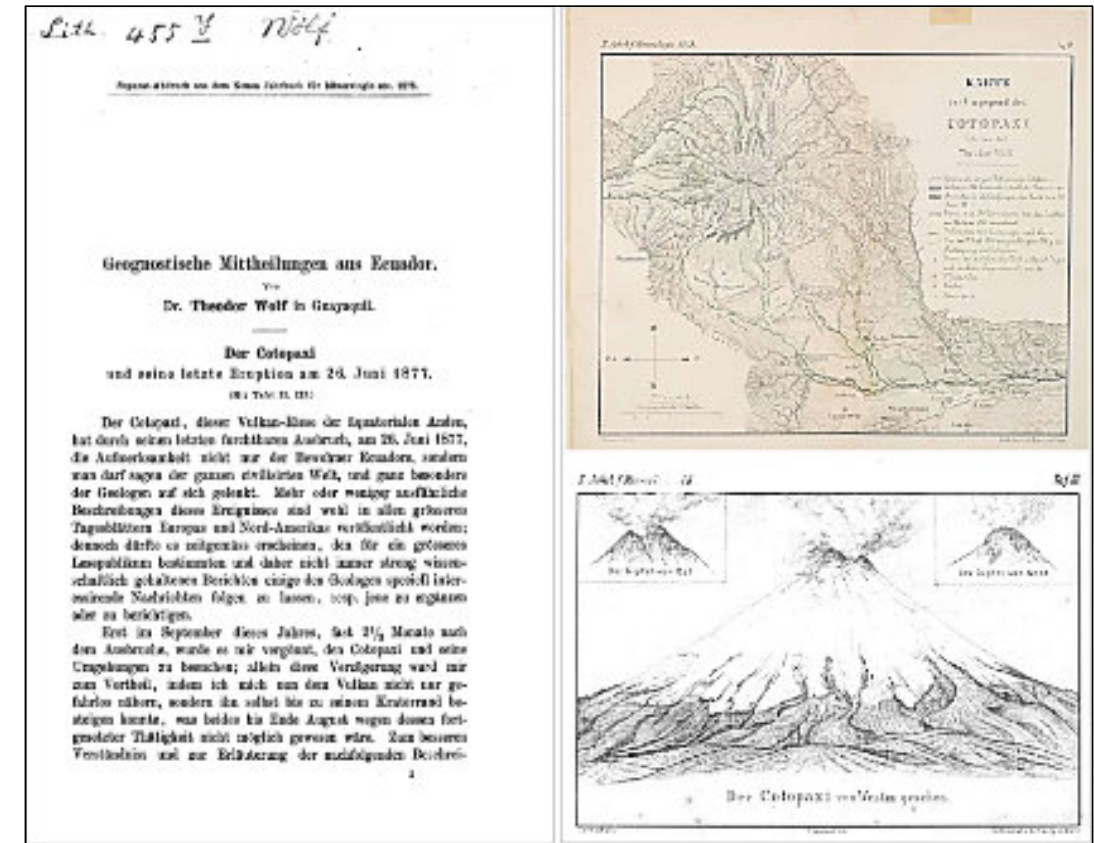


Figura 7. Página inicial e ilustraciones del volcán Cotopaxi en la erupción de Junio 1877, Original de Wolf, T. (1878) en Geognostische Mittheilungen aus Ecuador. Neues Jahrbuch für Mineralogie, <https://books.google.com.ec/books?id=XEzIPIgtZdwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

MCN Biografías (2025) señala que Theodor Wolf es especialmente recordado por sus investigaciones en la quebrada de Chalang, cerca de Punín, aldea de Riobamba, donde durante una de sus expediciones descubrió abundantes restos óseos que fueron remitidos al Museo de Quito, constituyendo un aporte relevante a la paleontología ecuatoriana. Este hallazgo se suma a sus extensas observaciones geológicas, las cuales se convirtieron en una referencia fundamental para el estudio de la actividad volcánica y sísmica del Ecuador.

El Atlas Geográfico del Ecuador de Felicísimo López (1907) se inspiró en la carta geográfica de Teodoro Wolf (1892), la más precisa del país en su época. López adaptó este mapa, originalmente de gran escala y uso técnico, a un formato reducido destinado a la enseñanza y a la difusión general, utilizando los datos de Wolf y documentación oficial para corregir errores comunes en la cartografía extranjera.

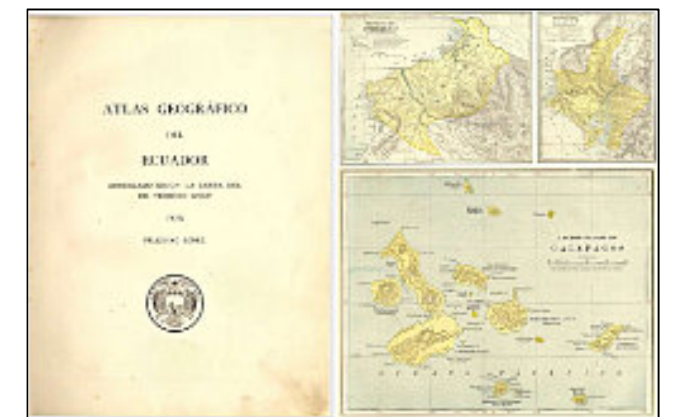


Figura 8. Página inicial e ilustraciones selectivas de Atlas Geográfico del Ecuador de Felicísimo López (1906), basado en la carta de Wolf.

Martínez (1934) profesor de Geología de la Universidad Central, narra las experiencias personales con el geólogo alemán Teodoro Wolf. Señala que la publicación de su estudio sobre el volcán Antisana, revisado y apoyado por Wolf, dio inicio a una prolongada correspondencia científica entre ambos.

11. Los últimos años

Tras contraer matrimonio civil en Lima en 1888 y adoptar el protestantismo, regresó definitivamente a Alemania en 1896, estableciéndose principalmente en Dresde.

Aunque ya alejado del trabajo de campo intenso que había caracterizado su etapa suramericana, mantuvo un vivo interés por la ciencia y siguió con atención los avances en geología y ciencias naturales. Su producción intelectual se orientó entonces a la reflexión, la sistematización de sus investigaciones previas y al intercambio epistolar con colegas y discípulos en Ecuador y Europa.

Durante este periodo, su obra comenzó a ser reconocida de manera más amplia en el Ecuador, tanto por instituciones científicas como por nuevas generaciones de investigadores que valoraron el carácter pionero y fundacional de sus estudios. Este reconocimiento culminó en 1922, cuando el Gobierno ecuatoriano lo nombró ciudadano honorario y le concedió una pensión vitalicia.

Wolf falleció en la misma ciudad, el 22 de Junio de 1924, dejando un legado científico duradero. Sus últimos años estuvieron marcados por el reconocimiento de su aporte a la geología y geografía del Ecuador y por la consolidación de su figura como uno de los principales naturalistas vinculados a la historia científica del país.

12. Conclusiones

La obra de Theodor Wolf marca el inicio de la geología científica en el Ecuador. Su enfoque integrador, basado en el trabajo de campo y la síntesis regional, permitió comprender por primera vez el territorio ecuatoriano como un sistema geológico coherente, desde la Costa y la cuenca del Guayas hasta los Andes y Galápagos.

Geografía y Geología del Ecuador (1892) constituye su principal legado y sigue siendo una referencia obligada para los estudios geológicos, geográficos y de geodiversidad del país. Sus aportes mantienen vigencia tanto en la investigación científica como en la interpretación del paisaje y del patrimonio natural y construido. Son claves en los estudios de la región andina y las Islas Galápagos.

Más allá de la ciencia, Wolf encarna la transición hacia una geología moderna, empírica y laica en el Ecuador. Su reconocimiento nacional e internacional confirma la importancia duradera de su obra, cuyo valor trasciende lo histórico y continúa aportando claves para la comprensión del territorio ecuatoriano.

Wolf destacó no solo por sus aportes científicos, sino también por su defensa de la ciencia en un contexto de tensiones con la religión. Su obra tendió un puente entre las ciencias naturales y la historia social del Ecuador. En reconocimiento a su legado, fue nombrado miembro honorario de la Academia de Ciencias de Quito, y sus colecciones científicas, hoy conservadas en el Museo de Historia Natural de Berlín, evidencian el alcance internacional de su contribución.

13. Referencias y Consultas Bibliográficas

Cuvi N., Sevilla E. y Sevilla A. (2014). Entre Darwin y Dios: Teodoro Wolf y las primeras clases universitarias sobre el origen de las especies dictadas en el Ecuador (1871), en Puig-Samper M.A., Orrego F., Ruiz R. y Uribe J.A.(Eds.), "Yammerschuner" Darwin y la darwinización en Europa y América Latina, 255-277, Ediciones Doce Calles, S.L., Madrid.

Cuvi N., Sevilla E., Sevilla A. y Piñas F. (2014). La circulación del darwinismo en el Ecuador (1870-1874). Procesos: revista ecuatoriana de historia, Nº 39 (enero-junio 2014), 115-142. ISSN: 1390-0099

Fundación Charles Darwin Galápagos (<https://www.darwinfoundation.org/es/>)

https://geodata.fcdarwin.org.ec/static/geoapps/visualizador-geoformas/GEOMORPHONS_ANIMATION.html

López, Felicísimo (1906). Atlas geográfico del Ecuador arreglado según la carta del Dr. Teodoro Wolf, 22 p

Martínez A. (1934). Sesenta Años de Recuerdos. El doctor Teodoro Wolf, Vol. 52 Núm. 287 (1934): Anales de la Universidad de Quito, Enero-Marzo

MCN Group (2025). Teodoro Wolf (1841-1924): El geólogo alemán que marcó huella en Ecuador. Disponible en: <https://mcnbiografias.com/app-bio/do/wolf-teodoro> [consulta: 15 de diciembre de 2025].

