

**DICIEMBRE  
2025**



# **MAYA**

**REVISTA DE GEOCIENCIAS**



DICIEMBRE  
2025



# MAYA

## REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

La Revista tendrá una publicación mensual, por medio de un archivo PDF, el cuál será distribuido por correo electrónico y compartido en las redes sociales. Esta revista digital no tiene fines de lucro. La RMG es internacional y bilingüe. Si 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:** Cráneo de *Tyrannosaurus rex*. Smithsonian National Museum of Natural History, Washington DC (USA). Fotografía por **Jhonny E. Casas**.

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

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

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

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

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

Revista de difusión y divulgación geocientífica.

# EDITORES



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

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

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



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

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

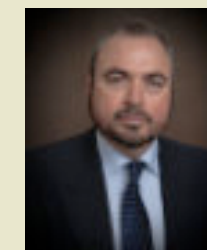
[bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)



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

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

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



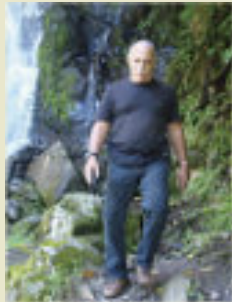
**Claudio Bartolini** (Ph.D.) is presently a senior exploration advisor at Petroleum Exploration Consultants Americas. He has more than 25 years of experience in both domestic and international mining and petroleum exploration, mainly in the United States and Latin America. Claudio was an associate editor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

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

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

[bartolini.claudio@gmail.com](mailto:bartolini.claudio@gmail.com)

# COLABORADORES



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



**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



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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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



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

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

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



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

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

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



**Rafael Tenreiro 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.

[tenreiro2015@gmail.com](mailto:tenreiro2015@gmail.com)



**Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental**

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

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

[gleon.laura@gmail.com](mailto:gleon.laura@gmail.com)



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

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

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



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

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



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

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

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

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

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

[norma.olvera@atmosfera.unam.mx](mailto:norma.olvera@atmosfera.unam.mx)



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

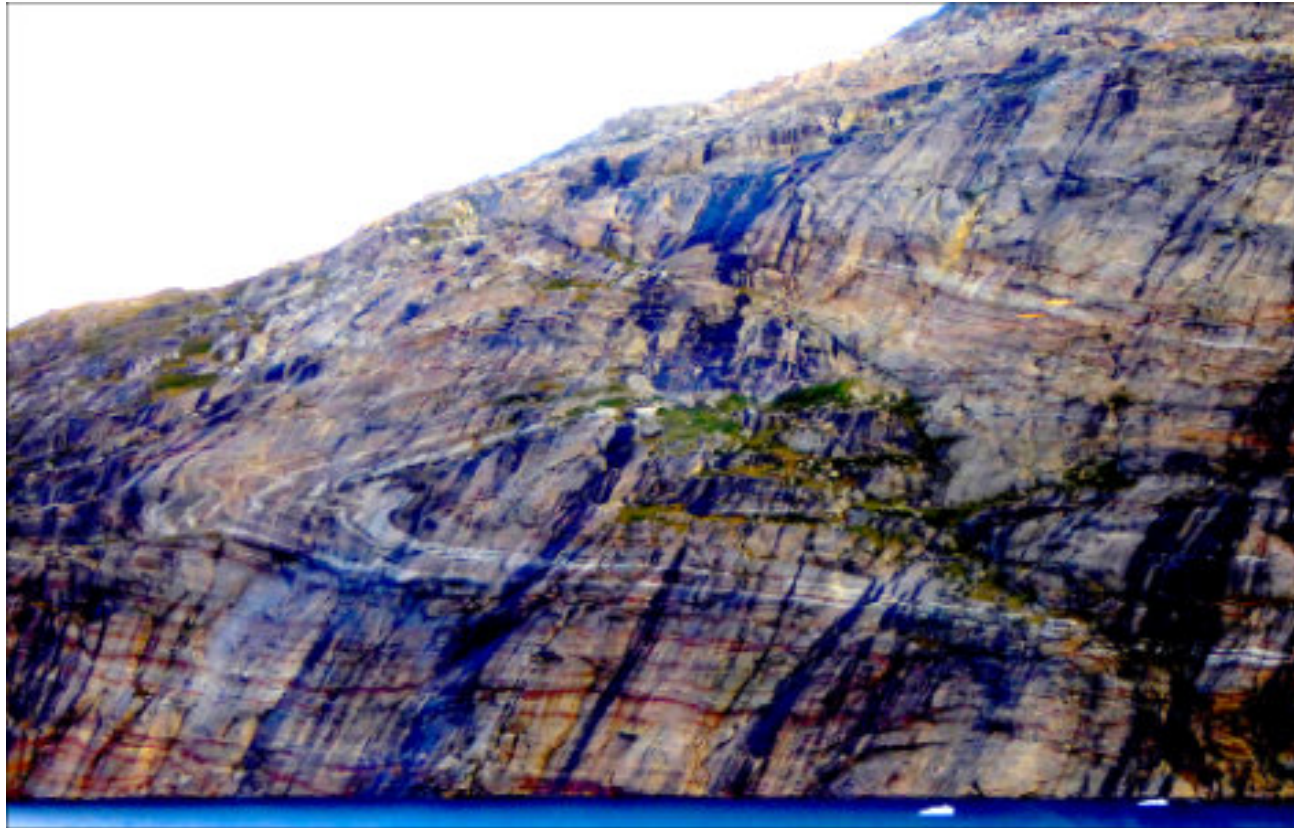
### Estimados Colegas

**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,

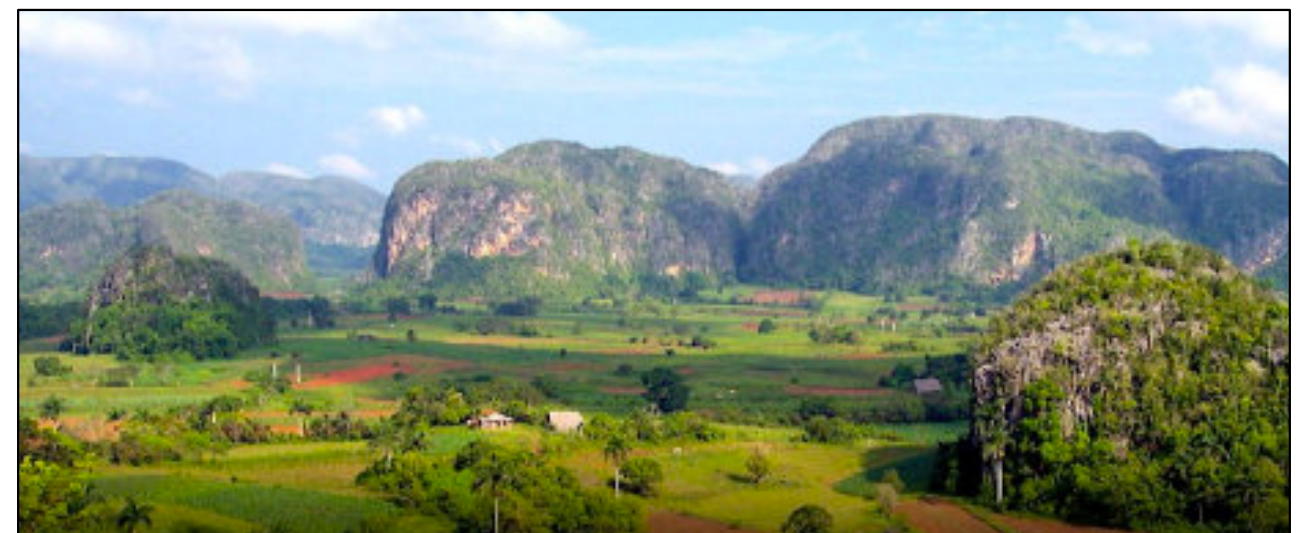
Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras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

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



### Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



El equipo editorial de la Revista Maya de Geociencias reconoce y felicita a **Diego Gabriel Miguel Vázquez** por su constante y larga colaboración.



Se dice poco, pero Diego Miguel ha estado colaborando en la Revista Maya de Geociencias (RMG) desde el No.7 de agosto de 2021. Su colaboración inició en medio de la pandemia de COVID-19, siendo un estudiante entusiasta y con iniciativa de la carrera de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Hoy día, a más de cuatro años de haberse integrado a los colaboradores de la RMG, Diego Miguel sigue siendo uno de los mayores contribuidores de la RMG dando difusión constantemente a los resúmenes de tesis y artículos de diversas partes de Latinoamérica.

Desde los primeros números de la RMG, Diego ha sido una expresión de la juventud en la difusión de las Ciencias de la Tierra, demostrando así, el vínculo entre nuevas y viejas generaciones de geocientíficas y geocientíficos. Su perseverancia, sencillez y amabilidad, lo han enmarcado a lo largo de estos más de cuatro años, además de convertirlo en el colaborar con la trayectoria más larga en la RMG.

Diego, gracias por tu dedicación y perseverancia a lo largo de estos años de vida de la RMG. Tu colaboración desde que eras estudiante de licenciatura ha sido una sencilla demostración de lo mucho que pueden lograr los jóvenes que están iniciándose en el mundo de las Ciencias de la Tierra.

**El equipo de Revista Maya de Geociencias les desea a todos y a todas ustedes una Feliz Navidad y los Mejores Deseos para el 2026.**

**Revista Maya's team wishes all of our readers a Merry Christmas and a wonderful 2026.**

**Deseamos un grandioso 2026 a nuestros lectores.**

**Saludos desde el universo abstracto.**



<https://cbth.uh.edu/>

[https://cbth.uh.edu/newsletters/CBTH2025\\_04.pdf](https://cbth.uh.edu/newsletters/CBTH2025_04.pdf)



**In this issue...**

What's New..... 1

Graduating & New Students ..... 4

Recent & Upcoming Meetings..... 6

Recent & Upcoming Publications..... 12

Awards..... 13

Sponsors.....14

Visit us online at <http://cbth.uh.edu/>

**Contacts:**  
Dr. Paul Mann:  
[pmann@uh.edu](mailto:pmann@uh.edu)

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

Edited by Jeff Storms:  
[jeffstormswork@gmail.com](mailto:jeffstormswork@gmail.com)

**Mailing Address:**  
312 Science and Research Bldg. 1  
Houston, TX 77204  
(713) 893-1731



**What's New**

**CBTH Annual Sponsor Meeting 2024**

The 2024 CBTH Annual Sponsor Meeting was held on Friday, October 11 at the Woodside office in west Houston. Thanks to everyone who was able to attend and special thanks to Luis Carlos Carvajal and the team at Woodside for hosting us! Sponsor representatives can download this year's meeting presentations as a PDF portfolio by [clicking here](#).



*CBTH students and staff at the 2024 CBTH Annual Sponsor Meeting.*

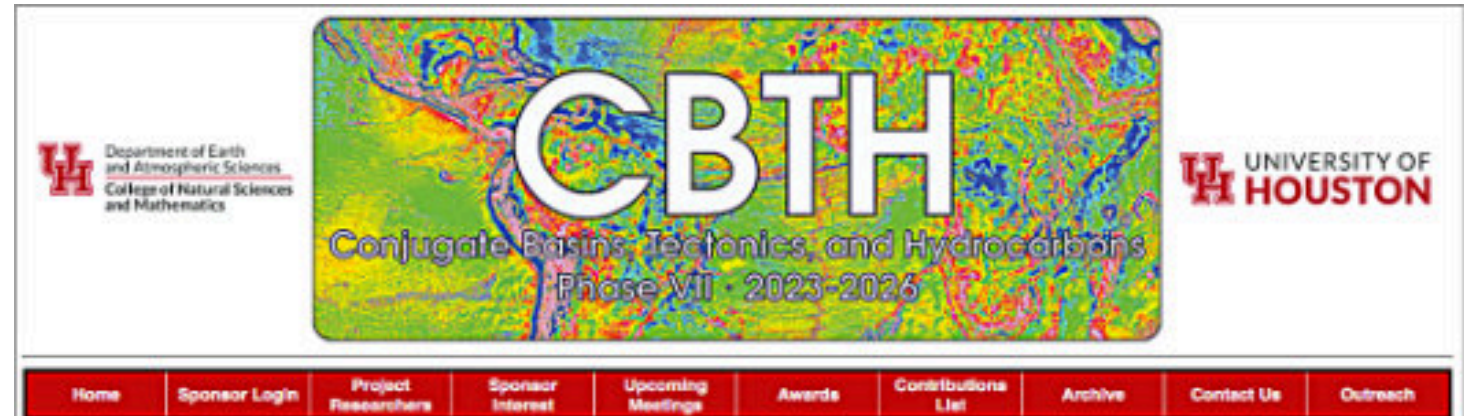
**CBTH presentations at IMAGE 2024**

CBTH students and researchers recently presented 21 presentations at IMAGE 2024 on August 26-28 in Houston. We also hosted our Sponsor Luncheon during this event on Tuesday, August 27 at The Grove Downtown. Sponsor representatives can use their login credentials to access these presentations on our website by [clicking here](#).

**CBTH presentations at IMAGE 2025**

CBTH students and researchers have submitted nine abstracts to present at IMAGE 2025 on August 25-28. Stay tuned for more details on these presentations as they become available. The CBTH Project will also be hosting our annual luncheon during this year's event (time and location TBD). If you are interested in attending this year's luncheon, email us at [cbthproject@gmail.com](mailto:cbthproject@gmail.com)

[https://cbth.uh.edu/proj\\_res.php#aname](https://cbth.uh.edu/proj_res.php#aname)



**Project Researchers**

**CBTH Staff (4)**

- Paul Mann, PhD, Project Director
- Jeff Storms, BS, Project Consultant
- Sharon Cornelius, PhD, Research Associate 2
- José Miguel Gorosabel Araus, PhD, Research Associate 1

**CBTH Allied Researchers (8)**

- Philip J. Ball, PhD (University of Houston)
- Jose-Luis Granja Bruña, PhD (Universidad Complutense of Madrid)
- Jean-Claude Hippolyte, PhD (CEREGE)
- Jean-Marie Laigle (Xplorlab)
- Hamma Ada Moussa, PhD (University of Niamey)
- Ian Norton, PhD (University of Texas at Austin)
- Andrew Pepper (University of Houston; This Is Petroleum Systems LLC)
- Jonathan Rotzien, PhD (University of Houston; Basin Dynamics)

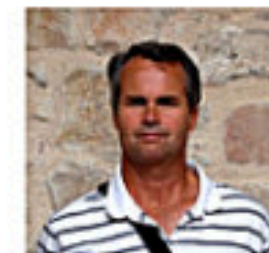
**CBTH Students at UH (8)**

- Jumoke Akinpelu (PhD Candidate, graduating May 2027)
- Ruth Beltran (PhD Candidate, graduating May 2026)
- Conor Cahill (MS Candidate, graduating May 2027)
- Ary Gustavo Candido (PhD Candidate, graduating May 2029)
- Daniel Maya (PhD Candidate, graduating May 2027)
- Josh Miller (MSc Candidate, graduating December 2025)
- Kenneth Shipper (PhD Candidate, graduating May 2026)
- Estefani Ruiz Toro (MS Candidate, graduating May 2026)

**Former CBTH Students & Staff**

To contact a student or staff member regarding their research, please e-mail [cbthproject@gmail.com](mailto:cbthproject@gmail.com).

**Paul Mann, PhD**



Dr. Paul Mann is the principal investigator of the CBTH Project which he began with Alejandro Escalona at the University of Texas in September of 2005. In June of 2011, Paul and the CBTH project moved from UT Austin to the University of Houston. His main research interest is the tectonics and petroleum geology of sedimentary basins. The CBTH project is providing Paul an opportunity to complete a mega-regional study of the Caribbean, Gulf of Mexico, and Atlantic conjugate margins that he and previous graduate students have previously studied in more localized areas.

Job Title: Professor of Geology, Robert E. Sheriff Endowed Chair  
University of Houston  
Houston, Texas  
[pmann@uh.edu](mailto:pmann@uh.edu)

- [Dr. Mann's UH Profile](#)
- [Dr. Mann's Google Scholar Profile](#)
- [Dr. Mann's LinkedIn Profile](#)
- [Dr. Mann's Research Gate Profile](#)
- [Dr. Mann's Academia.edu Profile](#)

<https://cbth.uh.edu/contributions.php>

Department of Earth and Atmospheric Sciences  
College of Natural Sciences and Mathematics

**CBTH**  
Conjugate Basins, Tectonics, and Hydrocarbons  
Phase VII - 2023-2026

UNIVERSITY OF HOUSTON

Home Sponsor Login Project Researchers Sponsor Interest Upcoming Meetings Awards Contributions List Archive Contact Us Outreach

**Theses, dissertations, presentations, and publications by researchers and students of the Conjugate Basins, Tectonics and Hydrocarbons Project (2005-2025)**

[Click here to view the latest CBTH Contributions List in Google Docs](#)

**GRAND TOTALS: 82 PhD, MSc, and BSc theses, 883 presentations, & 151 publications**

*Click to jump to a year*

2025 2024 2023 2022 2021 2020  
2019 2018 2017 2016 2015 2014 2013 2012 2011 2010  
2009 2008 2007 2006 2005

**2025 student thesis studies (1)**

- Petkovsek, C., 2025, Crustal, thermal, and structural controls on hydrocarbon systems in the Delaware Basin, west Texas and southeastern New Mexico, PhD dissertation, University of Houston, 130 p.

**2025 presentations (39)**

- Akinpelu, J., 2025, Comparison of structural evolution and deepwater hydrocarbon potential of two conjugate, rifted margins: Potiguar Basin, Brazil and Niger Delta, Nigeria, CBTH Annual Sponsor Meeting, Houston, Texas, Oct. 9, 2025.
- Akinpelu, J., 2025, Crustal structure characterization offshore Niger Delta, Nigeria: impact on hydrocarbon exploration in ultra-deepwater, UH EAS 38th Annual Student Research Conference and Alumni & Industry Open House, Houston, Texas, May 8, 2025.
- Akinpelu, J., 2025, Using geophysical data for mapping crustal types beneath the Niger delta and their impact on basin modeling, IMAGE 2025, Houston, Texas, Aug. 25-29, 2025.
- Akinpelu, J. and Mann, P., 2025, Continent-ocean transition beneath the Niger Delta, West Africa, and implications for its deepwater, hydrocarbon potential, IMAGE 2025, Houston, Texas, Aug. 25-29, 2025.
- Beltran, R., 2025, Crustal structure and structural evolution of the Brazilian rifted passive margin in the Campos basin, Brazil, UH EAS 38th Annual Student Research Conference and Alumni & Industry Open House, Houston, Texas, May 8, 2025.
- Beltran, R., 2025, Structural restoration to improve basin models, Campos basin, Brazil, IMAGE 2025, Houston, Texas, Aug. 25-29, 2025.
- Beltran, R., 2025, Structural restorations of the Campos basin, Brazil, and constraints on ultra-deepwater, hydrocarbon provinces, CBTH Annual Sponsor Meeting, Houston, Texas, Oct. 9, 2025.
- Beltran, R., Mann, P., and Mora, A.R., 2025, Structural evolution of the Brazilian rifted passive margin in Campos basin: Timing and kinematic relationships of the rift system and salt tectonics, IMAGE 2025, Houston, Texas, Aug. 25-29, 2025.
- Candido, A.G., 2025, Marine source rocks in the South Atlantic - stratigraphic and tectonic settings, CBTH Annual Sponsor Meeting, Houston, Texas, Oct. 9, 2025.

AAPG Memoir 108: Edited by Claudio Bartolini and Paul Mann.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/11/AAPG-Memoir-108-Bartolini-Mann.pdf>

AAPG Memoir 108 Edited by Claudio Bartolini and Paul Mann

**Petroleum Geology and Potential of the Colombian Caribbean Margin**

DVD

Anadarko REPSOL AAPG

Downloaded from <http://pubs.gsa.org/doi/lookup/doi/10.1130/2025.108>  
by guest

Semblanzas.....	<a href="#">17</a>
Obituarios.....	<a href="#">35</a>
Miscelanea de imágenes.....	<a href="#">36</a>
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	<a href="#">41</a>
Los libros recomendados.....	<a href="#">52</a>
Temas de interés.....	<a href="#">59</a>
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	<a href="#">103</a>
Notas geocientíficas.....	<a href="#">113</a>
<b>Misceláneos</b>	
Museos de historia natural.....	<a href="#">183</a>
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	<a href="#">184</a>
Venezuelan American Petroleum Association.....	<a href="#">186</a>
Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.....	<a href="#">187</a>
Revista de Paleontología Mexicana.....	<a href="#">188</a>
GSA Cordilleran Section Meeting.....	<a href="#">189</a>
New fossils: Human evolution.....	<a href="#">191</a>
Secretos del ADN humano.....	<a href="#">192</a>
Archivo completo de ejemplares de ciencia.....	<a href="#">193</a>
Aplicaciones para escribir documentos de Geociencias.....	<a href="#">194</a>
Caverna del Arte.....	<a href="#">195</a>
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	<a href="#">199</a>
La casa de los desiertos.....	<a href="#">200</a>
Chiricahua Mountains, Arizona.....	<a href="#">201</a>
Asociaciones geológicas hermanas.....	<a href="#">202</a>

## Erwin Raisz: (1893 - 1968)

### Erwin Raisz and His Wonderful Landform Maps

Most of us geologists have a love of maps-- or at least we should, as we have to make and use them all the time. As an elementary school student in the northeast U.S., one of my favorite ways to spend a cold winter's eve was to lie on the floor of the living room with the family World Atlas, sheets of tracing paper, pencil and eraser, and proceed to sketch rivers, lakes, mountain ranges, etc. from faraway, exotic realms of the globe. I would imagine how these places really looked, and dreamt of traveling there. I guess that's the origin of my own affection for maps, and perhaps for geology.

Despite their potential as vehicles for the imagination, most maps that we create and use these days are rather mundane affairs. They are exclusively designed to convey dry, spatial information of some sort, be it the streets of Mexico City or the distribution of allochthonous salt canopy in the Gulf of Mexico. If they have any aesthetic appeal at all, it's probably unintended. It wasn't always that way.

Erwin Josephus Raisz (1893-1968) was born in Lócse, Hungary, the son of an engineer, and initially followed in his father's footsteps earning degrees in civil engineering and architecture from the Royal Polytechnicum in Budapest in 1914. After the Great War he emigrated to the United States and worked at the Ohman Map Co. in New York City to support himself while he pursued a PhD in geology at Columbia University (Raisz, 1929). In a conversation I enjoyed a few years ago with his grandson, Jonathan Raisz, he told me that the reason for Dr. Raisz's switch from engineering to geology is unclear, though Jonathan suspects it may have been related to another part-time job he had in New York, making drawings of fossils in the collection of the American Museum of Natural History.



Regardless of how it came to pass, in addition to a number of cartographic inventions such as the cartogram and the "Armadillo" map projection (*Wired* magazine, 2014), Erwin Raisz produced in his lifetime some 5000 hand-drawn, pen-and-ink "landform" maps, which must have required the patience of Job: they are beautiful renditions of the Earth's surface that are fascinating to ponder. These maps could never have been automatically generated by a computer software application, but required the hand and sensibility of a human artist, convolved with the knowledge of a human geologist. Most of them were created during his 20 years at the former Institute of Geographical Exploration at Harvard University, where he taught, was curator of their map collection, and published the first comprehensive textbook in English on cartography (Raisz, 1938).

So what are these "landform" maps of Dr. Raisz? They are essentially physical relief maps, but use a set of realistic

physiographic symbols (excerpt copied here) that are derived from oblique views. The emphasis is on *realistic* symbols: "... the good symbol is that which can be read without an explanation... the [landform] map appeals immediately to the average man. It suggests actual country and enables him to see the land instead of reading an abstract location diagram. It works on the imagination." (Raisz, 1931). According to Garver (2003), "He learned to know the land by its geological structure. Like a painter or sculptor who first approaches the human form by focusing on anatomy, Raisz instinctively read in a landscape the forces that molded it." Spend a moment and take a close look at the excerpt from his *Landforms of Mexico* map reproduced here. It doesn't take long before one is virtually transported to the Trans-Mexican Volcanic Belt, and see with the mind's eye the majestic Pico de Orizaba, Popocatepetl and other stratovolcanoes of the region.

Jonathan told me that his grandfather was also an avid photographer, and indeed, one of the resources on which he based his landform maps were the many photos he took while on an airplane, always taking care to book a window seat. He also used aerial photos, and in his last years even began to use astronaut photos from NASA's Gemini program. So I suppose it can be said that Dr. Raisz was one of the fathers of geological remote sensing.

I've always been intrigued by the meeting of science (especially geology) and art, and Erwin Raisz's maps have for me been one of the most inspiring examples of this confluence.

**References cited**

Garver, J., 2003, Plainly visible patterns: the cartography of Erwin Josephus Raisz: <http://web.archive.org/web/20030630222812/http://mercatorsworld.com/article.php3?i=66>

Raisz, E.J., 1929, The scenery of Mt. Desert Island: its origin and development: *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 31, p. 121-186.

Raisz, E.J., 1931, The physiographic method of representing scenery on maps: *Geographical Review*, v. 21, n. 2, p. 297-304.

Raisz, E.J., 1938, *General Cartography*: McGraw Hill, 370 pp.

Raisz Landform Maps: <http://www.raiszmaps.com/>

*Wired* magazine, <http://www.wired.com/2014/01/projection-raisz-armadillo/>

**Compiled by Jon Blickwede**

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



# Tanya Atwater

**Tanya Atwater** (Born 1942) is an American geophysicist and marine geologist, who specializes in plate tectonics. She is particularly renowned for her early research on the plate tectonic history of western North America.

**EARLY LIFE AND EDUCATION**

Atwater was born in Los Angeles, California on August 27, 1942. Her father was an engineer and her mother was a botanist. She is one of four siblings. Atwater was one of the first women to research the ocean floor in terms of its Geology.



Atwater began her education in 1960 at the Massachusetts Institute of Technology, then received her B.A. in Geophysics from the University of California, Berkeley in 1965. She earned a Ph.D. (1972) in marine geophysics from Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego. She is director of the University of California, Santa Barbara Educational Multimedia Visualization Center where she is an emerita professor of geological sciences. She was a professor at the Massachusetts Institute of Technology before joining the faculty at UCSB in 1980. Atwater retired from UCSB in 2007.

**CAREER**

Atwater was a professor of tectonics, in the Department of Geological Sciences at the University of California, Santa Barbara before retiring. She authored and co-authored 50 articles in international journals, professional volumes, and major reports. Seven of these papers were published in the journals *Nature* or *Science*. In 1975, she became a fellow of the American Geophysical Union for her work in tectonophysics. From 1975 to 1977, Atwater was a Sloan Postdoctoral Fellowship Recipient in Physics. In 1984, she won the Encouragement Award from the Association for Women Geoscientists. Atwater is a member of the National Academy of Sciences for her contributions to marine geophysics and tectonics. In 2019 she received the highest award of the Geological Society of America, the Penrose Medal.

**Scientific discoveries**

Atwater was involved in oceanographic expeditions using deep towed instruments to explore the ocean floor. To date, she has participated in 12 deep water dives in the deep-ocean submersible *Alvin*. She researched the volcano-tectonic processes responsible for creating new oceanic crust at seafloor spreading centers. In 1968, she co-authored a research paper featuring groundbreaking work into the faulted nature of spreading centers. With Jack Corliss, Fred Spiess, and Kenneth Macdonald, she played key roles in expeditions that uncovered the distinct biology of ocean floor warm springs, which led to the discovery during the RISE project of the high temperature black smokers, undersea hydrothermal vents.

In Atwater's research on Propagating Rifts near the Galapagos Islands, she discovered that propagating rifts were created when spreading centers along the seafloor were disturbed by tectonic movement or magma and therefore had to change direction to realign. This helped to explain the complex pattern of the seafloor.

Atwater is perhaps best known for her work on the plate tectonic history of western North America. She wrote two major research papers outlining the history of plate tectonic evolution of North America and tectonic problems of the San Andreas Fault, which assisted in documenting the history of the San Andreas Fault Line.

She also studied geometric evolution, integrating and comparing the global plate motion records with the

regional continental geologic records. She found emerging relationships that revealed the origins of many large-scale geologic features (e.g. Rocky Mountains, Yellowstone, Death Valley, Cascade volcanoes, California Coast Ranges).

Atwater published a research paper, Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America. In her work, she explains that approximately 40 million years ago, the Farallon Plate was subducting underneath the North American Plate and the Pacific Plate. The lower half of the Farallon plate was entirely subducted under Southern California and the upper half did not sink, which eventually became known as the Juan de Fuca Plate. Since the southern section of Farallon completely disappeared, the boundary of southern California was now between the Pacific Plate and the North American Plate. The San Andreas Fault is unique because it acts as a major fault line as well as a border between the Pacific Plate and the North American Plate. She updated this work in 1989.

Atwater is interested in communication and education at all levels. She has developed electronic multi-media to enhance geologic visualization and understanding, particularly related to the histories of tectonic plates.

#### AWARDS AND HONORS

1975, Fellow, American Geophysical Union

1980, AAAS Newcomb Cleveland Prize for top research article in the journal Science

1997, elected to the National Academy of Sciences

2002, National Science Foundation Director's Award for Distinguished Teaching Scholars. This award, of \$300,000 over four years, is given to help and honor distinguished scientists who are working out ways to translate research into education. The money is meant to provide teaching scholars the opportunity to expand their work beyond their home institutions.

Leopold von Buch Medal, German Geosciences Society

2005 Gold Medal, Society of Woman Geographers

2019 Penrose Medal of the Geological Society of America.

<https://www.geosociety.org/GSA/About/awards/GSA/Awards/2019/penrose.aspx>

#### SELECTED WORKS

Menard, H. W., and Tanya Atwater, 1968, Changes in direction of sea floor spreading. *Nature*, v. 219, p. 463-467. Reprinted in *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals*, p. 412-419, W. H. Freeman Co. San Francisco, 1973.

Atwater, Tanya, 1970, Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v. 81, p. 3513-3536. Reprinted in *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals*, p. 583-609, W. H. Freeman Co., San Francisco, 1973. Reprinted in *U.C.S.D., Scripps Inst. Oceanography., Contributions*, Vol. 40, Part 2, p. 1249-1271, 1970.

Atwater, Tanya, and P. Molnar, 1973, Relative motion of the Pacific and North American plates deduced from seafloor spreading in the Atlantic, Indian and South Pacific Oceans. R. L. Kovach and A. Nur, eds., *Proc. of the Conf. on Tectonic Problems of the San Andreas Fault*, Geological Sciences, v. XIII, Stanford Univ., p. 136-148. •Reprinted in *U.C.S.D., Scripps Inst. Oceanography., Contributions*, Vol. 44, Part 2, p. 1362-1374, 1974.

Atwater, Tanya, 1981, Propagating rifts in seafloor spreading patterns. *Nature*, v. 290, p. 185-186.

Atwater, T., 1991, Tectonics of the Northeast Pacific, *Transactions of the Royal Society of Canada, Series I*, v. I, pp. 295-318.

Atwater, T., 1998, Plate Tectonic History of Southern California with emphasis on the Western Transverse Ranges and Santa Rosa Island, in Weigand, P. W., ed., *Contributions to the geology of the Northern Channel Islands, Southern California: American Association of Petroleum Geologists, Pacific Section*, MP 45, p. 1-8.

Source: Wikipedia, April 1, 2020.

<https://www.researchgate.net/profile/Tanya-Atwater-2>

[https://www.youtube.com/watch?v=nS\\_lMsBdafI](https://www.youtube.com/watch?v=nS_lMsBdafI)

## Pedro Salterain Legarra: 1834 - 1893

#### Introducción

De todos los geólogos y mineros españoles que trabajaron en la inspección de minas de Cuba en el siglo XIX, Pedro Salterain fue el ingeniero que pasó más tiempo en la isla: más de treinta años. La reforma legislativa de la minería de 1825 incluía la creación de la Dirección General de Minas y una nueva ley. Se trató de una ley minera moderna destinada a impulsar la industria extractiva, luego de la pérdida de las posesiones americanas por los procesos independentistas. La nueva regulación que autorizaba a extranjeros registrar y denunciar minas, resultó en una reactivación de la minería, especialmente la del cobre, promovida por inversionistas británicos. La Inspección de Minas en Cuba se instaló después de 1837, pero operó siempre con déficit de personal por la falta de ingenieros. Los jóvenes que desde Cuba fueron enviados a España



estudiar en las escuelas de minas, seis en total, nunca regresaron a la isla para ejercer.

La base para la regulación de las actividades mineras fueron las sucesivas leyes de 1825, 1849, 1859, y,

Tabla 1. Personal de la inspección de minas de Cuba.

Personal de la Inspección de minas	Periodo de trabajo
Ingenieros inspectores de minas	
Joaquín Eizaguirre Bailly	1837 - 1853
Policarpo Cía y Francés	1847 - 1850
Juan Diego López Quintana	1846 - 1860 / 1863 - 1869
Manuel Fernández de Castro y Suero	1859 - 1869
Jose Ruiz Leon	1862 - 1863
Pedro Salterain y Legarra	1862 - 1893
Gabriel Usera y Jiménez	1882 - 1889
Juan Aguilera y Kindelán	1886 - 1894
Vicente Kindelán y de la Torre	1890 - 1898
Enrique Cantalapiedra y Crespo	1893 - 1898
Auxiliares de minas	
José Fernández de Castro	1857 - 1873
Magín Joaquín Rivas Palau	1865 - 1869
Mariano Ruiz Merino	1875 - 1880
Valentín Pellitero Ribet	1880 - 1887
Juan Barrenechea Velar	1880 - 1883
Joaquín María Egozcue y Cía	1883 - 1893
Eugenio Malo de Molina	1891 - 1898

finalmente, la norma sobre el régimen de la minería en Cuba de 1863 y su reglamento de 1864. La inspección cubana era responsable de la demarcación de los denuncios y sus planos. Se debían supervisar las minas en activo por lo menos una vez al año y emitir los reportes correspondientes. En 1837, se nombra a Joaquín Eizaguirre Bailly, primer inspector de minas en Cuba. Durante nueve años fue el único ingeniero, hasta la llegada, en 1846, de Policarpo Cía y Francés y Juan Diego López Quintana. Manuel Fernández de Castro fue el siguiente en incorporarse en 1859, y, finalmente, Pedro Salterain desde 1862. En la tabla 1 el listado completo de las personas que ocuparon el servicio de minas hasta 1898.<sup>1</sup>

**Biografía.**

Pedro José Gregorio Salterain y Legarra nació el 11 de marzo de 1834 en Irún (Guipúzcoa). En 1854 ingresó en la Escuela de Minas. Al concluir la escuela en 1858, fue propuesto para ocupar una plaza de ingeniero segundo en el establecimiento minero de Riotinto y en 1860 a las minas de Almadén. En 1862 fue destinado a la inspección de minas de Cuba como jefe del distrito occidental. Salterain participó en la comisión para inspeccionar las obras del Canal de Isabel II, cuyos trabajos habían comenzado en 1858.<sup>2</sup> En el Diario de la Marina era

frecuente encontrar también información sobre trabajos realizados por la inspección, como el estudio de los suelos de un potrero en la provincia de Matanzas.<sup>3</sup>

En 1684, aparece publicado en el Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, el segundo "Croquis Geológico de Cuba", firmado por Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain Legarra. Dicho croquis contribuyó grandemente a una mejor comprensión de las posibilidades económicas de la minería cubana en aquellos momentos.

A partir de 1869 y hasta 1888, Salterain fue el responsable del servicio minero.<sup>4</sup> El reporte de 1869 describió el estado de las minas y denuncios, con especial énfasis en las de cobre de Santiago de Cuba, y, en menor medida, las de plomo, plata, estaño, manganeso, cromo, lignito y asfalto. Describió el efecto devastador que tenía sobre la economía la Guerra de los Diez Años (1868-1878), aunque era evidente que la minería ya se encontraba en franca decadencia antes del comienzo de la sublevación. En 1873, Salterain remitió a la metrópoli otro informe sobre el estado de la minería en Cuba.<sup>5</sup> A pesar de que la isla se encontraba en plena guerra de independencia, "las minas que hoy existen en explotación y los expedientes de registro" eran cada vez más frecuentes, "principalmente sobre mineral de asfalto". Salterain aportó una descripción del estado de la minería en esos momentos, proporcionando una visión optimista.



Figura 1. Croquis geológico de la Isla de Cuba de 1864.

La Real Orden de 7 de octubre de 1879, dispuso la confección de una nueva memoria geológico-minera. Salterain cumplió lo que se solicitaba, describiendo la recuperación de la minería tras la guerra: 1) minas de asfalto y petróleo, con importantes depósitos en la provincia de Santa Clara y asfalto de la bahía de Cárdenas; 2) el cobre continuaba con importantes problemas de explotación, aunque se habían descubierto nuevos yacimientos cerca de Santiago de Cuba; 3) minas de hierro en Santiago de Cuba, 4) las minas de oro, en San Blas, en la provincia de Sancti Spiritus, y 5) los depósitos de guano en los cayos de la costa meridional.<sup>6</sup>

Salterain estudió el terremoto que afectó San Cristóbal y Candelaria, hoy provincia de Artemisa, el 23 de enero de 1880. Estos trabajos los realizó junto a Benito Viñes, director del Observatorio del Real Colegio de Belén, siendo primer evento sísmico del país estudiado sobre el terreno por especialistas.<sup>7</sup>

Salterain publica un estudio acompañado de un mapa geológico de la jurisdicción de Guanabacoa,<sup>8</sup> en cuyo trabajo incluye las formaciones siguientes: Cuaternaria, Terciaria; en las cuales encuentra fósiles; mientras que acepta el Cretácico con dudas dada la carencia de fósiles para la datación. Finalmente, las rocas hipogénicas, a

que llama formación serpentínica. Entre los fósiles recogidos por Salterain, figuró un equinoideo mioceno procedente de una cantera de Calabazar, que fue estudiado por Daniel Cortázar: *Encope CIAE*, dedicada a Policarpo Cía.<sup>9</sup>

De gran importancia fue el "Croquis geológico de la Isla de Cuba", a escala 1:2.000.000, que publicaron Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain en el volumen de 1881 del Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España. Fue confeccionado entre 1869 y 1883 y presentado a la comunidad científica en 1881, durante la celebración en Madrid del 4º Congreso Internacional de Americanistas, en el que Fernández de Castro aportó, además, una síntesis de la geología cubana. Se trató del primer mapa geológico de Cuba y el primero también de un país latinoamericano.<sup>10</sup> Los autores asignaron acertadamente una edad jurásica a las calizas de la cordillera de Guaniguanico, así como a los mármoles y a las pizarras del macizo metamórfico de la isla de la Juventud. Identificaron las rocas cretácicas del arco volcánico y el Mioceno sedimentario. Igualmente, cartografiaron los afloramientos de rocas intrusivas en los terrenos ígneos de Camagüey-Las Tunas, los "granitoides de Manicaragua", y los cuerpos rocosos que conforman el cinturón de la asociación ofiolítica, a los que agruparon

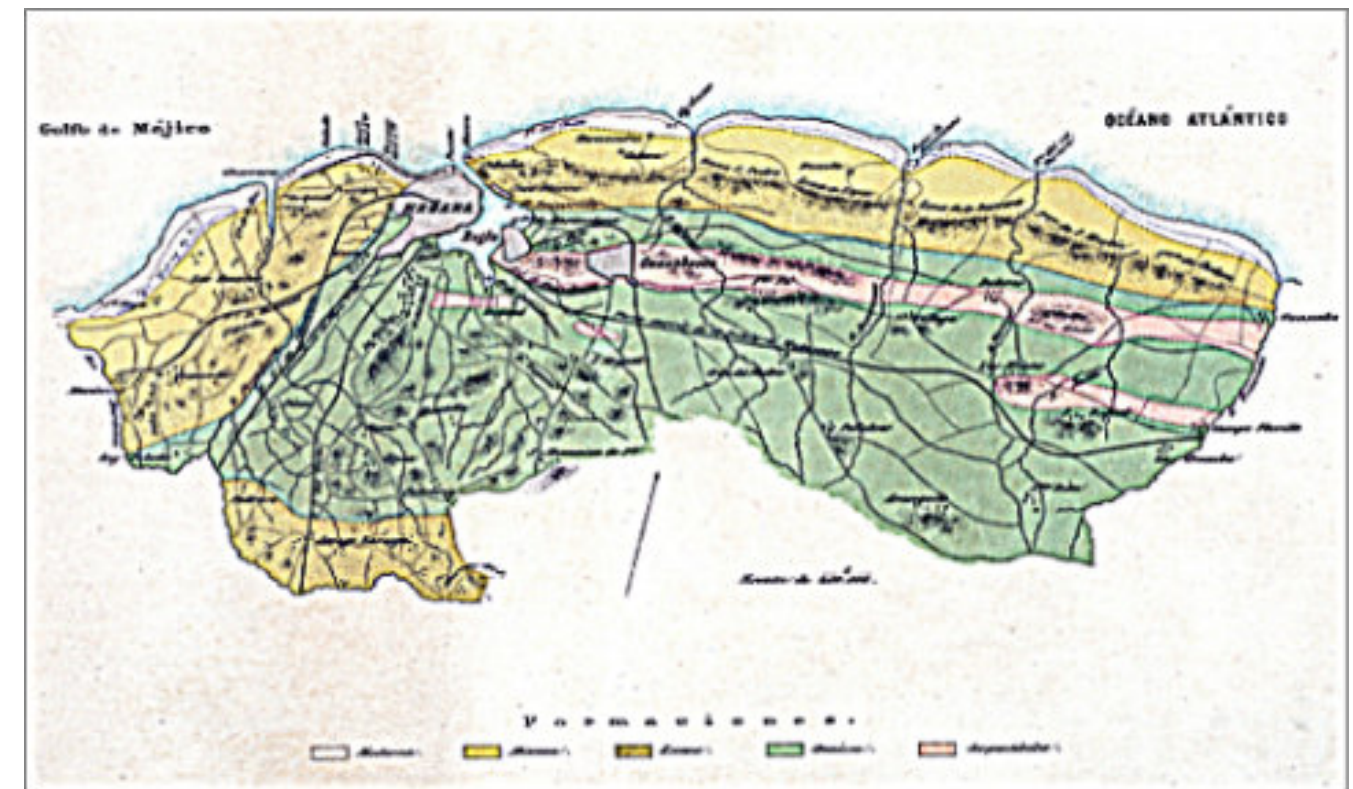


Figura 2. Mapa geológico y topográfico en bosquejo de las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Isla de Cuba), a escala 1:200.000 (Salterain, 1880).

bajo el nombre genérico de “dioritas, serpentinas y basaltos”. Sin embargo, asignaron erróneamente una edad triásica a las pizarras situadas en las partes septentrional y meridional de la cadena montañosa del oeste de Cuba, asimiladas actualmente a las formaciones San Cayetano y Castellanos, de edades comprendidas entre el Jurásico Inferior y el Superior. También consideraron como del Cretácico algunos materiales ahora incluidos en el Arco Volcánico Paleógeno de la Sierra Maestra.