Restrepo Morantes, M. I. (2022). Teodoro Wolf y el conocimiento geográfico del Ecuador, 1875-1895. Redes de relaciones en la producción de saber y orden simbólico del territorio, Tesis de Maestría de Investigación en Historia, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador

Sevilla, A. (2016). Teodoro Wolf y las Galápagos. Ecuador Terra Incógnita, <https://www.pressreader.com/ecuador/ecuador-terra-incognita/20160901/281835758281473>

Vallejo, M. (2016). Historia de las ciencias geológicas en el Ecuador. Revista de Historia de la Ciencia Latinoamericana, 8(1), 45–68.

Wolf T. (1874). Geognostische Mittheilungen aus Ecuador. Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1874, 377–398.

Wolf T. (1887). Memoria sobre las Islas de Galápagos. Quito, Imprenta del Gobierno, 29 p.

Wolf T. (1892). Geografía y Geología del Ecuador. Leipzig: Tipografía F. A. Brockhaus, 671 p.

Wolf T. (1904). Crónica de los fenómenos volcánicos y terremotos en el Ecuador, Quito: Imprenta Universidad Central, 11.

SOBRE EL AUTOR:



Jesús S. PORRAS M. es Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela.

Posee amplia experiencia profesional en la industria petrolera donde ha desempeñado diversos cargos en proyectos tanto de exploración como de desarrollo de reservorios convencionales y no convencionales.

Actualmente se desempeña como Geólogo Consultor Senior liderando grupos de estudios integrados de yacimientos para operadoras nacionales e internacionales.

Tiene particular interés en temas de patrimonio geológico, geodiversidad y geoconservación, comunicación en geociencias, geología urbana y geoturismo.

Es miembro activo de diversas asociaciones profesionales y autor o coautor de más de 70 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.

Geosynclinal Theory Redux

Jon Blickwede

Consultor Internacional

www.teyrageo.com

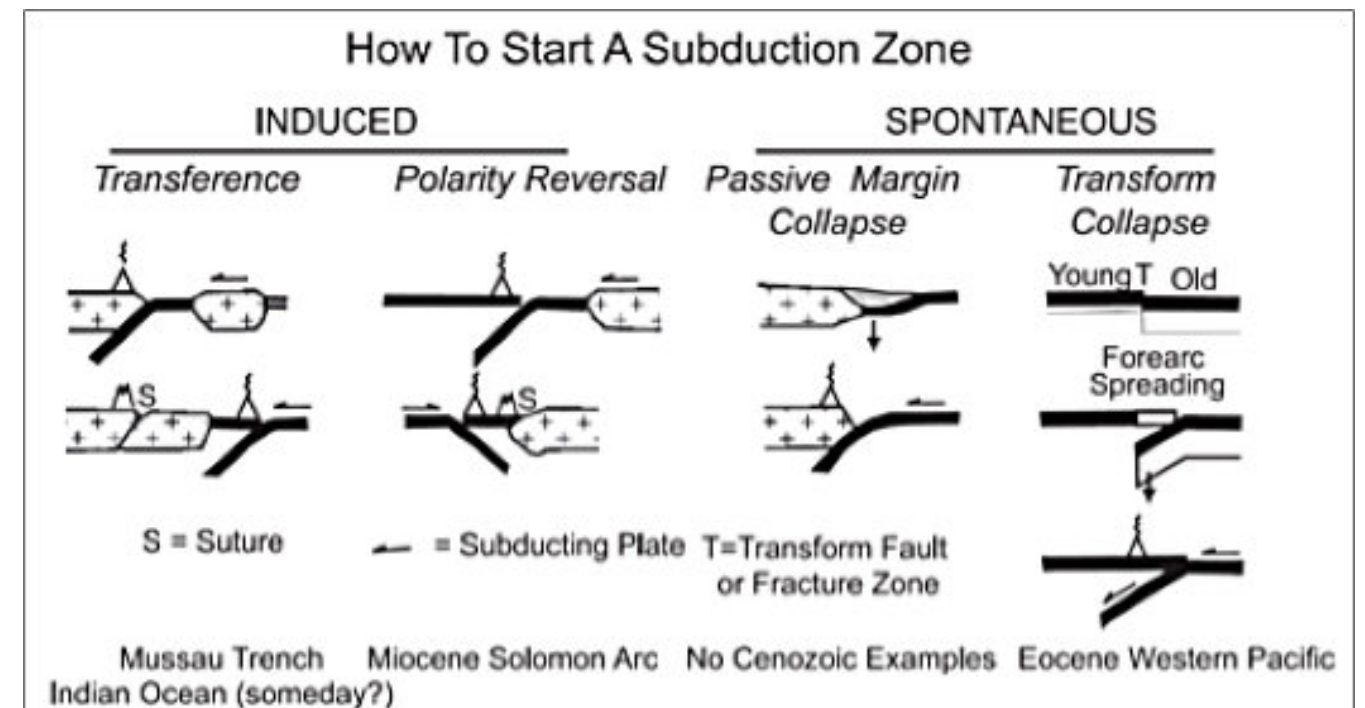
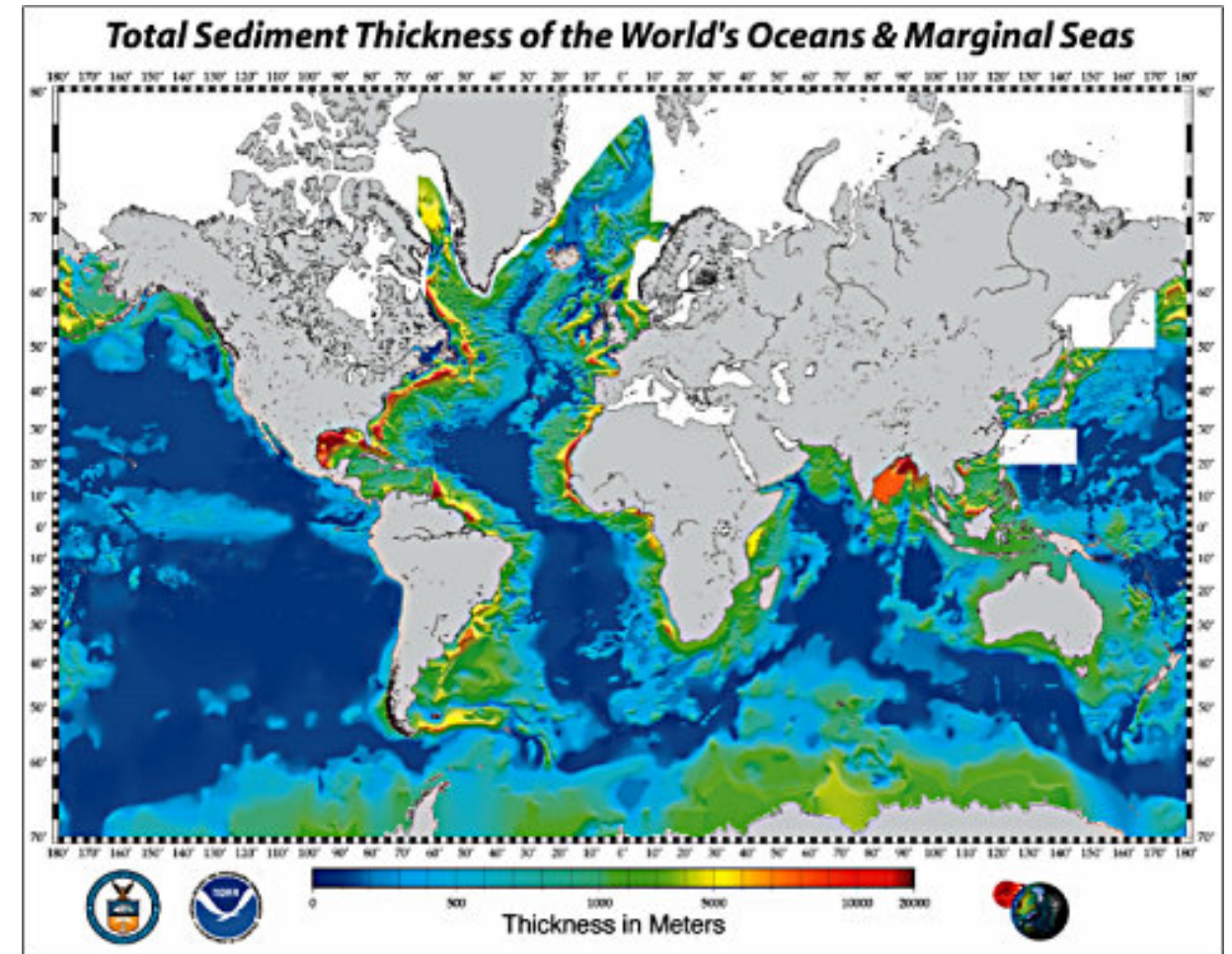
The geosynclinal theory, predecessor to plate tectonics, was first developed by American geologists James Hall (1859) and James Dwight Dana (1866) during the course of their research on the Appalachian Mountains of the eastern US. Hall observed that the thickness of the marine sedimentary section in the Appalachians (nearly 40,000') is ten times the thickness of the equivalent section further west in the Mississippi River Valley. Hall's assumption was that the thickness of sedimentary pile was somehow responsible for its consequent deformation. "The key element for Hall was the accumulation of thick sedimentary layers, which he imagined must depress the crust and in the process become wrinkled to form the structures seen in mountain ranges, such as the familiar Appalachians. He envisioned compression of the upper layers and tension of the lower ones as subsidence occurred much as one can imagine by bending a ream of paper." (Dott, 2005)

Dana built on the foundations that Hall had laid, but pointed out that Hall had not explained the critical part of the story, of how mountain belts were uplifted. But ultimately even Dana and his followers were never able to propose a satisfactory mechanism for the uplift of thick sediment prisms. Nevertheless, the geosynclinal theory not only survived as a unifying paradigm for more than 100 years, it produced a dizzying array of terminology that is today mostly obsolete. When was the last time you heard the term "zeugogeosyncline?"

As recently as the 1960's, the geosynclinal theory was still considered by some to be the keystone of modern geology. Clark and Stern (1960) stated "The geosynclinal theory is one of the great unifying principles in geology. In many ways its role in geology is similar to that of the theory of evolution which serves to integrate the many branches of the biological sciences. The geosynclinal theory is of fundamental importance to sedimentation, petrology, geomorphology, ore deposits, structural geology, geophysics, and in fact all branches of geological science... Just as the doctrine of evolution is universally accepted among biologists, so also the geosynclinal origin of the major mountain systems is an established principle in geology." Just a few years after the publishing of Clark & Stern's textbook, the plate tectonic revolution was in full swing, and widely accepted by the geological community as having totally supplanted geosynclinal theory.

Even though the geosynclinal theory is now generally considered to be dead, and entirely replaced by plate tectonic theory, I've wondered from time to time if there could be some element(s) of truth to Hall's original assumption that there can be some sort of cause and effect relationship between sediment thickness and orogenesis—albeit an indirect relationship, not a direct one as he had imagined. The idea is this: that the sedimentary prisms developed on passive continental margins, if they become thick enough, will cause the underlying lithosphere to mechanically fail, with the lithosphere on the denser side (toward the ocean basin) bending downward into the asthenosphere and initiating subduction under the less dense side (toward the continent) by slab pull. I'll probably be quickly shot down on this idea by those of you with much more knowledge of crust and mantle dynamics. But if it were to be plausible, it might explain the repeated opening and closing of ocean basins (the Wilson Cycle), because diverging passive margins (at least those with significant sediment accumulation) would ultimately be doomed to be converted to subduction zones, and reverse the opening of the oceanic basin by slab pull of the newly-downgoing oceanic lithosphere. I recently discovered this idea isn't novel at all. Indeed, Stern (2004) even refers to it as a broadly accepted mechanism for initiating subduction zones that he calls "spontaneous nucleation of a subduction zone by passive margin collapse" (see cartoon). But the big problem is that there is apparently no documented evidence (e.g. from earthquake hypocenters or seismic tomography) of any present-day passive continental margin being transformed into a convergent margin. But perhaps this is another case (see my article on pages 31-32 of the May 2022 issue of the *Revista Maya*) of the present *not necessarily* being the key to the past.

So-- could there be an incipient subduction zone lurking beneath us in the northern Gulf of Mexico Basin, beneath the 40,000+ feet-thick geosyncline offshore Texas & Louisiana, one of the thickest sedimentary accumulations on the planet (see map)... and destined to become a mountain belt in the distant future? Personally I'm not sure... but I think James Hall would have said "absolutely!"



References

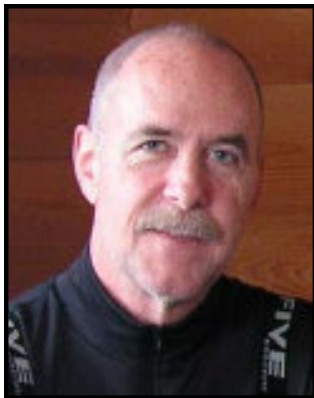
Clark, T.H., and C.W. Stern, 1960, *Geologic History of North America*: Ronald Press Company, 434 pp.

Dana, J.D., 1866, Observations on the origin of some of Earth's features: *American Journal of Science*, vol. 42, p. 195-211

Dott, R.H. Jr., 2005, James Hall, Jr., 1811-1898: *Biographical Memoirs*, vol. 87, The National Academies Press, Washington, D.C.

Hall, J., 1859, *Geological Survey of New York, Paleontology*, vol. 3, part 1, p. 66-96

Stern, R.J., 2004, Subduction initiation: spontaneous and induced: *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 226, p. 275-292



Jon Blickwede egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Durante su programa del Bachillerato, fue introducido a la geología de México cuando trabajó un verano como asistente a los geólogos y topógrafos en las minas de plata en Real de Catorce, S.L.P.

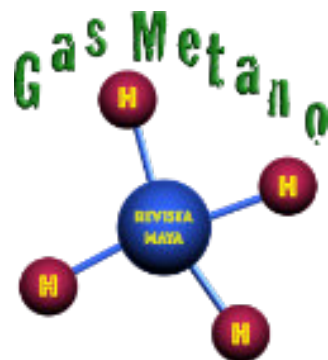
Luego trabajó para la *United States Geological Survey* en Denver, Colorado en el Departamento de Recursos de Uranio y Torio.

Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en el año 1979, donde hizo su tesis de Maestría en Geología sobre la Formación Nazas en la Sierra de San Julián, Zacatecas, México.

Jon comenzó su carrera en la industria petrolera en 1981, trabajando siempre como geólogo de exploración, para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y últimamente la petrolera estatal noruega Statoil, de la cual se jubiló en el año 2017. Ha realizado proyectos de geología regional de México, Centroamérica y el Caribe para todas estas empresas.

Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), basado en Houston, Texas.

Ahora Jon está realizando proyectos geológicos enfocados en la región del Golfo de México, incluyendo un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes ortofotográficas de drones, integrados con otros datos geoespaciales como imágenes de satélite, mapas geológicos, etc.



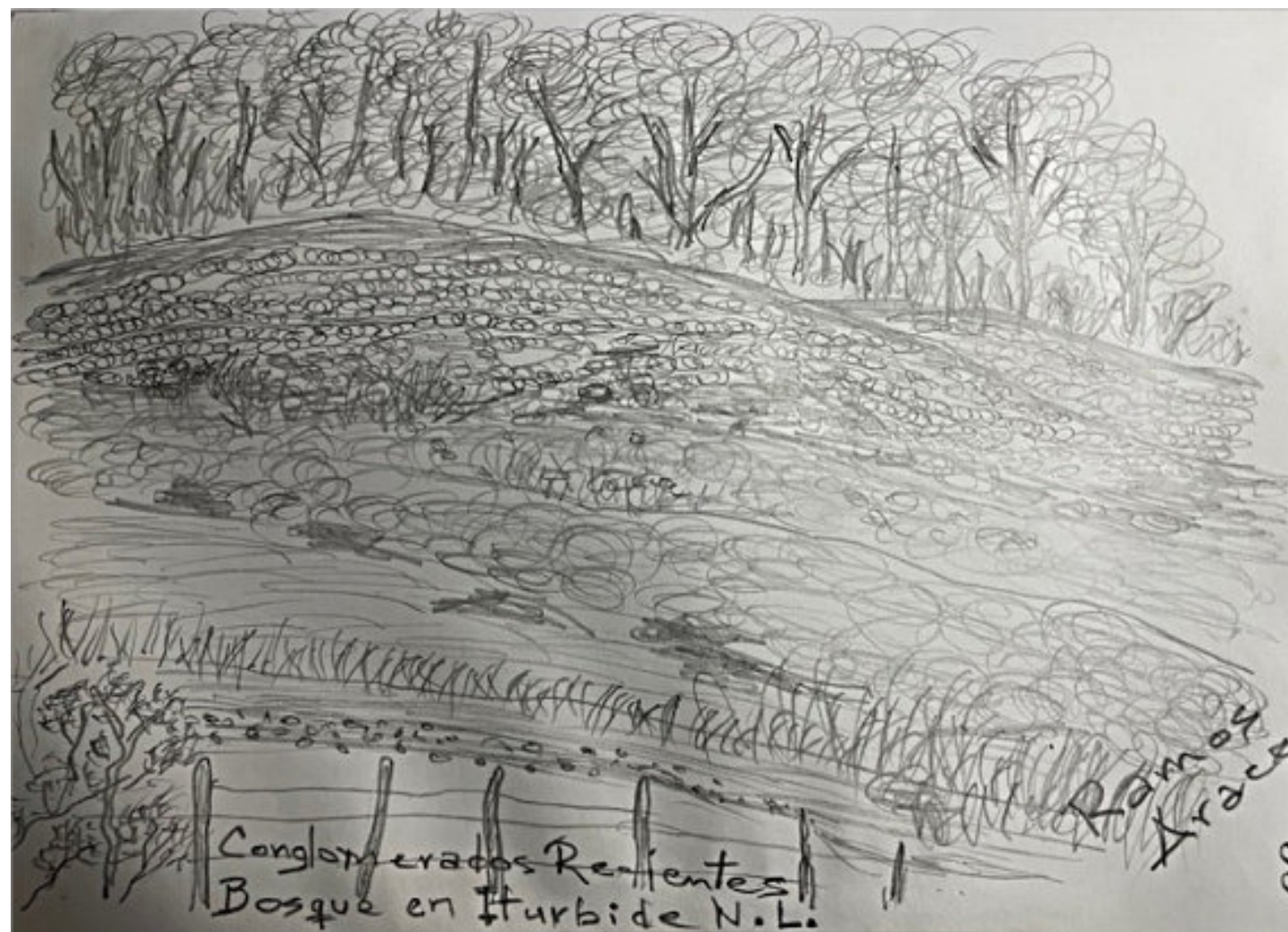
“De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

Ing. Rogelio Ramos Aracén

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 lcnofósiles 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.