Otro caso documentado fue la participación de Salterain, en julio de 1888, en una comisión científica nombrada por la Junta del Museo Biblioteca de Ultramar, para realizar “exploraciones geológicas y antropológicas en las cuevas

de las lomas de Banao, provincia Sancti Spiritus”. Según este sabio geólogo, la gruta está conformada por la misma caliza general de la Sierra, con una dirección SE a NO, y una inclinación de 60 a 70°.<sup>11</sup>

Pedro Salterain fue ascendiendo hasta alcanzar la categoría de ingeniero jefe de primera clase con la consideración de inspector general de segunda clase, fue miembro de asociaciones científicas y civiles, como la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, de la que fue académico de número desde 1884. Falleció en La Habana el 20 de febrero de 1893, recién cumplidos los 59 años y estando aún en activo.



Figura 3. Croquis geológico de la Isla de Cuba, a escala 1:2.000.000, por Manuel Fernández de Castro y Pedro Salterain y Legarra (1869-1883).

<sup>1</sup>Rábano, I., 2024. Pedro Salterain y Legarra (1834-1893): minería y geología en la Cuba colonial. Revista de la Sociedad Geológica de España, 37(2): 14-30.

<sup>2</sup>Fernández de Castro, M., Valdés, N., Ruiz de León, J., Aenlle, J.F., Salterain, P., 1864. Informe que presentan al Excmo. Sr. Gobernador Capitán General de la Isla de Cuba, la comisión nombrada para inspeccionar las obras del Canal de Isabel II, proyectado por D. Francisco de Albear, con objeto de conducir a La Habana las aguas de los manantiales de Vento. Imprenta de la Viuda de D. Antonio Yenes, Madrid, 64 p.; Revista Minera, 15 (1864): 3-18, 33-45, 77-84, 107-117, 136-142, 170-178.

<sup>3</sup>Salterain, P., 1865. Análisis de tres calizas de un potrero del Sr. D. Juan Poey al Sur de Alacranes. Diario de La Marina, La Habana, 15/04/1865.

<sup>4</sup>Salterain, P., 1869. Breve memoria sobre el ramo de minas en la isla de Cuba. La Habana, 2 de agosto de 1869. [Manuscrito, 52 p.]. En: Reorganización de la Dirección General de Minas de la isla de Cuba. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, 227, Exp. 11, n.º 30

<sup>5</sup>Salterain, P., 1873. [Informe sobre el aumento de personal facultativo]. En: Extracto del expediente general de Minas. Cuaderno segundo. [Manuscrito]. Archivo Histórico Nacional, Ultramar, 268, Exp. 6: 227-234.

<sup>6</sup>Salterain, P., 1883a. Breve reseña de la minería de la isla de Cuba. Librería e Imprenta La Publicidad, La Habana, 24 p.

<sup>7</sup>Viñes, B., Salterain, P., 1880. Excursión a Vuelta Debajo de Viñes y Salterain en ocasión de los fuertes temblores de tierra ocurridos en la noche del 22 al 23 de enero de 1880. Ediciones La Voz de Cuba, La Habana, 68 p.; Salterain, P., 1883b. Ligera reseña de los temblores de tierra ocurridos en la isla de Cuba. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 10: 371-385. [Reproducido en Anales de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana, 21(1884): 203-218].

<sup>8</sup>Salterain, P., 1880. Apuntes para una descripción físico-geológica de las jurisdicciones de La Habana y Guanabacoa (Isla de Cuba). Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 7: 161-225.

<sup>9</sup>Cortázar, D., 1880. Descripción de un nuevo equinodermo de la Isla de Cuba, Encope Cia n. sp. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 7: 227-232.

<sup>10</sup>Fernández de Castro, M y Salterain Pedro. 1883. Mapa geológico de la isla de Cuba, trazado sobre la gran Carta geográfica enciclopédica de la misma, publicada en 1881 con arreglo al croquis geológico que para el Congreso Internacional de Americanistas dieron los ingenieros de minas D. Manuel Fernández de Castro y D. Pedro Salterain en 1881.

<sup>11</sup>Salterain, P. Estudio de la Cueva del Purial.; Montané Dardé, L. 1910 “El hombre fósil en Cuba”. Congreso Científico Internacional de Buenos Aires.; Montané Dardé, L. 1916. “El hombre fósil cubano”. Segundo Congreso Científico Panamericano, Washington, E.U. de América, diciembre 27, 1915 - enero 8, 1916



**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 en eventos, conferencias, mapas, monografías y libros de texto. Premio de Geología Antonio Calvache Dorado de la Sociedad Cubana de Geología en 1992. En estos momentos trabaja en la empresa australiana Melbana Energy Limited.

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

## Frances Charlton: 1905 - 1976

### Pionera de las geociencias en Venezuela

**Frances Charlton**, de origen americano, nace en Nueva York el 25 de mayo de 1905, obteniendo la nacionalidad venezolana 31 años después al contraer nupcias con un conacional el 15 de julio de 1935. Será la primera mujer en Venezuela en dictar clases de Estratigrafía y Paleontología en el antiguo *Instituto de Geología* ubicado en la avenida San Martín, en Caracas, Venezuela.

#### Su formación académica

La carrera universitaria de Frances la inicia en Nueva York, en el *"Vassar College"*, Nueva York institución de la que egresaría en 1924, con el título de *Bachelor of Arts* y mención *Summa Cum Laude*. En tal sentido egresaría con doble especialización: latín y geología-geografía.

Realizaría dos postgrados previos a su ejercicio profesional. El primero en 1925, en las instalaciones de la Universidad de Columbia desarrollando una tesis sobre *"Las especies del género de Amphistegina"* y desempeñándose por dos años más, 1926-27, como ayudante de geología y colaborando en las prácticas de micropaleontología que allí se dictaban. Entre 1931 a 1935 nuevamente volverá a realizar estudios de postgrado pero esta vez en la Universidad de California, aprobando el programa doctoral en paleontología. Su trabajo de grado lo dirigiría al tratamiento detallado del Mioceno de Jamaica, pero por razones económicas, no lo culmina. En este mismo período, hará dos cursos de verano en la *Institución Oceanográfica Scripps*, establecimiento afiliado a la Universidad de California en la Jolla, California.

Entre 1933 y 1935, ocupa la jefatura del Laboratorio de Micropaleontología de la División *Gulf Coast de Pure Oil Company*, Luisiana y de 1936 a 1938, volverá nuevamente a cursar estudios de postgrado, pero en el Departamento de Castellano de la Universidad de Columbia, Nueva York. Allí aprobará los cursos de "Redacción en Castellano", "Literatura del Siglo de Oro" y "Literatura Moderna Hispanoamericana", nada más alejado de la realidad paleontológica y geológica que la seguía, mas este hecho evidencia su enorme versatilidad.

#### Entre la práctica de micropaleontología petrolera y la docencia en Venezuela

En 1927, inicia sus actividades en la empresa *Pure Oil Company*, Arkansas y es trasladada en 1929 a la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela en donde continuará con sus funciones en la *Orinoco Oil Company* subsidiaria de



la anterior. Este hecho es admitido como la razón válida de su presencia en el país.

Su traslado laboral Arkansas-Venezuela, será considerado toda una novedad pues para 1931, según una recientemente publicación, la colocan como la primera mujer no-venezolana y profesional universitaria, que trabaja en su profesión para la industria petrolera asentada en la Venezuela de los años 30's.

Era usual en ese entorno petrolero que las mujeres trabajasen para la comunidad donde residían en tareas docentes para los hijos del personal adscrito al campamento de turno, o como soporte administrativo. Tal situación iría cambiando conforme se acercaba la II Guerra Mundial, y de allí, la enorme importancia que Frances Charlton tuvo para el país y para las empresas que exploraban y explotaban el subsuelo en procura de petróleo nacional.

Este hecho acometido por Frances, la distinguirán de muchas maneras pues ocupará posiciones de vanguardia durante toda su trayectoria profesional pudiéndose calificar como una de las iniciadoras de los estudios y trabajos geocientíficos venezolanos en campos en que la presencia de la mujer no era frecuente.

No está muy claro, cuándo decide retirarse del trabajo en las empresas petroleras e inicia labores docentes, constituyendo tal situación en un hecho a determinar. Como docente, será la primera mujer que formará parte del profesorado universitario en el antiguo *"Instituto de Geología"* de la avenida San en Caracas obteniendo en 1943 un contrato a tiempo completo. En 1953, F. Charlton,

alcanzará el cargo de profesora titular, hasta 1971, fecha de su retiro de la actividad docente.

Su ascenso en el escalafón universitario continuará y durante el período 1961-1966, acepta el cargo de Jefe del Departamento de Geología, en la Escuela de Geología Minas y Metalurgia, actual Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, hecho que la convertirá en la única mujer que desempeña esta responsabilidad en toda América. Este hecho no pasaría desapercibido, y su casa de estudios, *"Vassar College"*, Nueva York de la que egresaría años antes, la distinguen como egresada ilustre obteniendo un merecido reconocimiento en el marco del *"Vassar's Women of the Century"*.

Durante su estancia en la Universidad Central de Venezuela, se desempeña tanto en labores docentes como de representación universitaria. Para pregrado, será responsable de las asignaturas: Paleontología, Geología Histórica, y Estratigrafía Regional hasta el año 1951, ello complementado con un curso de Micropaleontología. Durante el postgrado de la Escuela de Ciencias de la misma universidad y en el período académico 1954-1955 dicta: "Paleozoología", "Inglés para Geólogos", "Fisiografía para Agrimensores" y "Paleontología para Biólogos".

Un total de nueve actividades no-docentes la movilizarían por el claustro universitario, desde 1947 fecha en la que actuó en calidad de miembro de la Comisión Permanente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, hasta el período 1959-1965, en la que hará de delegada suplente ante el Consejo de la Facultad de Ingeniería.

#### Otras responsabilidades universitarias

F. Charlton de Rivero representó a la Universidad Central de Venezuela en la comisión redactora del *Primer Léxico Estratigráfico de Venezuela*, publicado en 1956 y en el que su nombre figura como integrante del comité de editores, en el que estuvo presente junto a dos geólogas más. Repartidas las tareas a acometer, tuvo la responsabilidad de redactar 47 monografías que acompañan el citado texto.

Participó en la *Organización Permanente de Estratigrafía y Terminología*, desempeñando la jefatura de la subcomisión de artículos del Terciario. Fue editora de la revista *Geos*, órgano divulgativo oficial de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia, entre 1962 y 1968 y en 1965 formó parte de la delegación de la Facultad de Ingeniería en la *IV Conferencia Geológica del Caribe* celebrada en Puerto España, Trinidad.

#### Sus publicaciones

Junto al Dr. Pedro Joaquín Bermúdez profesional cubano-venezolano, micropaleontólogo y docente universitario como ella, compartiría trabajos de identificación paleontológica durante sus actividades profesionales para

el Ministerio de Minas e Hidrocarburos nacional, en 1959. Dos de sus importantes aportes a la geología nacional están vertidos en los importantes libros que escribirá en coautoría con él. Éstos han sido referentes en la micropaleontología venezolana: *"Estudio sistemático de los foraminíferos quitinosos, microgranulares y arenosos"* y *"Micropaleontología General"*, ambos títulos publicados en 1963.

#### Distinciones

Su labor docente universitaria fue ampliamente reconocida obteniendo distinciones y reconocimientos: Diploma a su meritoria labor docente, 1964; Diploma de la Asociación de antiguos alumnos de la Facultad de Ingeniería, a su labor docente, 1965 y en 1965, la Orden 27 de junio en su 2ª clase, especial condecoración otorgada en forma exclusiva a los educadores por sus méritos en la docencia. La fecha de su deceso es incierta, se ubica entre los años 1975-1976, ignorándose también la ciudad.

**Bibliografía:** Rey, Olga, *Frances Charlton de Rivero. La primera mujer en la enseñanza e investigación en Estratigrafía y Paleontología*, 2016: 130-136 pp. En: López Liliana y Ranaudo, María Antonieta (edits.), *Mujeres en Ciencia: Venezuela sus historias inspiradoras*. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas, 217 pp. <<https://obras.acfiman.org/2021/01/11/mujeres-en-ciencia-venezuela-sus-historias-inspiradoras/>> [en línea] (septiembre 8, 2021)., Capello, Maria Angela; Lorente, María Antonieta; Serrano, Isabel; Flores, Monica y Briceño, María Gabriela, *The Evolution of Women's Role in Engineering and Geosciences in the Oil Industry From the 20th to the 21st Century: A Documented Case History From Venezuela*, Society of Petroleum Engineers, paper N° SPE-201359-MS, 2020, 36 pp.; (S/A) *Personal docente de la Escuela de Geología, Minas y Metalurgia*, Boletín Geos, número 10, Escuela de Geología, Minas y Metalurgia, Universidad Central de Venezuela, Caracas, 82 pp.; Comité Venezolano de Estratigrafía y Terminología, *Stratigraphical Lexicon of Venezuela (English Edition)*, Boletín de Geología, Dirección de Geología, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Special Publication, Editorial Sucre, 1956, Caracas, 664 pp.; Rodríguez, José Antonio, *Geología de Venezuela en treinta y cuatro personajes. I parte*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias. 71 pp. (En preparación); Bermúdez, Pedro Joaquín y Charlton de Rivero, Frances, *Estudio sistemático de los foraminíferos quitinosos, microgranulares y arenosos*, *Ediciones de la Biblioteca*, Universidad Central de Venezuela, 1963, 397 pp. ; Charlton de Rivero, Frances y Bermúdez, Pedro Joaquín, *Micropaleontología General*, *Ediciones de la Biblioteca*, Universidad Central de Venezuela, 1963, 808 pp.

**José Antonio Rodríguez Arteaga**  
Colaborador de Revista Maya

## Alexander Von Humboldt: 1769 - 1859

**Alexander von Humboldt**, in full Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander, Freiherr (baron) von Humboldt, (born September 14, 1769, Berlin, Prussia [now in Germany]—died May 6, 1859, Berlin), German naturalist and explorer who was a major figure in the classical period of physical geography and biogeography—areas of science now included in the Earth sciences and ecology. With his book *Kosmos* he made a valuable contribution to the popularization of science. The Humboldt Current off the west coast of South America was named after him.

### Early life

Humboldt was the son of an officer in the army of Frederick the Great. His mother belonged to a family of Huguenots (French Protestants) who had left France after Louis XIV's revocation, in 1685, of religious liberty for Protestants. After his father's death in 1779, he and his brother Wilhelm were raised by their mother, an unemotional woman of strict Calvinist beliefs. They were privately educated; instruction in political history and economics was added to the usual courses in classics, languages, and mathematics, as their mother intended them to be qualified for high public positions. Alexander, a sickly child, at first was a poor student. He was restless, thought of joining the army, and followed his courses only under parental pressure. After futile studies in economics at the University of Frankfurt an der Oder he spent a year in Berlin, where he obtained some training in engineering and suddenly became passionately interested in botany. He began to collect plant specimens in the surroundings of Berlin and learned to classify them. But the poor flora of the province of Brandenburg did not provide much stimulus for an ardent botanist, and Humboldt soon dreamed of journeys to more exotic lands.

A year spent at the University of Göttingen, from 1789 to 1790, finally opened the world of science to him; he became particularly interested in mineralogy and geology and decided to obtain a thorough training in these subjects by joining the School of Mines in Freiberg, Saxony, the first such establishment. Although founded only in 1766, the school had already acquired an international reputation. There, buttressed by a prodigious memory and driven by



an unending thirst for knowledge, he began to develop his enormous capacity for work. After a morning spent underground in the mines, he attended classes for five or six hours in the afternoon and in the evening scoured the country for plants.

He left Freiberg in 1792 after two years of intensive study but without taking a degree. A month later he obtained an appointment in the Mining Department of the Prussian government and departed for the remote Fichtel Mountains in the Margraviate of Ansbach-Bayreuth, which had only recently come into the possession of the Prussian kings. Here Humboldt came into his own; he traveled untiringly from one mine to the next, reorganizing the partly deserted and totally neglected pits, which produced mainly gold and copper. He supervised all mining activities, invented a safety lamp, and established, with his own funds, a technical school for young miners. Yet he did not intend to make mining his career.

### Expedition to South America

The conviction had grown in Humboldt that his real aim in life was scientific exploration, and in 1797 he resigned from his post to acquire with great single-mindedness a thorough knowledge of the systems of geodetic, meteorological, and geomagnetic measurements. The

political upheavals caused by the Napoleonic Wars prevented the realization of several scientific expeditions in which Humboldt had been given an opportunity to participate. At last, dispirited by his disappointments but refusing to be deterred from his purpose, he obtained permission from the Spanish government to visit the Spanish colonies in Central and South America. These colonies were then accessible only to Spanish officials and the Roman Catholic mission. Completely shut off from the outside world, they offered enormous possibilities to a scientific explorer. Humboldt's social standing assured him of access to official circles, and in the Spanish prime minister Mariano de Urquijo he found an enlightened man who supported his application to the king for a royal permit. In the summer of 1799 he set sail from Marseille accompanied by the French botanist Aimé Bonpland, whom he had met in Paris, then the liveliest scientific centre in Europe. The estate he had inherited at the death of his mother enabled Humboldt to finance the expedition entirely out of his own pocket. Humboldt and Bonpland spent five years, from 1799 to 1804, in Central and South America, covering more than 6,000 miles (9,650 km) on foot, on horseback, and in canoes. It was a life of great physical exertion and serious deprivation.

Starting from Caracas, they traveled south through grasslands and scrublands until they reached the banks of the Apure, a tributary of the Orinoco River. They continued their journey on the river by canoe as far as the Orinoco. Following its course and that of the Casiquiare, they proved that the Casiquiare River formed a connection between the vast river systems of the Amazon and the Orinoco. For three months Humboldt and Bonpland moved through dense tropical forests, tormented by clouds of mosquitoes and stifled by the humid heat. Their provisions were soon destroyed by insects and rain; the lack of food finally drove them to subsist on ground-up wild cacao beans and river water. Yet both travelers, buoyed up by the excitement provided by the new and overwhelming impressions, remained healthy and in the best of spirits until their return to civilization, when they succumbed to a severe bout of fever.

After a short stay in Cuba, Humboldt and Bonpland returned to South America for an extensive exploration of the Andes. From Bogotá to Trujillo, Peru, they wandered over the Andean Highlands—following a route now traversed by the Pan-American Highway, in their time a series of steep, rocky, and often very narrow paths. They

climbed a number of peaks, including all the volcanoes in the surroundings of Quito, Ecuador; Humboldt's ascent of Chimborazo (20,702 feet [6,310 metres]) to a height of 19,286 feet (5,878 metres), but short of the summit, remained a world mountain-climbing record for nearly 30 years. All these achievements were carried out without the help of modern mountaineering equipment, without ropes, crampons, or oxygen supplies; hence, Humboldt and Bonpland suffered badly from mountain sickness. But Humboldt turned his discomfort to advantage: he became the first person to ascribe mountain sickness to lack of oxygen in the rarefied air of great heights. He also studied the oceanic current off the west coast of South America that was originally named after him but is now known as the Peru Current. When the pair arrived, worn and footsore, in Quito, Humboldt, the experienced mountaineer and indefatigable collector of scientific data, had no difficulty in assuming the role of courtier and man of the world when he was received by the viceroy and the leaders of Spanish society.

In the spring of 1803, the two travelers sailed from Guayaquil to Acapulco, Mexico, where they spent the last year of their expedition in a close study of this most developed and highly civilized part of the Spanish colonies. After a short stay in the United States, where Humboldt was received by U.S. Pres. Thomas Jefferson, they sailed for France.

Humboldt and Bonpland returned with an immense amount of information. In addition to a vast collection of new plants, there were determinations of longitudes and latitudes, measurements of the components of Earth's geomagnetic field, and daily observations of temperatures and barometric pressure, as well as statistical data on the social and economic conditions of Mexico. Whenever Humboldt had found himself in a centre of commerce in America, he had sent off reports and duplicates of his collections to his brother, Wilhelm, who had become a noted philologist, and to French scientists; unfortunately, the continental blockade then enforced by British ships prevented the greater part of his mail from reaching its destination.

### Professional life in Paris of Alexander von Humboldt

The years from 1804 to 1827 Humboldt devoted to publication of the data accumulated on the South American expedition. With the exception of brief visits to Berlin, he lived in Paris during this important period of his

life. There he found not only collaborators among the French scientists—the greatest of his time—but engravers for his maps and illustrations and publishers for printing the 30 volumes into which the scientific results of the expedition were distilled. Of great importance were the meteorological data, with an emphasis on mean daily and nightly temperatures, and Humboldt's representation on weather maps of isotherms (lines connecting points with the same mean temperature) and isobars (lines connecting points with the same barometric pressure for a given time or period)—all of which helped lay the foundation for the science of comparative climatology. Even more important were his pioneering studies on the relationship between a region's geography and its flora and fauna, and, above all, the conclusions he drew from his study of the Andean volcanoes concerning the role played by eruptive forces and metamorphosis in the history and ongoing development of Earth's crust. These conclusions disproved once and for all the hypothesis of the so-called Neptunists, who held that the surface of Earth had been totally formed by sedimentation from a liquid state. Lastly, his Political Essay on the Kingdom of New Spain contained a wealth of material on the geography and geology of Mexico, including descriptions of its political, social, and economic conditions, and also extensive population statistics. Humboldt's impassioned outcry in this work against the inhumanities of slavery remained unheard, but his descriptions of the Mexican silver mines led to widespread investment of English capital and mining expertise in the mines.

In the spring of 1803, the two travelers sailed from Guayaquil to Acapulco, Mexico, where they spent the last year of their expedition in a close study of this most developed and highly civilized part of the Spanish colonies. After a short stay in the United States, where Humboldt was received by U.S. Pres. Thomas Jefferson, they sailed for France.

In 1829 Humboldt was given the opportunity to visit Russia and Siberia. On the initiative of the Russian minister of finance, Count Yegor Kankrin, he was invited to visit the gold and platinum mines in the Urals, as an adviser to the government on the techniques and organization of mining. But Humboldt had to pledge himself to refrain from commenting on the political situation of the country whose despotism he abhorred. This expedition, lasting only one summer, was very different from the South American journey; the members, Humboldt and two

young scientists, were accompanied throughout by an official guard, since they were guests of the tsar. Humboldt and his companions had to endure tiresome receptions at the imperial court and in the homes of provincial governors. They traveled in carriages as far as the Altai Mountains and the Chinese frontier. The resulting geographical, geological, and meteorological observations, especially those regarding the Central Asian regions, were of great importance to the Western world, for Central Asia was then to a large degree unknown territory.

Humboldt passed the last 30 years of his life in Berlin. Once a year he traveled to Paris, where he renewed his contacts with the French scientists, enjoyed daily discussions with his friend Arago, and breathed the cosmopolitan air he so sadly missed in Berlin.

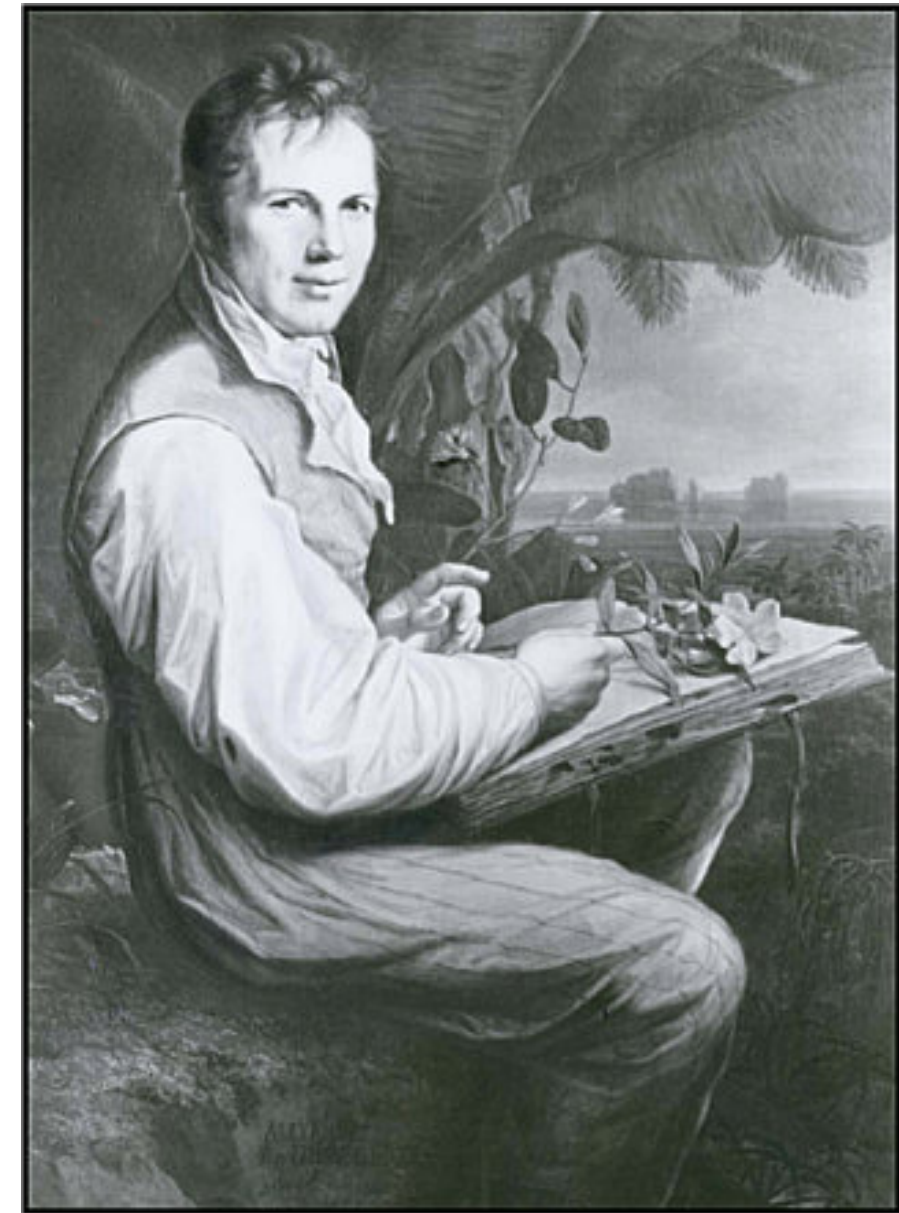
Even before his visit to Russia, he had returned to an investigation of a phenomenon that had aroused his interest in South America: the sudden fluctuations of Earth's geomagnetic field—the so-called magnetic storms. With the help of assistants, he carried out observations of the movement of a magnetometer in a quiet garden pavilion in Berlin; but it had been clear to him for a number of years that, to discover whether these magnetic storms were of terrestrial or extraterrestrial origin, it would be necessary to set up a worldwide net of magnetic observatories. The German mathematician Carl Friedrich Gauss had already begun to organize simultaneous measurements of the magnetic field by several observatories in Germany, England, and Sweden. In 1836 Humboldt, still interested in the problem, approached the Royal Society in London with the request that it establish an additional series of stations in the British possessions overseas. As a result, the British government provided the means for permanent observatories in Canada, South Africa, Australia, and New Zealand and equipped an Antarctic expedition. With the help of the mass of data produced by this international scientific collaboration, one of the first of its kind, the English geophysicist Sir Edward Sabine later succeeded in correlating the appearance of magnetic storms in Earth's atmosphere with the periodically changing activity of sunspots, thus proving the extraterrestrial origin of the storms.

During the last 25 years of his life, Humboldt was chiefly occupied with writing *Kosmos*, one of the most ambitious scientific works ever published. Four volumes appeared during his lifetime. Written in a pleasant, literary style, *Kosmos* gives a generally comprehensible account of the

structure of the universe as then known, at the same time communicating the scientist's excitement and aesthetic enjoyment at his discoveries. Humboldt had taken immense pains to discipline his inclination to discursiveness, which often gave his writing a certain lack of logical coherence. He was rewarded for his effort by the

success of his book, which, within a few years, had been translated into nearly all European languages. While still working on the fifth volume of *Kosmos* with hardly diminished vitality and enthusiasm and with an unimpaired memory, Humboldt died in his 90th year.

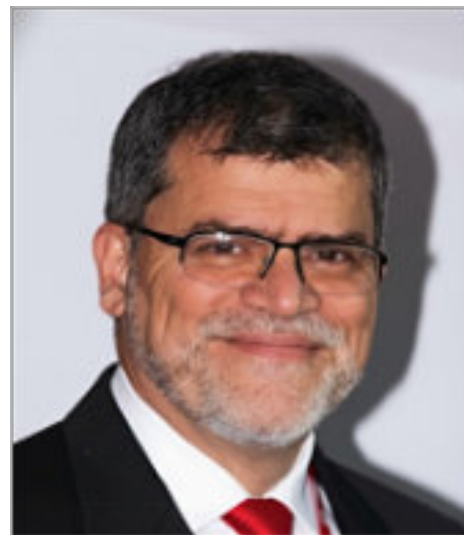
**Source:** Britannica.com: Charlotte L. Kellner



## APROXIMACIÓN GEOMINERA DE NOEL S. MARIÑO

José Antonio Rodríguez A.<sup>1</sup>[rodriguez.arteaga@gmail.com](mailto:rodriguez.arteaga@gmail.com)

Colaborador de la revista



pasado en donde adquirió la respetable suma de 42 años de experiencia en un grupo importante de empresas en las que ejerció diferentes cargos, numerados a título de cargos ejercidos:

(1) CVG BAUXIVEN/CVG BAUXILUM (desde 1986 a 2011), estado Bolívar en la que ejerció desde 1986 hasta su pase a retiro en 2011; (2) Director Suplente de la empresa estatal INGEOMIN (Instituto Geológico Minero); (3) Maquindus, Inc. como asesor minero y de ventas durante seis años (2013-2019) además de (4) Metso Transportation, equipos y servicios para Guayana; (5) Inversiones Tecnológicas Miningtech, C.A. y Logicmining, C.A., entre 2019 a 12/2021; (6) Asesor a partir del 20 de julio 2020 y responsable del área geológica en campañas de exploración cuyo norte fue siempre el "hacer" bajo un enfoque ambientalista y ético, y (6) Geomatik Consultores, C.A., prestando su experiencia como asesor senior en geología desde 2023 a 2025, corriendo el desafío en trabajar minería con "altas y bajas", respuesta común para todo aquel que intenta laborar en ella en épocas de incertidumbre económica y alto riesgo, lo cual ha contribuido a minimizar el impacto de lo ilegal, o como suele decir, de las malas prácticas mineras, cuando nos hemos dado a la tarea de revisar una que otra conferencia suya; así ha sido siempre.

**Sociedades científicas y profesionales**

(1) Colegio de Ingenieros de Venezuela (C.I.V.) N°. 38.235; (2) Sociedad Venezolana de Geólogos (SVG) N°. 270; (3) World Mining-Tech Society (Universidad de Luleå, Suecia) N°. 350; (4) Council member (ad honorem y por designación) of ICSOBA (International Committee for Study of Bauxite, Alumina & Aluminium) by Venezuela, 2009; (5) Miembro activo desde 2017 del Observatorio Guayana Sustentable y (6) Actual presidente de la Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias (2024-2026).

**RESUMEN**

Hacer una cronología convincente de un colega y amigo no es elaborar una lista de hechos y fechas sino enlazarlas en la medida de lo posible con los cambios y tendencias que por más de 40 años de relación activa y efectiva, lo han convertido al día de hoy en un *freelancer de la geominería* ocupando en cerca de 25 años en ser actor y darle a su tiempo en: prospección y operación de bauxita, sumado a la casiterita, el coltán, las tierras raras, el oro en menos cuantía, experiencias en rocas ornamentales e incluso en minerales no metálicos. Todo ello al pasar sus primeros años como geólogo *novato* en estudios e investigaciones de petróleo nativo.

Ciertamente, como balance, he de manifestar que la tarea autoimpuesta no ha sido fácil hasta que convencido, ha aceptado que esboce sus actividades con muy buena y merecidas ganas.

**CRÓNICAS DE UN GEOMINERO ACTUAL**

Nace Noel en Caracas el 25 de mayo de 1955 plantando su residencia actual en la ciudad de Puerto Ordaz, Ciudad Guayana, estado Bolívar; casado, tiene tres hijos y un nieto futbolista profesional en ciernes.

Además, suma a su *handicap* una actividad de voluntariado, escasamente conocida. Ha sido dirigente scout, con insignia de madera en la rama "tropa", por 20 años consecutivos (entre 1970 a 1990) y esa sensibilidad llevada cual un Robert Baden-Powell (1857-1941), criollo la ha llevado siempre en la sangre. Eso, "a ojos de buen cubano" le ha insertado responsabilidades adicionales: encargarse de la formación de otros chicos, aparte de los propios, y un obligatorio "don de mando" para con personal profesional sobre bajo su responsabilidad contando además con sindicatos técnicos.

**Educación y primeros contactos**

Sus inicios lo llevaron a llevar estudios en el Colegio La Salle de la Colina, en Caracas egresando de allí como bachiller en Ciencias para detenerse luego en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela de la que egresó como ingeniero geólogo en 1983, para luego ingresar por escasos años al Instituto de Tecnología Venezolana del Petróleo (INTEVEP), filial de Petróleos de Venezuela (PDVSA) y luego cambiar de "casaca" para trabajar en tierras que Miguel Emilio Palacio (1849-1931) habitó (Mariño y Urbani: 2022), y en "Pijiguaos, tierra de encuentros" de aquella Guayana del

**Condecoraciones, reconocimientos y su historia**

Como integrante de un grupo de pioneros que fueron a hacer minería de bauxita en Los Pijiguaos luego de los *iniciales buscadores* de prospectos económicamente viables como Armando Schwarck Anglade (1917-1978) y José Luis Candiales Guerra (1920-1992) (véase a Rodríguez, 2022:64 pp.) entre otros y a principio de los 70's, Noel contó con un duro quinquenio de trabajo y la ayuda del Ejército y la Guardia Nacional que los acompañaron en tan especial "aventura" como era y es la exploración y explotación de minerales, en particular bauxita.

Fue sin duda alguna una actividad de *ganar-ganar* por ambos lados, pues la colaboración mutua contó con la ayuda de personal militar y la complacencia del personal gerencial de Bauxilum, C. A., en esta su primera actividad en regiones "donde el viento se devuelve". Ello le valió obtener en diferentes Clases y por diferentes acciones, *Botones de Reconocimiento* desde 1997 hasta por lo menos 2005.

Eran otros tiempos y otras las circunstancias que vivía el país.

En lo profesional contemos hasta 34 distinciones que van desde conferencias en sismología el 28 de octubre de 2025 en la seccional Guayana del Colegio de Ingenieros de Venezuela, pasando por programas de conservación de la especie *Podocnemis expansa*, en el refugio de fauna silvestre de la tortuga Arrau, en 2001, estado Apure, hasta su papel fundamental en el Equipo de Calidad de Bauxilum C.A. y su contribución en la obtención de Certificación de calidad ISO 9001:2000, en 2005. Hemos de agregar un significativo curso: *Advanced International Training Programme (ITP) in Mining Technology*, bajo la coordinación de Centek, Universidad Tecnológica de Luleå, Suecia obtenido en 1994. Hemos de agregar una fase importante que a Mariño le fue reconocida durante su etapa en BAUXILUM: (1) Reconocimiento por años de servicio en CVG Bauxilum, clase botones por 25 años de servicio, año 2011, 2009, 2001, 1996 y en CVG Bauxiven por 5 años de servicio en 1991, respectivamente; (2) Reconocimiento Nacional y diploma por la campaña "100 Gerentes más exitosos", en el área de la manufactura por la implantación de la denominada "filosofía de las 5S" en CVG Bauxilum Los Pijiguaos, como plataforma de productividad utilizada por empresas de clase mundial (Mariño, 2014). Fuera de ello y siendo desde muy joven, el "scoutismo" a lo venezolano, ha obtenido todo tipo de placas y diplomas que han adornado las estancias en que le ha tocado trabajar entre 1971 a 2024; cuidado y hasta habitar.

Menciones fotográficas ha tenido 4, una muy singular por su particular *slogan* "La Venezuela que debemos conservar" en 1986, de absoluta realidad en estos tiempos

hasta la publicación en el *Calendario Geológico 2024* de una de sus imágenes en el *I Concurso Fotográfico de la Sociedad Venezolana de Geólogos 2023*, actividad realizada al conmemorarse el 1<sup>er</sup> aniversario del "Día del Geólogo Venezolano" el 29 de septiembre del 2023 y del cual fue su ideólogo.

**Artículos científico-técnicos**

Encarar la reproducción de un listado que sobrepase el centenar de trabajos en Geociencias (Rodríguez A., 2025) es sin duda una tarea que requiere un concentrado esfuerzo más allá del ensayo que mostramos a la consideración del lector interesado. Es por ello que nos hemos impuesto limitaciones, pues nuestra visión y revisión no debe mostrar de un solo golpe una exhaustividad "per se", que no existe en nuestra opinión, y menos elaborar un *corpus* científico del escritor científico al que hemos dedicado estas notas.

Solamente expondremos el tema estudiado en por ejemplo, cada trienio o aspectos similares, con algunos ejemplos escogidos y aglutinantes de su situación actual, en el entendido que no pretendemos mostrar "el estado del arte" de los estudios hechos por él o elaborar un "volumen de referencias", más típico en tesis doctorales o revisiones sistemático-geocientíficas, donde el proceso de indagación es largo e incluso, aburrido en su práctica.

Así expondremos algunas de sus publicaciones y trabajos ya como autor o coautor (para una revisión de sus actividades recomendamos extractos de su CV en Mariño, 1994, o progresivas actualizaciones que vaya logrando).

**REFERENCIAS**

GRANDE, S., YÁNEZ, C. y MARIÑO, 2024. *Estudio petrográfico de muestras y núcleos de rocas de la Provincia Geológica de Cuchivero, NW de Bolívar, Venezuela*, Jornada Geológica de Minería, de la Sociedad Venezolana de Geólogos, noviembre 2024, (arbitrado).

MARIÑO, N. 2023 Cárcavas en Ciudad Guayana, estado Bolívar, Venezuela: causas antropogénicas, distribución y riesgos asociados, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, (ANIH), 85):215-222. XI Simposio Socio Ambiental de Ciudad Guayana, 06 junio 2023. <https://www.researchgate.net/publication/371855743>

MARIÑO, N. 2023 *Cerro Impacto: Una riqueza mineral inaccesible en el Escudo de Guayana, municipio Cedeño, estado Bolívar, Venezuela: Síntesis de su descubrimiento*, 2023, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, (ANIH) Boletín (62): 395-399. <https://www.researchgate.net/publication/380359298>

MARIÑO, N. 2023 *Juan Bautista Dalla Costa Soublette (1823-1894), empresario minero y nueva perspectiva sobre el primer código de minas de 1854*, II Congreso Venezolano de Geociencias en Venezuela (140):51-52,

(arbitrado), Boletín de Historia de las Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias, (141):332-353.

**MARIÑO, N. 2023** *Mitos y realidades del depósito de bauxita de El Palmar, municipio Padre Chien, estado Bolívar*, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, (ANIH) (arbitrado) (62):400-405. <https://www.researchgate.net/publication/380316914> En: III Congreso de Ciencias Básicas y Aplicadas UNELLEZ, San Carlos.

**MARIÑO, N. 2024** *Limitados depósitos de bauxita al norte de Upata, estado Bolívar: actualización, extracción del pasado, remanentes y bohemia presente*, Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH), (62):391-394. (arbitrado).

**MARIÑO, N. 2024.** *Depósitos de bauxita en el Escudo de Guayana venezolano: actualización de los recursos inferidos y otras consideraciones geomineras*. Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela (144):10-18.

**MARIÑO, N. 2025.** *Antecedentes históricos y geológicos de los depósitos ferríferos de la Formación Cinaruco, estado Bolívar, Venezuela*, Revista Mundo Ferrosiderúrgico de CVG Ferrominera Orinoco C.A. 55, (trabajo arbitrado y a la espera de publicación).

**MARIÑO, N. 2025.** *El Vademécum de José Nancy Perfetti: Guía del minero explorador en la Guayana venezolana*, XII Jornadas Venezolanas de Historia de las Geociencias, Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela No. 146, Jornadas de Minería 2025, Departamento de Minas (UCV).



**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

#### A TÍTULO DE CONCLUSIÓN

La naturaleza del ingeniero Noel Santiago Mariño es definitivamente un ejemplo de resiliencia, referido como su capacidad de adaptación frente a cualquier estado o situación adversa y fundamentalmente el compromiso ético que siempre mantiene dentro de la volatilidad de la actual industria minera venezolana. Nuestros parabienes, tanto a su familia como a su persona.

#### BIBLIOGRAFÍA EMPLEADA

**RODRÍGUEZ A, JOSÉ A.** 2022. *Geología de Venezuela en treinta y cuatro personajes*. Geopetroeum, <https://petroleumag.com/wp-content/uploads/2022/09/Geologi%CC%81a-de-Venezuela-en-34-Geo%CC%81logos.pdf> [Documentación en línea], (noviembre 10, 2025).

**MARIÑO, N, y URBANI, F.** 2022. *Miguel Emilio Palacio Viso (1849 – 1931), un ícono en la minería del siglo XIX en el Yuruari, Guayana Venezolana*, [https://www.researchgate.net/publication/371853483\\_MIGUEL\\_EMILIO\\_PALACIO\\_VISO\\_1849\\_-1931\\_FUNDADOR\\_DE\\_LA\\_PRIMERA\\_ESCUELA\\_DE\\_MINAS\\_EN\\_GUAYANA\\_EN\\_1893](https://www.researchgate.net/publication/371853483_MIGUEL_EMILIO_PALACIO_VISO_1849_-1931_FUNDADOR_DE_LA_PRIMERA_ESCUELA_DE_MINAS_EN_GUAYANA_EN_1893). Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. (57):1.18 Y ANEXOS. [Documentación en línea], (noviembre 10, 2025).

**MARIÑO PARDO, N. S.** 1994. *Noel Santiago Marino P. Curriculum Vitae (ACADING)* <https://acading.org/wp-content/uploads/2023/03/Resumen.CV.NOEL.MARINO.pdf>

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

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

# OBITUARIOS

## Jay Quade: 1955 - 2025



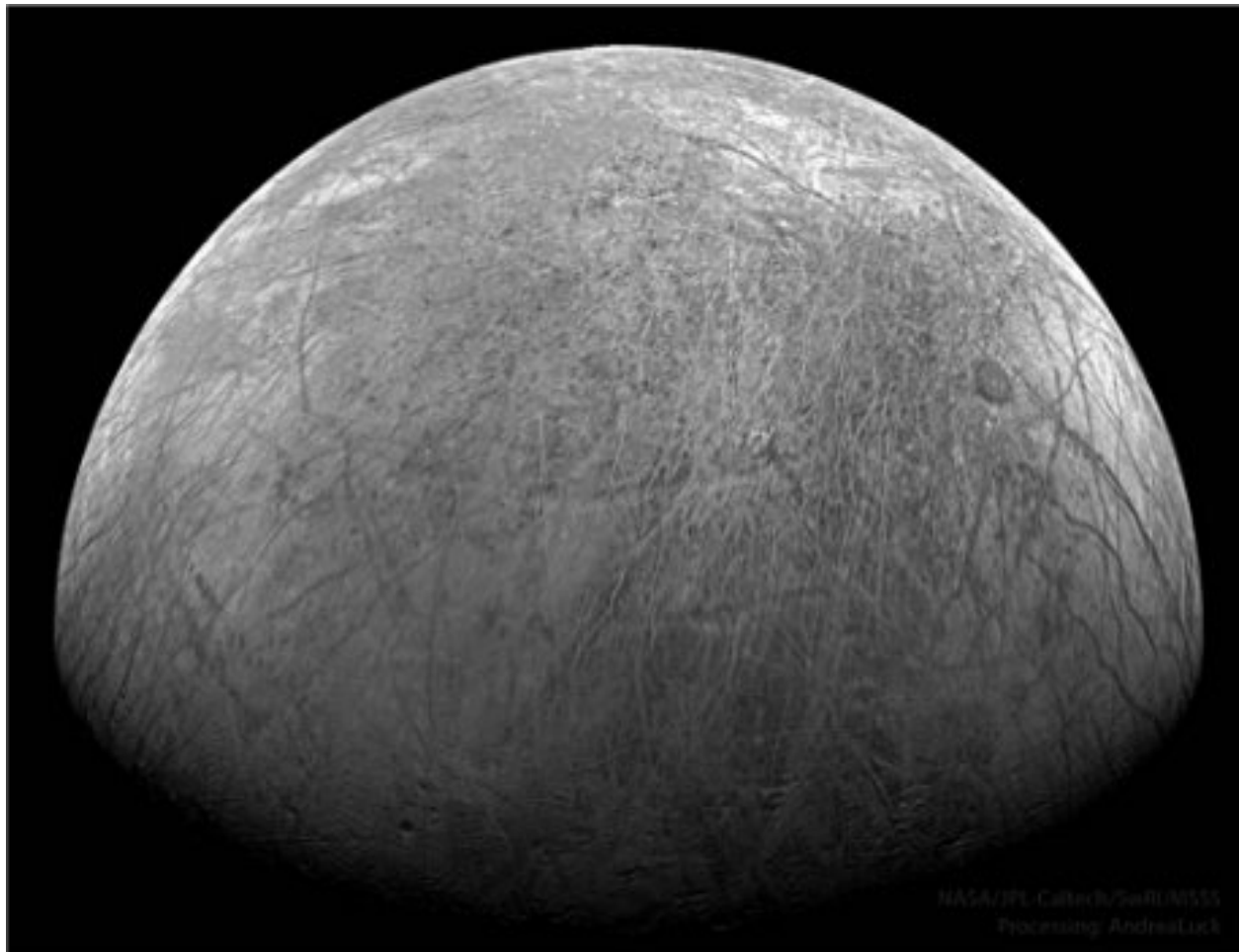
**Jay Quade** was born and grew up in Nevada. As a teenager, he set two all-time Nevada State high school track and field records. At the University of New Mexico, he had a track scholarship, for four years. He was twice an NCAA All-American in track and once an NCAA champion in track (relay race). In 1977 he became a geologist employed by the Mineral Exploration Division of Utah International, Inc. In 1978 he graduated with B.S. in geology from the University of New Mexico. In 1982 he graduated with an M.S. in geology from the University of Arizona. From 1982 to 1989 he worked as a geologist in Nevada — from 1982 to 1984 for Noranda Exploration, Inc., from 1984 to 1986 for the Desert Research Institute, and from 1986 to 1989 for Mifflin & Associates (a mining consulting firm founded in 1986 by the geologist Martin David Mifflin). From 1989 to 1990 Quade was a graduate student at the University of Utah, where he received his Ph.D. in 1990. In 1991 he was a postdoc at the Australian National University. At the University of Arizona, he was appointed to an assistant professorship in 1992, an associate professorship in 1998, and a full professorship in 2003.

Quade's research is remarkably varied, including low-temperature geochemistry, radiometric dating using a variety of isotopes, and theoretical reconstructions of paleoenvironments, mostly from the Cenozoic. Some of his projects have involved archaeologists and anthropologists. Quade with Thure E. Cerling and other colleagues did important research on stable isotope composition of soil carbonate in the Great Basin. In 2001, Quade with Nathan B. English, Julio L. Betancourt, and Jeffrey S. Dean published an important paper on the deforestation of Chaco Canyon. As a geological team member, Quade has done fieldwork on stratigraphy and paleohydrologic reconstruction in the western USA, gold deposits in Oregon, Alaska, and Nevada, and paleo-lake hydrology in Mongolia, Tibet, Chile, Argentina, and the western USA. From 1985 to 2015 his fieldwork on low temperature geochemistry has been done all over the world: parts of the US, Asia, Australia, and South America, as well as Greece and Ethiopia.

In 2001 Quade won the Farouk El-Baz Award of the Geological Society of America (GSA). In 2015 he was elected a Fellow of the Geological Society of American and also a Fellow of the American Geophysical Union (AGU). In 2017 he was elected a Fellow of the Geochemical Society. He received in 2016 a Lady Davis Fellowship from the Hebrew University and in 2017 a Japan Society for the Promotion of Science Fellowship from the University of Tokyo. In 2018 he was awarded the Arthur L. Day Medal. In 2024 he was elected as a member of the National Academy of Sciences, a nonprofit society of distinguished scholars. He was recognized for his critical contributions to the geosciences field, which provide a deeper understanding of Earth's past environments.

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

<https://www.researchgate.net/profile/Jay-Quade>

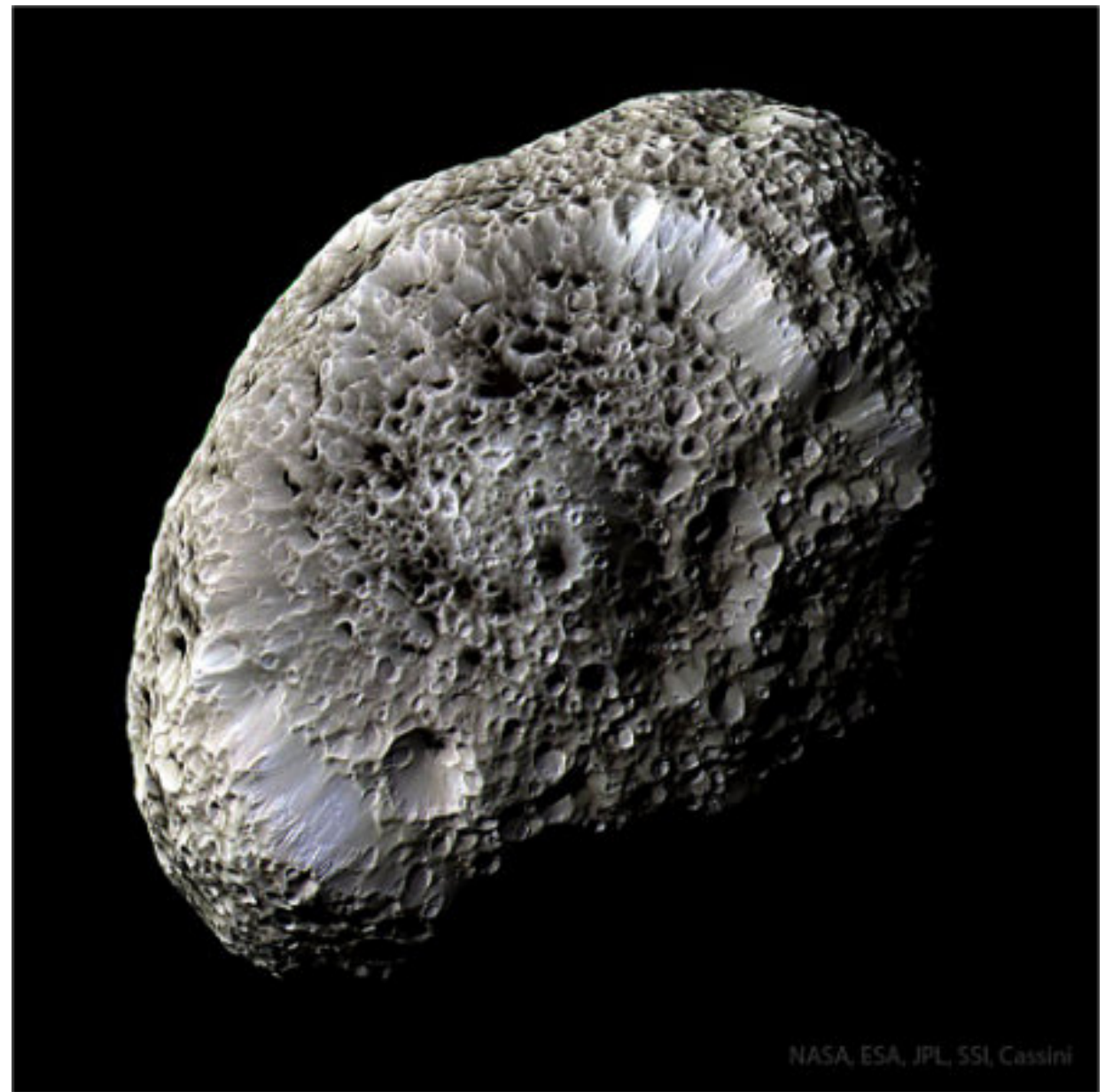


## Jupiter's Europa from Spacecraft Juno

Image Credit & License: NASA, JPL-Caltech, SwRI, MSSS; Processing: Andrea Luck

October 3, 2022.

**Explanation:** What mysteries might be solved by peering into this crystal ball? In this case, the ball is actually a moon of Jupiter, the crystals are ice, and the moon is not only dirty but cracked beyond repair. Nevertheless, speculation is rampant that oceans exist under Europa's fractured ice-plains that could support life. Europa, roughly the size of Earth's Moon, is pictured here in an image taken a few days ago when the Jupiter-orbiting robotic spacecraft Juno passed within 325 kilometers of its streaked and shifting surface. Underground oceans are thought likely because Europa undergoes global flexing due to its changing gravitational attraction with Jupiter during its slightly elliptical orbit, and this flexing heats the interior. Studying Juno's close-up images may further humanity's understanding not only of Europa and the early Solar System but also of the possibility that life exists elsewhere in the universe.

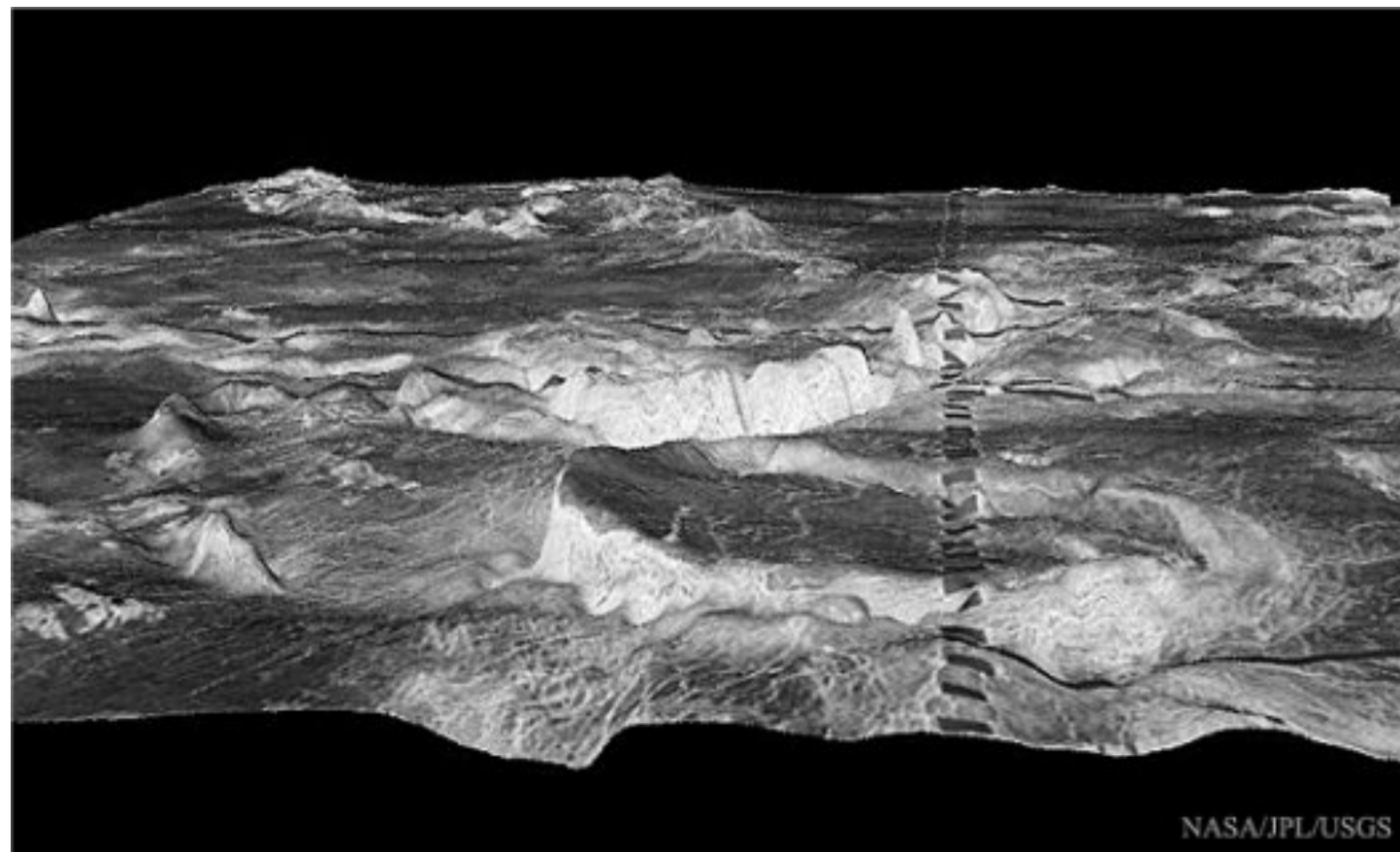


## Saturn's Hyperion: A Moon with Odd Craters

Image Credit: NASA, ESA, JPL, SSI, Cassini Imaging Team

March 12, 2023.

**Explanation:** What lies at the bottom of Hyperion's strange craters? To help find out, the robot Cassini spacecraft that once orbited Saturn swooped past the sponge-textured moon and took images of unprecedented detail. A six-image mosaic from the 2005 pass, featured here in scientifically assigned colors, shows a remarkable world strewn with strange craters and an odd, sponge-like surface. At the bottom of most craters lies some type of unknown dark reddish material. This material appears similar to that covering part of another of Saturn's moons, Iapetus, and might sink into the ice moon as it better absorbs warming sunlight. Hyperion is about 250 kilometers across, rotates chaotically, and has a density so low that it likely houses a vast system of caverns inside.

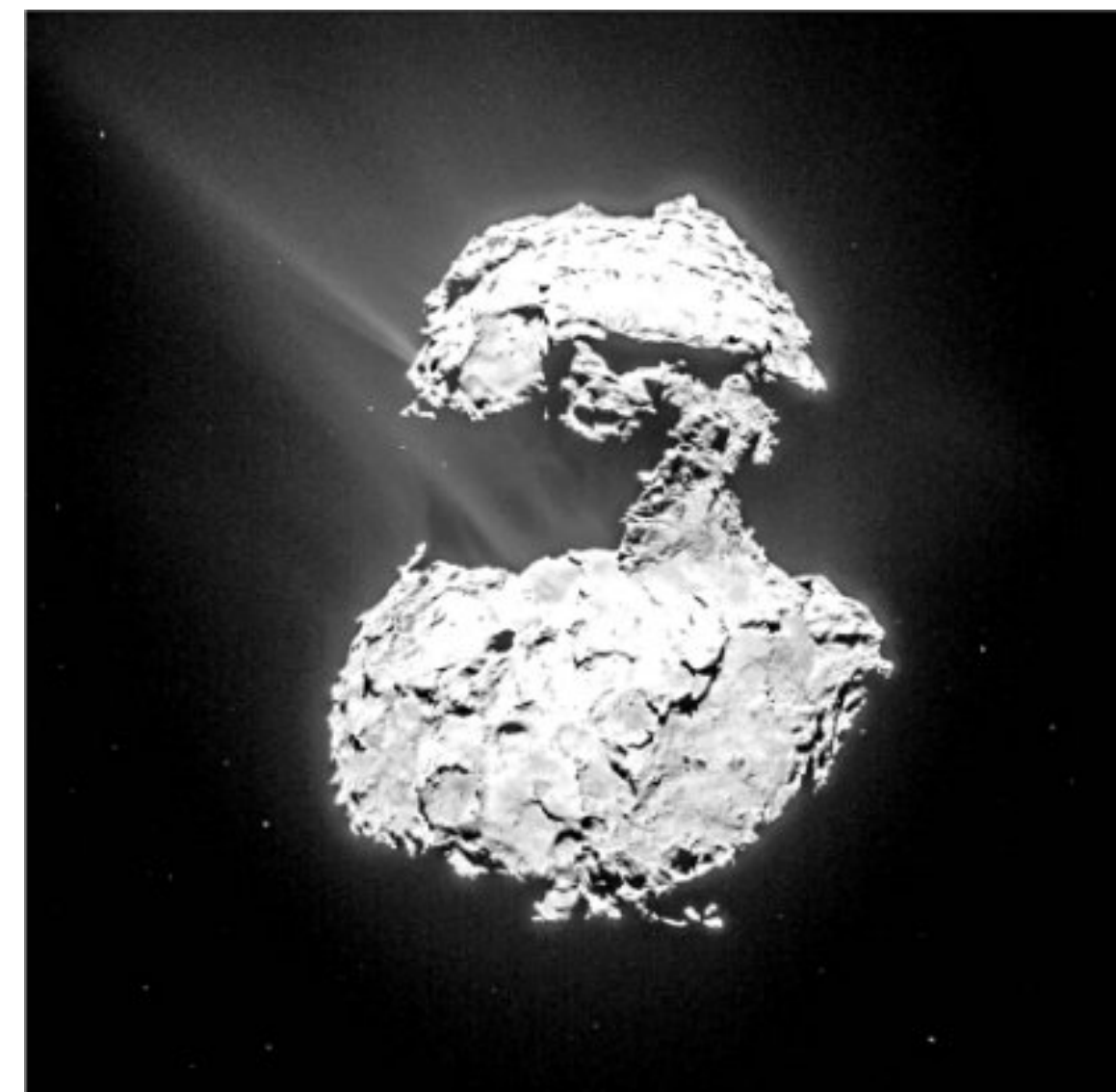


## Cylindrical Mountains on Venus

Image Credit: Magellan Spacecraft Team, USGS, NASA

October 16, 2016.

**Explanation:** What could cause a huge cylindrical mountain to rise from the surface of Venus? Such features that occur on Venus are known as coronas. Pictured here in the foreground is 500-kilometer wide Atete Corona found in a region of Venus known as the Galindo. The featured image was created by combining multiple radar maps of the region to form a computer-generated three-dimensional perspective. The series of dark rectangles that cross the image from top to bottom were created by the imaging procedure and are not real. The origin of massive coronas remains a topic of research although speculation holds they result from volcanism. Studying Venusian coronas help scientists better understand the inner structure of both Venus and Earth.

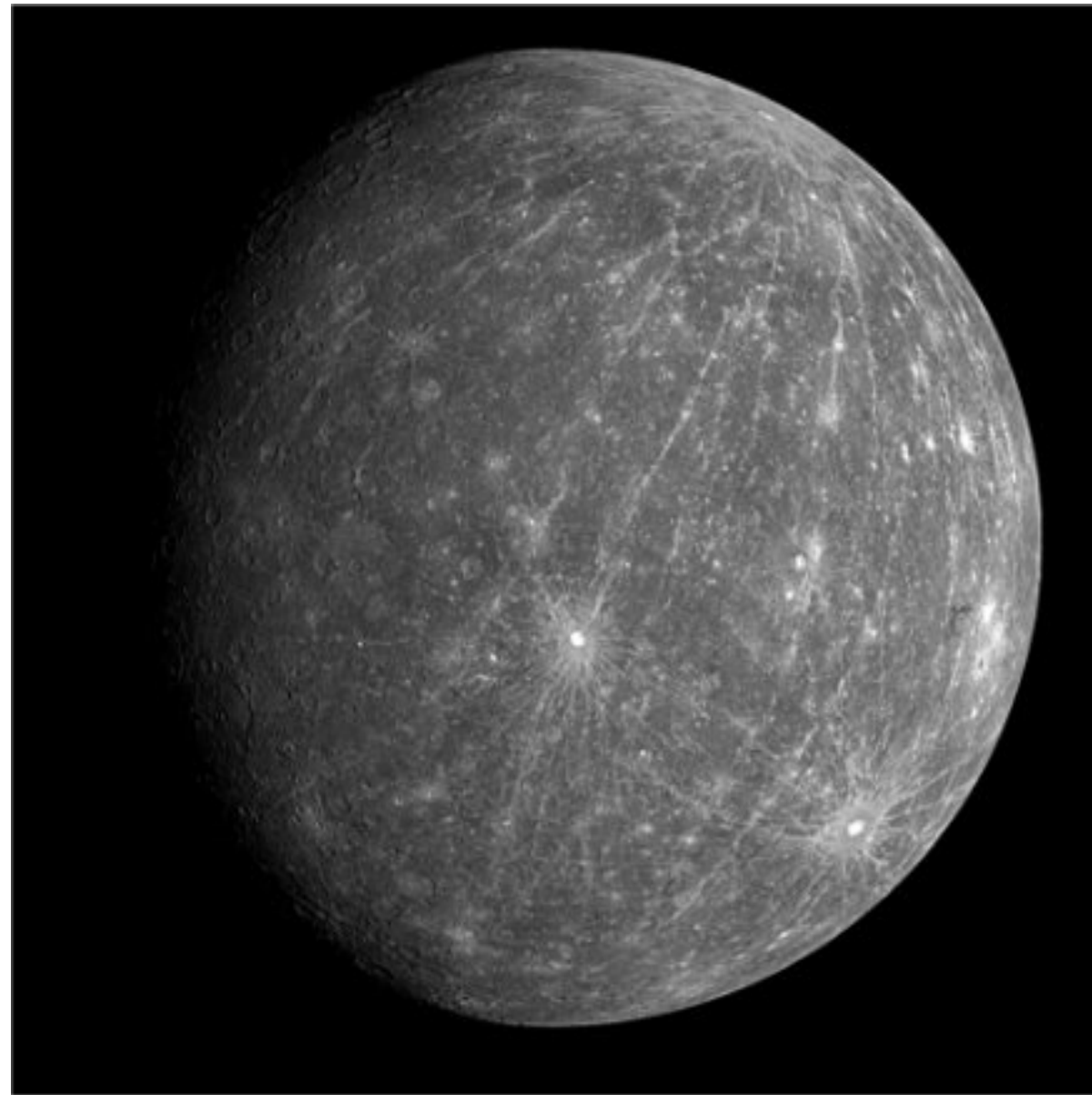


## Comet Churyumov-Gerasimenko Creates Its Tails

Image Credit & License: ESA, Rosetta, NAVCAM

October 19, 2025.

**Explanation:** Where do comet tails come from? There are usually no obvious places on the nuclei of comets from which the jets that create comet tails emanate. One of the best images of emerging jets is shown in the featured picture, taken in 2015 by ESA's robotic Rosetta spacecraft that orbited Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko (Comet CG) from 2014 to 2016. The picture shows plumes of gas and dust escaping numerous places from Comet CG's nucleus as it neared the Sun and heated up. The comet has two prominent lobes, the larger one spanning about 4 kilometers, and a smaller 2.5-kilometer lobe connected by a narrow neck. Analyses indicate that evaporation must be taking place well inside the comet's surface to create the jets of gas, dust, and ice that we see emitted through the surface. Comet CG (also known as Comet 67P) loses in jets about a meter of surface depth during each of its 6.44-year orbits around the Sun, a rate at which will completely destroy the comet in only thousands of years. In 2016, Rosetta's mission ended with a controlled impact onto Comet CG's surface.



### Mercury as Revealed by MESSENGER

Image Credit: MESSENGER, NASA, JHU APL, CIW

July 23, 2017

Explanation: Mercury had never been seen like this before. In 2008, the robotic MESSENGER spacecraft buzzed past Mercury for the second time and imaged terrain mapped previously only by comparatively crude radar. The featured image was recorded as MESSENGER looked back 90 minutes after passing, from an altitude of about 27,000 kilometers. Visible in the image, among many other newly imaged features, are unusually long rays that appear to run like meridians of longitude out from a young crater near the northern limb. MESSENGER entered orbit around Mercury in 2011 and finished its primary mission in 2012, but took detailed measurements until 2015, at which time it ran out of fuel and so was instructed to impact Mercury's surface.

# PUBLICACIONES

## TESIS & RESÚMENES

**Gabriel Ricardo Gelpi**

**Análisis de los procesos de infiltración y escorrentía durante precipitaciones intensas.**

Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas.

Tesis para obtener el grado académico de Geofísico. 2015.

Sustentante: **Gabriel Ricardo Gelpi.**

Director de Tesis: *Dr. Luis Guarracino.*

### Resumen

La escorrentía superficial tiene lugar cuando es alcanzada la capacidad máxima de infiltración de agua del suelo. La mayoría de los modelos hidrogeológicos convierten el exceso de infiltración en escorrentía, la cual puede causar inundaciones con importantes pérdidas materiales y humanas. La infiltración se puede estimar a partir de relaciones empíricas o de modelos físicos, y depende de varios factores, entre ellos la conductividad hidráulica del suelo, cobertura superficial y el estado inicial de humedad del terreno. El objetivo de este trabajo de tesis es modelar la infiltración durante precipitaciones severas resolviendo la ecuación no lineal de Richards con condiciones de borde apropiadas. El modelo numérico implementado en lenguaje FORTRAN se basa en la resolución de la ecuación de Richards utilizando un método mixto de elementos finitos combinado con un método iterativo de Picard modificado para tratar los términos no lineales. Las condiciones de borde propuestas serán tipo Neumann, cuando la precipitación sea menor a la conductividad hidráulica superficial y de tipo Dirichlet cuando se produce el anegamiento superficial de agua. Dado que nos interesa la infiltración durante una precipitación en un terreno llano, la simulación se considera unidimensional y se utilizan mallas densas y regulares para poder describir el frente de saturación durante la precipitación. El contenido volumétrico de agua y la conductividad hidráulica se obtienen a partir del modelo de van Genuchten. Se analizó la infiltración en diferentes tipos de suelos clasificados según su textura y duración y cantidad de agua precipitada. Los resultados obtenidos con la simulación fueron satisfactoriamente validados con la ecuación de Philip. Finalmente se estimó la infiltración de la tormenta del 2 de abril de 2013 ocurrida en la ciudad de La Plata. En dicho evento se registraron unos 390 mm de agua en un período relativamente breve, generando una inundación sin precedentes en la ciudad con grandes pérdidas humanas y materiales. La simulación brindó una estimación del agua que pudo haber infiltrado durante el evento y qué porcentaje de agua devino en escorrentía, favoreciendo la inundación.

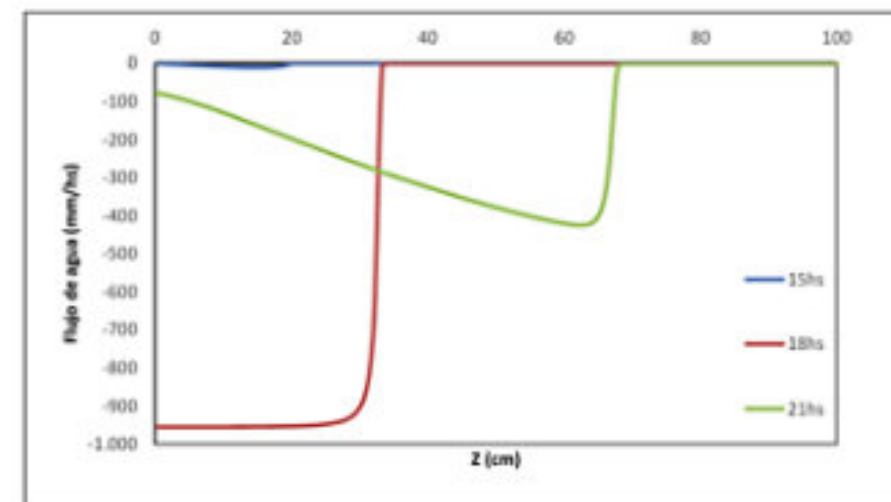


Figura 1.1. Perfiles de flujo de agua a las 15 hs, 18 hs y 21 hs.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/11/Gose-et-al.-2003.pdf>

Gose, W. A., A. Perarnau, and J. Castillo, 2003, Paleomagnetic results from the Perijá Mountains, Venezuela: An example of vertical axis rotation, 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. 969–975.

# Paleomagnetic Results from the Perijá Mountains, Venezuela: An Example of Vertical Axis Rotation

Wulf A. Gose

Department of Geological Sciences, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, U.S.A.

Adrián Perarnau<sup>1</sup>

Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

Jesús Castillo

Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela

## ABSTRACT

**P**aleomagnetic analyses of 161 samples of Jurassic through Eocene age from 11 sites in the Venezuelan foothills of the Perijá Mountains yield a pole position at 44.18 N, 6.68 E with an error of  $A_{95} = 9.68$ . These data indicate that the sampling sites underwent a  $508 \pm 128$  clockwise rotation. The rotations are interpreted to be the result of Neogene compression, which caused the rotation of fault-bounded blocks. Model calculations suggest a shortening between 8 km and 20 km across the eastern portion of the Perijá Mountains.

## INTRODUCTION

The Maracaibo Basin of Venezuela is bounded in the east by the Mérida Andes and in the west by the Santander Massif and the Perijá Mountains (Figure 1). Paleomagnetic data from Mesozoic strata from the Mérida Andes yielded a pole position that is in agreement with other poles from stable South America, which confirm the geological argument that the Mérida Andes are anchored to the Guayana Shield by the Precambrian Mérida Arch (Castillo et al., 1991; Zambrano et al., 1972). Maze (1983) and Maze and Hargraves (1984) reported paleomagnetic results from the Jurassic La Quinta Formation in the

Perijá Mountains that they interpret to indicate a 508 counterclockwise rotation of the range. However, these data are statistically not acceptable. Of the 12 sampling sites in the La Quinta Formation, only 6 have a circle of 95% confidence ( $a_{95}$ ) of less than 308, a rather generously large error limit. The mean of these sites has a declination of 3558, an inclination of 348, and  $a_{95} = 648$ . Clearly, no meaningful conclusions can be drawn from such data.

In a joint program between the University of Texas at Austin and the Universidad Simón Bolívar in Caracas we collected Mesozoic and Tertiary strata in the Perijá Mountains to complement our sampling

## Magmatismo del ensamble plutónico de San Diego Curucupatzeo, Michoacán: geología, petrología y geoquímica.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Geociencias y Planificación del Territorio. Marzo 2024.

Sustentante: **Elesbaan Resendiz Zarco**.

Director de Tesis: *Dr. Pedro Corona Chávez*.

### Resumen

Las rocas plutónicas auríferas del Jurásico Medio-Tardío como aquellas que se encuentran en las localidades de: Cuale, San Diego Curucupatzeo y Macías-Tumbiscatío constituyen uno de los principales rasgos tectónicos del suroeste de México, además de proveer información relevante para conocer la evolución del Terreno Guerrero durante el Jurásico. El objetivo de este estudio es determinar la evolución y naturaleza de emplazamiento del Ensamble Plutónico San Diego Curucupatzeo (EPSD) mediante un análisis petrológico, geoquímico y geocronológico. Esta región contiene afloramientos bien expuestos, pero han sido poco estudiados. El EPSD se extiende en un área aflorante de 63.8 km<sup>2</sup> del cual se extrajeron muestras que revelan litologías heterogéneas con variaciones de granitoide que van de granito, sienogranito-monzogranito, granodiorita y tonalita, las cuales son relativamente coetáneas con el emplazamiento de una unidad máfica de variación diorita-norita y diques dioríticos tardi-magmáticos. El EPSD alberga gran cantidad de xenolitos de rocas metamórficas del Complejo Arteaga del Triásico que están parcialmente asimilados y que corresponden a las Litarenitas de San Diego (Formación Varales) y basaltos tipo MORB correlacionables con la Formación Charapo. Sin embargo, la estructura regional y distribución del EPSD se relaciona con las estructuras y texturas de deformación asociadas con plegamiento y zonas de cizalla tipo dúplex NNE-SSW de edad laramíca. El análisis petrográfico muestra que la composición del EPSD es esencialmente plagioclasa-cuarzo-feldespato potásico-biotita ± moscovita con variaciones en sus contenidos principales de plagioclasa cálcica y feldespato asociadas a la cercanía con la unidad máfica (Plg-Cpx-Hbl), puesto que se han identificado enclaves máficos que evidencian una mezcla mecánica y química de estructuras tipo “mingling” y “mixing” que sugieren una hibridación relativa en el EPSD.