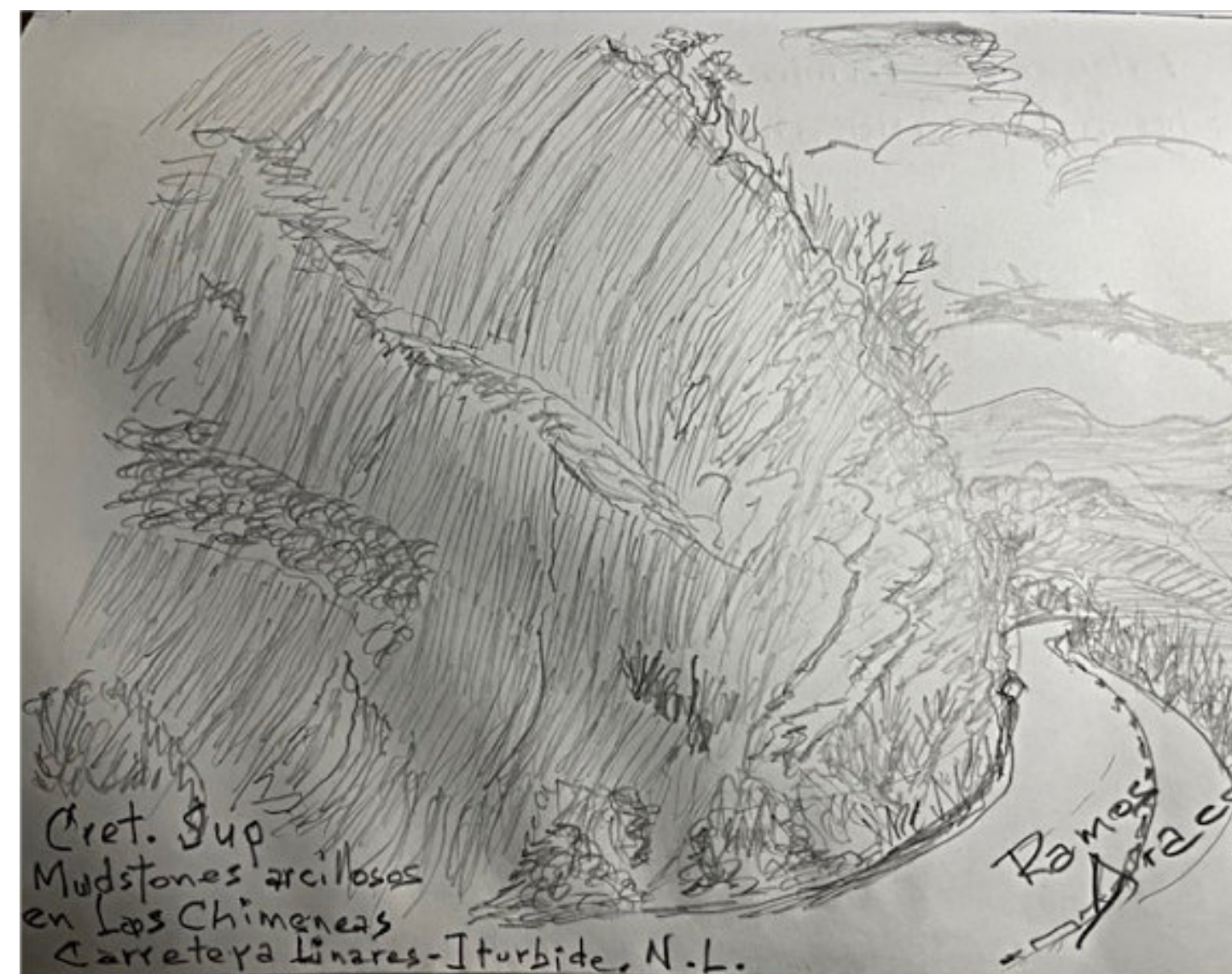
Conglomerados Recientes, Área de Iturbide, Nuevo León, México.

Localidad, Terracería cerca de Iturbide, Nuevo, León, México.

Título, Conglomerados Recientes.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos a los afloramientos en la Sierra Madre Oriental, en este afloramiento observamos a los conglomerados recientes en las cercanías próximas al río Álamos, lo cual indica de varios procesos aluviales durante las crecidas de estos imponentes ríos que atraviesan a las capas plegadas sedimentarias de la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León.

Descripción del Dibujo. En las cercanías a la Ciudad de Iturbide, Nuevo, León, se aprecian una serie de aluviones constituidos por conglomerados de edad Reciente.



Calizas arcillosas del Cretácico Superior, Nuevo León, México.

Localidad: Las Chimeneas, Carretera Linares-Iturbide, Nuevo, León, México.

Título, Calizas arcillosas del Cretácico Superior.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos de Geología Regional, en la región ya dentro de la Sierra Madre Oriental, se recorrieron varias localidades con espectaculares paisajes e interesantes afloramientos, en este caso una serie de mudstones arcillosos en capas delgadas correspondientes a la transición entre las formaciones San Felipe y Méndez de edad Cretácico Superior.

Descripción del Dibujo. En este dibujo se presenta un afloramiento formado por calizas tipo mudstones arcillosos en capas delgadas y laminares de color gris y verde grisáceo de 10 a 20 cm. con intercalaciones de lutitas delgadas a laminares gris y gris verdoso con echados hacia el SW.



Rogelio Ramos Aracen, 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 Misantra 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 Aracen. *"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 ahora, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado a la del mono. Esta cabeza, con un prefijo diferente al de su nombre, es también el jeroglífico del punto cardinal norte, lo cual tiende a confirmar su identificación como dios de la estrella polar. La naturaleza de su aparición en los manuscritos indica que ha de haber sido la personificación de algún cuerpo celeste, importante.

Arizona Museum of Natural History, USA

Haz click en la imagen





COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS

Ven y participa con nosotros en nuestra iniciativa de divulgación técnica y científica:

GeoSeminarios

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

Presenta con nosotros tu:

- + Tesis de licenciatura, maestría o doctorado
- + Especialidad en la industria o academia
- + Proyecto de investigación
- + Etc...

Click aquí o bit.ly/GeoSeminarios2025

TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO **FORMULARIO** ¡Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!

¡TE ESPERAMOS!

@GeoLatinas

YouTube, LinkedIn, Facebook, Instagram

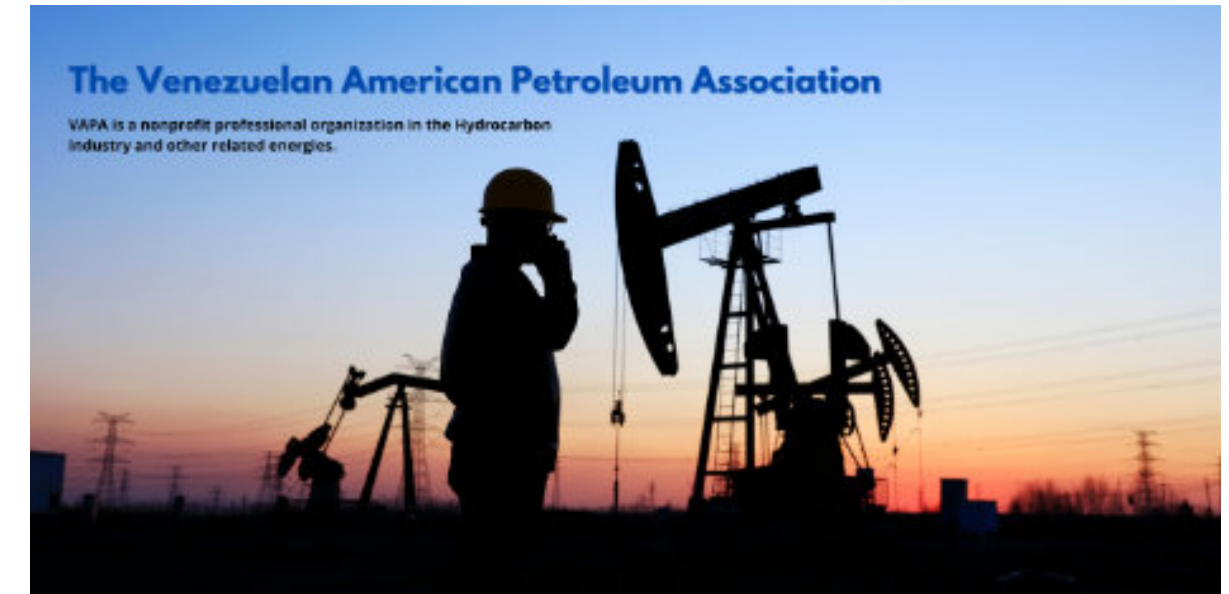
Transmisión

Checka nuestros GeoSeminarios en

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences



<https://vapa-us.org>



The Venezuelan American Petroleum Association

VAPA is a nonprofit professional organization in the Hydrocarbon industry and other related energies. It was founded in the state of Texas, USA in July 2019 and aims to establish relationships with organizations and institutions that can provide technical support, education and training to help the sustainable development of the Venezuelan energy industry.

VAPA is committed to promote technical events in upstream, midstream and downstream of both Oil and Gas and alternative energies that are of benefit to its members

Our Goal

The main Goal of VAPA is to bring together all the professional talent available in the Venezuelan Energy industry.

Our Purpose

Promote the professional growth of its members in technologies applied to the value chain of the energy sector while maintaining a high standard of conduct

Provide technical support, education, and training for the sustainable development of the Venezuelan Energy Industry.

<https://svhgc.blogspot.com/>

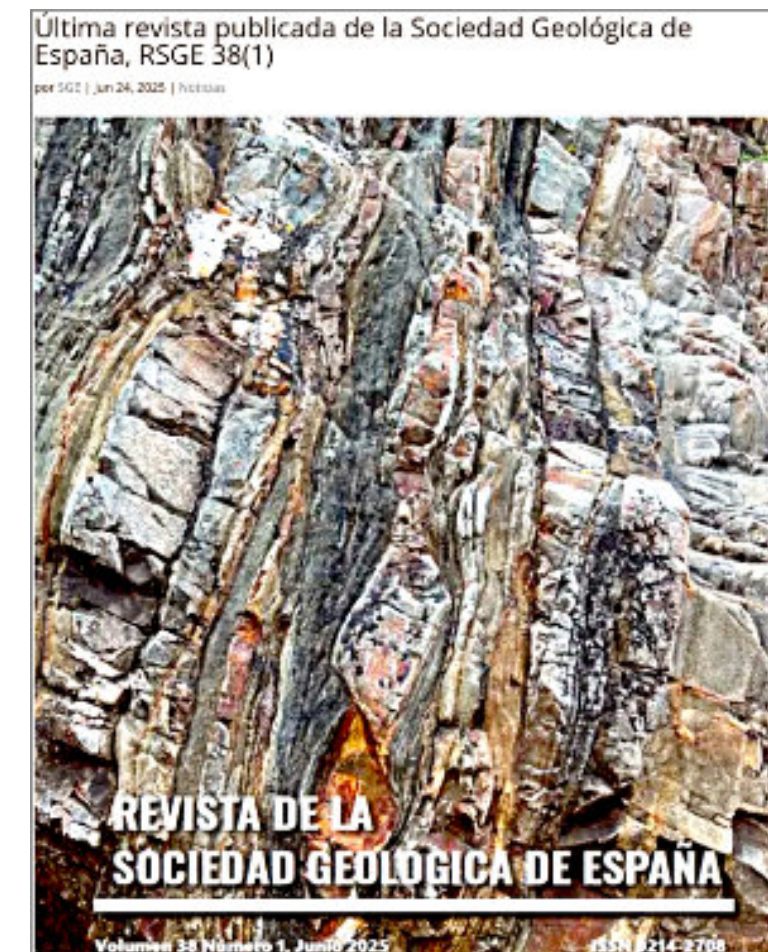


La Junta Directiva de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias los invita a visitar el Blog de la Sociedad donde encontraran información actualizada de nuestras actividades. Nuestra misión es preservar y difundir el legado de la Historia de las Geociencias en Venezuela.