La composición geoquímica muestra firmas tipo calcalcalinas con variaciones de 60 a 70,6 wt% de SiO<sub>2</sub> y una relativa peraluminosidad con valores normativos de corindón ~2 - 4, sugiriendo que el EPSD podría clasificarse como granito de tipo S. Los elementos traza y los patrones de los elementos ligeros de tierras raras (LREE) enriquecidos y las ratios Y+Nd/Rb grafican con un sistema de tipo arco magmático, sin embargo, muestran también firmas de tipo intraplaca. Las relaciones de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr varían entre 0.7053 y 0.7065 y εNdi -3.23 a -1.79 que sugieren una fuente relacionada con el manto superior con una importante componente cortical.

En relación con las condiciones de emplazamiento, de acuerdo con la clasificación de Pupin (1980; 1988), la tipología de los circones sugiere un predominio de circones tipo G<sub>1</sub> y S<sub>5</sub> con temperaturas de cristalización entre 600 – 700 °C. Así mismo, por medio de cálculos de termometría Ti-in en circones, se obtuvieron temperaturas promedio de 773.6 °C ± 65.02. Esta temperatura parece ser consistente con las relaciones de contacto observadas en campo, así como con una aureola de contacto con una asociación de andalucita, biotita, plagioclasa y cuarzo que además indica baja presión <4 kbar y definitivamente un emplazamiento en corteza superior.

<sup>1</sup>Current affiliation: Baker Atlas, Maturín, Venezuela.

Por medio del análisis isotópico de U-Pb en circones se obtuvo una edad promedio de  $163.12 \pm 0.64$  Ma que se considera como la edad de cristalización del EPSD.

Considerando las características de un emplazamiento cortical superficial, así como las firmas geoquímicas peraluminosas y de tipo S que varía de tipo arco magmático a sin-orogénicas, el EPSD se correlaciona con otros cuerpos plutónicos jurásicos de la Cordillera del margen occidental de México: Tumbiscatío, Cuale, Sonora e Islas Marías, sugiriendo un evento de subducción rápida asociado con un proceso colisional de plegamiento dúctil-frágil y zonas de cizalla que fungen como rampas de ascenso en el momento de acreción durante el Jurásico Tardío en el Terreno Guerrero.



Figura 1.1. Mapa de la distribución de unidades físico-geográficas en la región de Michoacán y parte del Estado de México Guerrero y Jalisco (Después de Espinoza-Maya y Bollo-Manent 2017; consultar simbología). Notar el área de estudio en recuadro amarillo.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/11/Bartolini-et-al.-2003.pdf>

Bartolini, C., H. Lang, and T. Spell, 2003, Geochronology, geochemistry, and tectonic setting of the Mesozoic Nazas arc in north-central Mexico, and its continuation to northern South America, 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. 427–461.

## Geochronology, Geochemistry, and Tectonic Setting of the Mesozoic Nazas Arc in North-Central Mexico, and its Continuation to Northern South America

Claudio Bartolini

International Geological Consultant, Houston, Texas, U.S.A.

Harold Lang

Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, U.S.A.

Terry Spell

Department of Geoscience, University of Nevada at Las Vegas, Nevada, U.S.A.

### ABSTRACT

Volcanic, sedimentary, and granitic plutonic rocks that are part of the early Mesozoic Cordilleran continental magmatic arc are exposed in a belt from the southwestern United States to Guatemala. In the Mexican states of Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, and San Luis Potosí, these rocks form a discontinuous southeast-trending belt across north-central Mexico. Whole-rock geochemical analyses of volcanic and intrusive rocks in north-central Mexico indicate a calc-alkaline suite formed in this continental volcanic arc along the convergent margin of western North America. Paleomagnetism, field relations, and isotopic ages ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , K-Ar, Rb-Sr, and U-Pb) of 73 volcanic and intrusive rocks document the Late Triassic–Middle Jurassic age of the arc. In the region, isotopic ages commonly are reset, apparently because of thermotectonic events during the “Laramide” orogeny that led to the development of the Sierra Madre Oriental fold and thrust belt and to deep burial of the arc rocks. Available evidence suggests that the arc underwent two main phases of subsidence. One phase of extensional subsidence created intra-arc basins and a peak of volcanism throughout the arc in the Early–Middle Jurassic. A second phase began in the Oxfordian, with subsidence and initial deposition of the Zuloaga and La Gloria Formations. Continued sedimentation during this phase led to accumulation of 5–7 km of strata above the arc, as Cretaceous seas transgressed westward over inland Mexico.

## Dinámica de la subducción en el Gran Arco del Caribe y las Antillas Menores: análisis con modelos numéricos 3D.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Tesis que para Optar por el Grado de: Doctor en Ciencias de la Tierra. 2025.

Sustentante: **Andrés David Bayona Ordóñez.**

Director de Tesis: *Dr. Vlad Constantin Manea.*

Resumen.

La placa Caribe presenta una evolución tectónica compleja y única, influenciada por las placas circundantes de Cocos, Norteamérica, Sudamérica, y la microplaca de Panamá, que actúa como zona de interacción entre Caribe y Nazca. En la actualidad, la placa Caribe está sujeta a subducción activa en sus márgenes occidental y oriental, a lo largo de la Trinchera Mesoamericana y la Trinchera de las Antillas Menores, respectivamente. Históricamente, también se produjo subducción en el Gran Arco del Caribe, ubicado en la región norte de la placa, aunque hoy en día este proceso ya no está activo. En esta tesis, presento una serie de simulaciones numéricas 3D diseñadas para explorar la evolución tectónica y geodinámica de la placa Caribe desde el inicio del Cenozoico (hace 65 Ma). Estas simulaciones integran reconstrucciones de placas como condiciones cinemáticas de frontera, enfocándose específicamente en los procesos de subducción en la región noreste de la placa, donde se encuentran el Gran Arco del Caribe y las Antillas Menores. El estudio de estas regiones es crucial para entender el cese de la subducción en el Gran Arco del Caribe y mejorar el conocimiento de la geometría del slab en las Antillas Menores, cuya interpretación sismológica presenta variaciones significativas en el límite entre el manto superior e inferior. Los modelos numéricos se realizaron utilizando el software paralelizado CitcomS ([www.geodynamics.org/citcoms](http://www.geodynamics.org/citcoms)) y fueron ejecutados en la supercomputadora ADA del Laboratorio Nacional de Visualización Científica y Avanzada (LAVIS) de la UNAM. Para las simulaciones, se empleó el método de elementos finitos junto con el método multigrad, lo que permitió resolver las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía en el manto terrestre. Además, se probaron diferentes distribuciones de viscosidad en el manto inferior, así como los efectos de la transición de fase a 660 km de profundidad. Estas variaciones fueron clave para explorar cómo la resistencia del manto y los cambios en la estructura mineral afectan la dinámica de la subducción y la evolución de los slabs subducidos. Los resultados muestran un desprendimiento del slab en el Gran Arco del Caribe que se propaga de oeste a este, lo que coincide con el cese de la subducción y el vulcanismo asociado en esta región. Para la región de las Antillas Menores, el modelo rastrea la trayectoria del slab conforme se aproxima a la zona de transición y la base del manto inferior, donde se estanca, acumulando aproximadamente 1.200 km de material subducido durante el Cenozoico. Este comportamiento está fuertemente influenciado por la viscosidad del manto inferior, la transición de fase a 660 km de profundidad y el retroceso de la trinchera, factores que en conjunto controlan el grado de penetración o estancamiento del slab. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de la tomografía sísmica actual, proporcionando una imagen detallada de la estructura de los slabs subducidos. Además, se examinan los patrones de flujo del manto a través de la anisotropía sísmica, situando los resultados dentro de un marco geodinámico más amplio. Este análisis arroja luz sobre la interacción entre los slabs subducidos y el flujo del manto circundante bajo la Placa del Caribe, ofreciendo nuevas perspectivas sobre los procesos tectónicos y geodinámicos que han modelado la región. Los resultados presentados contribuyen a una comprensión más profunda de la evolución tectónica y las dinámicas del manto a largo plazo bajo la Placa del Caribe.

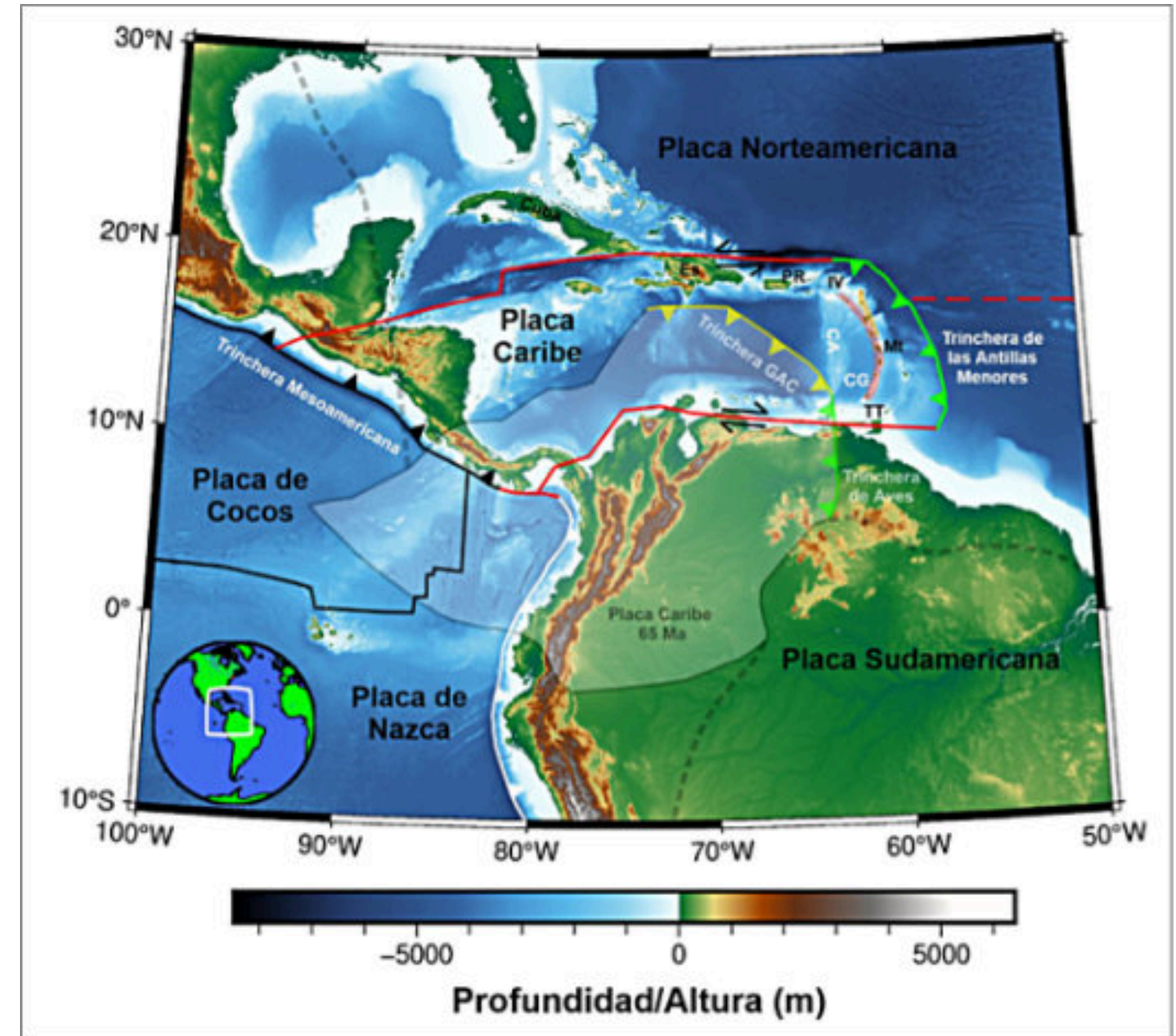


Figura 1.1. Mapa tectónico topográfico y batimétrico regional de la Placa Caribe en la actualidad y hace 65 Ma. La Trinchera Mesoamericana y la Trinchera de las Antillas Menores indican la zona de doble subducción opuesta convergente actual en la región. La ubicación de la Placa Caribe hace 65 Ma se muestra como un área blanca semitransparente. La zona de subducción amarilla semitransparente representa el área de subducción extinta al norte del Caribe en el Gran Arco del Caribe (GAC), que ahora es una zona de cizalla (Huerta et al., 2012; Müller et al., 2019). La zona de subducción verde semitransparente representa la Trinchera Aves, que se ha desplazado aproximadamente 500 km al noreste hasta su posición actual en la Trinchera de las Antillas Menores con respecto al manto como referencia (Müller et al., 2019). El área roja semitransparente es el Arco de las Antillas Menores, mientras que el área naranja semitransparente es el Arco de las Antillas Menores Exteriores (Calizas Caribbees). Es: Española; PR: Puerto Rico; IV: Islas Vírgenes; MT: Martinica; TT: Trinidad y Tobago; CA: Crestade Aves; CG: Cuenca de Granada.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/11/Boettcher-et-al.-2003.pdf>

Boettcher, S. S., J. L. Jackson, M. J. Quinn, and J. E. Neal, 2003, Lithospheric structure and supracrustal hydrocarbon systems, offshore eastern Trinidad, 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. 529–544.

# Lithospheric Structure and Supracrustal Hydrocarbon Systems, Offshore Eastern Trinidad

Stefan S. Boettcher

ExxonMobil Upstream Research Company, Houston, Texas

J. L. Jackson

ExxonMobil Exploration Company, Houston, Texas

M. J. Quinn

ExxonMobil Exploration Company, Houston, Texas

J. E. Neal

ExxonMobil Development Company, Houston, Texas

## ABSTRACT

To facilitate an evaluation of hydrocarbon systems elements in offshore eastern Trinidad, we generated regional cross sections and a 1000-km-long conceptual, lithospheric-scale cross section from the Aves ridge to the Demerara plateau. The sections are based on interpretation of 2-D and 3-D seismic data, gravity and magnetics surveys, and published literature. Our results indicate that convergent-margin tectonism and rapid sedimentation first impacted the deep-water area of offshore eastern Trinidad in the latest Miocene. As much as 12 km of post-middle Miocene sediments are present south and east of the Caribbean–South American Plate boundary zone in the Columbus basin fore-deep. The basin formed in response to subduction, tectonic loading, and progradation of the Orinoco delta. Well-imaged, northeast-trending buckle folds occur above the detachment fault(s) and are an important trap-forming element in the deep-water area. Deep-penetrating, active growth faults are the principal hydrocarbon migration pathways on the continental shelf but are absent in the deep-water exploration area. Seismic quality diminishes rapidly to the north of 11°N latitude, in an area where highly irregular sea-floor topography marks active deformation and dewatering in the internal part of the Barbados accretionary complex.

We propose that the change in crustal type across the Mesozoic passive margin of northern South America controls the style and magnitude of strain above the main décollement associated with the Cenozoic convergent margin. Contractual structures developed in Trinidad when continental lithosphere of

## Análisis del cambio de la forma del espectro del oleaje por efecto de la transferencia de energía debida a interacciones no lineales entre cuadrupletas.

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

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias. 2025.

Sustentante: **César Omar Luna Miyaki.**

Directores de Tesis: Dr. Francisco Javier Ocampo Torres y Dr. Alejandro Francisco Pares Sierra.

### Resumen

Los modelos numéricos de simulación del oleaje, como WAM, WaveWatch III y SWAN, son herramientas utilizadas para estudiar el oleaje y elaborar pronósticos desde escalas locales hasta globales. Un componente crítico en estos modelos es el término fuente asociado a la transferencia de energía por interacciones no lineales entre cuadrupletas (SnI4), cuya implementación operativa requiere el uso del esquema de Interacción Discreta Aproximada (DIA). Sin embargo, el esquema DIA presenta limitaciones para representar con detalle la transferencia de energía. En esta investigación se analizan las diferencias en el comportamiento de SnI4 al calcularlo mediante el esquema exacto de Webb–Resio–Tracy (WRT), en comparación con el esquema aproximado DIA. El análisis se enfoca en la transferencia de energía que ocurre en espectros bimodales del oleaje. A partir de observaciones en la Isla Todos Santos, se identificaron y analizaron las interacciones de espectros bimodales con dos sistemas de Swell, no obstante, la intensidad de la interacción no fue relevante. Por otro lado, a partir de observaciones en el Golfo de Tehuantepec, se identificaron espectros bimodales con sistemas Swell y Wind Sea que se propagan en direcciones opuestas. Estas condiciones fueron reproducidas mediante espectros direccionales sintéticos, los cuales se emplearon como base para calcular SnI4 mediante los esquemas WRT y DIA. Los resultados estimados mediante el esquema DIA sugieren que la interacción entre ambos sistemas es débil o nula, mientras que con los obtenidos con WRT muestran una modificación de la transferencia de energía en la región asociada al sistema Swell. Para evaluar el efecto de la bimodalidad, se define  $\Delta SnI4$ , la diferencia entre SnI4 calculado a partir del espectro bimodal y la suma de SnI4 de sus componentes unimodales. En un análisis más detallado, se evalúa  $\Delta SnI4$  en sectores direccionales, en donde se encuentra que el sistema Swell transfiere energía hacia regiones con frecuencias muy diferentes a  $f_p$ . Los resultados indican que, al utilizar el esquema DIA, el efecto de la bimodalidad espectral es prácticamente inexistente, mientras que cuando se utiliza WRT se revela una interacción importante, incluso cuando los sistemas de oleaje se propagan en direcciones opuestas.

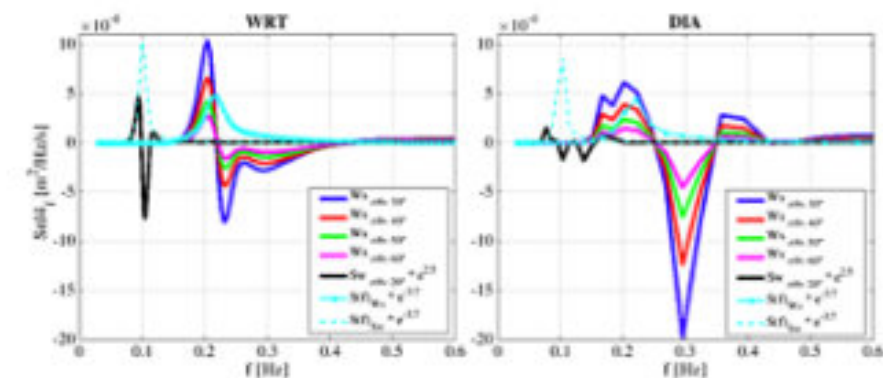


Figura 1.1.  $S_{nI4}(f)$  asociado a los espectros unimodales del caso 1 Wind Sea (C1/30, C1/40, C1/50 y C1/60), calculado mediante los esquemas WRT (panel izquierdo) y DIA (panel derecho). Se muestran las estimaciones del sistema Wind Sea con anchos direccionales  $\sigma\theta = 30^\circ$  (línea azul),  $40^\circ$  (línea roja),  $50^\circ$  (línea verde) y  $60^\circ$  (línea magenta), así como del sistema Swell (C0/20) con  $\sigma\theta = 20^\circ$  (línea negra) escalado con  $e^{2.5}$ . Los espectros  $S(f)W_s$  y  $S(f)W_w$ , escalados por factores  $e^{-3.7}$  y  $e^{2.5}$  respectivamente (líneas cian continua y punteada), se incluyen como referencia.

## Procesos de transporte de fluidos hidrotermales a lo largo de un sistema de fallas : geología estructural y modelamiento numérico con elementos de borde.

Pontificia Universidad Católica De Chile.

Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. 2018.

Sustentante: **Rocío Consuelo Núñez Tapia.**

Director de Tesis: *Carlos Marquardt Román y José Cembrano Perasso.*

### Resumen

En esta tesis se estudia un sistema hidrotermal de tipo Pórfido Cuprífero del Mioceno tardío ubicado en la cordillera principal, de la región del Maule y desarrollado a lo largo de un sistema de fallas transtensionales paralelas al margen de subducción. El objetivo principal de este estudio es entender la relación que existe entre la deformación frágil de las rocas de la corteza superior y el transporte de fluidos hidrotermales a través de las fallas reconocidas en el área de estudio, entendiendo cual es el rol que ellas tienen en el aumento de permeabilidad relativa en la zona. Para esto se utilizaron distintas metodologías, entre ellas la compilación de un mapa regional de escala 1:100000, el desarrollo de un mapa distrital con énfasis en los elementos estructurales principales para entender su cinemática, litología y alteración hidrotermal. Se realizó un análisis a través del software Faultkin de los principales sitios estructurales, junto a la inversión del stress a través del software MIM de las fallas medidas en el área de estudio. Además, se realizó un análisis petrográfico, calcográfico y geo-cronológico con muestras de la zona de estudio. Finalmente, se implementó el método 2D Boundary Element Displacement Discontinuity Method (BEM), comprobando la factibilidad mecánica y cinemática de dos fallas principales NS para desarrollar un stepover extensional. Los resultados del trabajo de campo indican que geología local se caracteriza por rocas volcánicas andesíticas y volcano-sedimentarias asociadas a la Formación Abanico (Eoceno Superior - Mioceno Inferior), instruidas por dos generaciones de diques; unos de composición andesítica contemporáneos a la Formación Abanico y otros de composición granodioríticos datados con el método U-Pb en circones, obteniéndose una edad de aproximadamente 18 Ma. Se estudiaron las fallas presentes en la zona de estudio y se encontraron distintos sistemas de fallas de acuerdo a su orientación y cinemática: (1) Fallas NS sub-verticales dextrales que generan un stepover; (2) Fallas N60°E/subverticales dextral-normal ubicadas en el interior del stepover, y (3) Fallas N40°-60°W/subverticales sinistralas que cruzan el stepover. La alteración identificada corresponde a tres zonas de alteración hidrotermal, un centro de alteración potásica rodeado de alteración filica y un halo externo de alteración propilítica. El modelamiento numérico con elementos de borde (BEM), de un stepover extensional entre fallas NS dextrales, sin overlap, escalado según lo observado en terreno, y que incorpora una discontinuidad elongada en rumbo NE que une las trazas de las fallas, que representa los diques granodioríticos, entrega como resultado la magnitud del deslizamiento, apertura y el estado de stress local de este modelo. Este modelamiento considera 4 casos para el rumbo del stress principal máximo ó stress compresivo remoto que varía entre N46°E y N81°E, para los siguientes dos escenarios, uno con presencia de fluido a lo largo de las estructuras y otro sin presencia de fluido. Los resultados indican: (1) un mayor deslizamiento para la falla favorablemente orientada respecto al rumbo del stress remoto, (2) una apertura localizada en el centro del stepover concentrando los fluidos, y (3) una rotación del máximo stress local a medida que se acerca a la zona asociada a una presión de fluido (distribuida a  $\pm 2$  km desde el centro del stepover). Como conclusión, el mejor escenario que correlaciona la información de terreno con los resultados del modelo numérico corresponde al caso de un stress remoto de rumbo N81°E que explicaría la formación de fallas secundarias NE, NW en la ausencia de presión de fluido y EW cuando existe presión de fluido en el sistema hidrotermal. La intersección y orientación de estas fallas aumentarían la permeabilidad

relativa de la roca de caja, facilitando el ascenso de fluidos a través de fracturas hidráulicas, concentrando la alteración entre las fallas NS (Falla Huemulina y Falla Infiernillo) donde se tiene un régimen extensional local, consistente con la geometría de los halos de alteración observados en terreno.

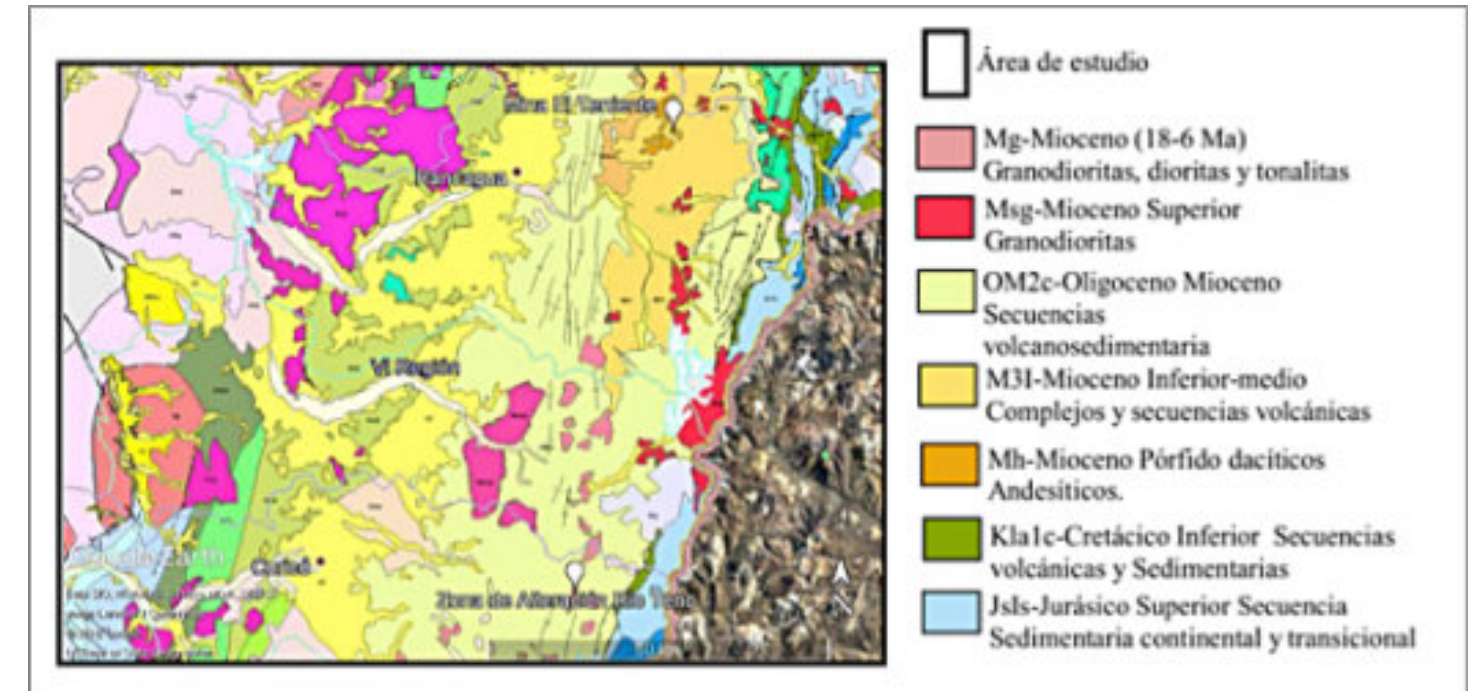
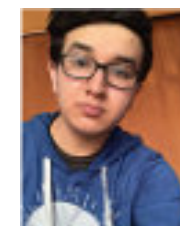


Figura 1.1. Ubicación y acceso al sector de estudio en las cercanías de la Cordillera de los Andes central, Chile. Modificado Carta caminera, cuadernillo 2017, MOP, junto a mapa geología regional 1:1000000 Sernageomin.

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



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

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

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

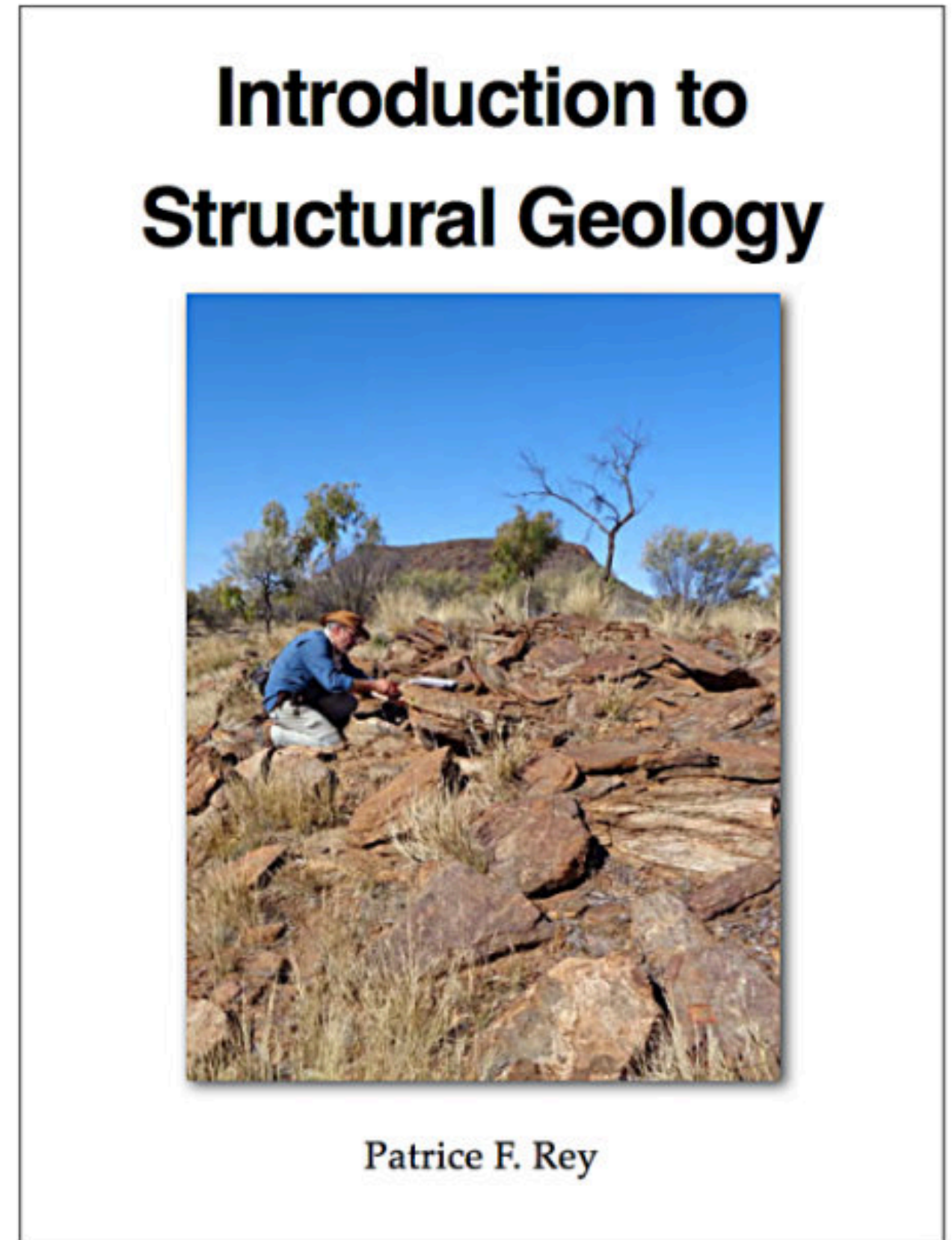
# LIBRO RECOMENDADO

[https://secihti.mx/wp-content/uploads/publicaciones/2025/libro\\_energia\\_y\\_sostenibilidad.pdf](https://secihti.mx/wp-content/uploads/publicaciones/2025/libro_energia_y_sostenibilidad.pdf)



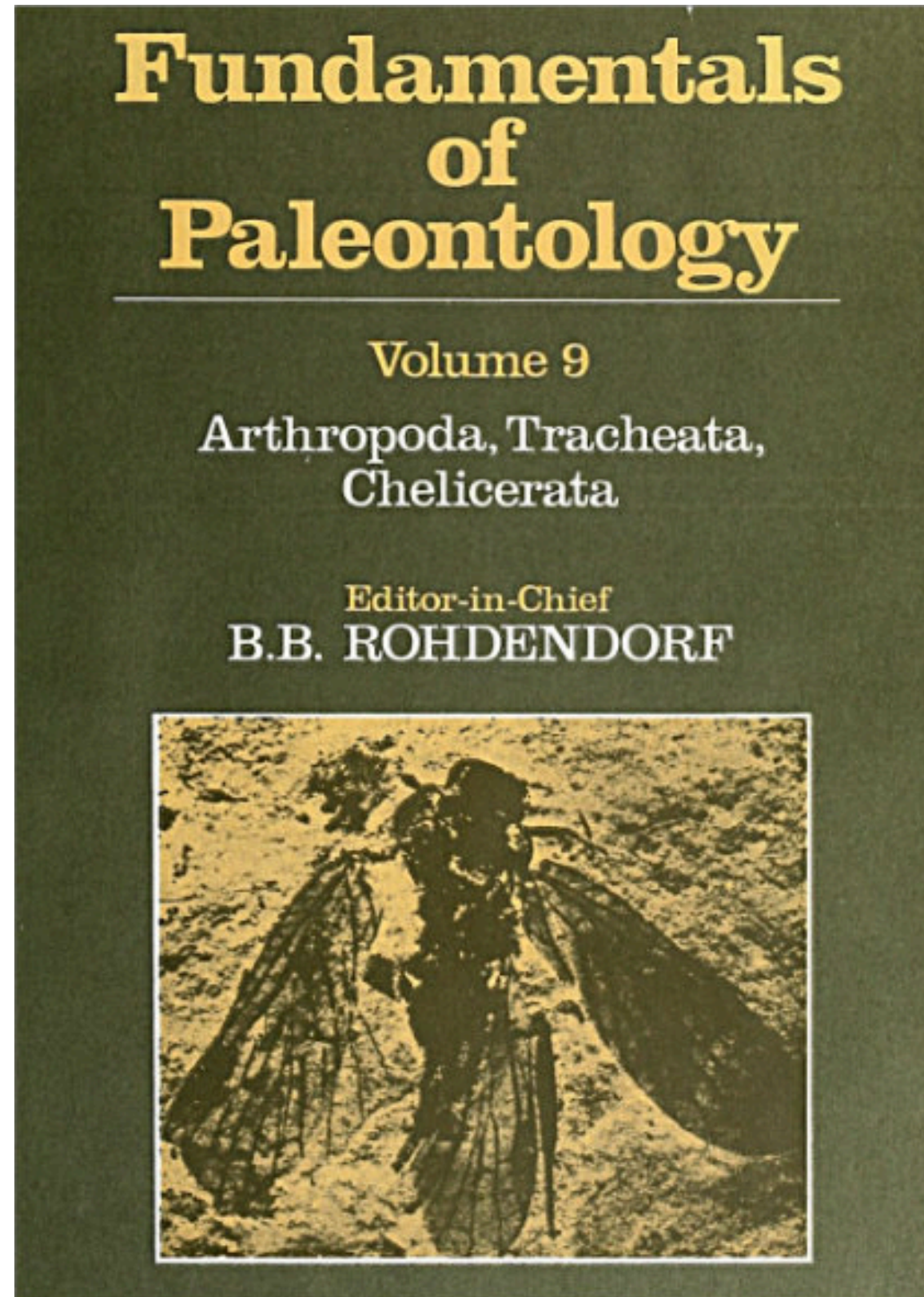
## El libro recomendado

[https://geoscience-prey.sydney.edu.au/iBooks/Patrice\\_Textbook.pdf](https://geoscience-prey.sydney.edu.au/iBooks/Patrice_Textbook.pdf)



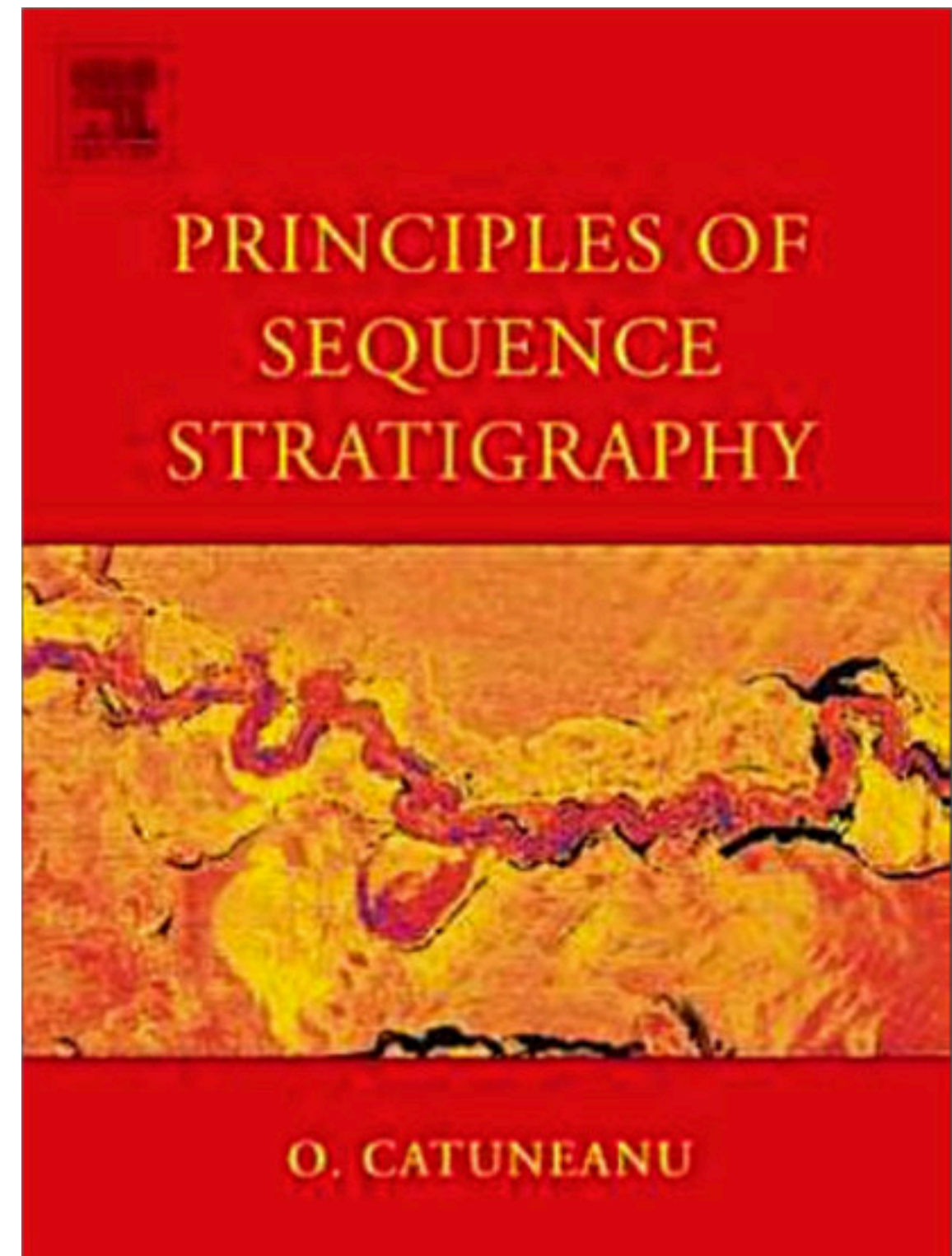
## El libro recomendado

<https://dn720005.ca.archive.org/0/items/fundamentalsofpa09rohd/fundamentalsofpa09rohd.pdf>



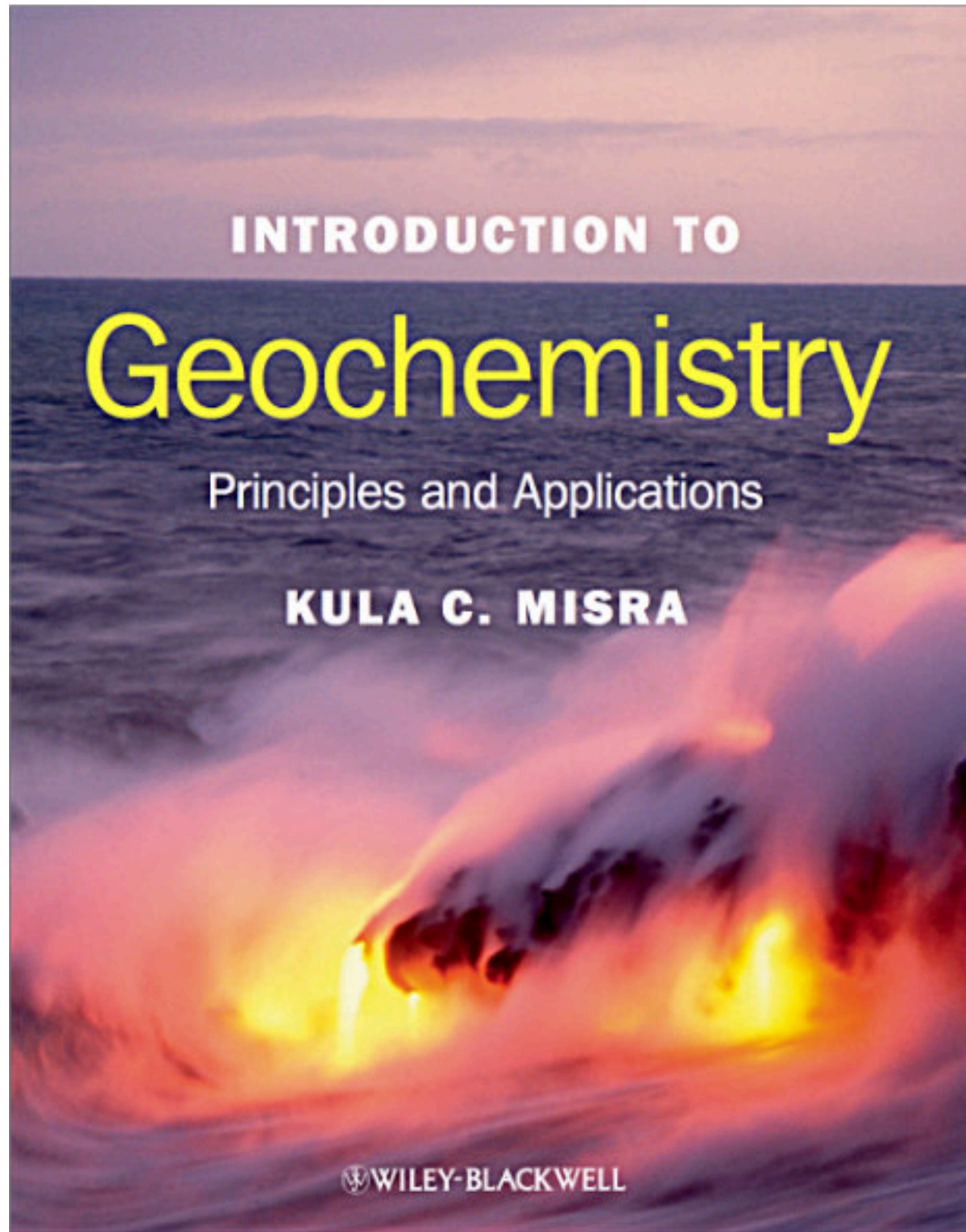
## El libro recomendado

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/GEOL519/%CE%92%CE%B9%CE%B2%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1//References/sequence%20stratigraphy/PRINCIPLES%20OF%20SEQUENCE%20STRATIGRAPHY.pdf>



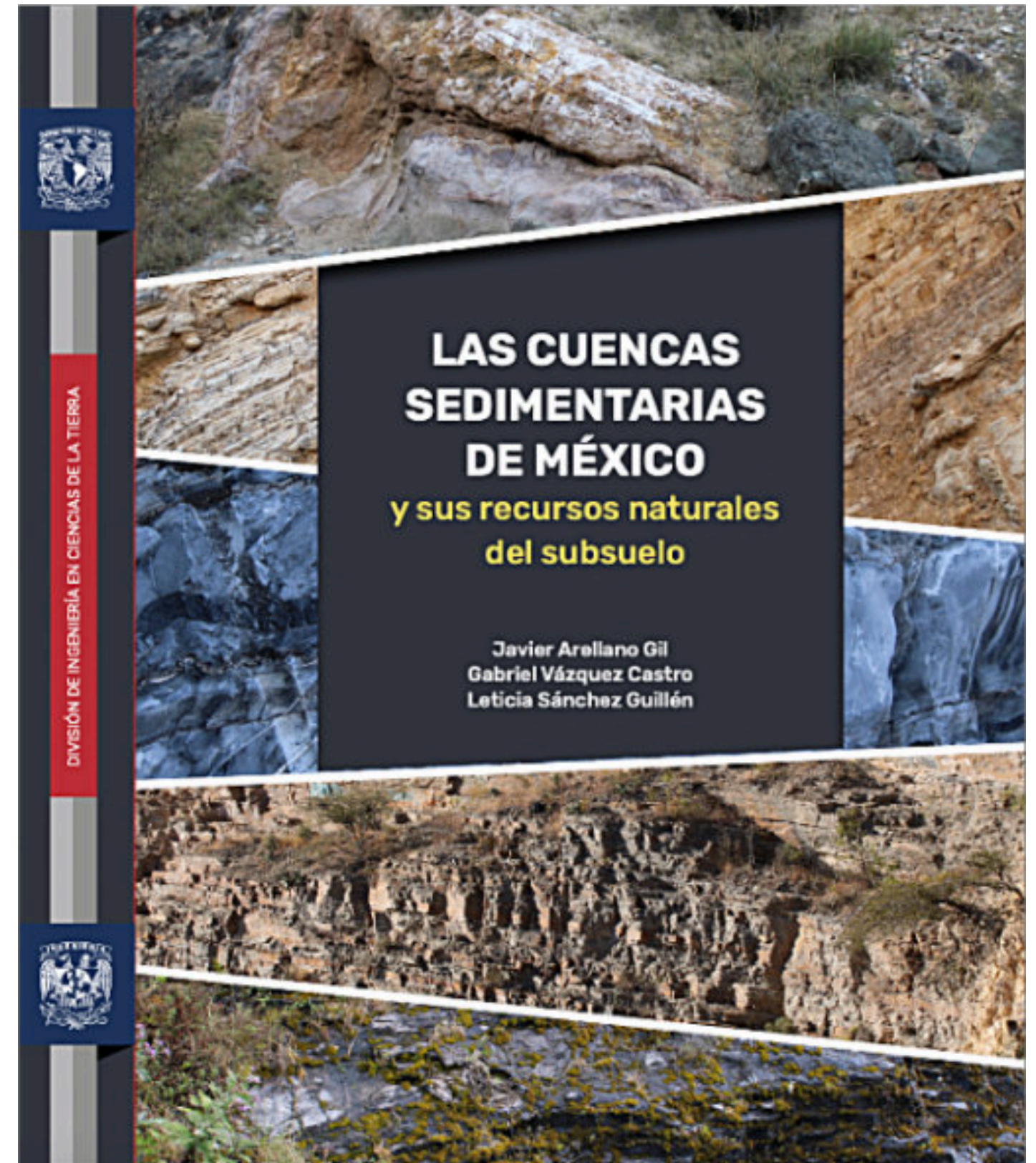
## El libro recomendado

<https://download.e-bookshelf.de/download/0000/6002/33/L-G-0000600233-0002363417.pdf>



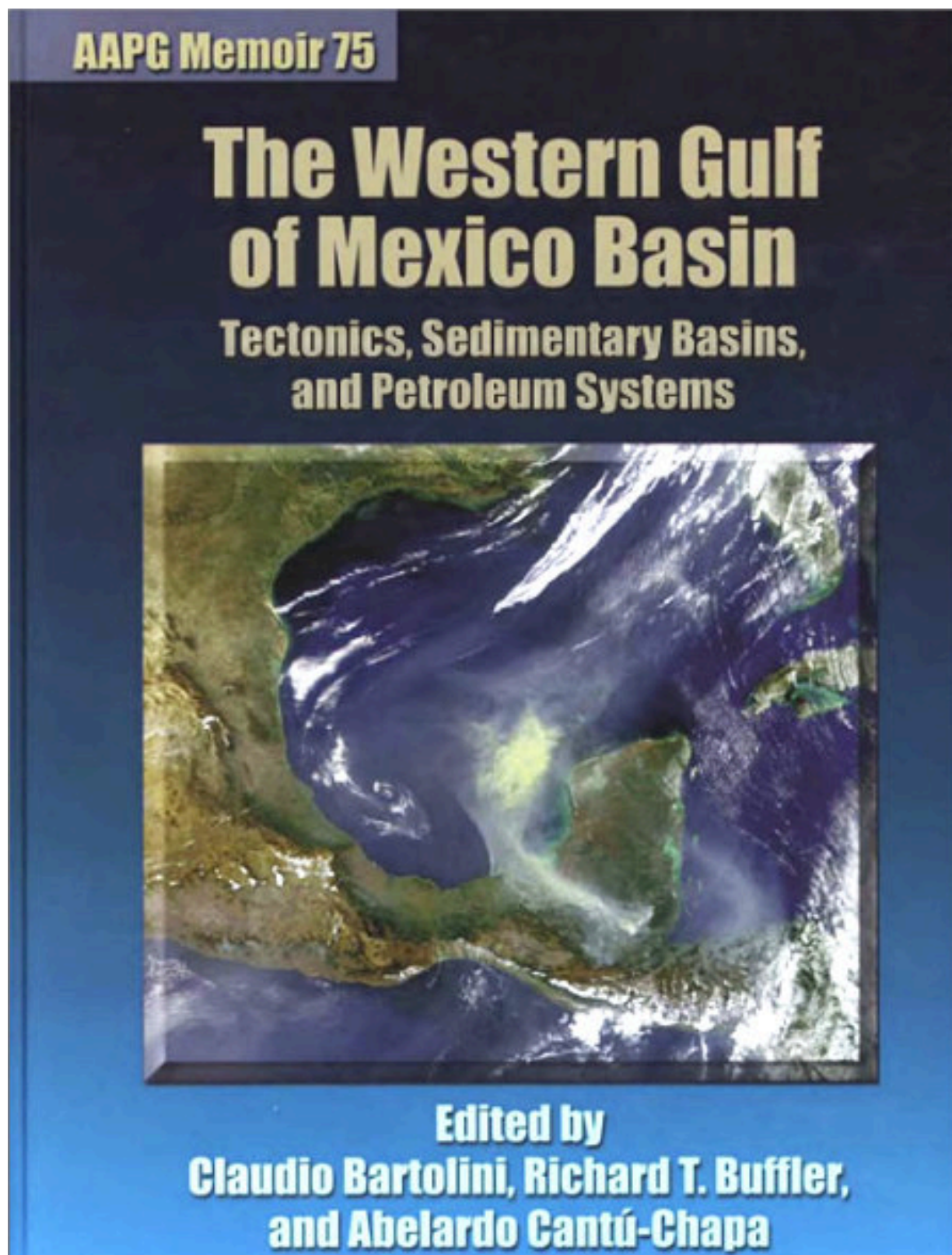
## El libro recomendado

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



## El libro recomendado

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/09/TheWesternGulfofMexicoBasin-AAPGMemoir75.pdf>



# TEMAS DE INTERÉS

### Sostenibilidad en la transición energética. Mitos y verdades a medias que persisten de la transición energética. Parte 3.

Natalia Silva Cruz  
Colaboradora de la Revista

Hoy cerramos nuestra serie sobre los mitos que prevalecen sobre la descarbonización energética, para esto, hablaremos sobre 3 mitos que tienen la particularidad de que pueden ser abordados mediante la implementación de sinergias y economías a escala que posibilitan la materialización de proyectos que hace algunos años eran impensables.

**Mito 7. El reciclaje de paneles solares y turbinas eólicas es irrealizable.** El despliegue masivo de módulos solares en Europa y en los Estados Unidos comenzó a mediados de los años 2000, con esto, los primeros equipos instalados estarán alcanzando su vida útil (de 20 a 25 años) próximamente. Este hecho les da voz a diferentes sectores para transmitir su punto de vista sobre qué se hará con los paneles una vez sean desmantelados, y tristemente, uno de los enfoques con más eco es también uno de los que cuenta con menos sustentos, que dice que el reciclaje de los implementos de las plantas de aprovechamiento de energías renovables es prácticamente imposible. Sin embargo, la compañía First Solar, que manufactura y comercializa paneles solares, le reportaba en el 2022 al Departamento de Energía de los Estados Unidos que técnicamente es posible recuperar el 90% de los materiales de sus módulos<sup>1</sup>. Además, el mismo gabinete publicó recientemente que también se podría reciclar el 90% de los componentes de las aeroturbinas<sup>2</sup>.

Ahora, antes de considerarnos victoriosos, aterricemos un poco las expectativas. Técnicamente reciclable no es equivalente a comercialmente reciclable. Si bien ciertos elementos como el vidrio y el aluminio tienen un tratamiento barato y sencillo, existen otros, como el silicio, láminas posteriores de polímero y contactos de plata, que son más complejos tecnológicamente y más costos. Por su lado, las palas de las aeroturbinas no son más sencillas de reciclar, sin embargo, existen proyectos exitosos como el convenio entre *General Electric* y *Veolia North America*, que permite la reutilización casi en su totalidad en plantas cementeras, donde utilizan las palas tanto como combustible, como carga, reduciendo la cantidad de

emisiones de CO<sub>2</sub> en un 27% porque se reemplaza el uso de carbón como combustible y de caliza como carga.

Si bien el reciclaje de módulos solares y aeroturbinas tiene limitantes económicos y logísticos, vemos un futuro esperanzador. No solo ya prácticamente pasamos la barrera de lo “técnicamente reciclable”, sino que además existe el conocimiento e iniciativas que permitirían la construcción de palas eólicas 100% reciclables. La industria se está preparando para garantizar la sostenibilidad ambiental de sus proyectos mediante la construcción de elementos cada vez más sencillos de reutilizar y la integración de otras industrias, consiguiendo una economía circular<sup>3</sup>.

**Mito 8. La industria pesada debe descarbonizarse primero que la red eléctrica.** La generación eléctrica produce cerca del 35% del total de los gases de efecto invernadero que emitimos a nivel global, si toda esa electricidad que demandamos viniera de recursos renovables, no sería suficiente para lograr la reducción de emisiones del 43% que se estima necesaria para que el calentamiento global no supere 1,5 °C sobre niveles pre-industriales, según lo pactado en el Acuerdo de París de 2015.

Este hecho es aprovechado por quienes consideran que primero deben controlarse las emisiones asociadas a sectores como el industrial, la agricultura y el transporte. En la realidad, la descarbonización de la red es esencial, en primer lugar, porque ya sabemos cómo hacerlo, y en segundo lugar, porque indirectamente se descarbonizan otras industrias, como el transporte con el uso de vehículos eléctricos, la aclimatación de edificios con las bombas de calor, la preparación de alimentos en cocinas eléctricas o de inducción, entre otras. La disponibilidad de electricidad proveniente de fuentes sostenibles fomenta el reemplazo de sistemas de transformación de energía que liberan gases de efecto invernadero por métodos limpios, logrando disminuir las emisiones globales en un porcentaje más alto del que se estima si solo se reemplaza la demanda eléctrica actual.

**Mito 9. La energía nuclear compite con las renovables.** La energía nuclear polariza desde el punto de vista económico, político y de aceptación social. Sin embargo, desde el ámbito técnico, tanto las energías renovables, como la nuclear, son sostenibles y pueden ser complementarios bajo ciertos modelos. Es importante

reconocer que la energía nuclear, además de ser libre de emisiones, ofrece una generación firme y estable, algo que no es el caso de las renovables variables (como la solar, o la eólica) o de las tecnologías flexibles como la hidroeléctrica de bombeo. De hecho, todavía puede ser válido implementar modelos en los que la energía nuclear y las renovables más estables se utilicen para cubrir la carga mínima constante del sistema, mientras que tecnologías flexibles, como la hidroeléctrica de bombeo, se utilicen para proveer la electricidad excedente requerida durante los picos de demanda.

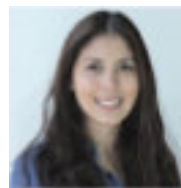
La transición energética evoluciona constantemente, es posible que en un corto plazo estemos desmintiendo

mitos que hoy son realidad, pero que unos meses o años puedan ser desvirtuados gracias al desarrollo acelerado en tecnologías que permitan la implementación sostenible de nuevos mecanismos que nos ayuden a alcanzar un aprovechamiento energético más amigable con el planeta. La interacción entre diferentes industrias está mostrando que todos podemos ser parte de la solución, la transformación energética solo puede ser exitosa si es incluyente y permite que todos los sectores desarrollen eficiencias y sinergias en pro de alcanzar emisiones netas cero. La descarbonización no es un acto de fe sino un ejercicio de evidencia.

<sup>1</sup>U.S. Department of Energy. Solar Photovoltaics. Supply Chain Deep Dive Assessment. U.S. Department of Energy Response to Executive Order 14017, "America's Supply Chains". Febrero, 2022.

<sup>2</sup>U.S. Department of Energy. Recycling Wind Energy Systems in the United States. Part 1: Providing a Baseline for America's Wind Energy Recycling Infrastructure for Wind Turbines and Systems. Enero, 2025.

<sup>3</sup>Veolia. GE Renewable Energy Announces US Blade Recycling Contract with Veolia. <https://www.veolianorthamerica.com/media/press-releases/ge-renewable-energy-announces-us-blade-recycling-contract-veolia>. Diciembre, 2020.



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

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

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

## LA ENERGÍA EÓLICA

**Luis Ángel Valencia Flores**

Editor de la Revista

### Resumen

La energía eólica constituye una fuente de energía renovable crucial obtenida a partir de la fuerza del viento, aprovechando el movimiento del aire para generar electricidad mediante aerogeneradores o turbinas eólicas. Esta tecnología ha evolucionado desde usos rudimentarios en la antigüedad, como la navegación y la molienda, hasta convertirse en la segunda fuente de energía renovable a nivel mundial, con un crecimiento global del 10% en 2023. Este manuscrito explora la historia de la energía eólica, sus principios de funcionamiento, los componentes clave de los aerogeneradores modernos, el estado de su despliegue global (incluyendo las diferencias entre instalaciones terrestres y marinas), y finalmente, sus beneficios y las limitaciones que enfrenta en el contexto de la economía biofísica y la gestión de la red eléctrica.

Palabras clave: Energía eólica; Aerogeneradores; Energía renovable; Economía biofísica; EROI; Despliegue global.

### 1. Introducción

La energía eólica se define por el aprovechamiento del movimiento cinético del aire para la producción de energía. Desde la perspectiva de la energía y la economía, el viento se origina a consecuencia de la acción del sol, y se forma por el movimiento del aire debido a la diferencia de densidades entre el aire caliente (que se expande y sube) y el aire frío (que desciende). Aproximadamente el 2% de la energía solar se transforma en energía cinética.

El interés moderno en la energía eólica se revitalizó significativamente a partir de la crisis del petróleo de 1973, impulsando la búsqueda de fuentes alternativas. Hoy en día, la energía eólica es un pilar fundamental en la lucha global contra el cambio climático y la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible.

### 2. Historia y evolución del aprovechamiento eólico

El aprovechamiento de la fuerza del viento se remonta a la antigüedad. Los primeros usos documentados incluyen la navegación mediante velas en embarcaciones egipcias alrededor del 3000 a.C.. En Persia, cerca del 500 a.C., se construyeron los primeros molinos de viento verticales para tareas agrícolas como el bombeo de agua y la molienda de grano.

Durante la Edad Media (siglo XII), los molinos se difundieron por Europa, especialmente en los Países Bajos, utilizados para drenar tierras y moler grano. Estos usos tempranos fueron esenciales para el desarrollo agrícola y para la expansión del comercio y la exploración.

La conversión directa de la energía eólica en electricidad es un desarrollo mucho más reciente. El científico escocés James Blyth construyó la primera turbina eólica para generar electricidad en 1887. Un año después, Charles F. Brush en EE. UU. desarrolló una turbina más grande, con capacidad de hasta 12 kilovatios (kW), que se utilizó para abastecer su hogar y edificios cercanos.

En el siglo XXI, el crecimiento de la capacidad instalada ha sido exponencial, impulsado por políticas gubernamentales, compromisos de sostenibilidad y una drástica reducción de costos.

### 3. Principios de funcionamiento de los aerogeneradores

Un aerogenerador transforma la energía cinética del viento en energía mecánica, y esta, a su vez, en energía eléctrica.

#### 3.1. Transformación de energía y factores clave

El proceso comienza cuando el viento golpea las palas (diseñadas aerodinámicamente, al igual que las alas de un avión) y las hace girar. El movimiento rotatorio del conjunto de palas y el eje central (rotor) convierte la energía cinética en energía mecánica. Posteriormente, un generador eléctrico produce electricidad mediante un proceso electromagnético.

La cantidad de energía que una turbina puede extraer del viento depende de varios parámetros:

1. Velocidad del viento: La energía aumenta con la velocidad. Las turbinas comienzan a funcionar con velocidades de viento entre 3 m/s y 4 m/s.
2. Densidad del aire: El aire frío, al ser más denso, transfiere más energía al aerogenerador.
3. Área barrida por el rotor: Cuanto mayor sea el área que barre el rotor, más energía cinética puede capturar el aerogenerador.

Existen límites físicos a la eficiencia de esta conversión. Teóricamente, solo se puede aprovechar el 59.3% de la energía cinética del viento (Límite de Betz). Las turbinas modernas han alcanzado eficiencias de hasta el 48%.

### 3.2. Componentes de la Turbina Eólica

Los aerogeneradores modernos son máquinas complejas con varios componentes clave:

- Rotor y Palas (Aspas): Las palas, hechas de materiales avanzados como fibra de carbono y composites, captan la energía. Las palas giran en promedio entre 13 y 20 revoluciones por minuto (RPM).

- Góndola (Nacelle): Carcasa que protege los principales componentes mecánicos y eléctricos, y que se ubica en la parte superior de la torre.
- Caja de Cambios/Multiplicador: Transforma la baja velocidad del eje del rotor (entre 20 y 30 vueltas por minuto) a la velocidad más alta requerida por el generador. Es la pieza mecánica más pesada y costosa de la turbina.
- Generador: Transforma la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.
- Sistema Pitch (Inclinación): Ajusta automáticamente el ángulo de las palas para controlar la velocidad del rotor y optimizar la extracción de energía.
- Mecanismo de Orientación (Yaw): Alinea el rotor con la dirección del viento (utilizando información de anemómetros y veletas) mediante motores eléctricos.
- Frenos: Se aplican frenos mecánicos, eléctricos o hidráulicos para detener la turbina cuando el viento excede la velocidad límite.
- Torre: Soporta el peso de todos los componentes y transfiere las cargas del viento y las vibraciones a la cimentación.



Imagen de un aerogenerador de electricidad

## 4. Tipos de instalaciones y despliegue global

La energía eólica se puede clasificar según el eje de rotación y el área de instalación.

### 4.1. Tipos de Turbinas (Eje)

- Turbinas de Eje Horizontal (HAWT): Son las más comunes y eficientes para la producción a gran escala. Su eficiencia oscila entre el 20% y el 40%.
- Turbinas de Eje Vertical (VAWT): Menos comunes, pero adecuadas para áreas urbanas o donde los vientos son más turbulentos y variables, ya que su orientación no se ve afectada por la dirección del viento. Su eficiencia varía entre el 15% y el 41%.

### 4.2. Instalaciones por Ubicación

- Instalaciones Onshore (Terrestres): Se ubican en tierra, generalmente en campos abiertos para evitar interrupciones del viento.
  - Ventajas: Infraestructura menos costosa, pueden impulsar economías locales generando empleo, y menor contaminación por transporte si se fabrican cerca.
  - Desventajas: La velocidad y dirección del viento son más impredecibles que en alta mar, lo que dificulta predecir el rendimiento. Tienen un impacto visual criticado.
- Instalaciones Offshore (Marinas): Ubicadas en alta mar, donde el viento es generalmente más fuerte y constante, resultando en una mayor producción de energía.
  - Ventajas: Mayor eficiencia y producción debido a vientos más altos y constantes. Pueden ser de mayor tamaño (hasta 12-14 MW por turbina). Menor problema de ruido en comunidades costeras y menor fatiga por turbulencias.
  - Desventajas: El costo de capital inicial es una de las principales desventajas.

### 4.3. Situación Global

En 2024, la capacidad instalada total de energía eólica alcanzó los 441,895 MW en China (líder mundial), seguida por EE. UU. (148,020 MW) y Alemania (69,459 MW). La capacidad instalada global ha crecido notablemente, con una mayor proporción procedente de proyectos onshore.

En México, el país cuenta con uno de los potenciales más altos de generación. En 2023, la capacidad instalada fue de 7,317 MW, con una generación de más de 20,000 GWh, lo que representa el 6.09% de la generación eléctrica nacional. Los estados con mayor capacidad son Oaxaca (2,758 MW) y Tamaulipas (1,715 MW).

## 5. Beneficios, limitaciones y perspectivas futuras

### 5.1. Beneficios

La energía eólica ofrece beneficios ambientales y económicos significativos:

- Sostenibilidad Ambiental: No emite gases contaminantes ni efluentes líquidos, ni residuos sólidos, y no requiere el uso de agua. Contribuye a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Recuperación Energética Rápida: Requiere solo unos pocos meses de funcionamiento para recuperar la energía empleada en su construcción y montaje.
- Seguridad Energética: Ayuda a ahorrar combustibles, diversificar el suministro y reducir la dependencia energética.

### 5.2. Limitaciones y Desafíos

A pesar de sus beneficios, la energía eólica enfrenta limitaciones inherentes a la fuente y la tecnología:

- Variabilidad e Intermittencia: El viento es aleatorio y variable en velocidad y dirección, lo que significa que no todos los lugares son viables para la explotación. Esta variabilidad exige que la producción eólica sea parte de un "mix" energético y requiere previsiones de producción a muy corto plazo para gestionar adecuadamente la red.

- EROI y Almacenamiento: Si se incluyen las provisiones para la intermitencia, los combustibles alternativos como la energía eólica y solar tendrían un EROI (Tasa de Retorno Energético de la Energía Invertida) mucho más bajo que los combustibles fósiles a los que estamos acostumbrados. La integración con tecnologías de almacenamiento de energía (como baterías) será clave para el futuro de la energía renovable.

- Impacto Espacial y Ambiental: La instalación requiere la ocupación de suelo considerable, ya que los

aerogeneradores deben mantener distancias amplias entre sí (entre 3 a 5 veces el diámetro del rotor perpendicular al viento dominante, y 5 a 10 veces en la dirección del viento dominante). También existen preocupaciones sobre el aumento del nivel de ruido y el impacto visual o paisajístico.

- Impacto en Fauna: Se ha documentado un impacto sobre la fauna, en particular sobre las aves.

- Costo de Capital: Las instalaciones offshore, aunque más eficientes, requieren una gran inversión inicial de capital.



Imagen de parque eólico en Europa

## 6. Conclusiones

La energía eólica ha demostrado ser una fuerza dominante en el panorama energético mundial, con un crecimiento impulsado por la eficiencia mejorada y la preocupación por la sostenibilidad. La transformación de la energía cinética del viento a electricidad se logra a través de complejos sistemas de aerogeneradores con múltiples

componentes diseñados para maximizar la captación de energía dentro de límites físicos estrictos.

Aunque las instalaciones offshore ofrecen un potencial de mayor eficiencia y capacidad debido a la constancia del viento en el mar, con turbinas cada vez más grandes, las limitaciones fundamentales de la energía eólica se centran en su intermitencia y en la necesidad de integración con la red y tecnologías de almacenamiento. Abordar estos

desafíos, como la necesidad de un EROI competitivo al considerar la intermitencia, y continuar el desarrollo de tecnologías avanzadas como las turbinas flotantes, determinará el papel futuro de la energía eólica en la transición global hacia un sistema energético descarbonizado.

## Referencias

Hall, C. A. S., & Klitgaard, K. A. (2018). *Energy and the wealth of nations*. Springer International Publishing AG.

Craig, A. E., Dabiri, J. O., & Koseff, J. R. (2017). Low order physical models of vertical axis wind turbines. *J. Renewable Sustainable Energy*, 9(1).

Fernández-Diez, P. (1993). *Energía eólica*. Servicios Publicitarios E. T. S. I. Industriales y Tecnológicos.

Gorban, A. N., Gorlov, A. M., & Silantyev, V. M. (2001). Limits of the turbine efficiency for free fluid flow. *J. Energy Resour. Technol.*, 123, 311–317.

IEA (International Energy Agency). (2025). Wind. International Energy Agency. Obtenido de: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/wind>



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

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

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

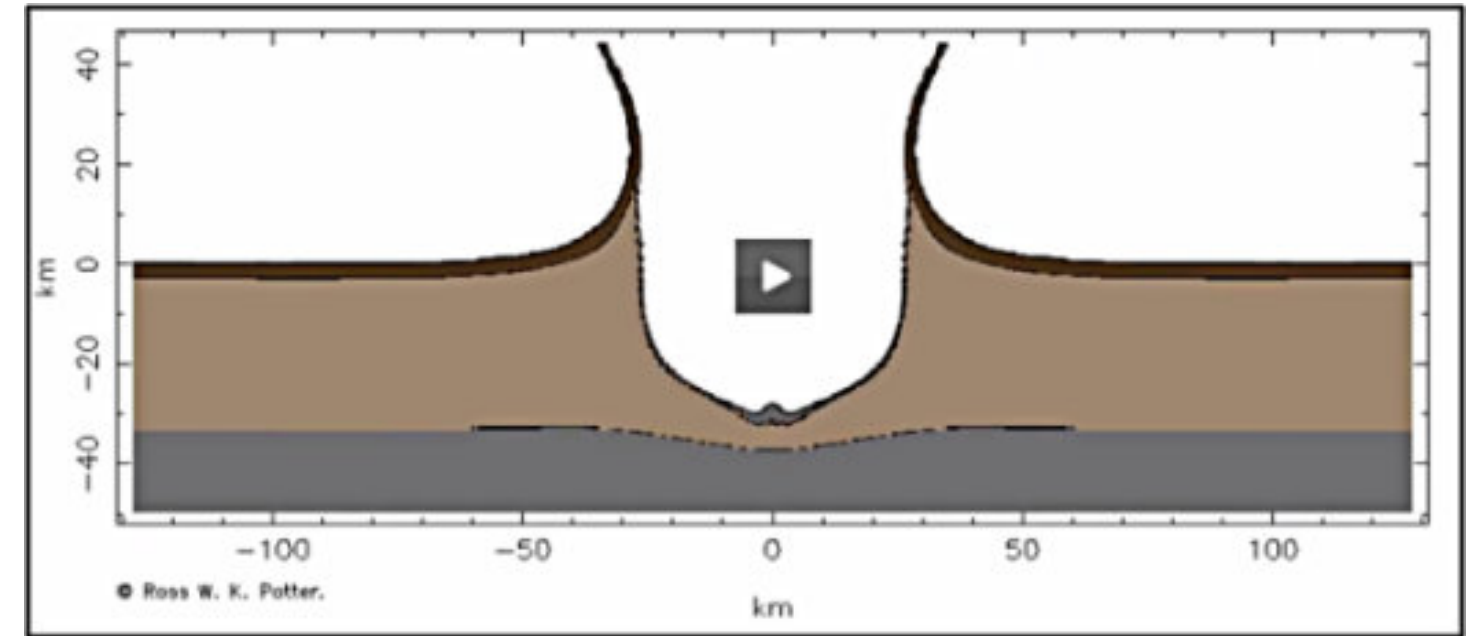
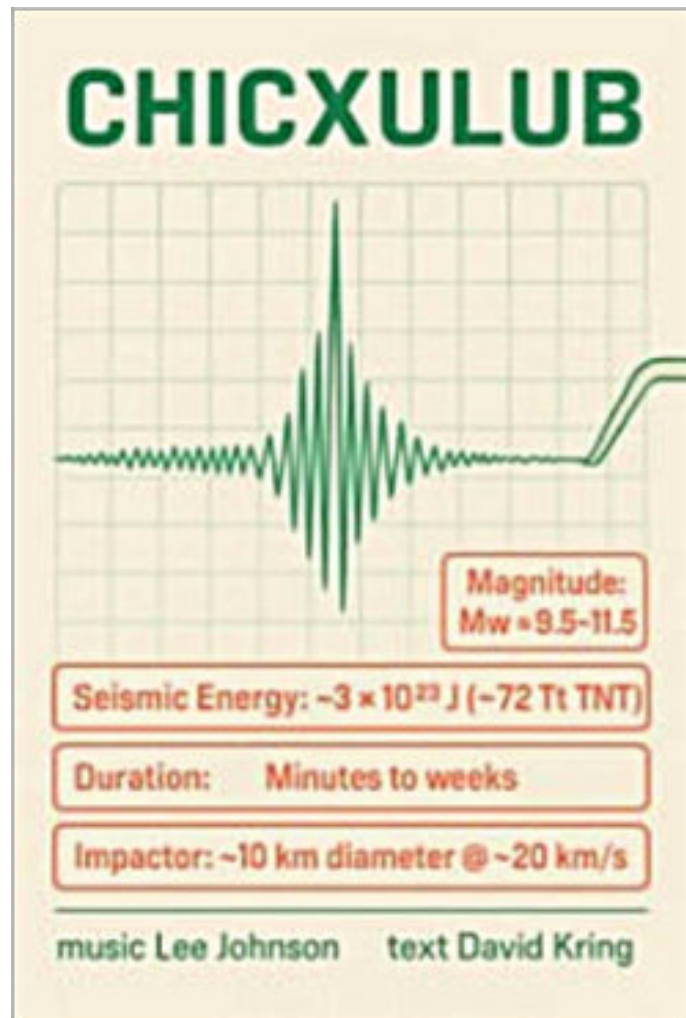
[lvalenciaf@ipn.mx](mailto:lvalenciaf@ipn.mx)

## The music of Chicxulub

David T. King, Jr., Geosciences,  
Auburn University, Auburn, Alabama USA.  
[kingdat@auburn.edu](mailto:kingdat@auburn.edu)

On November 17, 2025, the world premiere of "Chicxulub" was performed at Auburn University's Gogue Performing Arts Center in Auburn, Alabama. The performance featured the Auburn University Symphony Orchestra and the Auburn University Concert Choir performing together. This ground-breaking musical composition for symphony chorus and chamber orchestra was composed by nationally acclaimed composer and Auburn University music professor Lee Johnson. The score is available through [jwpepper.com](http://jwpepper.com). This new composition provided a rare fusion of physical science and orchestral music. Dr. David Kring from USRA's Lunar and Planetary Institute and Harvard University wrote the text that connects the orchestral work in scientific authenticity and drama. Dr. Kring is a leading expert in impact cratering and the scientist who originally helped link the Chicxulub impact crater in Mexico to the global KPg boundary mass extinction. He was present at the performance at Auburn University.

This is the logo for the orchestral music of "Chicxulub."



Part of David Kring's text that was vocalized by the concert choir included these lines: "An asteroid hits a layered target composed of carbonate platform sediments overlying granitic continental crust and the mantle. On impact, a transient cavity opens up, reaching a maximum depth of 32 kilometers 20 seconds after impact. The crater floor then begins to rise."

Part of the inspiration for the dramatic music came from a hydrocode simulation of the Chicxulub impact, which is openly available on the web at - [https://www.lpi.usra.edu/exploration/training/resources/impact\\_cratering/](https://www.lpi.usra.edu/exploration/training/resources/impact_cratering/)

The image above is taken from the Chicxulub simulation at the link given above. This point in the simulation is about 20 seconds after impact and shows the transient crater floor at a depth of about 32 km.

The image below shows the assembled musical group preparing for the performance of "Chicxulub" by Lee Johnson. Photo by Prof. Lee Johnson, Music department at Auburn University.



<https://www.usgs.gov/water-science-school>

<https://www.usgs.gov/water-science-school/science/desalination>



## Desalination

By Water Science School September 11, 2019.

Humans cannot drink saline water but saline water can be made into freshwater, for which there are many uses. The process is called "desalination", and it is being used more and more around the world to provide people with needed freshwater.

### Thirsty? How 'bout a cool, refreshing cup of seawater?

No, don't take us literally! Humans cannot drink saline water. But, saline water can be made into freshwater, which is the purpose of this portable, inflatable solar still (it even wraps up into a tiny package). The process is called desalination, and it is being used more and more around the world to provide people with needed freshwater. Most of the United States has, or can gain access to, ample supplies of freshwater for drinking purposes. But, freshwater can be in short supply in many parts of the Nation and world. And, as the population continues to grow, shortages of freshwater will occur more often, if only in certain locations. In some areas, salt water (from the ocean, for instance) is being turned into freshwater for drinking.

The "simple" hurdle that must be overcome to turn seawater into freshwater is to remove the dissolved salt in seawater. That may seem as easy as just boiling some seawater in a pan, capturing the steam and condensing it back into water (distillation). Other methods are available but these current technological processes must be done on a large scale to be useful to large populations, and the current processes are expensive, energy-intensive, and involve large-scale facilities.

### What makes water saline?

What do we mean by "saline water?" Water that is saline contains significant amounts (referred to as "concentrations") of dissolved salts. In this case, the concentration is the amount (by weight) of salt in water, as expressed in "parts per million" (ppm). If water has a concentration of 10,000 ppm of dissolved salts, then one percent of the weight of the water comes from dissolved salts.

### Here are our parameters for saline water:

Freshwater - Less than 1,000 ppm

Slightly saline water - From 1,000 ppm to 3,000 ppm

Moderately saline water - From 3,000 ppm to 10,000 ppm

Highly saline water - From 10,000 ppm to 35,000 ppm

By the way, ocean water contains about 35,000 ppm of salt.

## Infovolcán, un espacio digital para la vulcanología

Roberto Hassan Téllez Vizcaíno

Artemiza Mejía Sandoval

Ciencia y Tecnología - México

Infovolcán (Facebook: @infovolcanoficial) es un medio digital independiente dedicado a la vulcanología, los fenómenos geológicos y la cultura volcánica (Fig. 1). Nació con una intención clara: acercar al público general el conocimiento generado por científicos e instituciones, ofreciendo contexto y explicaciones que ayuden a entender mejor qué pasa cuando un volcán entra en erupción.

En redes sociales abundan videos espectaculares de erupciones, pero rara vez se explica qué significan, cuáles son los alcances reales del peligro o de dónde salen los datos. Infovolcán busca ocupar ese espacio intermedio: tomar la información técnica —boletines, artículos científicos, reportes oficiales— y traducirla a un lenguaje claro, sin perder precisión ni caer en el dramatismo fácil.

### Cómo empezó el proyecto

La idea de Infovolcán surgió en julio de 2015, durante un periodo de intensa actividad del Volcán de Colima. Aquellas erupciones mostraron algo muy evidente: la población quería entender lo que estaba ocurriendo, pero la información disponible era fragmentaria, tardía o demasiado técnica. En redes aparecían preguntas básicas —“¿es normal que salga tanta ceniza?”, “¿puede llegar hasta mi ciudad?”— que casi nadie respondía con prontitud ni con datos.

Aunque el impulso inicial nació en 2015, la página se fundó formalmente en 2017. Desde entonces, el proyecto se ha mantenido activo siguiendo la actividad volcánica nacional e internacional. El crecimiento más notable ocurrió en 2020, durante la pandemia de COVID-19, cuando una parte importante de la sociedad comenzó a buscar espacios confiables para informarse sobre

fenómenos naturales. En ese contexto, Infovolcán se consolidó como una referencia constante y, al mismo tiempo, como modelo para otros proyectos de divulgación que surgieron en esos años.

### Qué hacemos y cómo lo hacemos

El núcleo del proyecto es el seguimiento permanente de la actividad volcánica global. Revisamos boletines de observatorios, reportes de agencias oficiales y literatura científica revisada por pares. A partir de esa base, construimos contenidos que expliquen no solo *qué* está pasando, sino *por qué importa*.