<https://sociedadgeologica.org/>



https://sociedadgeologica.org/ultima-revista-publicada-de-la-sociedad-geologica-de-espana-rsge-38_1/



Estimadas y estimados colegas:

Nos complace invitarles a participar en la Sesión Temática T27 “The western equatorial Pangea: Geological, geophysical, geochronological, and paleoecological insights on the youngest supercontinent assembly and breakup on Earth”, que se llevará a cabo durante el 112° Reunión anual de la sección cordillerana de la Geological Society of America, del 21 al 24 de abril de 2026, en Loreto, Baja California Sur, México.

Esta sesión busca reunir estudios recientes enfocados en México, el suroeste de Norteamérica y el noroeste de Sudamérica, que aborden los procesos de ensamble, evolución y fragmentación del supercontinente Pangea, desde perspectivas tectónicas, estratigráficas, paleoecológicas, geofísicas, geocronológicas y paleogeográficas.

La evolución tectónica de estas regiones ofrece un registro excepcional de la historia del ensamble de Gondwana y Laurentia, así como de los mecanismos de ruptura que condujeron a la apertura del Atlántico y sus cuencas asociadas. Invitamos contribuciones que integren evidencia multidisciplinaria para comprender mejor la evolución del occidente ecuatorial de Pangea, fomentando el diálogo crítico sobre los procesos que modelaron su historia geológica y biológica.

Esperamos su valiosa participación en esta sesión, que busca el intercambio internacional de descubrimientos sobre la evolución del supercontinente más reciente en la historia de la Tierra.

El sistema de registro de resúmenes se encuentra abierto y la fecha límite es el 13 de enero del 2026 a las 11:59 pm (PST)

Más información en: https://www.geosociety.org/GSA/Events/Section_Meetings/GSA/Sections/cd/2026mtg/home.aspx?hkey=88411fd7-3278-41be-aa78-f451032e17f3

<https://gsameetings.secure-platform.com/cd26/solicitations/103008/sessiongallery>

Atentamente,

Comité Organizador de la Sesión T2



Dear colleagues,

We are pleased to invite the community to participate in Topical Session T27: “The western equatorial Pangea: Geological, geophysical, geochronological, and paleoecological insights on the youngest supercontinent assembly and breakup on Earth”, which will take place during the 112th Annual Meeting of the Geological Society of America—Cordilleran Section, from April 21–24, 2026, in Loreto, Baja California Sur, Mexico.

This session aims to bring together recent studies focused on Mexico, southwestern North America, and northwestern South America, addressing the assemblage, evolution, and breakup of the supercontinent Pangea from tectonic, stratigraphic, paleoecological, geophysical, geochronological, and paleogeographic perspectives.

The tectonic evolution of these regions provides an exceptional record of the history of the Gondwana–Laurentia assemblage, as well as of the breakup mechanisms that led to the opening of the Atlantic Ocean and its associated basins. We invite contributions that integrate multidisciplinary evidence to enhance our understanding of the evolution of western equatorial Pangea, fostering critical discussion on the processes that shaped its geological and biological history.

We look forward to your participation in this session, which seeks to promote international exchange and discussion about the evolution of the Earth’s most recent supercontinent.

The abstract submission system is now open, with a deadline of January 13, 2026, at 11:59 p.m. Pacific Standard Time (PST).

More information: https://www.geosociety.org/GSA/Events/Section_Meetings/GSA/Sections/cd/2026mtg/home.aspx?hkey=88411fd7-3278-41be-aa78-f451032e17f3

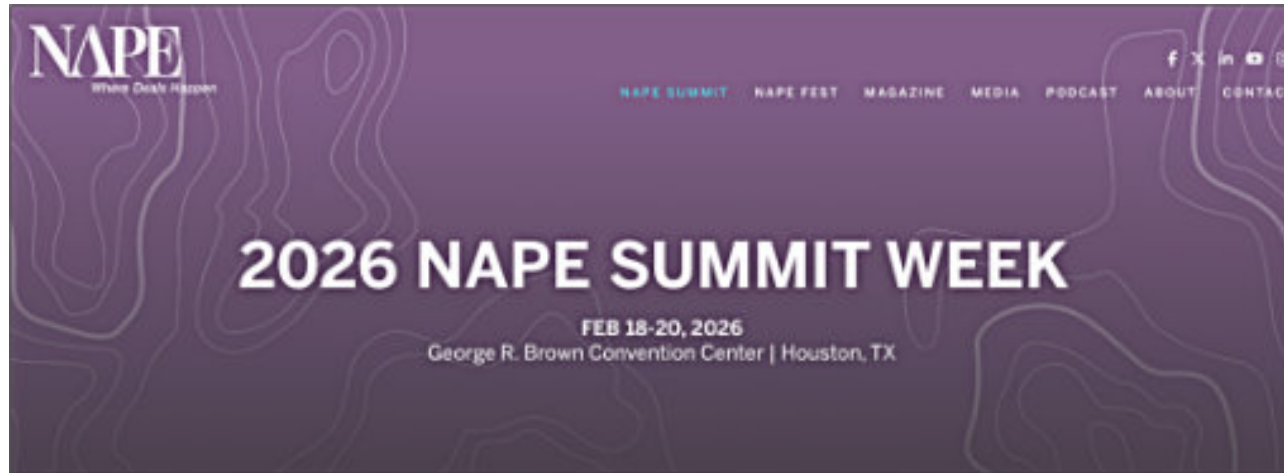
<https://gsameetings.secure-platform.com/cd26/solicitations/103008/sessiongallery>

Sincerely,

Organizing Committee of Topical Session T27



<https://napeexpo.com/summit>



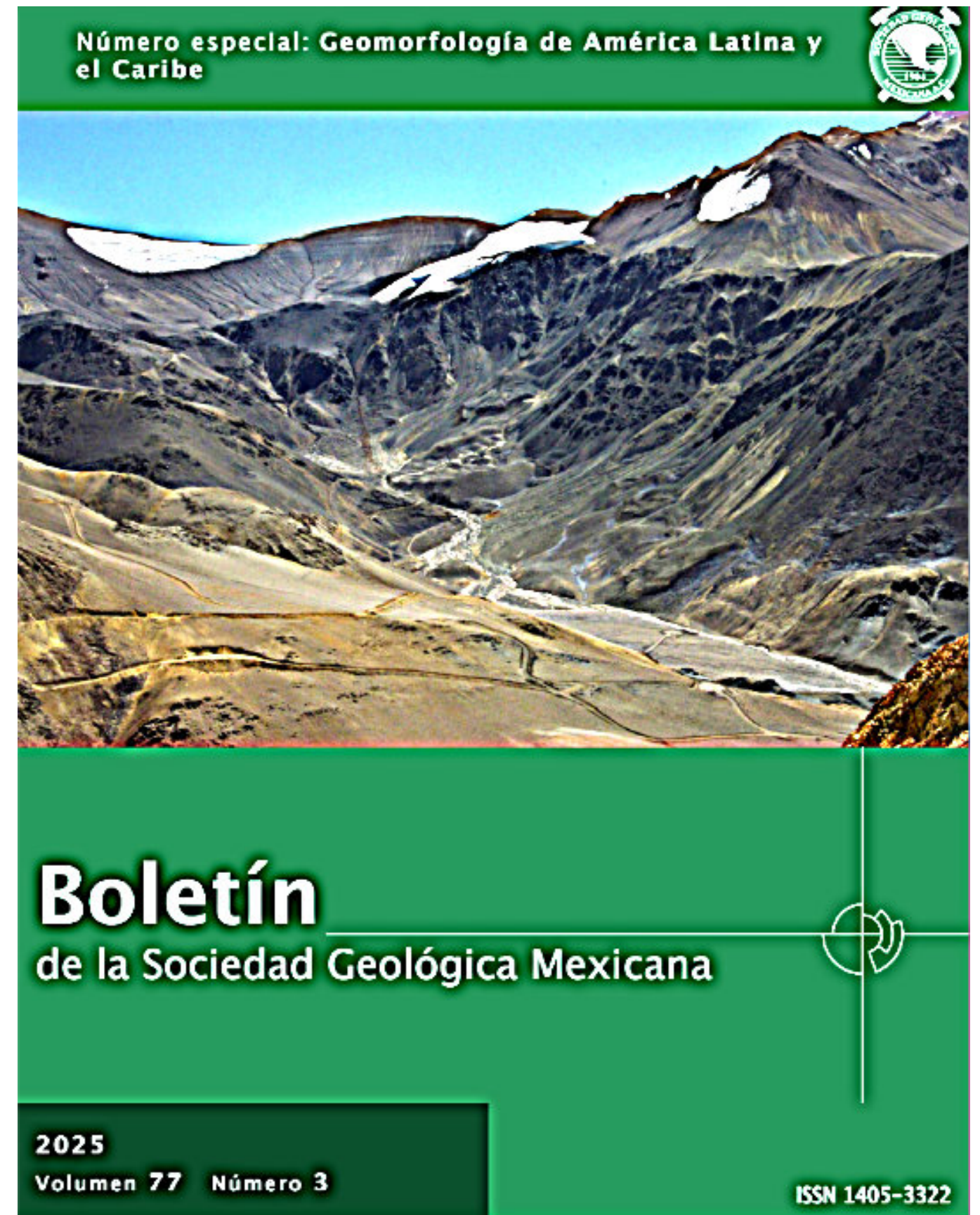
<https://www.aapg.org/events/details/event/articleid/69338/navigating-energy-frontiers-innovations-oil-gas-for-complex-environments>