Nuestra audiencia es el público general, no los especialistas. Por eso el esfuerzo se centra en traducir conceptos técnicos a ejemplos cotidianos. Las infografías que acompañan este texto ilustran bien esa lógica: desde la “Geología de un lápiz” (Fig. 4), que conecta un objeto escolar con rocas y minerales como la pómez, la bauxita o el grafito, hasta el esquema de los “Componentes de una columna volcánica” (Fig. 5), que vincula la imagen de una erupción con los elementos químicos y gases que la componen. La intención es siempre la misma: que quien vea una imagen no solo se impresione, sino que aprenda algo concreto.

El proyecto también produce otros formatos:

- resúmenes de artículos científicos recientes;
- textos divulgativos más extensos y artículos de opinión;
- material gráfico sobre terremotos, tsunamis y otros fenómenos asociados (Fig. 7);
- transmisiones en vivo tipo “Charlas Volcánicas”, donde se conversa con especialistas invitados;
- y, de forma ocasional, cursos virtuales como el Curso Básico de Vulcanología, pensado para estudiantes y público interesado en dar un primer paso más formal en el tema (Fig. 6).

Todo el contenido busca un equilibrio entre claridad, rigor y contexto. Evitamos la simplificación excesiva, pero también las interpretaciones especulativas que alimentan rumores o miedos innecesarios. Una parte importante del trabajo consiste en acompañar a la audiencia cuando un volcán entra en fase de mayor actividad: explicar qué

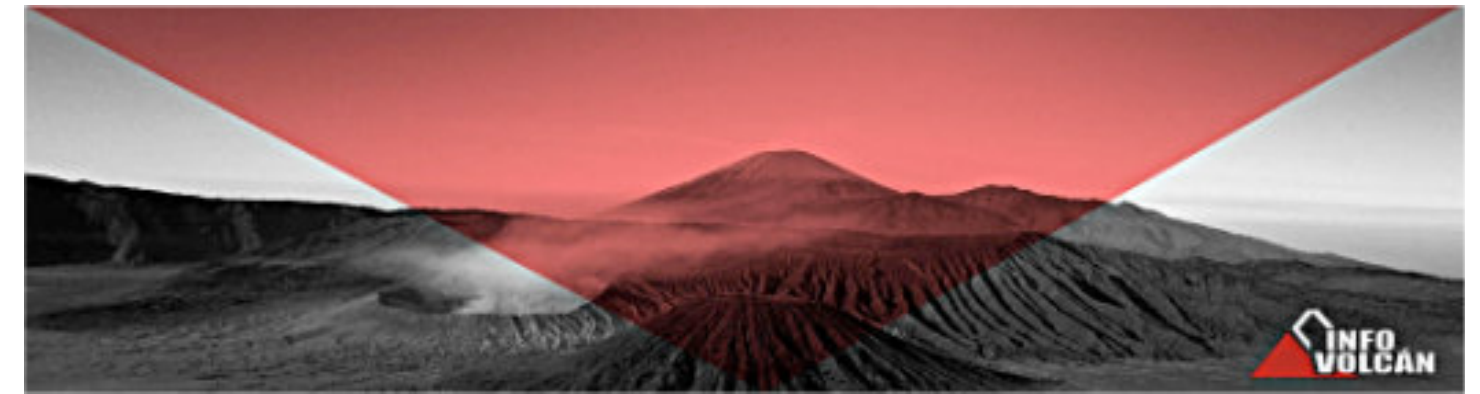


Figura 1. Imagen de portada de Infovolcán. Volcanes activos como símbolo del vínculo entre observación científica, comunicación del riesgo y fascinación social por estos sistemas.

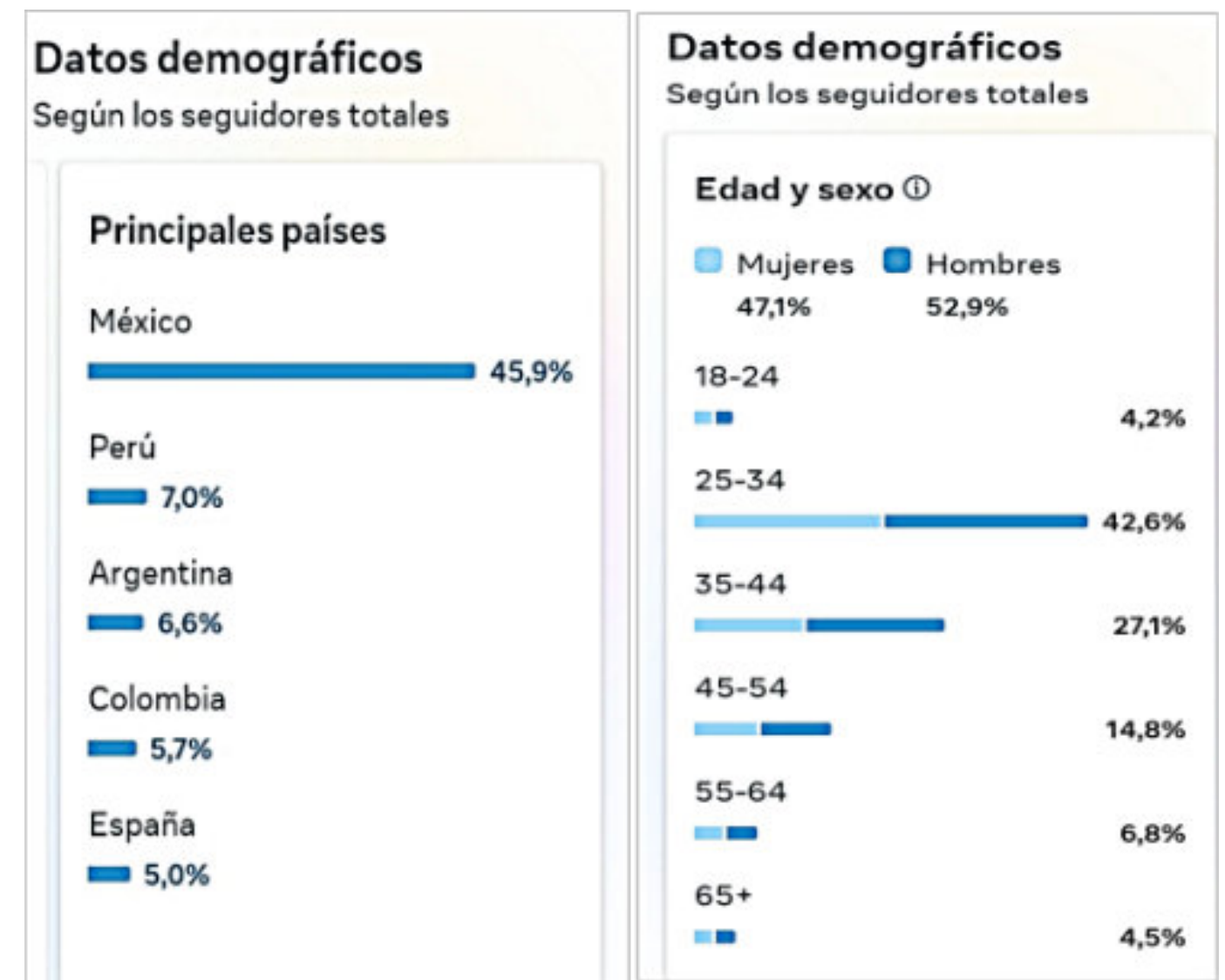


Figura 2. Distribución geográfica de la comunidad de Infovolcán en Facebook. Predominan personas usuarias de México, seguidas por países de América Latina y España.

Figura 3. Distribución por rangos de edad y sexo de la audiencia de Infovolcán. La mayoría de las personas seguidoras se concentran entre los 25 y 44 años, con una participación equilibrada entre mujeres y hombres.

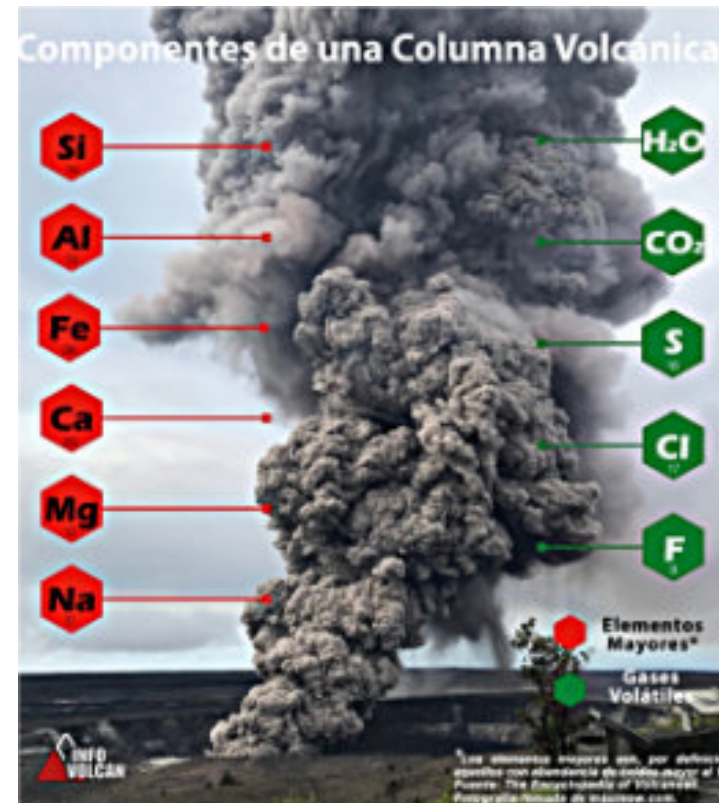


Figura 4. Infografía "Geología de un lápiz". Ejemplo de contenido que vincula objetos cotidianos con los minerales y rocas que los hacen posibles (pómez, azufre, bauxita, grafito y caolinita).

Figura 5. Infografía sobre los componentes de una columna eruptiva. Se ilustra la presencia de elementos mayores y gases volátiles en una erupción volcánica, a partir de una imagen real de campo.

**TOP 10**

**Terremotos más fuertes registrados (1900-2025)**

1. Biobío, Chile 1960-M9.5	6. Kamchatka, Rusia 2025-M8.8
2. Alaska, EE. UU. 1964-M9.2	7. Biobío, Chile 2010-M8.8
3. Sumatra, Indonesia 2004-M9.1	8. Esmeraldas, Ecuador 1906-M8.8
4. Tōhoku, Japón 2011-M9.1	9. Alaska, EE. UU. 1965-M8.7
5. Kamchatka, Rusia 1952-M9.0	10. Arunachal Pradesh, India 1950-M8.6

**CURSO BÁSICO DE VULCANOLOGÍA**

**Temario:** el origen del magma y su ascenso, los distintos tipos de volcanes, erupciones, productos, peligros y técnicas de monitoreo volcánico.

**M.G.A. Roberto H. Téllez Vizcaíno**

**Formato:** Virtual  
**Fecha:** 24-28 de julio  
**Hora:** 10-12 hrs (GMT-6)  
**Aportación:** \$100.00 MXN

**REGÍSTRATE**

Estudiantes 50% descuento

Escanea el código QR

contacto@infovolcan@gmail.com

Figura 6. Cartel del Curso Básico de Vulcanología impartido por Infovolcán. Ejemplo de las actividades formativas dirigidas a estudiantes y público general interesado en comprender mejor los procesos volcánicos.

Figura 7. Infografía "Top 10 de los terremotos más fuertes registrados (1900-2025)". Material complementario que sitúa la actividad sísmica extrema en contexto global, a partir de datos de catálogos sismológicos internacionales.

significan los cambios, qué escenarios son plausibles y cuáles no, y recordar la diferencia entre curiosidad científica y alarma social.

**Quiénes somos y quién nos sigue**

Actualmente, Infovolcán es sostenido por un equipo pequeño que combina formación científica y experiencia en comunicación digital:

- **Roberto Hassan Téllez Vizcaíno**, doctorado en Geociencias Aplicadas, se encarga de la revisión técnica y del vínculo con la comunidad académica.
- **Artemiza Mejía Sandoval**, licenciada en Periodismo Digital, coordina la línea informativa, la verificación de fuentes y el trabajo editorial.

Desde su inicio, la página ha reunido una comunidad de más de 30 mil seguidores en Facebook. Los datos demográficos de la plataforma muestran que casi la mitad de las personas que nos leen viven en México, seguidas por públicos crecientes en Perú, Argentina, Colombia y España (Fig. 2). La mayor parte de la audiencia se concentra en el rango de 25 a 44 años, con una distribución de género equilibrada (Fig. 3).

Más que un logro numérico, estas cifras señalan algo importante: existe un interés real por la vulcanología en el mundo hispanohablante, más allá de las zonas tradicionalmente volcánicas. Entre quienes nos siguen hay habitantes de áreas de riesgo, estudiantes de geociencias, docentes que utilizan las infografías en clase, personal de protección civil y personas simplemente fascinadas por los volcanes.

La comunidad no es pasiva. Comenta, pregunta, contrasta información y, en muchos casos, cuestiona titulares alarmistas que circulan en otras páginas. Esa interacción constante es uno de los motores del proyecto y, al mismo tiempo, una responsabilidad: obliga a mantener la calidad de la información y a corregir cuando hay dudas o errores.

**Por qué insistir en este tipo de espacios**

En un entorno digital donde los fenómenos naturales suelen tratarse con dramatización, rumores o desinformación, Infovolcán apuesta por un enfoque distinto: hablar de volcanes con seriedad, pero también con cercanía; mostrar datos, pero sin perder de vista a las personas que viven cerca de esos volcanes o que trabajan con ellos.

La labor diaria del proyecto es sencilla de enunciar y compleja de sostener: acercar el trabajo de investigadores e instituciones al público amplio, y hacerlo de forma responsable. Esto implica tiempo de lectura, traducción de conceptos, diseño gráfico y, sobre todo, constancia.

Infovolcán sigue creciendo y ajustándose a las necesidades de su comunidad. A futuro, el objetivo es fortalecer los materiales para estudiantes y docentes, ampliar las colaboraciones con grupos de investigación y observatorios, y consolidar un archivo digital de recursos volcánicos en español que sea útil para cualquiera que quiera entender mejor estos sistemas.

Desde esta plataforma, la invitación es abierta: a quienes investigan, enseñan, comunican o simplemente se asoman con curiosidad al mundo de los volcanes, Infovolcán ofrece un espacio para dialogar, aprender y construir una cultura volcánica mejor informada.

Ciencia y Tecnología |

**MC Roberto Hassan Téllez Vizcaíno**  
Doctorando

Camino a la Presa de San José 2055, Lomas 4ta sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, SLP, México.  
Teléfono: (444) 8342000 Ext. 6250

roberto.tellez@ipicyt.edu.mx

División de Geociencias Aplicadas

**2025**  
Año de La Mujer Indígena

## SIERRA DEL CONVENTO: OTRA FUENTE DE JADE ARQUEOLÓGICO EN EL CARIBE

Por Antonio Rodríguez Vega, Jesús Antonio Blanco Moreno, Roberto Díaz Martínez, (1)

(1) Escuela Superior de Ingeniería Lic. Adolfo López Mateos.  
Universidad Autónoma de Coahuila.  
Nueva Rosita, San Juan de Sabinas, Coahuila. México.

Correspondencia: [arvega48@yahoo.com](mailto:arvega48@yahoo.com)

### Resumen

Los objetos pétreos de la cultura aborígen taina en Cuba son muy abundantes y variados, encontrándose distribuidos en numerosas colecciones personales y museos de todas las categorías, desde los más importantes de La Habana y las capitales provinciales hasta los localizados en las cabeceras municipales y pequeños poblados. Dentro de estos objetos pétreos se destacan las hachas petaloides notablemente pulidas y de color predominante verdoso y ocasionalmente negro. Por encontrarse dentro del territorio del archipiélago cubano y estar relacionadas con la cultura aborígen taina, los arqueólogos, historiadores y geólogos siempre consideraron que dichas hachas fueron confeccionadas en Cuba y a partir de rocas conocidas en diferentes regiones del territorio cubano, tales como la diorita verdosa moteada, el basalto negro y la diabasa. Luego, cuando se determinó que estas hachas de color verde eran de jade o jadeíta surgió la idea de que las mismas fueron confeccionadas a partir de estos materiales, cuya fuente sólo se encontraba en Guatemala. Posteriormente, las investigaciones geológicas realizadas en Cuba y República Dominicana dieron lugar a nuevos hallazgos de jade, jadeítas y otras rocas asociadas con las cuales pudieron confeccionarse estas hachas petaloides.

El objetivo de esta publicación es dar a conocer algunos resultados de las investigaciones geológicas que condujeron al hallazgo de las jadeítas y otras rocas asociadas en la Sierra del Convento, en el extremo oriental de la Isla de Cuba y sus semejanzas con las hachas petaloides localizadas en colecciones personales y museos cercanos a esta localidad de, con la finalidad de apoyar la hipótesis de una nueva fuente de jade en el Caribe.

**Palabras clave:** Cultura taína. Hachas petaloides. Rocas jadeíticas del oriente de Cuba.

### Abstract

The stone artifacts of the Taíno aboriginal culture in Cuba are remarkably abundant and diverse, being distributed among numerous private collections and museums of all categories—from the major institutions in Havana and the provincial capitals to those located in municipal centers and small towns. Among these *lithic objects*, the petaloid celts stand out for their notable polish and their predominantly green, and occasionally black, coloration. Because these artifacts are found within the Cuban archipelago and are associated with the Taíno aboriginal culture, archaeologists, historians, and geologists long assumed that the axes had been manufactured in Cuba from rocks known to occur in various regions of the island, such as mottled green diorite, black basalt, and diabase. Later, when it was determined that the green axes were made of jade or jadeite, the idea emerged that they had been produced from these materials, whose only known source at the time was in Guatemala. Subsequently, geological investigations carried out in Cuba and the Dominican Republic led to new discoveries of jade, jadeite, and other associated rocks, from which these petaloid axes could have been crafted. The objective of this publication is to present some of the results of the geological investigations that led to the discovery of jadeite and other associated rocks in the Sierra del Convento, at the easternmost end of the Island of Cuba, and to highlight

their similarities with the petaloid axes found in private collections and museums near this locality, with the aim of supporting the hypothesis of a new jade source in the Caribbean.

**Keywords:** Taino culture. Petaloid celts. Jadeitic rocks from eastern Cuba.

### Introducción.

Los objetos arqueológicos de la cultura aborígen taina en Cuba, particularmente las hachas petaloides pulidas de diferentes colores y aspectos texturales macroscópicos se encuentran ampliamente distribuidas en todo el territorio del archipiélago cubano. En nuestra opinión, todas estas hachas fueron elaboradas por los aborígenes tainos cubanos utilizando rocas procedentes de conocidas localidades de la región oriental (Sierra del Convento) y la región central (Escambray). De estas dos regiones con sus respectivas áreas o localidades de mayor interés, en correspondencia con los resultados obtenidos en las últimas investigaciones sobre la caracterización petrográfica de las hachas petaloides pulidas y las probables rocas utilizadas para su confección; nos inclinamos por la región oriental de la isla de Cuba y su localidad de Sierra del Convento. Esta región fue origen de las más importantes utilizadas en la confección de las hachas petaloides y otros objetos pétreos de la cultura aborígen taina, en Cuba en particular y en la región caribeña, incluyendo las Bahamas en general, sin descartar del todo la región central de Cuba como fuente y, en particular, algunas localidades del Macizo Metamórfico Escambray.

Los resultados mostrados en la presente investigación, en nuestra opinión, constituyen sólidos argumentos que apoyan la hipótesis de la existencia de varias fuentes de las rocas utilizadas en las confección de las hachas petaloides pulidas y otros objetos con características pétreas semejantes al jade, las jadeítas y otras rocas asociadas en la región del Caribe y las Bahamas, en lugar de la única fuente conocida durante siglos en Guatemala, previo a los nuevos hallazgos de potenciales fuentes de estas rocas en las Grande Antillas, como el de Sierra del Convento, en Cuba y Río San Juan, en República Dominicana.

Dentro de los argumentos más sólidos a tomar en consideración para considerar Sierra del Convento se destacan la cantidad significativamente elevada estas hachas que aparecen por doquier en la región oriental y particularmente en Sierra del Convento y sus alrededores y su comprobada correspondencia petrográfica con una gran diversidad de rocas que afloran dentro de los límites de esta sierra y particularmente relacionadas con las Metamorfitas Macambo. Muchas de estas hachas son resguardadas como objetos personales y en pequeños en localidades del Valle de Caujerí (Puriales de Caujerí, Guaibanó, Maya de Caujerí y otras) San Antonio del Sur, Baracoa y Moa, con fuerte evidencias de sitios arqueológicos asociados a la cultura aborígen taina.

Como resultado de las últimas investigaciones realizadas con la finalidad de esclarecer la procedencia de los materiales utilizados en la confección de objetos pétreos de la cultura aborígen taina, ya se ofrecen algunos datos que apuntan hacia Sierra del Convento como una posible fuente. Harlow, G., *et al.* 2019, realizaron el estudio el estudio de cuatro objetos afines a la jadeíta localizados en la isla de San Salvador, Bahamas, mediante técnicas mineralógicas y petrográficas, los cuales fueron comparados con los resultados de estudios similares efectuados en jadeítas provenientes de fuentes conocidas en la región del Caribe: Guatemala (tanto del mélange norte como del sur de Motagua); el mélange Sierra del Convento, Cuba; y el complejo Río San Juan, República Dominicana.

Tres de los cuatro artefactos son de jadeítas y uno es una roca metavolcánica con metamorfismo de facies de esquistos verdes. Cada uno de los tres objetos de jadeíta se distinguió por su asociación mineral y las texturas de intercrecimiento microscópico de sus minerales. Uno de los tres objetos de jadeítas estudiados presenta fuertes similitudes con una variedad de jadeíta conocida en Cuba, la fuente geográficamente más cercana a las Bahamas.

Los otros dos objetos muestran características únicas, ya sea en su asociación mineral o en su textura, que no se han observado hasta la fecha en rocas de las fuentes conocidas. Por consiguiente, es necesario continuar la búsqueda de una mayor diversidad dentro de las fuentes documentadas o encontrar nuevas fuentes de jadeíta que se ajusten a lo observado.

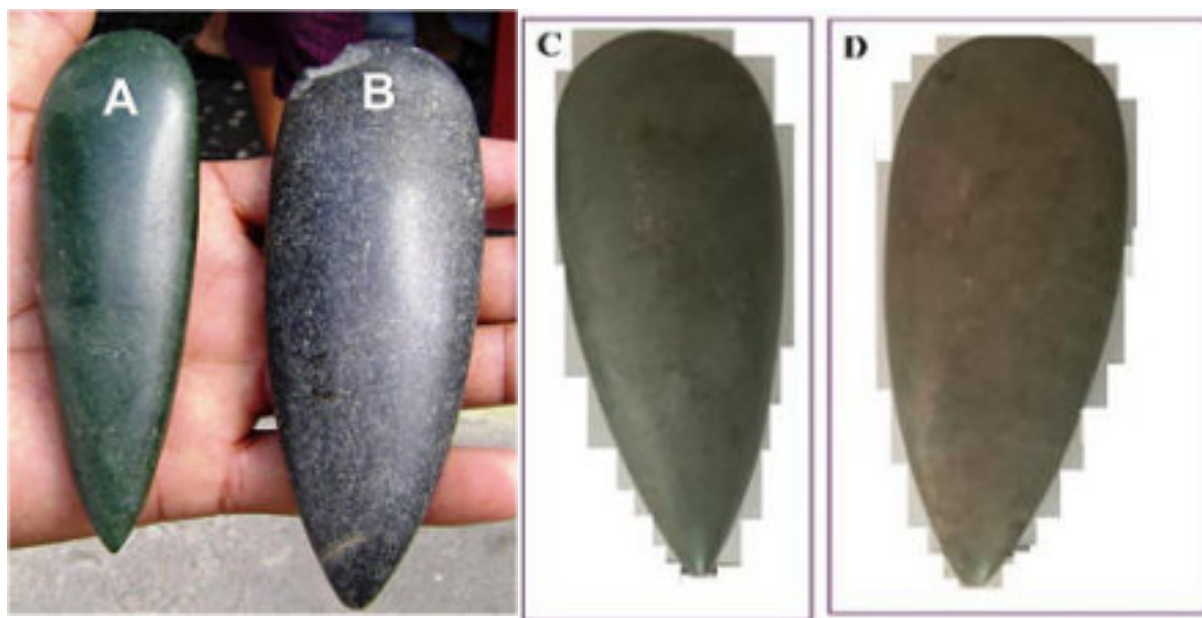


Figura 1.- Fotografías de algunas hachas petaloideas pulidas localizadas en las regiones central y oriental de Cuba. 1A: Hacha petaloide similar a la encontrada por Francisco Ortega en Tamarindo, Ciego de Ávila, región central de Cuba; la fotografía es cortesía del geólogo Evelio Linares Cala (tomada de INTERNET). 1B: Hacha petaloide negra supuestamente localizada en algún museo de Jatibonico, provincia de Sancti Spíritus, región central de Cuba. 1C y 1D: hachas petaloideas localizadas en el museo histórico de la localidad de Moa, provincia de Holguín, región oriental de Cuba

### Características geográficas de Sierra del Convento

La Sierra del convento se ubica en la región sureste de la isla de Cuba, específicamente en el municipio San Antonio del Sur, provincia de Guantánamo, en la costa del mar Caribe, conformando el flanco sur del macizo montañoso Sierra del Purial. Está constituida por un conjunto de colinas relativamente altas, desmembradas y separada por varios ríos de cursos cortos e intermitentes que desembocan en el mar caribe, dentro de los cuales se destacan los ríos Sabanalamar, Palenque, Guardaraya y Yacabo. Presenta un relieve muy contrastante y bien definido por sus características geomorfológicas, como se puede observar en la imagen satelital (Fig. 2A). Su clima es semiárido, como se puede apreciar en la imagen satelital y en la fotografía representada en la figura 2B, el cual contrasta con el clima tropical húmedo del resto de isla de Cuba.

### Principales características geológicas de Sierra del Convento.

Las principales características geológicas de Sierra del Convento y áreas aledañas se pueden observar en el mapa geológico simplificado a escala 1:50000, confeccionado por Kulachkov y Laiva, 1961 (Fig. 3). Hacia el norte de Sierra del Convento afloran las metavulcanitas de Sierra del Purial, mientras que hacia la parte central y sur afloran las Metamorfitas Macambo y serpentinitas en contacto tectónico con las metavulcanitas Sierra del Purial; hacia el sur y el oeste se observa una cobertura sedimentaria cenozoica que discordantemente recubre a las unidades geológicas más antiguas de probable edad Cretácico Inferior parte alta-Cretácico Inferior parte baja, con edades K/Ar y U/Pb comprendidas entre 116 y 82 millones de años (Kulachkov y Leiva, 1961, Somin y Millán, 1981)

Según Somin y Millán, 1981, la edad K-Ar más antigua se obtuvo de unas anfibolitas y fue de 116 millones de años aproximadamente; sin embargo, los metagranitoides que las cortan fueron fechados con 82 millones de años (Hatten, *et al.*, 1989). Un fechado U-Pb dudoso de unos esquistos zoisíticos dio una edad poco menor que

103- 105 millones de años para el metamorfismo y poco mayor que 120-126 millones de años para su protolito (Hatten, *et al.*, 1989).

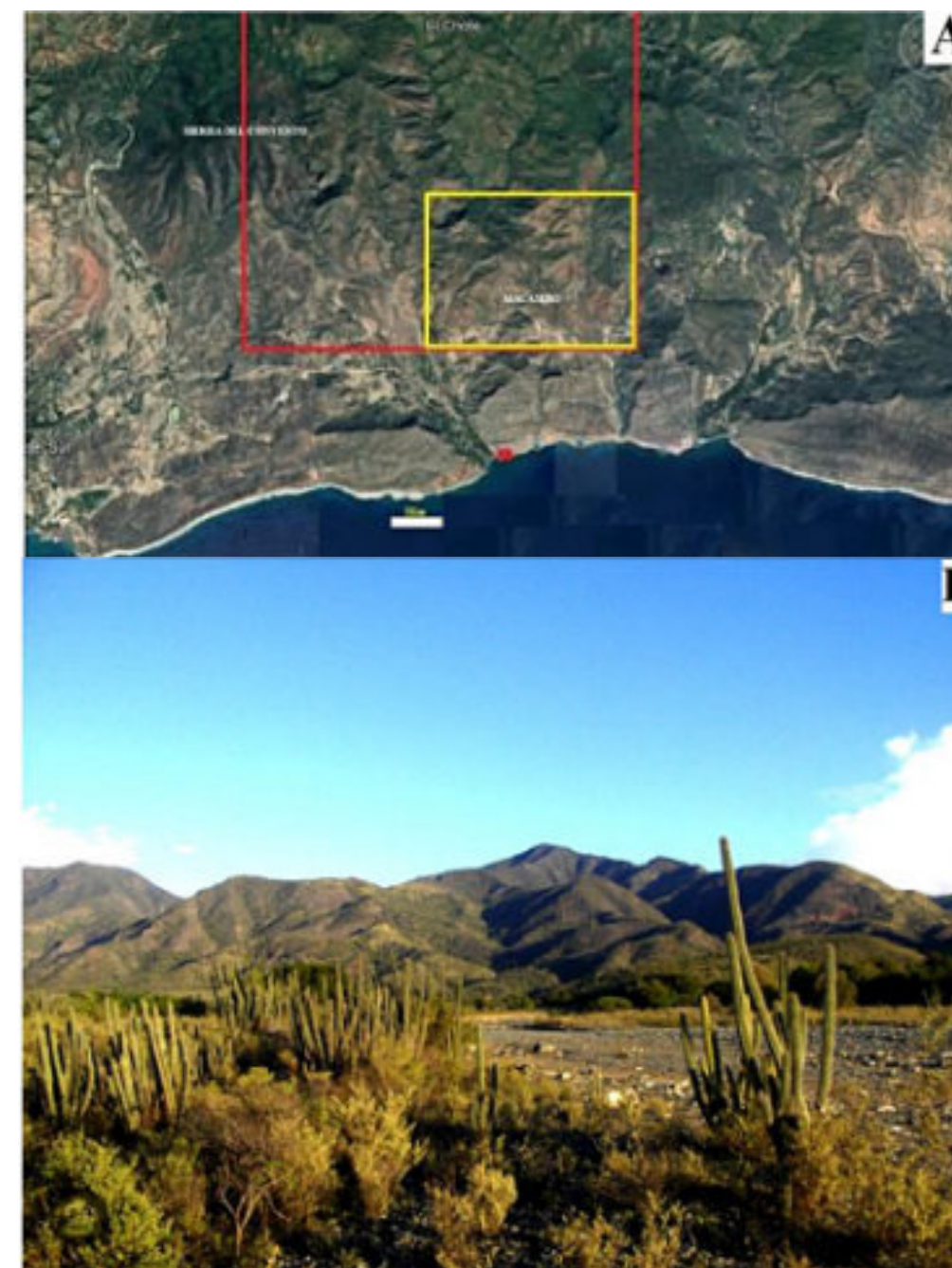


Figura. 2. Imagen satelital de la región (2A) y vista panorámica de la Sierra del Convento en el área de Macambo (2B).

Somin y Millán, 1981, consideran que las Metamorfitas Macambo constituye un cuerpo de unos 30 Km<sup>2</sup> expuesto en la Sierra del Convento, extremo suroriental de la Sierra del Purial, compuestas por bloques de metamorfitas de alta presión dentro de una matriz de serpentinita muy cizallada. Dentro de los bloques de metamorfitas se destacan anfibolitas melanocráticas con clinzoisita, mica blanca y granate, que conservan restos de estructuras magmáticas y de grandes cristales de piroxeno, las cuales a veces son cortadas por metagranitoides zoisíticos. También se observan afloramientos de rocas zoisíticas y clinopiroxeno-zoisíticas bandeadas, esquistos glaucofánicos, esquistos jadeíticos, rocas eclogíticas, metasilicitas granatíferas, hornblenditas densas y antigorititas. De acuerdo con las últimas investigaciones geológicas efectuadas en Sierra

del convento se supone que las Metamorfitas Macambo y las serpentinitas constituyen una melange conformada por bloques de metamorfitas de alta relación P/T dentro de una matriz serpentinitica esencialmente antigoritica indicadora de una paleozona de subduccion de edad cretacea. Estas investigaciones confirmaron la presencia de las metamorficas reportadas por Somin y Millán y contribuyeron a la revelación de la existencia de las jadeititas y jade jadeítico en esta localidad (García-Casco et al, 2006, García-Casco, A., et al 2006, Cárdenas-Párraga, J., et al, 2010, Blanco-Quintero, I., 2010, Cárdenas-Párraga, J., et al, 2012).

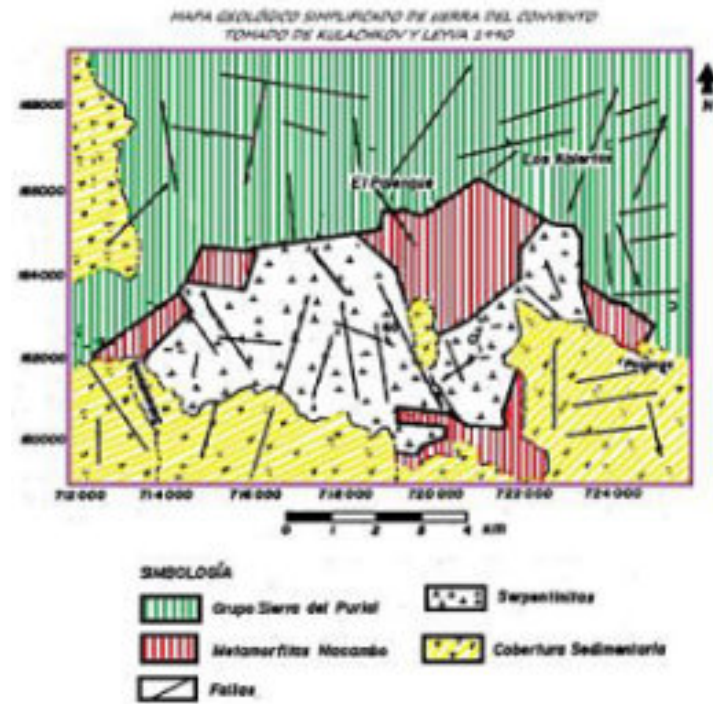


Figura 3. Mapa geológico simplificado a escala 1:50,000 de Sierra del Convento, según Kulachko y Leiva, 1990.

### Metodología.

La presente investigación se llevó a cabo mediante la realización de las siguientes tareas:

- 1.- Trabajos de campo encaminados al estudio de las rocas de interés asociadas a las Metamorfitas Macambo en Sierra del Convento.
- 2.- Estudio petrográfico macroscópico de objetos pétreos de la cultura, particularmente las hachas petaloides, existentes en colecciones personales y de museos de diferentes categorías próximos a Sierra del Convento en la región oriental de la isla de Cuba y su comparación con las características petrográficas macroscópicas de las rocas de interés asociadas a las Metamorfitas Macambo previamente estudiadas.
- 3.- Preparación de láminas delgadas de las rocas de interés y su estudio con ayuda del microscopio petrográfico.

### Resultados.

Los trabajos de campo permitieron la identificación, localización, descripción y muestreo de los afloramientos de las rocas de interés asociadas a las Metamorfitas Macambo, con énfasis en las jadeititas de diferentes tipos y rocas asociadas (Fig. 4A y Fig. 4B).



Figura 4.- Afloramiento de un gran bloque de jadeitita dentro de la melange serpentinitica estudiado durante una práctica docente de cartografía geológica (4A). Detalles de un gran bloque de jadeitita dentro de la melange serpentinitica (4B).

El levantamiento de los objetos pétreos, particularmente de las hachas petaloideas de las colecciones personales y de los museos en las localidades cercanas a Sierra del convento permitió la localización, descripción e identificación macroscópica de numerosas hachas con características petrográficas semejantes a las de las rocas previamente estudiadas de las Metamorfitas de Macambo, algunas de las cuales se muestran y describen y sus fotografías están recogidas en las Figuras 5, 6 y 7. En general, las hachas petaloideas localizadas en la región oriental de la isla de Cuba y próximas a Sierra del convento presentan características semejantes a las encontradas en otras regiones de Cuba, algunas de las cuales se muestran en la Figura 1.

En la Figura 5 se muestra un hacha petaloide que pudiera considerarse como única, muy rara y atractiva. Petrográficamente presenta una textura brechosa, conformada por clastos de una roca de muy fina granularidad y color verde grisáceo dentro de una matriz, también de grano muy fino, de color verde oscuro. Estas características texturales pudieran corresponderse con la de una brecha tectónica afectada por procesos hidrotermales, típica de muchas jadeititas de Sierra del Convento. Sin duda se trata de un hacha petaloide confeccionada a partir de una jadeitita brechosa de color verde grisáceo que fue localizada en la localidad de Moa, situada 65 km al NW de Sierra del Convento. Es de una colección personal y cortesía del Lic. Ibrahim Montero Ramos, historiador de la ciudad de Moa.



**Figura 5.-** Hacha petaloide confeccionada a partir de una jadeitita brechosa de color verde grisáceo, localizada en la localidad de Moa, situada 65 km al norte de Sierra del Convento. Es colección personal y cortesía del Lic. Ibrahim Montero Ramos, historiador de la ciudad de Moa.

En la Figura 6 se muestran dos hachas petaloideas de con características muy peculiares, sin duda alguna confeccionadas a partir de jadeititas de muy fina granularidad y texturas muy homogéneas que le concede un aspecto bastante afanítico. La representada a la izquierda (6A) presenta la coloración típica del jade jadeítico verde floresta muy atractivo, confeccionada a partir de una jadeitita que pudiera catalogarse como jade jadeítico de buena calidad, muy afanítica, homogénea y translúcida en los bordes. A la derecha (6B) se observa

un hacha petaloide de color negro bastante intenso y homogéneo, translúcida en los bordes, que al parecer pudo haberse confeccionada a partir de la variedad de jadeitita negra que muy frecuentemente se encuentra en Sierra del Convento, a las cuales fueron estudiadas en láminas delgadas con ayuda del microscopio petrográfico, lo que permitió confirmar que se tratan de auténticas jadeititas negras casi monominerales de jadeíta con esporádicos cristales de un mineral con las características de la epidota (Fig. 13). Estas hachas fueron localizadas en la ciudad de Baracoa, situada 36 km al noreste de Sierra del Convento, pertenecientes a la colección personal de Roberto Orduñez, reconocido arqueólogo de esta ciudad que atesora una valiosa colección de objetos pétreos de la cultura taina.



**Figura 6.-** Hachas petaloideas de jadeititas localizadas en la ciudad de Baracoa situada 36 km al noreste de Sierra del Convento. Cortesía Roberto Orduñez, reconocido arqueólogo de la región más oriental de Cuba.

En la Figura 7 se muestra una fotografía de un hacha petaloide con características petrográficas macroscópicas muy diferentes a las anteriormente descritas, que parecen corresponderse con la de una roca de color verde y textura parecida que aflora en el cauce del río Palenque, en la localidad conocida como Paso de Yeguas. Como se puede observar, esta hacha parece haberse confeccionado a partir de una roca en la que se aprecian pequeños cristales de un mineral de color blanco, euedrales y subedrales, distribuidos de forma muy homogénea, lo que le concede la apariencia de una textura porfídica (porfiroblástica). De acuerdo con un estudio muy preliminar de sus características petrográficas en una lámina delgada, con ayuda del microscopio petrográfico, es probable que los pequeños cristales del mineral blanco que resalta en esta roca se correspondan con pseudomorfos de minerales del grupo de la epidota (zoisita, clinzoisita y epidota) originados a partir de lawsonita. Se encuentra localizada en el museo histórico de San Antonio del Sur, localidad situada 8 km al SW de Sierra del Convento.



Figura 7.- Hacha petaloide posiblemente confeccionada a partir de una roca verde zoisítica localizada en el museo de historia de San Antonio del Sur

Además de las atractivas hachas petaloides pulidas, en Sierra del Convento y sus alrededores son extraordinariamente frecuentes los hallazgos de pequeñas y rústicas hachas petaloides y otros objetos de la cultura aborigen taina, sin duda alguna confeccionados a partir de las jadeititas y rocas asociadas presentes en Sierra del Convento, lo que constituye un sólido argumento acerca de la gran importancia de esta localidad como fuente de jade y jadeititas en la región del Caribe.



Figura 8.- Colección de diversos objetos pétreos localizados en el museo de historia de San Antonio del Sur, confeccionados a partir de diversas rocas asociadas a las Metamorfitas Macambo en Sierra del Convento.

Las láminas delgadas confeccionadas y estudiadas con ayuda del microscopio petrográfico (Fig. 9) permitieron la descripción e identificación de las rocas asociadas a las Metamorfitas Macambo y que supuestamente, por sus semejanzas macroscópicas, supuestamente pudieron ser utilizadas en la confección de los diversos tipos de hachas petaloides encontradas en las proximidades de Sierra del Convento en la región oriental de la isla de Cuba. En particular se le presta especial atención al estudio de la jadeitita negra supuestamente utilizada en la confección de las hachas petaloides de semejante color y textura por las más raras dentro la diversidad de todas las hachas encontradas en las colecciones particulares y de los museos próximos a Sierra del convento (Fig. 9C).

- A grosso modo en las fotografías de las láminas delgadas de la figura 9 se puede apreciar las texturas de las rocas estudiadas. La fotografía de la figura 9A de la lámina en preparación de una jadeitita verde muestra una textura brechosa de bloques de jadeíta de un color verde muy intenso dentro de una matriz de un color gris verdoso, textura que se replica en la figura 9B en la lámina ya terminada. Las características mineralógicas y texturales de esta roca, determinadas mediante el estudio de su lámina delgada con ayuda del del microscopio petrográfico, concuerdan con los obtenidos en investigaciones precedentes por CárdenasPárraga, J., *et al*, 2012, tal y como se puede observar en las Figuras 10 y 11.

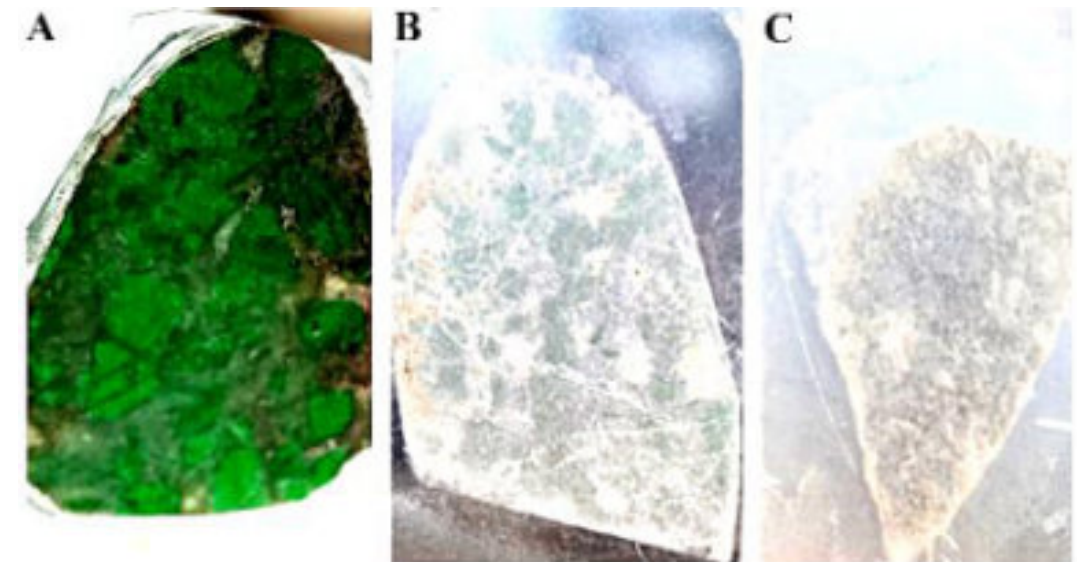


Figura 9. Láminas delgadas en proceso de preparación y terminadas: en proceso de preparación (9A); terminadas (9B y 9C). Las fotografías 9A y 9B corresponden a la misma lámina: 9A en preparación y 9B terminada.

Las microfotografías de la Figura 10 muestra la textura granular fina de los bloques de jadeíta verde observados en la Figura 9A y 9B. Estos bloques están constituidos principalmente por jadeíta intercrecida con omfacita subordinada. Por su parte, las microfotografías de la Figura 11 muestran la textura y composición mineralógica más compleja de la matriz que encierra los bloques de jadeíta verde observada en la Figura 9.

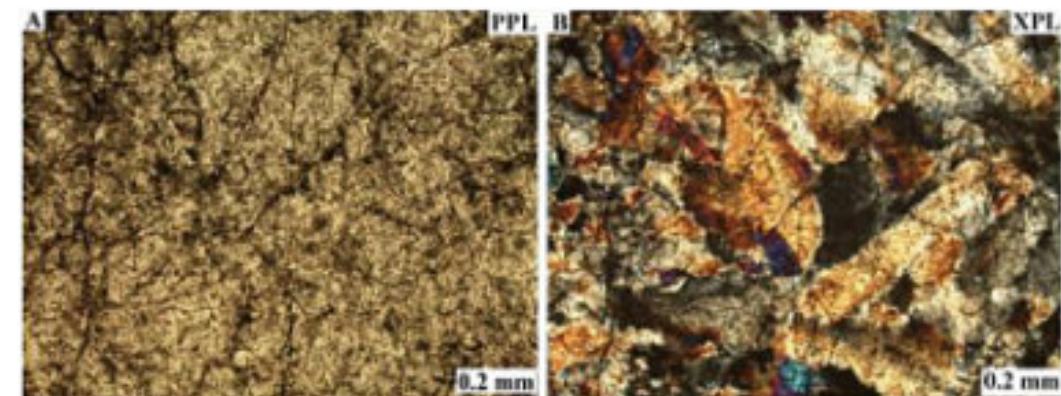


Figura 10.- Microfotografías de jadeíta en bloques de jadeitita con textura brechosa.

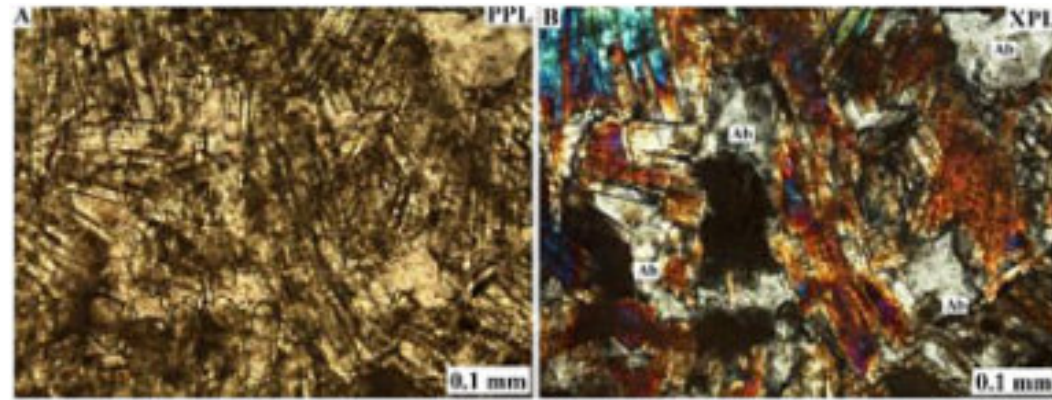


Figura 11.- Microfotografías de la matriz de jadeitita con textura brechosa.

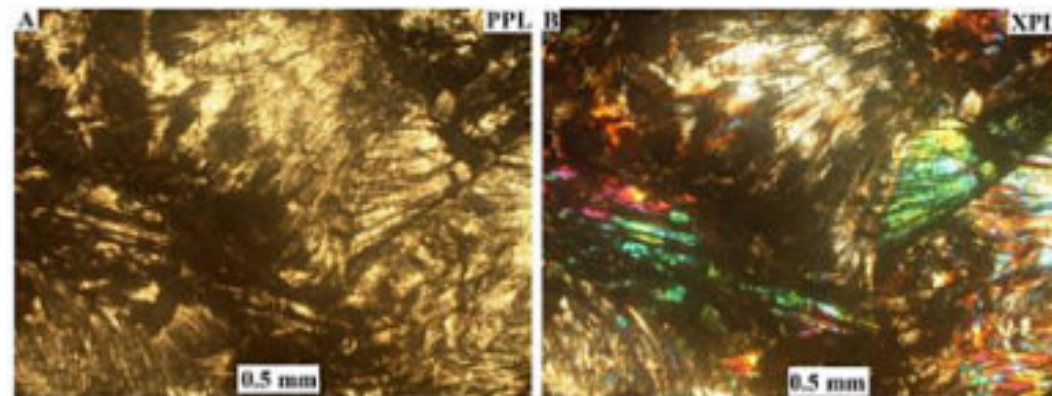


Figura 12.- Microfotografías de jadeitita constituida cristales notablemente grandes de jadeíta y omfacita que contrastan con los de las jadeititas de fina y muy fina granularidad.

Las microfotografías representadas en la Figura 13 fueron obtenidas de una lámina delgada de jadeitita negra de Sierra del convento, constituida casi totalmente por jadeíta y escasos cristales de un mineral con las características de la epidota. Presenta una textura granoblástica muy fina y homogénea.

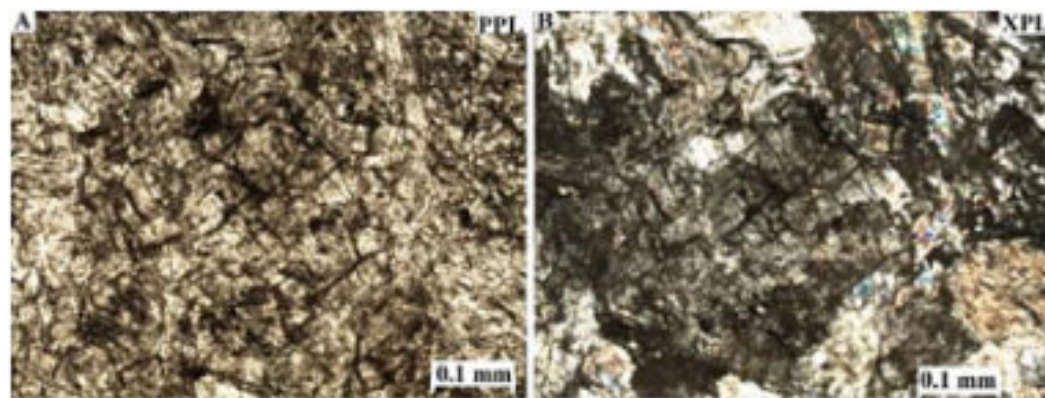


Figura 13.- Microfotografías de una jadeitita negra de Sierra del Convento. El mineral con colores de interferencia de orden más elevado que resalta dentro de la jadeíta con colores de interferencia de primer orden pudiera ser epidota.

## Discusión

Los primeros indicios acerca de la presencia de rocas jadeíticas (que no jadeititas) en Sierra del Convento y particularmente en el área de Macambo fueron reportados por Somin y Millan, 1981.

En su publicación de los autores citados sobre las Metamorfitas Macambo ocurrió en una época en que existían pocos conocimientos acerca de las melanges serpentínicas y su relación con las metamorfitas de alta relación P/T y las paleozonas de subducción.

Desde nuestro punto de vista, dentro de la asociación de rocas descritas por Somin y Millán en Sierra del Convento, resultan de gran interés a los efectos arqueológicos las rocas zoisíticas, clinopiroxeno-zoisíticas, los esquistos jadeíticos, las rocas eclogíticas y las hornblenditas densas, debido a que todas estas litologías se han utilizados en la fabricación de hacha petaloides y otros objetos pétreos primitivos en numerosas localidades del mundo. Muy probablemente algunas de estas rocas reportadas por Somin y Millán dentro de las Metamorfitas Macambo pudieran correspondese con rocas que en las investigaciones posteriores fueron reportadas como jadeititas, entre ellas los esquistos jadeíticos, las rocas clinopiroxeno-zoisíticas y las rocas eclogíticas. En estos tres casos se trata de rocas constituidas esencialmente por clinopiroxenos.

En las últimas investigaciones realizadas no se reporta la presencia de eclogitas en Sierra del Convento, lo que obliga a pensar que las supuestas rocas eclogíticas de Somin y Millán pudieran ser rocas omfacíticas u omfacititas, que son rocas prácticamente consideradas como jadeititas por sus semejanzas con ellas y por su estrecha asociación genética y espacial en los complejos de subducción. De igual modo pudieran considerarse las rocas piroxeno zoisíticas ya que el piroxeno en esta roca pudiera ser jadeíta u omfacita, acompañado de zoisita, lo que se observa en las jadeititas de Sierra del Convento.

García-Casco *et al*, reconocen la presencia de jadeititas y jade jadeítico en Sierra del Convento asociadas a una mélangé de subducción con matriz serpentínica que hospeda bloques tectónicos de anfibolita granatífera-epidota, gneis epidótico tonalítico-trondhjemítico y esquisto azul, destacando que las asociaciones minerales del jade y las jadeititas son variadas e incluyen combinaciones de jadeíta, omfacita, albita, paragonita, analcima, clinozoisita-epidota, apatito, flogopita, fengita, clorita, glaucofana, titanita, rutilo, circón y cuarzo, formadas en diferentes etapas a causa de cambios en las condiciones de presión-temperatura. Algunas rocas constituidascasi exclusivamente de jadeíta muestran evidencia de cristalización a partir de fluidos en vetas, con características texturales y químicas complejas de la jadeita que indican su crecimiento en un medio químico cambiante con fuerte influencia hidrotermal.

Cárdenas-Párraga, J., *et al*, destacan el carácter hidrotermal de las jadeititas y hacen énfasis en la heterogeneidad de sus asociaciones minerales y texturas a escala de la muestra de mano. La mayor parte de las rocas estudiadas están representadas por jadeititas verde claro casi pura, que contiene áreas nodulares más oscuras de tamaño milimétrico a centimétrico, ricas en omfacita. Con frecuencia se distinguen bandas de un color verde oscuro, ricas en omfacita y con límites difusos, que atraviesan y se sobreimprimen en las jadeititas, las cuales son consideradas como rocas de jadeíta-omfacita. La jadeitita está formada esencialmente por cristales idiomórficos de jadeíta en forma de bloques, de 0,25 a 0,5 mm de tamaño. La omfacita, la albita, la titanita y el apatito son constituyentes minoritarios. La jadeitita presenta regiones nodulares donde la omfacita tiene un tamaño de grano similar al de la jadeíta en bloques, ocupando claramente posiciones intersticiales en estos nódulos y presentando hábito xenomórfico o facetado.

La omfacita también se presenta como inclusiones de grano fino dentro de la jadeíta, mostrando un hábito facetado. Estas texturas se interpretan como indicativas de una etapa tardía de cristalización en cavidades abiertas. Los cristales de albita son intersticiales, de grano fino y xenomórficos, generalmente asociados con la omfacita (fig. 11). La textura de la albita indica una etapa tardía de crecimiento. Las bandas de jadeíta-omfacita están compuesta principalmente por jadeíta y omfacita, aunque la omfacita tiende a presentarse en mayor cantidad que la jadeíta. Ambas fases aparecen como agregados intercrecidos de grano fino a muy fino de cristales xenomórficos (fig.10). Las formas idiomórficas son compatibles con la cristalización en una cavidad, probablemente formada al abrirse esta durante el movimiento de la falla (Fig. 11).

## Conclusiones.

Sin duda alguna, el hallazgo de jadeititas y jade jadeítico y demás rocas asociadas en Sierra del Convento reviste una importancia extraordinaria en el estudio del jade arqueológico en la región caribeña, planteando nuevos retos acerca de las fuentes de suministro de tan apreciados materiales de las culturas mesoamericanas y caribeñas.

En nuestra opinión, la mayoría de las hachas petaloide encontradas en Cuba pudieron confeccionarse a partir de estas rocas reportadas en Sierra del Convento y particularmente en el área de Macambo. En toda Cuba y particularmente en la región oriental, tanto en colecciones particulares como en museos de diferentes categorías, desde pequeños museos locales de barrios y municipios hasta reconocidos museos de capitales provinciales y el reconocido museo habanero Montané de la Universidad de La Habana, se encuentran hachas y otros objetos pétreos de nuestra cultura aborigen que por analogía responden a la diversidad de litologías reportada en Sierra del Convento. Por su aspecto petrográfico macroscópico se destacan las hachas con las características petrográficas macroscópicas de las rocas zoisíticas (Fig. 7) y clinopiroxeno-zoisíticas o jadeitita con epidota (Fig. 6B); las hachas constituidas por rocas jadeíticas (esquistos jadeíticos, jadeititas, omfacititas o rocas de omfacita-jadeita) son predominantemente de color verde y las que más abundan en diversas variedades, incluyendo la jadeitita brechosa (Fig. 5 y Figura 6b).

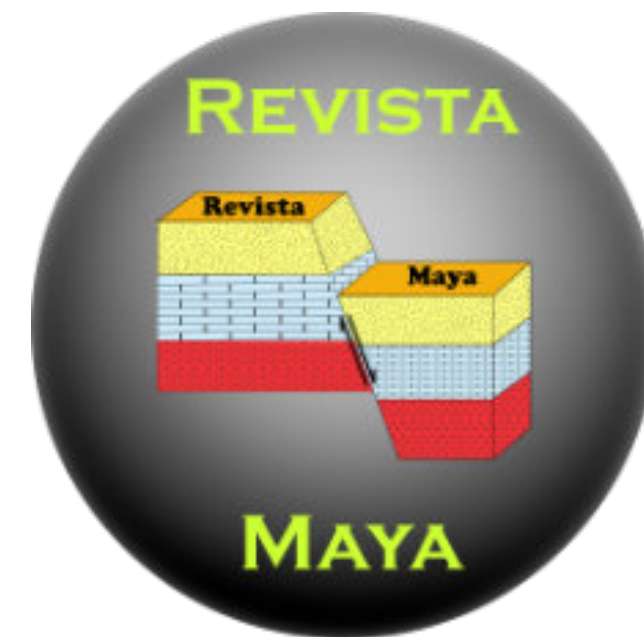
## Referencias.

- Blanco-Quintero, I. F.**, García-Casco, A., Rojas-Agramonte, Y., Rodríguez-Vega, A., Lázaro, C., & Iturralde-Vinent, M. A. (2010). Metamorphic Evolution of Subducted Hot Oceanic Crust (La Corea Mélange, Cuba). *American Journal of Science*, 310(9), 889–915. <https://doi.org/10.2475/11.2010.01>
- Cárdenas-Párraga, J.**, García-Casco, A., Harlow, G. E., Blanco-Quintero, I., Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Hydrothermal origin and age of jadeitites from Sierra del Convento Mélange (Eastern Cuba). Article in *European Journal of Mineralogy* · March 2012 DOI: 10.1127/0935-1221/2012/0024-2171.
- Cárdenas-Párraga, J.**, García-Casco, A., Núñez-Cambra, K., Rodríguez Vega, A., Blanco-Quintero, I. F., Harlow, G. E., Blanco-Quintero, I., Lázaro, C., 2010, Jadeitite jade occurrence from the Sierra del Convento mélange (eastern Cuba): *Bol. Soc. Geol. Mex* vol.62 no.1 Ciudad de México ene. 2010.
- García-Casco, A.**, Torres-Roldán, R.L., Iturralde-Vinent, M., Millán, G., Núñez Cambra, K., Lázaro Calisalvo, C., Rodríguez Vega, A., 2006, High pressure metamorphism of ophiolites in Cuba: *Geologica Acta*, 4, 63–88.
- García-Casco, A.**, Rodríguez Vega, A., Cárdenas Párraga, J., Iturralde-Vinent, M.A., Lázaro, C., Blanco Quintero, I., Rojas Agramonte, Y., Kröner, A., Núñez Cambra, K., Millán, G., Torres-Roldán, R.L., Carrasquilla, S., 2009, A new jadeitite jade locality (Sierra del Convento, Cuba): first report and some petrological and archaeological implications: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 158, 1–16.
- Harlow, G.**, Berman, M., Cárdenas-Párraga, J., Perry, J., Gnivecki, L., 2019, Pre-Columbian jadeitite artifacts from San Salvador Island, Bahamas and comparison with jades of the eastern Caribbean and jadeitites of the greater Caribbean region: *Journal of Archaeological Science Reports* 26(1):101830 DOI: 10.1016/j.jasrep.2019.04.019.
- Kulachkov, L.V.**, Leyva, R.C., 1990, Informe sobre los resultados de los trabajos de reconocimiento geológico para cuarzo filoniano en la parte oriental de Cuba: Moa, Cuba, Instituto Superior Minero-Metalúrgico, unpublished report.
- Lázaro, C.**, García-Casco, A., Rojas-Agramonte, Y., Kröner, A., Neubauer, F., Iturralde-Vinent, M., 2009, Fifty-five-million-year history of oceanic subduction and exhumation at the northern edge of the Caribbean plate (Sierra del Convento mélange, Cuba): *Journal of Metamorphic Geology*, 27, 19–40.
- Leyva, R.C.**, 1996, Características geológicas, regularidades de distribución y perspectivas de utilización del cuarzo filoniano de la región oriental de Cuba: Moa, Cuba, Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa, Ph. D. Thesis, 90 p.
- Millán, G.**, 1996, Metamorfitas de la asociación ofiolítica de Cuba, in Iturralde-Vinent, M.A. (ed.), *Ofolitas y Arcos Volcánicos de Cuba*: Miami, Florida, U.S.A., IGCP Project 364 Special Contribution 1: 131–146.
- Somin, M.L.**, Millán, G., 1981, *Geology of the Metamorphic Complexes of Cuba*: Moscow, Russia, Nauka, 219 p.

## Antonio Rodríguez Vega.

Ingeniero Geólogo, Doctor en Ciencias Geológicas, egresado del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, hoy Universidad Antonio Núñez Jiménez de Moa, Cuba en 1977, donde también obtuvo el grado de doctor en 1995. Se desempeñó como profesor universitario desde 1977 hasta 2008 en las universidades cubanas de Pinar del Río y Moa, alcanzando el título de Profesor Titular; durante esta etapa colaboró como profesor en la Universidad Nacional de Angola, la Universidad Nacional de Loja y la Universidad Nacional de Guinea Ecuatorial. Desde 2010 desarrolla su actividad profesional en México, donde ha contribuido en la confección de numerosas cartas geológica-mineras a escala 1: 50000 en varios estados de este país y desde hace 12 años se desempeña como Profesor Titular-Investigador de la Universidad Autónoma de Coahuila y forma parte del Sistema de Nacional de Investigadores (SIN) de México y posee la categoría de Investigador Emérito del Estado de Coahuila. Durante los últimos 12 años se ha enfocado el estudio de los depósitos de Tierras Raras y otros metales raros asociados a los complejos magmáticos peralcalinos agpaíticos en la región noroeste del estado de Coahuila, cuyos principales resultados se han presentado en eventos científicos internacionales y publicado en revistas indexadas.

Correos electrónicos y teléfono: [arvega48@yahoo.com](mailto:arvega48@yahoo.com) ; [avega@uadec.edu.mx](mailto:avega@uadec.edu.mx) ; 528611221244.



## ALEJANDRO MAGNO Y LA UTILIZACION DE ELEMENTOS GEOLOGICOS, COMO PARTE DE LA ESTRATEGIA PARA CONQUISTAR LA CIUDAD DE TIRO (332 a. C.) Su impacto pasado y presente

**JHONNY E. CASAS**

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



Representación alegórica del sitio de la ciudad de Tiro por Alejandro Magno. Fuente: Open IA Gemini 2.5.

### Introducción a Alejandro Magno

Alejandro III de Macedonia (20/21 de julio de 356 a. C. - 10/11 de junio de 323 a.C.), conocido comúnmente como Alejandro Magno (Figura 1), fue rey del antiguo reino griego de Macedonia y miembro de la dinastía Argéada, una familia que gobernó Macedonia desde el 700 hasta el 309 a. C. Nació en la ciudad de Pella, y sucedió a su padre Filipo II (382-336 a. C.) en el trono a los veinte años. A principios de la primavera del 334 a. C., Alejandro marchó hacia el Helesponto (hoy día el estrecho de los Dardanelos), la estrecha franja de agua que separa Europa de Asia. El estrecho no solo era el punto de cruce más práctico, sino que también tenía un significado simbólico, ya que era el mismo paso que había tomado el rey persa Jerjes o Xerxes I (519-465 a. C.), cuando invadió Grecia casi 150 años antes (CASAS 2025).

Alejandro dedicó la mayor parte de su reinado a una campaña militar sin precedentes por Asia y el noreste de África, y a los treinta años ya había creado uno de los mayores imperios del mundo antiguo, que se extendía

desde Grecia hasta el noroeste de la India (Figura 2). Permaneció invicto en batalla y es considerado uno de los comandantes militares más exitosos de la historia.



**Figura 1.** Detalle de un mosaico mostrando a Alejandro Magno en la batalla de Issus (333 a. C.). Casa del fauno, Pompeya (fecha probable de elaboración 100 a. C.).

Fuente: <https://www.historynet.com/alexander-the-great-siege-of-tyre/>



**Figura 2.** Imperio conquistado por Alejandro Magno.

Fuente: <https://www.saberespractico.com/biografias-resumidas/alejandro-magno/>

### Los Fenicios y la ciudad de Tiro

La gloria de los fenicios en Tiro (hoy día en Líbano) fue excepcional, debido a su comercio, sus barcos y su ubicación geográfica (Figura 3), lo cual hicieron de Tiro una poderosa ciudad atractiva para gobernar. Los fenicios fueron los grandes mercaderes de la antigüedad. La geografía de sus costas, que propiciaba la instalación de puertos, y la madera de sus bosques, les brindaban los elementos básicos para construir barcos y organizar compañías de navegación.

Sin embargo, esa gloria no duró mucho, y alrededor del 884 a. C., los asirios atacaron todas las ciudades fenicias para adueñarse de sus excelentes puertos comerciales. Posteriormente, en el 589 a. C., el imperio babilónico fue conquistado por los persas, quienes libraron una guerra continua con los egipcios y, muchos años después, con Alejandro Magno de Macedonia.



**Figura 3.** Ubicación de la ciudad de Tiro en el actual Líbano. A la izquierda una imagen aérea de la ciudad y su tómbolo, extraída de Google Earth.

Luego de que los persas hubiesen perdido la guerra contra Alejandro en Macedonia, él mismo, ordenó a su ejército avanzar hacia el este. La mayoría de las ciudades fenicias ocupadas por los persas se rindieron,

pero el pueblo tiro se negó a doblegarse ante Alejandro. En aquel entonces, Tiro aún era una isla, y los tirios habían establecido un gran sistema defensivo, construyendo enormes murallas que rodeaban toda la isla. Es así que en el año 332 a. C., durante su campaña contra los persas, Alejandro Magno se enfrentó a la ciudad insular de Tiro, destruyendo primero el distrito costero continental de Tiro, e iniciando los preparativos del asalto a la isla. Aparte de ser un insulto a su corona, el desafío de Tiro y su castigo, sería un ejemplo para todos los que se le opusieran (CERVERA 2021). La ubicación de Tiro en alta mar, su formidable armada y sus inexpugnables murallas plantearon un desafío extremo, donde las tácticas de asedio convencionales resultarían ineficaces. Además, los tirios adoptaron una postura defensiva a ultranza, bloqueando la entrada a sus puertos, anclando barcos trirremes.

Alejandro Magno (Figura 4). tenía tan solo 23 años cuando se encontraba contemplando desde la costa, la diminuta pero poderosa ciudad insular fenicia de Tiro. Alejandro sabía que era imperativo tomarla, antes de seguir avanzando con seguridad, moviendo sus topas hacia el sur, hacia Egipto, para continuar su conquista. Es por ello que hizo un esfuerzo extraordinario, bloqueando y sitiando Tiro durante siete largos meses.



**Figura 4.** Tetradracma del reino de Macedonia mostrando la efigie de Alejandro III "El Grande". Fecha de acuñación 323 a.C. Fuente: Moneda del autor.

### Como acercarse a las murallas de Tiro

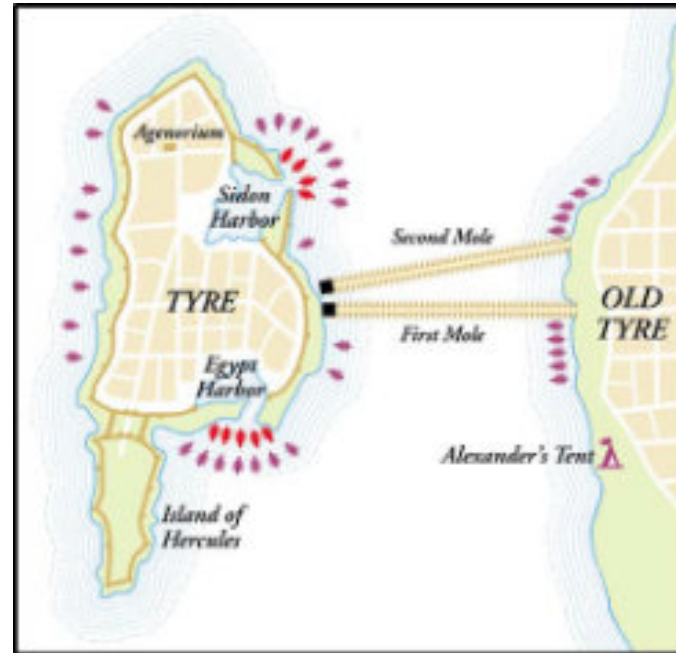
El auge de la actividad agrícola en tierra firme en la región que rodeaba Tiro, incluida la extensiva

deforestación, había acelerado durante años el aporte de sedimentos a la costa, donde la isla original de Tiro actuaba como una especie de rompeolas. Esto protegió una parte de la plataforma, de la erosión debida al oleaje, dando lugar a un proto-tómbolo poco profundo situado entre 1 y 5 metros por debajo del nivel medio del mar en la época de Alejandro, y que conectaba en forma subacuática la isla de Tiro con tierra firme (NIR 1996).

Los relatos de la época indican que luego de varios meses de frustración, Alejandro, para hacer frente a las murallas, tuvo la compleja idea de construir una especie de muelle o espigón, formado por vertederos de todo tipo de material, tratando de conectar el continente con la isla de Tiro (Figura 5). Alejandro ordenó a sus ingenieros destruir el centro continental de la ciudad Tiro y utilizar su madera y ruinas para construir casi un kilómetro de espigón, aprovechando el puente natural de sedimentos que existía entre tierra firme y la isla (MARRINER et al. 2008). Diodoro Sículo (90-20 a. C.) antiguo historiador griego del siglo I a. C., en su libro «Biblioteca Histórica», describe dicho espigón como de un kilómetro de largo y 80 metros de ancho, suficientes para permitir el paso de la artillería y la colocación de las torres de asedio, con catapultas construidas encima (Figura 5), y ubicadas al final del espigón, lo que en su momento, permitió que las tropas de Alejandro se fuesen acercando a las murallas. De repente sus soldados descubrieron las dificultades de extenderla más, debido a un aumento pronunciado de la profundidad del agua.

Los macedonios, con la ayuda de personas de las comunidades vecinas del interior, quienes fueron reclutadas para la titánica tarea, construyeron dicho espigón, comenzando en tierra firme, muy cerca de Palaetyrus (la antigua Tiro continental), probablemente usando la cima de un pequeño tómbolo natural. Las piedras, materiales y maderas de las ruinas recientes de la antigua Tiro, arrasada por Alejandro, se arrojaron al agua, así como arboles enteros con sus ramas, colocándoles encima, piedras y arena para darle consistencia al espigón. También se utilizó madera de los árboles de las montañas cercanas para la construcción de dos torres de asedio, así como para fijar estacas en el fango del fondo marino, ayudando a dar más firmeza a la nueva estructura. Se planeó que este espigón terminara en la costa oriental del islote de Tiro (NIR 1996).

En sus primeras etapas, la construcción fue bastante sencilla y rápida, desarrollándose prácticamente sin dificultades en aguas muy someras. Sin embargo, una vez que la construcción alcanzó aguas un poco más profundas, los tirios imposibilitaron la continuación del espigón por los macedonios, ya que lograban de noche arrancar las estacas que protegían la fachada de avance. Aunado a lo anterior, las fuertes marejadas que acompañaban al viento, arrasaron paulatinamente con buena parte de la obra macedónica.



**Figura 5.** Ilustración que muestra los espigones de asedio construidos por Alejandro Magno, y que conectaron en esa época la isla de Tiro con lo que hoy es el Líbano continental. Fuente: Modificado de <https://www.appuntidistoria.net/completato-il-recupero-dellantica-citta-di-tiro/m-alex-tyre-map-4cdec04/>

Además, existía una barrera natural, un canal entre el malecón y la isla, que generaba fuertes corrientes que removían y arrastraban el material del incipiente frente del espigón. Finalmente, una noche, los tirios remolcaron una embarcación llena de calderos de aceite, madera, paja y azufre, con el objetivo de encallarla contra el espigón e incendiar las torres y defensas de los trabajadores de Alejandro. El barco fue lastrado en su popa para que la proa se elevara y se incrustase en el espigón, modificado además con dos mástiles frontales equipados con calderos rellenos de líquidos inflamables. Una vez remolcado por unos trirremes tirios, y aprovechando que el viento soplaba en la dirección del espigón, fue incendiado y estrellado

contra el mismo (CERVERA 2021). El viento soplaba con tanta fuerza hacia las posiciones macedónicas, que todas sus construcciones: torres, piezas de artillería y la empalizada, fueron pasto de las llamas casi de inmediato, cundiendo el pánico entre los macedonios.

Debido a los obstáculos naturales y humanos para la finalización del espigón, especialmente para el tramo final del mismo, Alejandro, el cual regresaba de un viaje a Arabia, al ver lo considerable de los daños, optó por abandonar la construcción y emprender un nuevo espigón más ancho, construido un poco más al norte del primero, con el fin de protegerlo del viento, y ligeramente inclinado hacia el suroeste (Figura 5), lo cual hacía que por un lado, ya no estuviera completamente expuesto a las tormentas invernales y, por el otro, que evitara en la medida de lo posible la proximidad de los combatientes tirios.

Solo tras lograr la supremacía marítima, incorporando a su flota macedónica, la fenicia (Sidón), la chipriota y la de Rodas, que acudieron a su llamado, Alejandro logró reunir una poderosa armada de más de 220 barcos (ARRIANO s.f.), pudiendo proteger de esta manera, a los obreros que construían el espigón (Figura 6), logrando así, culminar este gigantesco proyecto (Figura 5 y 6). Hacia el final de la batalla de Tiro, tras un asedio de siete meses, desde mediados de enero del 332 hasta mediados de julio del 332 a. C., los macedonios lograron finalmente extender el espigón hasta la muralla de la ciudad, conectando así el continente con el islote fortificado (NIR 1996).

#### **El fin del sitio de Tiro**

El escritor e historiador romano Quinto Curcio Rufo, cuya única obra conocida fue «Historias de Alejandro Magno de Macedonia», y que basó su relato en fuentes griegas anteriores, describe la caída de Tiro: luego de finalizar el espigón, Alejandro dio a los hombres dos días de descanso, después de los cuales ordenó traer la poderosa flota, y junto a las máquinas de asedio con catapultas (Figura 6), actuaron simultáneamente, en todos los puntos posibles, contra un enemigo ya desmoralizado (DE MOLINA 1496).

El propio rey subió a la torre de asedio más alta, repleta de catapultas. Su valentía fue enorme, ya que su silueta era demasiado visible debido a la insignia real y a su reluciente armadura, siendo el blanco principal de los proyectiles enemigos. Atravesó con su lanza a muchos de los defensores de las murallas, y a algunos los

derribó de cabeza tras golpearlos en combate cuerpo a cuerpo con su espada o escudo, pues la torre desde la que luchaba quedaba adosada a las murallas enemigas (DE MOLINA 1496).



**Figura 6.** Representación alegórica del sitio de Tiro por Alejandro Magno, mostrando el espigón desde el continente y las torres de asedio. Fuente: Open IA (2025, 22 de agosto). Gemini 2.5. <https://gemini.google.com/app/9bea045119ecfeaa>

Para entonces, el repetido embate de los arietes montados en los barcos, había aflojado las juntas de las piedras y eventualmente las murallas defensivas del lado sur comenzaron a derrumbarse (Figura 7). Al mismo tiempo, las fuerzas navales de Alejandro rompieron los bloqueos en ambos puertos, destruyendo los barcos enemigos y desembarcando tropas en la costa insular. En ese momento, algunos macedonios se habían abierto paso hasta las torres que el enemigo había abandonado, mediante puentes levadizos que portaban algunas de sus naves. Los tirios fueron literalmente aplastados. Muchos buscaron refugio en los templos, principalmente niños y mujeres, pero otros volvieron a cargar contra el enemigo, aunque una mayoría se subió a los tejados, arrojando piedras y todo lo que tuvieran a mano sobre los macedonios que se acercaban. En todo el sitio, alrededor de 400 macedonios cayeron en combate (ARRIANO s.f.).

Alejandro ordenó que todos los combatientes fueran ejecutados, y que los edificios fueran incendiados. Sin

embargo, muchos encontraron refugio con los sidonios, entre las tropas macedónicas. Aunque estos habían entrado en la ciudad como aliados de los macedonios, también eran conscientes de su parentesco con los tirios, por lo que secretamente brindaron protección a muchos de ellos y los llevaron a sus barcos, donde fueron escondidos y transportados a Sidón. Se calcula que quince mil habitantes de Tiro, fueron rescatados de una muerte violenta gracias a este subterfugio, según el historiador Curcio Rufo (DE MOLINA 1496).



**Figura 7.** Únicos remanentes de las antiguas murallas de Tiro. Fuente:

<https://www.livius.org/pictures/lebanon/sur-tyre/tyre-city-palaestra/tyre-phenician-wall/>

Se dice también que Alejandro, furioso por la tenaz defensa tiria y por la pérdida de muchos de sus hombres, destruyó al menos la mitad de la ciudad. Según el historiador y filósofo grecorromano Lucio Flavio Arriano (89?-175? a. C.), quien escribió la obra «Anábasis de Alejandro Magno», 8000 civiles tirios fueron masacrados tras la caída de la ciudad. Alejandro concedió el perdón a todos los que habían buscado refugio en el templo de Heracles, incluyendo al rey de Tiro y a 30 embajadores de Cartago, pero unos 30 000 residentes y extranjeros, fueron vendidos como esclavos. Alejandro también ordenó la crucifixión de unos 2000 varones en edad militar que aún se encontraban en la costa. Según ARRIANO (s.f.), una de las maquinarias de asalto con la que el muro había sido echado abajo, fue llevada hasta el templo de Heracles y dedicada como ofrenda de agradecimiento por la victoria obtenida (Figura 8).

#### **El efecto de la acción de Alejandro Magno**

El nuevo espigón construido por Alejandro, provocó un cambio inesperado en el movimiento y transporte natural de las arenas a lo largo de la playa. La dirección

predominante del transporte de sedimentos a lo largo de la costa es de sur a norte, aunque las marejadas ciclónicas ocasionales también transportan sedimentos desde el norte, creando una sedimentación bidireccional (GOLDSMITH y SOFER 1983, MARRINER et al. 2008).