<https://www.aapg.org/events/details/event/articleid/68243/3rd-edition-structural-styles-of-the-middle-east>



<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca04/7703/PORTADA%2077-3.pdf>



El esqueleto de dinosaurio hallado en Argentina que da claves al rompecabezas de su evolución

En la precordillera riojana de los Andes se encontró el fósil casi completo de una especie hasta ahora desconocida. Vivió hace 230 millones de años. Un equipo de paleontólogos argentinos encontró a más de 3.000 metros de altura en la precordillera andina, en el centro oeste de la provincia de La Rioja, el esqueleto casi completo —y prácticamente articulado— de un dinosaurio que vivió hace unos 230 millones de años, uno de los más antiguos conocidos en el planeta. Se trata de un fósil que se cree que dará claves al rompecabezas de la evolución de los primeros parientes de los enormes dinosaurios de cuello largo que dominaron el Jurásico y el Cretácico.

Se trata de una nueva especie bautizada *Huayracursor jaguensis*, en honor al viento y a la cercanía con el pequeño pueblo de Jagüé, y que sería un ancestro de los grandes dinosaurios de cuello largo que vivieron en el Triásico tardío, una etapa de grandes transformaciones en los ecosistemas terrestres, marcada por la irrupción de los primeros dinosaurios y los antepasados de los mamíferos. El descubrimiento de este espécimen y de otros animales contemporáneos, ha sido publicado en la prestigiosa revista científica *Nature*.

<https://elpais.com/america-futura/2025-12-08/el-esqueleto-de-dinosaurio-hallado-en-argentina-que-da-claves-al-rompecabezas-de-su-evolucion.html>



Ilustración de reconstrucción en vida de *Huayracursor jaguensis*
JORGE BLANCO (CICITERRA)

1.5-million-year-old fossil face is forcing a rethink of human origins

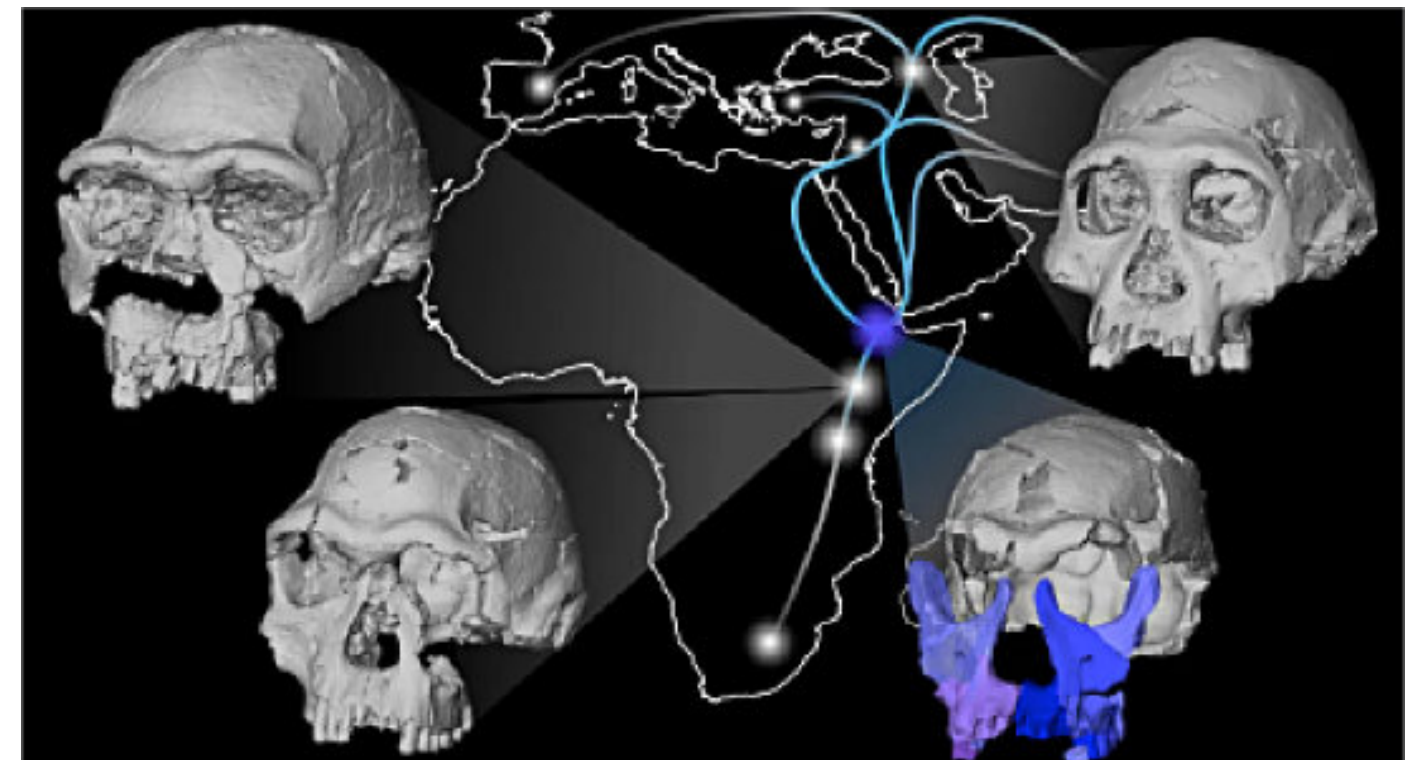
A newly reconstructed face of an early *Homo erectus* individual is reshaping ideas about how our ancient ancestors evolved and spread.

Source: *Midwestern University*

Scientists have digitally reconstructed the face of a 1.5-million-year-old *Homo erectus* fossil from Ethiopia, uncovering an unexpectedly primitive appearance. While its braincase fits with classic *Homo erectus*, the face and teeth resemble much older human ancestors. This discovery challenges long-held ideas about where and how *Homo erectus* evolved. It also hints at a complex web of migrations and possible mixing between early human species.

Below: Map showing potential migration routes of the human ancestor, *Homo erectus*, in Africa, Europe, and Asia during the early Pleistocene. Key fossils of *Homo erectus* and the earlier *Homo habilis* species are shown, including the new face reconstruction of the DAN5 fossil from Gona, Ethiopia dated to 1.5 million years ago. Credit: Dr. Karen L. Baab. Scans provided by National Museum of Ethiopia, National Museums of Kenya and Georgian National Museum

<https://www.sciencedaily.com/releases/2025/12/251216081935.htm>



Perseverance lleva años en Marte: nunca había visto algo así

Una roca solitaria sobresalía del paisaje marciano con una forma extraña. Perseverance apuntó su láser y detectó hierro y níquel: la firma química de un posible viajero llegado desde el espacio. Después de más de cuatro años recorriendo el cráter Jezero, el rover Perseverance de la NASA se topó con algo que no encaja del todo en el paisaje marciano: una roca cuya composición apunta a un origen extraterrestre; desde la perspectiva de Marte, claro. De acuerdo con la NASA, la piedra, de unos 80 centímetros de ancho, sobresalía entre las rocas planas y fracturadas del entorno por su forma "elevada y esculpida". El equipo la bautizó "Phippsaksla", siguiendo la tradición de honrar lugares reales, en este caso, una zona de Svalbard, en Noruega.

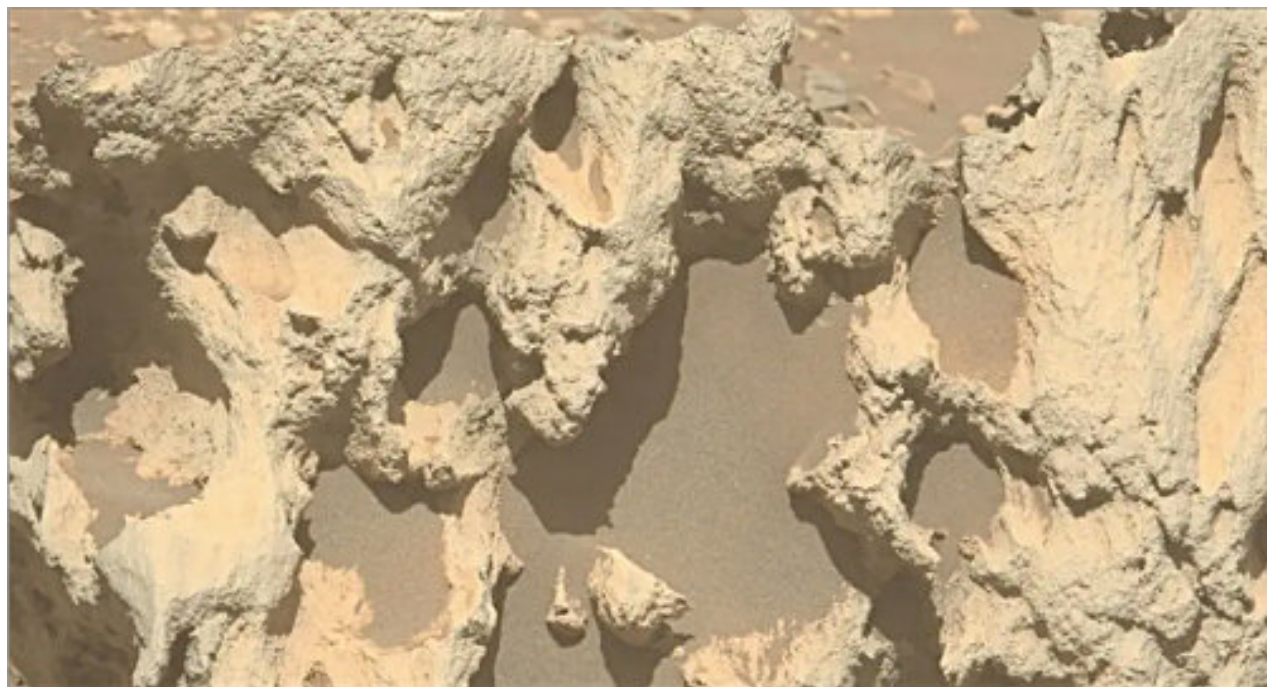
Hierro y níquel: la firma de un meteorito

Perseverance la detectó por primera vez el 2 de septiembre –sol 1612 de la misión– gracias a sus cámaras Mastcam-Z. Luego dirigió hacia ella el instrumento SuperCam, que combina un láser con espectrómetros, y encontró una alta concentración de hierro y níquel. Esta composición no es habitual en las rocas marcianas, pero sí característica de los meteoritos metálicos, fragmentos de antiguos asteroides cuyos núcleos densos se formaron en los primeros tiempos del sistema solar. Si finalmente se confirma su origen meteórico, se convertiría en el primero que Perseverance localiza desde que llegó a Marte en febrero de 2021.

No es el primer meteorito en Marte

Y no deja de llamar la atención, porque sus predecesores –Curiosity, Opportunity y Spirit– han encontrado varios. Como recuerda la NASA, el meteorito "Lebanon", descubierto por Curiosity en 2014, tenía un tamaño similar al de Phippsaksla, y "Cacao", hallado en 2023, también resultó ser una roca metálica particularmente llamativa. Según reporta Live Science, los científicos esperaban que el cráter Jezero, con una antigüedad similar al Gale y numerosos cráteres de impacto menores, contuviera meteoritos acumulados a lo largo de millones o miles de millones de años. Que Phippsaksla sea el primero en aparecer resuelve, al menos en parte, ese pequeño misterio.

<https://www.dw.com/es/perseverance-lleva-a%C3%B1os-explorando-marte-pero-nunca-hab%C3%ADa-visto-algo-as%C3%AD/a-74912590>



James Webb Space Telescope confirms 1st 'runaway' supermassive black hole rocketing through home galaxy at 2.2 million mph: 'It boggles the mind!'

News: By Robert Lea published December 17, 2025

"The forces that are needed to dislodge such a massive black hole from its home are enormous." Astronomers have made a truly mind-boggling discovery using the James Webb Space Telescope (JWST): a runaway black hole 10 million times larger than the sun, rocketing through space at a staggering 2.2 million miles per hour (1,000 kilometers per second).

That not only makes this the first confirmed runaway supermassive black hole, but this object is also one of the fastest-moving bodies ever detected, rocketing through its home galaxy at 3,000 times the speed of sound at sea level here on Earth. If that isn't astounding enough, the black hole is pushing forward a literal galaxy-sized "bow-shock" of matter in front of it, while simultaneously dragging a 200,000 light-year-long tail behind it, within which gas is accumulating and triggering star formation.

"It boggles the mind!" discovery team leader Pieter van Dokkum of Yale University told Space.com. "The forces that are needed to dislodge such a massive black hole from its home are enormous. And yet, it was predicted that such escapes should occur!"

<https://www.space.com/astronomy/black-holes/james-webb-space-telescope-confirms-1st-runaway-supermassive-black-hole-rocketing-through-cosmic-owl-galaxies-at-2-2-million-mph-it-boggles-the-mind>



Runaway supermassive black hole flees the Cosmic Owl galaxies leaving a trail of stars (Image credit: Li et al/ Robert Lea (created with Canva))

Cuento: Irresistible

Elena nació y se desarrolló en una área desértica del norte de México. Es una región desolada, con temperaturas extremas, y muy poco qué comer. Su vida había sido siempre muy difícil y la supervivencia, su prioridad. Pero a pesar de esta vida complicada, ella siempre tuvo buenos sentimientos, así como muchas limitaciones personales. Elena era un ser normal y amable, pero siempre con las necesidades típicas de su naturaleza biológica, pero a pesar de ello, hacía lo posible para mantener la calma y no actuar impulsivamente.

Amante del universo infinito, donde la gravedad es la deformación del espacio-tiempo causada por la energía y la masa, ella siempre estuvo cautivada por el evolución de los agujeros negros y por la maravillosa mecánica cuántica. Elena sabía que ella era simplemente una parte de la totalidad del universo, y que sus pensamientos y sentimientos eran una ilusión de su conciencia profunda, dándole un mayor sentido a su vida.

Por decisión propia había elegido el Budismo como su religión, un camino que conduce a una conciencia denominada iluminación. La espiritualidad es una dimensión especial de los seres vivos, una búsqueda intrínseca de significado y conexión más allá de la existencia de lo material. La práctica de meditación y yoga le daban una paz interior, a través de la sabiduría y la compasión, sin dañar a otros, por lo que siempre se le hacía complicado dar el último paso.

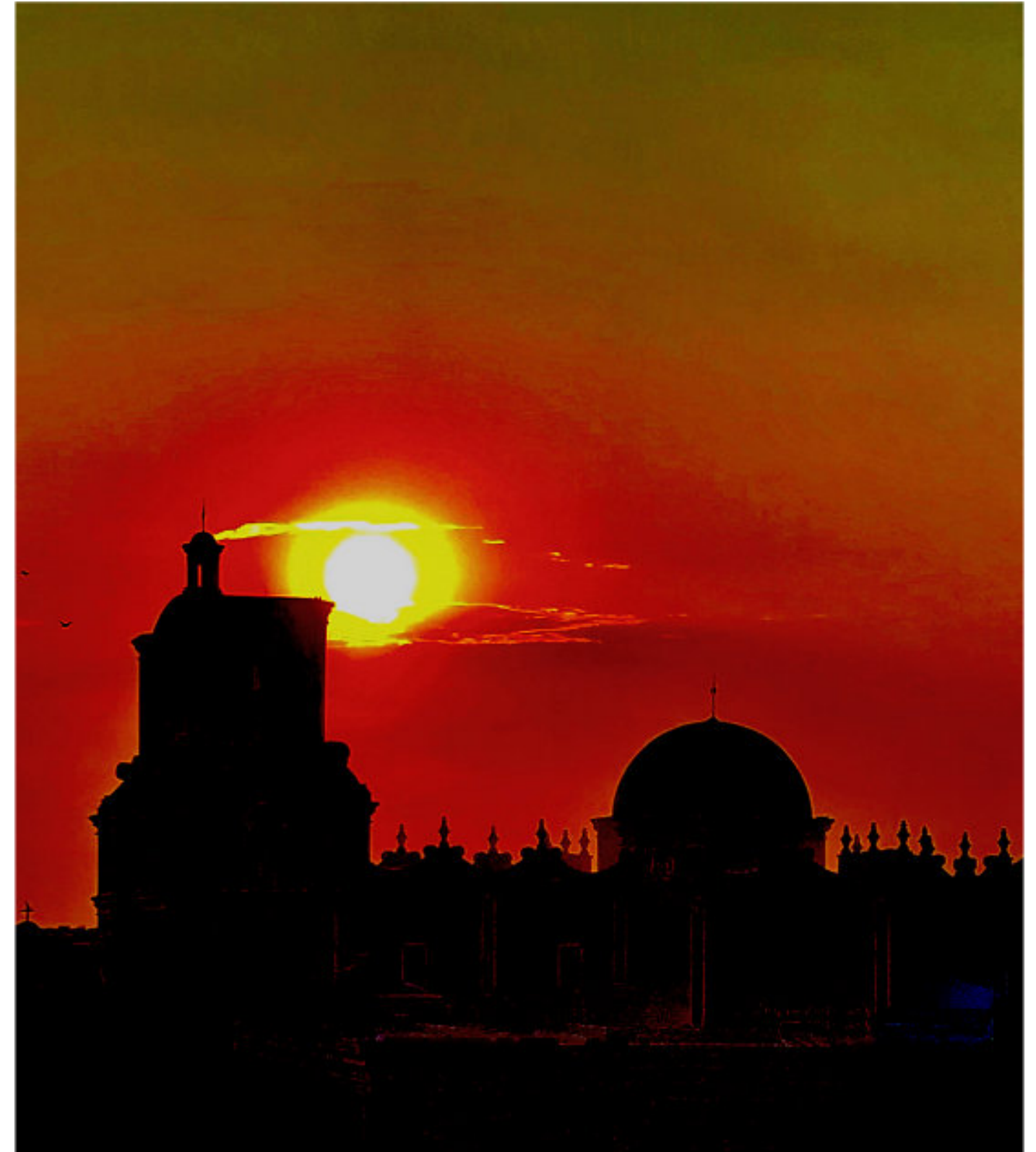
Los pensamientos y conjeturas de Elena fluían como una estructura neuronal perfecta, y podía sentir la maravillosa relación íntima entre las células de su cerebro, coordinando el pensamiento, las emociones y la conducta, todo era paz en este sistema complejo pero perfecto. Asimismo, ella había sido educada con los preceptos filosóficos de Aristóteles, que promueven la convivencia entre los seres vivos y no poner atención a los malos instintos.

Pero finalmente, contra todo pronóstico, Elena, la pacífica tarántula, empezó a engullir la deliciosa y gorda mosca, quien aun tenía una mirada de terror en sus cinco ojos.

Loco a veces

San Xavier Del Bac Mission, Tucson, Arizona.