**Figura 8.** Portada de la obra latina "De expedit Alexandri Magni" publicada en 1575, originalmente escrita por Lucio Arriano. Fuente:

[https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1bisis\\_de\\_Alejandro\\_Magno#/media/Archivo:Arrianou\\_peri\\_anabaseos.tif](https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1bisis_de_Alejandro_Magno#/media/Archivo:Arrianou_peri_anabaseos.tif)

Luego de arrasar Tiro, los rellenos quedaron pegados al espigón, y cientos de años más tarde la isla se transformó en una península que dio forma semejante al Tiro que conocemos hoy. Durante los últimos 2350 años desde el asedio, este movimiento de sedimentos reforzó el tómbolo, con al menos 10 millones de metros cúbicos de sedimentos (NIR 1996), compuestos

principalmente por arena re-sedimentada proveniente de playas cercanas, y que formaron bahías a ambos lados del espigón construido por Alejandro.

Este uso estratégico-militar del proto-tómbolo poco profundo, sin comprender los efectos en los procesos geológicos, constituye uno de los primeros ejemplos de la profunda alteración del paisaje por parte de la acción humana, y que aún se puede apreciar en el presente. La actual ciudad de Tiro ocupa el territorio de la ciudad insular original, así como el propio istmo, que se ha expandido unos 65 000 metros cuadrados y es un lugar prominente en la actual costa libanesa (NIR 1996).

#### **Descripción geológica de la costa sur del Líbano**

La llanura de Tiro se extiende a lo largo de la costa sur del Líbano, desde la frontera entre Israel y el Líbano al sur, hasta unos 25 kilómetros al norte, donde se localiza la desembocadura del río Litani. Esta es una de las secciones más anchas de la llanura costera del Líbano, con un tamaño que oscila entre unos pocos cientos de metros y pocos kilómetros. Aquí al norte, una serie de promontorios, compuestos principalmente por calizas dolomíticas y cretas del Cenomaniense, afloran hasta la costa, y se adentran en aguas someras, generando barreras para la deriva litoral (NIR 1996).

Más al sur, los promontorios y acantilados están compuestos de aluvión y eolianitas cementadas, denominadas Hajar Ramli, que actualmente se erosionan a un ritmo muy elevado. EMERY y GEORGE (1963), sugieren que esta erosión se ha acelerado en la época moderna, conclusión que se deriva de la presencia de yacimientos arqueológicos costeros existentes, que de otro modo ya hubiesen desaparecido hace mucho tiempo. Observaciones recientes de estas playas muestran que un porcentaje muy elevado de la arena costera ha sido extraída para fines de construcción, exponiendo las playas a una acción más enérgica del oleaje (NIR 1996).

Las costas del sur del Líbano están orientadas de SSO a NNE. Muchas de las playas existentes son muy estrechas, de apenas unas pocas decenas de metros. Sin embargo, probablemente, antes de la construcción del espigón, las costas frente a Tiro eran excepcionalmente anchas y continuas (NIR 1996). En algunas regiones de esta costa, como ya se mencionó, las montañas descienden directamente al mar y forman barreras naturales, segmentando la deriva litoral. Como resultado de todo esto, las costas se componen de

celdas litorales, independientes en sus componentes y funcionamiento, separadas por pequeños promontorios. Por lo tanto, playas cercanas entre sí, pueden diferir en sus componentes, como la mineralogía y el tamaño del grano.

#### **Fuente de sedimentos y transporte de los mismos**

Las fuentes principales de sedimentos que alimentan la costa tiria según NIR (1996) son:

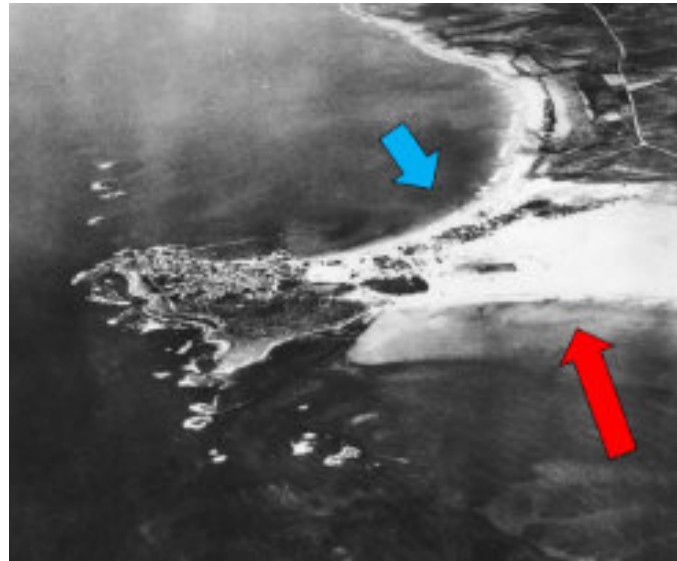
(a) Sedimentos Cretácicos: Los sedimentos de las crestas montañosas del Líbano son transportados a las playas a través de los ríos, principalmente durante las inundaciones invernales. El principal proveedor de sedimentos a las llanuras de Tiro es el río Litani, el río libanés más largo (unos 150 kilómetros), que desemboca a unos 8 kilómetros al norte de Tiro. Las formaciones arenosas que se encuentran en la columna estratigráfica de las zonas montañosas cercanas, pertenecen a areniscas del Cretácico Inferior (Aptiense) y contienen granos de cuarzo que provienen de una fuente granítica.

(b) Sedimentos Cuaternarios: Las crestas costeras conocidas como Hajar Ramli y sus arenas derivadas, se encuentran a lo largo de la mayor parte de la costa sur del Líbano. Estas arenas son muy ricas en carbonatos (EMERY y GEORGE 1963). La erosión de estas crestas ha proporcionado a las playas, grandes cantidades de estas arenas calcáreas.

La composición mineralógica de las arenas en las costas de Tiro y sus alrededores muestra que el componente principal es CaCO<sub>3</sub>. Los análisis de nueve muestras tomadas en el sur y norte de Tiro, realizados por NIR (1996), muestran un promedio del 80% de CaCO<sub>3</sub>. Las playas de la desembocadura del río Litani, ubicadas al norte, sin embargo, son mucho más pobres en CaCO<sub>3</sub> (solo 18-35 %). El hecho de que las playas actuales de Tiro estén compuestas principalmente por carbonatos, lleva a la conclusión de que la mayor parte del tómbolo (aproximadamente dos tercios o más) está compuesto por granos locales redepositados de las crestas costeras o Hajar Ramli, pertenecientes a las areniscas calcáreas cuaternarias, que probablemente cubrieron extensas áreas en el pasado.

Debido a que la costa sur del Líbano está orientada como se mencionó, de SSO a NNE, la principal deriva litoral invernal sedimentaria ocurre en dirección norte. Los vientos del norte y noroeste son responsables de la deriva litoral sedimentaria dirigida hacia el sur, que se estima es menos efectiva que la del norte (Figura 9). Sin

embargo, debido a las condiciones especiales existentes alrededor de Tiro, durante los últimos 2350 años, toda la arena transportada hacia Tiro, tanto desde el norte como desde el sur, comenzó a quedar atrapada en el tómbolo o espigón construido por Alejandro Magno a partir del 332 a. C.



**Figura 9.** Fotografía aérea de Tiro tomada en 1934. Observe cómo la acumulación de arena es mucho mayor en el lado sur del tómbolo (flecha roja), ya que la dirección predominante de la deriva litoral es de sur a norte. Ocasionalmente, tormentas adicionales transportan sedimentos desde el norte (flecha azul).  
Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tyre-aerial-photo-by-France-Military-1934.jpg>

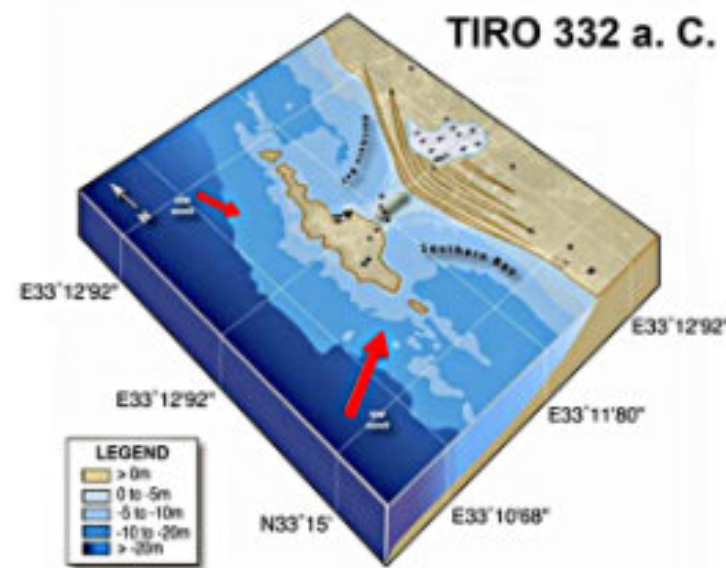
En el periodo comprendido entre la época helenística hasta la romana, ocurrió un aumento de 1,20 metros del nivel del mar, lo cual probablemente ocasionó una disminución del área en el tómbolo alejandrino. NIR (1969) postula que el tamaño actual es un desarrollo posterior que comenzó luego del referido aumento del nivel del mar y de su estabilización en la época romana.

#### Tomando núcleos en la península de Tiro y reconstrucción de la historia geológica

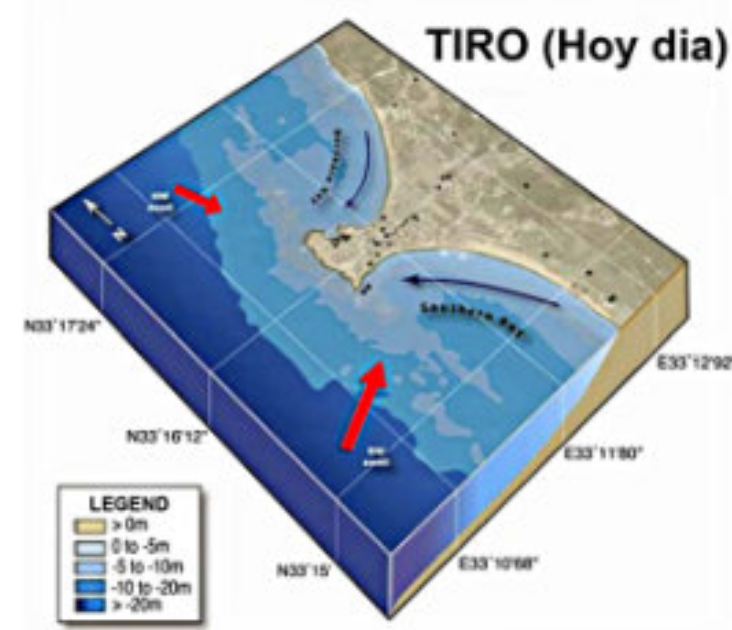
Para investigar el peculiar istmo de arena de Tiro, que une la antigua isla costera con el continente adyacente, el Dr. Nick Marriner del Centro Europeo de Investigación y Enseñanza de las Geociencias y el Medio Ambiente (CEREGE) ubicado en Aix-en-Provence, Francia, viajó a Tiro en el 2002. Su equipo perforó más de 20 núcleos en dicho istmo, hoy día fuertemente urbanizado, así como en varios lugares de los alrededores. Los núcleos recuperados contenían

sedimentos de hasta 8000 años de antigüedad. En el laboratorio, el equipo analizó los tipos de sedimentos y el contenido fósil presentes en los núcleos, para comprender mejor y reconstruir el antiguo entorno marino cercano a la costa. Luego, generaron un modelo de oleaje y migración de sedimentos, lo que ayudó a completar el panorama y entender la evolución pre y post Alejandro Magno.

Los resultados del modelado de MARRINER et al. (2007) permitieron elaborar conclusiones, sobretudo acerca de la evolución morfodinámica del tómbolo de Tiro desde el año 332 a. C. (Figura 10), durante la época helenística y la actualidad (Figura 11), mostrando que el espigón provocó una metamorfosis completa, forzando antropogénicamente, el sistema costero de Tiro, y acentuando muchos de los procesos genéticos del proto-tómbolo. Después del 332 a. C., las bahías de la ciudad se segmentaron definitivamente en dos ensenadas y el cese de las corrientes litorales generó dos células litorales desconectadas. Los registros estratigráficos muestran cambios en las posiciones de la línea de costa, caracterizadas por una rápida progradación costera en ambos flancos del tómbolo.



**Figura 10.** Reconstrucción morfodinámica de la isla de Tiro en el 332 a. C. cuando ocurre la invasión de Alejandro Magno (flechas rojas indican la dirección y magnitud del oleaje). Fuente: Modificado de MARRINER et al. (2007).



**Figura 11.** Aspecto morfodinámico del tómbolo de Tiro, posterior al periodo helenístico, hasta nuestros días (flechas negras indican la dirección de transporte).  
Fuente: Modificado de MARRINER et al. (2007).

#### Conclusiones

El enorme tómbolo de Tiro tiene unos 23 siglos de antigüedad y es producto directo de los espigones construidos por las tropas de Alejandro Magno, una hazaña impresionante en términos de ingeniería militar de la época. Anterior a esta acción, existía un tómbolo embrionario, resultado de la presencia costa afuera de la isla de Tiro y dos cadenas de islotes satélites al norte y al sur de la isla (Figura 10). Antes de esa etapa, probablemente el nivel del mar se había estabilizado alrededor de los 6500 años antes del presente, donde la línea costera principal se encontraba más al interior (NIR 1996). Poco después de la estabilización, una especie de proto-tómbolo comenzó a desarrollarse. Este proto-tómbolo existió prácticamente con la misma distribución areal, hasta que Alejandro Magno lo aprovechó para construir su espigón.

La construcción de Alejandro, detuvo prácticamente por completo la deriva litoral natural de los sedimentos al norte y sur en esa región. Todos los sedimentos que alcanzaron la zona del espigón, quedaron protegidos por la isla y sus islotes satélites. Los sedimentos se depositaron entonces formando un tómbolo en constante crecimiento, hasta que alcanzó la isla de Tiro. La morfología actual del tómbolo, representa la suma

total de arena disponible en el sistema, que sin duda alcanzó su equilibrio hace muchos siglos (NIR 1996).

Queda poca duda de que, durante el aumento de 1,20 metros del nivel del mar desde la época helenística hasta la romana, se produjo una disminución del área en el tómbolo alejandrino. Por lo tanto, el tamaño actual del mismo, es un desarrollo posterior que comenzó luego del aumento del nivel del mar y su estabilización en la época romana. Durante el transcurso de los siglos, se añadió más arena a este complejo sistema, mediante la erosión eólica de la masa continental cercana, pero principalmente por la deriva litoral de las playas cercanas.

Se podría decir en conclusión, que el caso de la ciudad de Tiro muestra hoy día (Figura 12), el efecto de los acontecimientos culturales en el paisaje circundante, consecuencia de la negativa de los ciudadanos de Tiro a rendirse ante Alejandro Magno (Figura 13), así como el producto del ingenio de este último y de sus ingenieros, durante el asedio a la ciudad en el año 332 a. C.

#### REFERENCIAS

- ARRIANO LUCIO FLAVIO s.f. Anábasis de Alejandro Magno. Traducción al Castellano por Alura Gonz, 2013. 273 p.  
<https://books.google.com.co/books?id=fUTPAQAAQBAJ>  
CASAS, J.E. 2025. Heródoto: Historiador, Etnógrafo, Geógrafo y ¿Geólogo?. Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. LXXXV(2): 7-22. <https://acfiman.org/wp-content/uploads/2025/09/Boletin-LXXXV-n%C2%B02-2025-Jhonny-Edgar-7-22.pdf>  
CASAS, J. E. 2025. Alejandro Magno y la utilización de elementos geológicos, como parte de la Eestrategia para conquistar la Cdad de Tiro (332 a. C.). Su impacto pasado y presente. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. 3(68): 23 – 29. <https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2025/10/Alejandro-Magno-y-el-uso-de-elementos-geologicos-para-derrotar-a-la-ciudad-de-Tiro-Su-impacto-pasado-y-presente.-Jhonny-Casas.pdf>  
CERVERA, F. 2021. El asedio de Tiro, la dura conquista de Alejandro Magno. Recuperado el 25 de junio, 2025, de [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/asedio-tiro-dura-conquista-alejandro-magno\\_16274](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/asedio-tiro-dura-conquista-alejandro-magno_16274)  
DE MOLINA, J. 1496. Crónica de Alejandro Magno. Traducción al español de la versión Latina de Historiae Alexandri Magni Macedonis. Biblioteca Nacional de

España. 221 p. <https://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000038763&page=1>  
EMERY, K.O. & GEORGE, C.J. 1963. The Shores of Lebanon. American University of Beirut, Faculty of Natural Sciences. Miscellaneous Paper 1, WHOI Contribution 1385.  
GOLDSMITH, V. & SOFER, S. 1983. Wave climatology of the southeastern Mediterranean, Israel Journal of Earth Science. 32: 1-51.  
MARRINER N., MORHANGE C. & MEULÉ S. 2007. Holocene morphogenesis of Alexander the Great's

isthmus at Tyre in Lebanon. Proc. Natl Acad. Sci. 104(22): 9218-9223.  
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0611325104>  
NIR, Y. 1996. The city of Tyre, Lebanon and its semi-artificial tombolo. Geoarchaeology, 11(3): 235-250.



**Figura 12.** Imagen aérea actual de la ciudad de Tiro. Fuente: <https://cf.lau.edu.lb/images/phoenicians-route-lebanon-tripoli-sidon-tyre.pdf>



**Figura 13.** Busto de Alejandro Magno. Copia romana de una escultura en bronce hecha por Lisipo. Mármol pentélico, Museo de Louvre, París. Foto con el autor.



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

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

Autor/Co-autor en 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 55 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).

**ESTRECHA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA DE  
UNIVERSIDAD CUBANA DE PINAR DEL RÍO,  
COOPERACIÓN ACADÉMICA CON UNIVERSIDADES RUSAS**

**Prof. M.Sc. Wilmer Pérez Gil**

**Departamento de Geología**

[wilmerperezgil5@gmail.com](mailto:wilmerperezgil5@gmail.com)

Estrechar lazos de cooperación con importantes instituciones académicas foráneas, constituye hoy una de las estrategias claves que fortalecen al claustro de la carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", en Cuba. La firma de estos acuerdos abre un diapasón de oportunidades para un colectivo docente que durante la última década ha visto rejuvenecer vertiginosamente su cantera.

La apertura de posibilidades para la realización de pasantías y estancias de investigación breves ha permitido la visita de profesores de la referida casa de altos estudios cubana, a prestigiosas universidades como la Estatal de San Petersburgo y la Federal del Sur (Rostov) ambas en la Federación de Rusia. Recientemente, un grupo de 4 profesores integrado por: Dr.C. y Profesor Titular Elmidio Estévez Cruz; M.Sc. y Profesora Auxiliar María Elisabet García Crespo; M.Sc. y Profesor Auxiliar Isbel Mesa Negrín, y el ingeniero y Profesor Instructor Elmidio Estévez Calero, cuentan sus experiencias en el país euroasiático.

El intercambio incluyó, entre otros, encuentros con reconocidos académicos del Instituto de Ciencias de la Tierra y la Universidad de Minas de San Petersburgo con el objetivo de fomentar la cooperación conjunta para el desarrollo de proyectos de investigación. A su vez, la colaboración abarcó la realización de excursiones a polígonos docentes-investigativos de prácticas, como los de la carrera de Geomorfología, específicamente a ciudades como Viborg, emplazadas sobre el denominado Escudo Báltico, donde afloran rocas del Precámbrico; y poblados como Cablino, provincia de Leningrado, con marcharutas enfocadas en el estudio de laderas y su relación con el relieve y la constitución geológica del

territorio. También a localidades ubicadas en el polígono de prácticas geológicas belorenchensk y de la carrera de Geografía, en las inmediaciones de la región montañosa del Cáucaso, así como en las márgenes de la orilla noreste del Mar de Azov, en el sur del país, brindando la posibilidad de observar fenómenos gravitacionales.

De igual manera, la experiencia permitió a nuestros docentes conocer también su historia y legado cultural. Ejemplo de ello lo son las visitas dirigidas a museos y sitios emblemáticos, entre los que destacan el Museo de Petrología y Mineralogía de la Universidad Estatal (San Petersburgo); el Museo del Instituto Geológico de Rusia (Servicio Geológico Federal) que atesora la mayor colección de rocas, minerales, menas y fósiles del país; el Museo de Historia, Arqueología y Paleontología de Azovskaya, institución que hace un repaso de toda la historia de la región del suroeste de Rusia, desde el Eón Hádico hasta el año 1945 con la toma de Berlín por las fuerzas soviéticas.

**Universidad Estatal de San Petersburgo**

Profesores: Dr.C. Elmidio Estévez Cruz

M.Sc. María E. García Crespo

Período de estancia: 13/07-21/08/2024

**Universidad Federal del Sur, Rostov**

Profesores: M.Sc. Isbel Mesa Negrín

Período de estancia: 18/06-3/08/2024

Ing. Elmidio Estévez Calero

Período de estancia: 06/10-17/11/2025

**Fotos: cortesía de los docentes**

#IntercambioAcadémico

#EstanciasdeInvestigación

#Cuba-Rusia

#UniversidadEstataldeSanPetersburgo

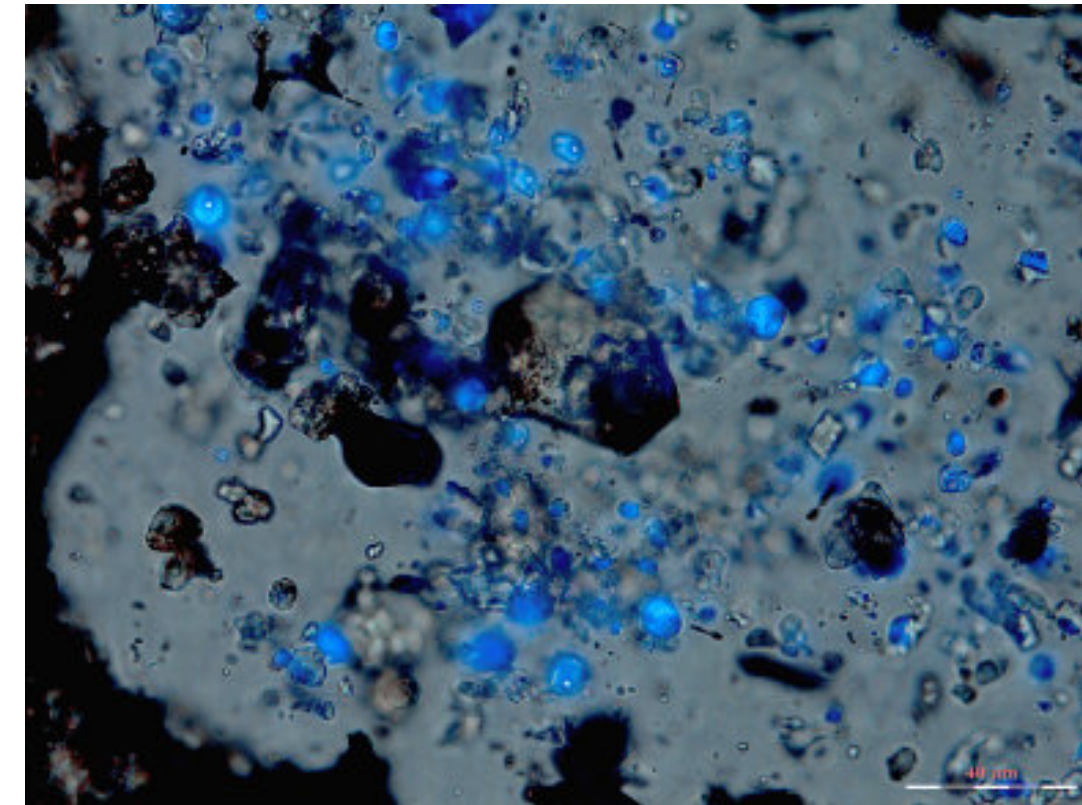
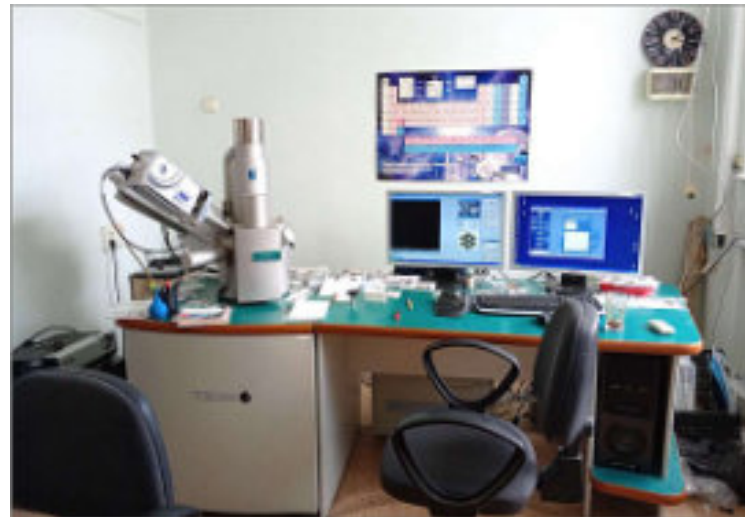
#UniversidadFederaldelSurRostov

#UniversidaddePinardeRío

#DepartamentodeGeología



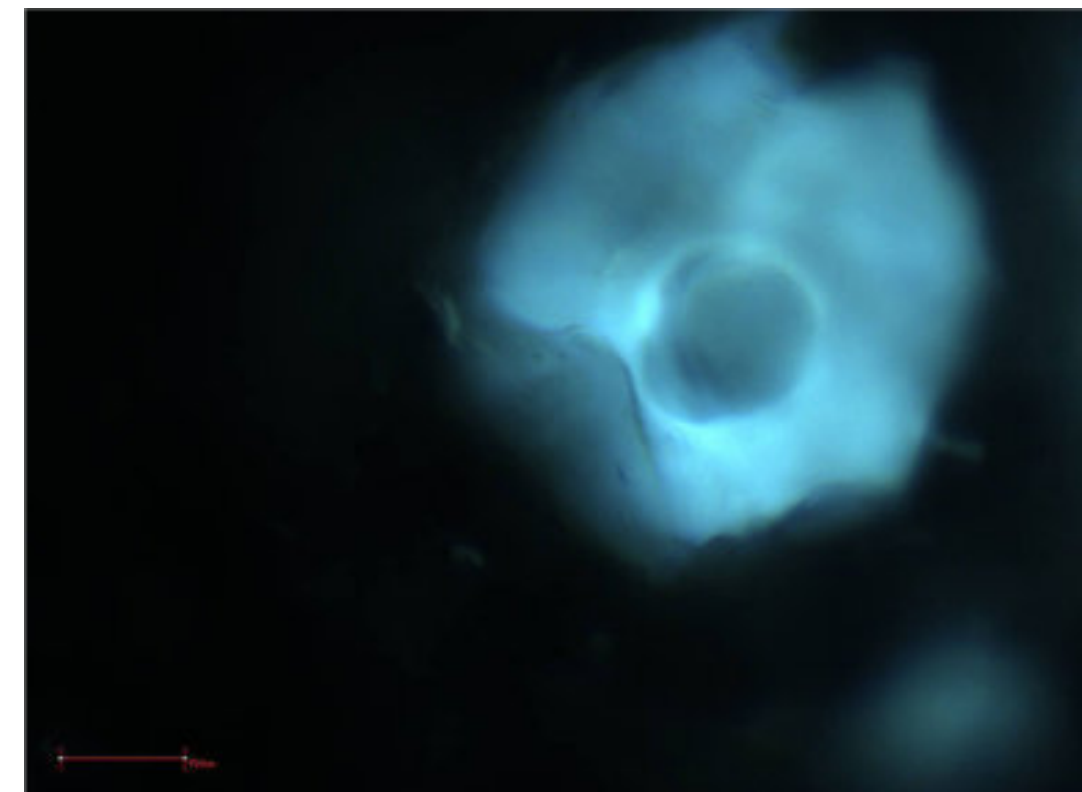




Primary hydrocarbon-bearing fluid inclusions trapped in diagenetic fluorite.

Picture taken with combined transmitted polarized and UV epillumination.

Photos by **Dr. Jordi Tritlla Cambra.** <https://bit.ly/gemix-earth>



Primary hydrocarbon-bearing fluid inclusions trapped in hydrothermal dolomite. UV illumination. Permian of Barents, Noruega.

**Fotografías enviadas por estudiantes de geofísica  
de la Universidad Tecnológica de La Habana**

Nuestras prácticas de geológicas de campo tienen lugar en el tercer año de la carrera bajo la dirección de los **profesores Rolando García Sánchez y Guillermo Pérez Vázquez** en los alrededores de La Habana, donde existen interesantes afloramientos que compartimos con Ustedes. **Alumna Bárbara Nodarse**, Tercer año de Geofísica CUJAE, La Habana, Cuba.



Paisaje Kárstico del Torcal de Antequera (Málaga, España). Las rocas predominantes son calizas y dolomías, depositadas en el fondo de un brazo del mar de Tetis durante el Jurásico, hace unos 200 millones de años. El posterior plegamiento y elevación de estos sedimentos durante la orogenia alpina, hace unos 20-10 millones de años, junto con la erosión provocada por el agua, el viento y el hielo, dieron origen al relieve actual, con rocas que adoptan formas caprichosas y sorprendentes, como torres, tornillos, arcos, cuevas y simas. (Foto: **M.E. Herrera p/a J. Porras**).



Margas estratificadas de la parte baja del Grupo Universidad Eoceno medio en las inmediaciones del río Jibacoa provincia Mayabeque.



Margas masivas de la parte alta del Grupo Universidad Eoceno medio en la Avenida Presidente en la ciudad de La Habana.



Formación Encanto del Eoceno superior compuesto por margas compactas y estratificadas, autopista Vía Blanca provincia Mayabeque.



Margas y calizas de la Formación Cojímar del Mioceno inferior-medio formando un sinclinal, Corte al este de la ciudad de La Habana.



"D2 Cliffs" escarpes de un lithocap aurífero, Nevada, EE.UU. Foto de **Rodolfo Rafael Avalos Alejandre**.



Eroded wall of Lower Cretaceous limestone along the freatic discharge area of the Plateau de Vaucluse in Provence, France. Pared erosionada de caliza del Cretácico Inferior a lo largo de la zona de descarga freática del Plateau de Vaucluse en Provence, Francia. Photo by **Joshua Rosenfeld**.

This is the view south across La Bourne Gorge from the Choranche Overlook on highway D31 west of Grenoble in the French Alps. You are looking at massive Lower Cretaceous Urgonian Limestone cliffs as well as a spectacular waterfall in the Cirque de Bournillon. The falls drop 300 m (1,000 ft) over the cliffs and into the gorge. This photo, along with many others, are part of the Western Alps geo-tour described in Prost, G.L., in press (expected publication date in 2026), *Western Europe's Natural Wonders*, CRC Press."



**Teton Mountains, Wyoming, USA. Photo by Claudio Bartolini, 2016.**





Benioff Siempre

**A nosotras las alumnas 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](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)

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

# NOTAS GEOCIENTÍFICAS

## Discovery of the type specimen of *Appalachiosaurus* – 40 years later

**David T. King, Jr.**

Professor of Geology, Auburn University  
Auburn, Alabama 36849 USA

On July 2, 1982, while doing field work on the Mooreville and Demopolis chinks in central Alabama, I came upon a small outcrop of chalky marl a short distance north of the tiny town of Downing in Montgomery County, Alabama. This outcrop of chalky marl contained bones that were weathering out and falling down the face of the embankment only a few meters from the road (Figure 1). This spot on a rural road, Montgomery County Road 101, thus became the place where the most complete eastern North American tyrannosaurid dinosaur known to date was recovered (King et al., 1988). This specimen eventually was named *Appalachiosaurus montgomeriensis*, and it is the type specimen for its genus and species (Carr et al., 2005).

The specimen, which is about 40 percent complete, was excavated initially by Auburn University faculty and later by a research group led by the Red Mountain Museum in Birmingham (now known as the McWane Center). This period of excavation spanned 1982 to 1986. Initially, a partially reconstructed skeleton was put on display at the now-defunct Red Mountain Museum c. 1994, and later, a fiberglass replica specimen was placed on display at the McWane Center, c. 2005, where it still stands today. There is a similar replica also at the Tellus Museum in Cartersville, Georgia. Figure 2 shows the Red Mountain and McWane skeletal displays.

On the occasion of the 40<sup>th</sup> anniversary of this serendipitous discovery, I returned to the spot on Montgomery County Road 101 with the reconstructed skull of *Appalachiosaurus* to commemorate this significant event in the history of Alabama paleontology (Figure 3). A reporter from the *Montgomery Advertiser* and a photographer were there with me, and a short story with

photos and a video appeared in the *Advertiser's* on-line content at this link:

<https://www.montgomeryadvertiser.com/story/news/2022/06/29/appalachiosaurus-alabama-discovery-1982-recalled-by-auburn-professor/7636101001/>

Last year, a similar story appeared on the web page of Alabama news outlet, *AL.com*, and can be seen at this link: <https://www.al.com/news/2021/11/in-search-of-appalachiosaurus-t-rexs-alabama-cousin.html>

I have recounted this discovery in the new edition of my book *Alabama Dinosaurs* (4<sup>th</sup> ed., 2022), which was published recently by Sentia Press of Austin, Texas, and is sold on Amazon.com.

On July 2, 2022, a group of us celebrated Appy's 79 millionth birthday, and his skull attended the party.

Today, a fiberglass replica of *Appalachiosaurus* can be purchased from Triebold Paleontology in Colorado (see their web page for details and pricing). The fiberglass replica snaps together and sits on a metal frame. The skull can be purchased separately. This is the Triebold link to view and order the replica: <https://www.trieboldpaleontology.com/dinosaurs/appalachiosaurus-montgomeriens>

Below, I share some historical images of Auburn's dinosaur discovery site, which were taken by me (Figures 4-7).

### REFERENCES

King, D.T., Jr., G.L. Bell, Jr., J.P. Lamb, Jr., J.L. Dobie, and D.R. Womochel, 1988, Stratigraphy and depositional environments of the Turnipseed Dinosaur Site in the Upper Cretaceous Demopolis Chalk of Montgomery County, Alabama: *Journal of the Alabama Academy of Science*, v. 59, no. 2, p. 34-48.

Carr, T.D., T.E. Williamson, and D.R. Schwimmer, 2005, A new genus and species of tyrannosaurid from the Late Cretaceous (middle Campanian) Demopolis Formation of Alabama: *Journal of Vertebrate Paleontology*, v. 25, p. 119-143.

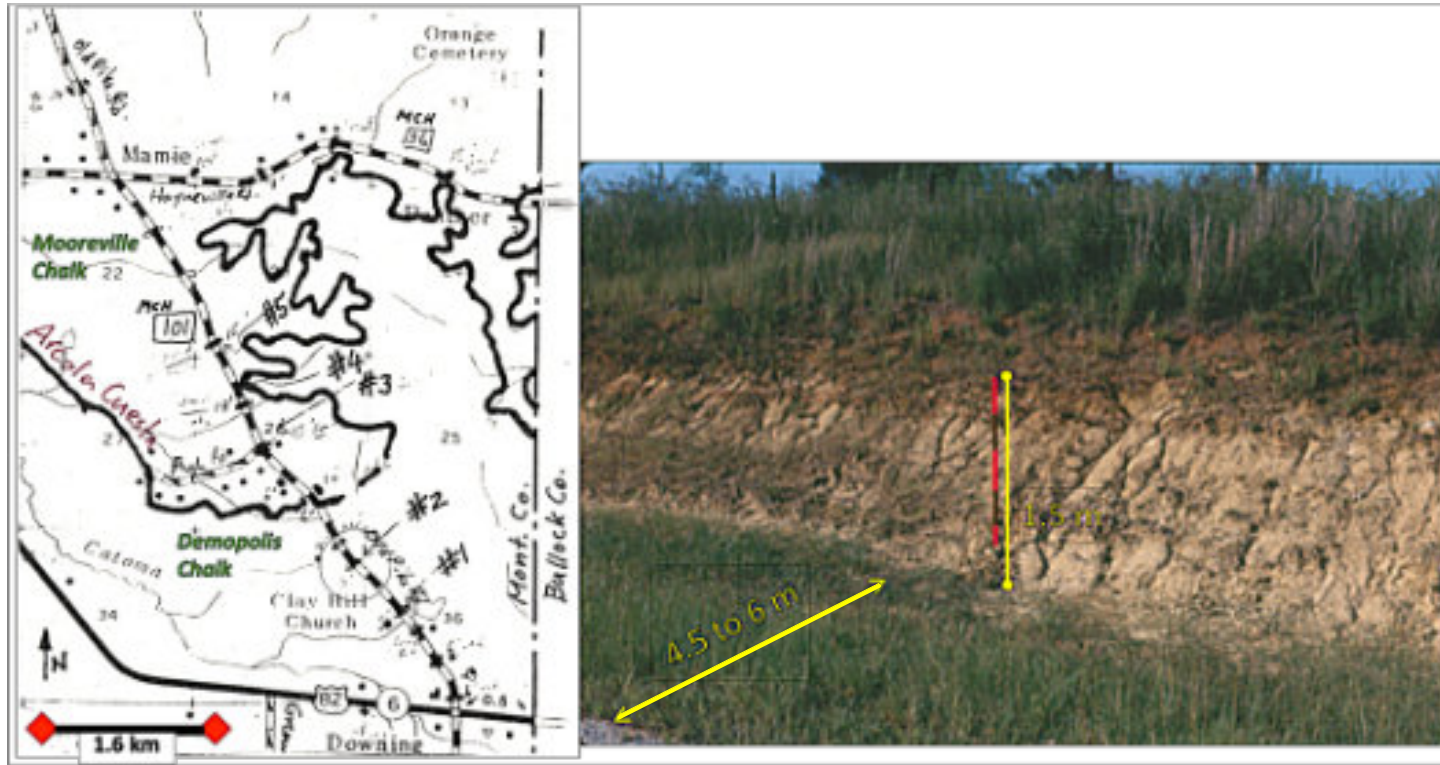


Figure 1. Original field map of area north of Downing, Montgomery County, Alabama. Roads are shown as dashed lines (each dash is 0.1 miles). The contact between the Upper Cretaceous Mooreville Chalk and the overlying Demopolis Chalk is marked by a heavy black line that is labelled "Arcola Cuesta. Road numbers are Montgomery County Highway (MCH) 36 and 101. Outcrop #2 on MCH 101 is the dinosaur bone-bearing outcrop. Photograph: Outcrop #2 on MCH 101 as seen on July 2, 1982, when the dinosaur bones were first discovered. Distance from paved highway is 4.5 to 6 m.



Figure 2. Two reconstructions of the dinosaur now named *Appalachiosaurus*. The initial reconstruction at the now-closed Red Mountain Museum (c. 1994) and the new fiberglass replica at the McWane Center in Birmingham (c. 2005).



Figure 3. On the 40<sup>th</sup> anniversary of its discovery, *Appalachiosaurus*' skull replica returns to the place the original skull and other bones were found on Montgomery County Road 101. The original skull was crushed in the chalky marl, but was restored by the staff of the McWane Center, who then produced this skull replica. Author holding the skull. Photo by Jake Crandall of the *Montgomery Advertiser*.



Figure 4. Initial excavation of *Appalachiosaurus* at the discovery site during August 1982. Auburn University faculty members Dan Womochel (left) and Jim Dobie (center), and student Butch Anthony (right) are shown digging at the bone-bearing level.



Figure 5. A plaster jacket is being placed around a group of bones excavated during the August 1982 digging session shown in the image above.



Figure 6. Red Mountain Museum-led excavation of larger quarry area at the discovery site, which was cut open by heavy equipment, c. 1986. Photo by James Lamb, U. West Alabama.