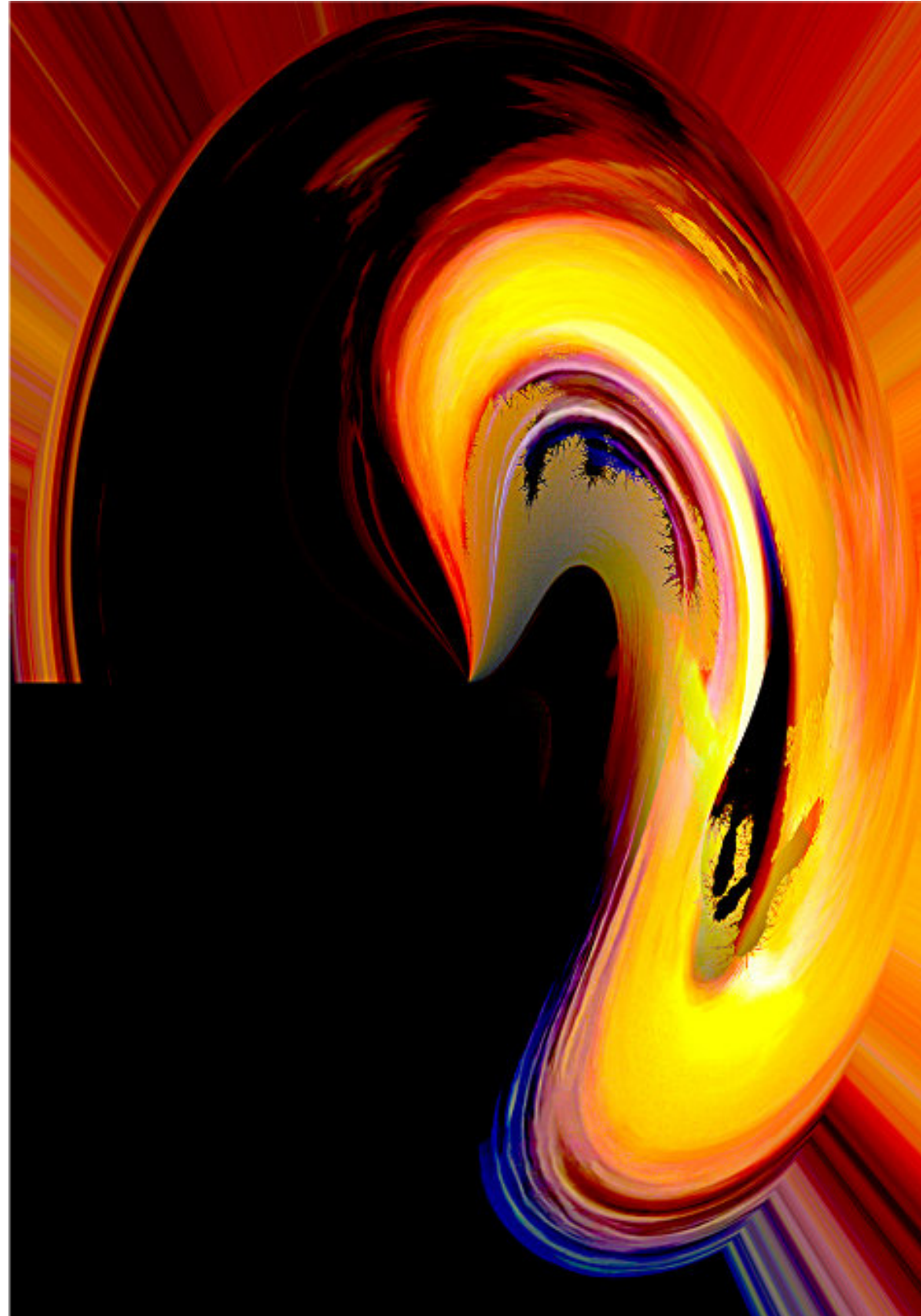
Foto de Gilda Yolid Muñoz - 2014.



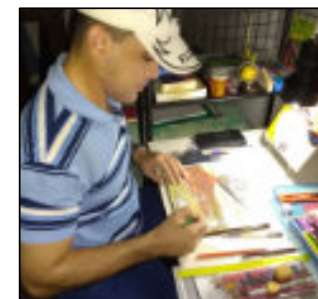
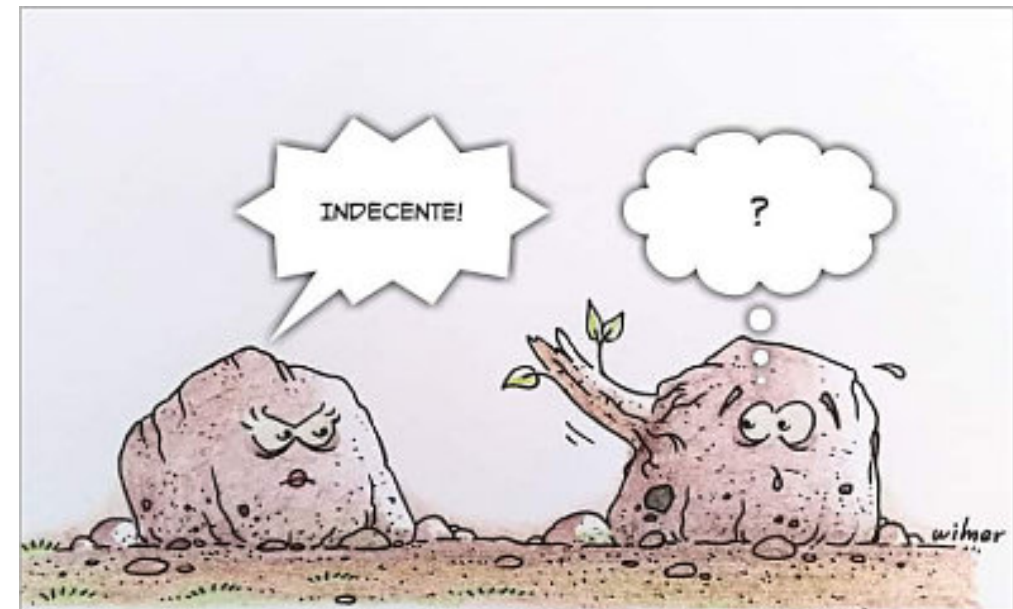
The Guggenheim Modern Art Museum, Bilbao, Spain. Photo by Claudio Bartolini, 2007.



Oreja de geólogo - geologist's ear: Anonymous, 2025.



Success is a journey, not a destination - Arthur Ashe



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

La casa de los glaciares

<https://nsidc.org/cryosphere/glaciers/questions/what.html>

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/glacier/>

https://www.usgs.gov/faqs/what-a-glacier?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products

<https://discoveringantarctica.org.uk/oceans-atmosphere-landscape/glaciation/what-are-glaciers/>

<https://www.nps.gov/subjects/geology/glacial-landforms.htm>

<https://www.worldwildlife.org/pages/why-are-glaciers-and-sea-ice-melting>

<https://geology.com/articles/glaciers/>

<https://www.youtube.com/watch?v=cIBFAke90SI>



Arizona Petrified Forest National Park

During the Triassic period two hundred million years ago, the area that is now Arizona was filled with towering trees and flowing rivers. When trees fell, they often landed in the waterways. Around the same time, active volcanoes in the region spewed ash that drifted into the rivers. Ash contains a chemical called silica, which the sunken logs absorbed. Over time this caused the stumps to petrify, or turn to stone. And traces of minerals such as iron and manganese turned the logs' rock centers different colors.

Millions of years later the rivers in the area dried up, exposing the petrified logs. To protect the ancient trees, the U.S. government turned part of the region into a national park in 1962. Today this 200,000-acre park receives around 600,000 visitors, who come to gawk at these rocks.

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

<https://www.nps.gov/pefo/index.htm>

<https://www.britannica.com/place/Petrified-Forest-National-Park>

<https://uprootedtraveler.com/one-day-in-petrified-forest-national-park/>

<https://www.usgs.gov/media/images/petrified-forest-national-park-arizona>

<https://visitfourcorners.com/petrified-forest-painted-desert-complete-guide/>

<https://www.visitarizona.com/like-a-local/a-locals-guide-to-the-petrified-forest>

<https://www.nationalgeographic.com/travel/national-parks/article/petrified-forest-national-park>

<https://www.outsideonline.com/adventure-travel/national-parks/62-parks-traveler-petrified-forest/>

<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/petrified-forest-national-park-arizona-40563/>



Discover the Geological Wonders of Sumidero Canyon in Mexico

(AAPG Explorer - October 1, 2025) - Kelsey Kosh

This national park in Mexico's southern-most state offers panoramic views of massive karst formations.

There's a popular mariachi song called "México en la Piel" ("Mexico on your skin") that details several classic and cultural Mexican experiences. The chorus repeats "Así se siente México" ("That's how you feel/experience Mexico"). Though it isn't in the song, visiting Sumidero Canyon in the southern state of Chiapas would certainly accomplish the same feat for a geo. It's popular with the locals – 80 percent of the park's visitors are Mexican nationals – which is typically a reliable indicator of a site worth seeing.

The canyon reaches as high as 1,000 meters and was formed 35 million years ago (roughly the same time as the Grand Canyon) by faulting and erosion from the Grijalva River, which still runs along the canyon's floor. Limestone largely forms its walls, but other rocks, including shale and sandstone, are also present. Additionally, the canyon hosts 400 plant species and a wide range of wildlife, including the endangered black howler monkey, and the river is home to the Chiapas cichlid, a critically endangered fish species that is endemic to the area.

<https://www.aapg.org/news-and-media/details/explorer/articleid/69330/discover-geological-wonders-sumidero-canyon-mexico>



Como parte de las actividades de difusión de nuestra revista de geociencias, tenemos una relación de buena fe y amistad con las escuelas, sociedades y asociaciones geológicas en otros países del mundo.

Instituto Nacional de Geoquímica (México). <https://www.inageq.com/>



Geología Médica

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



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



<http://cbth.uh.edu/>

Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.

SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana, - <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

<https://uteco.edu.do/>





Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA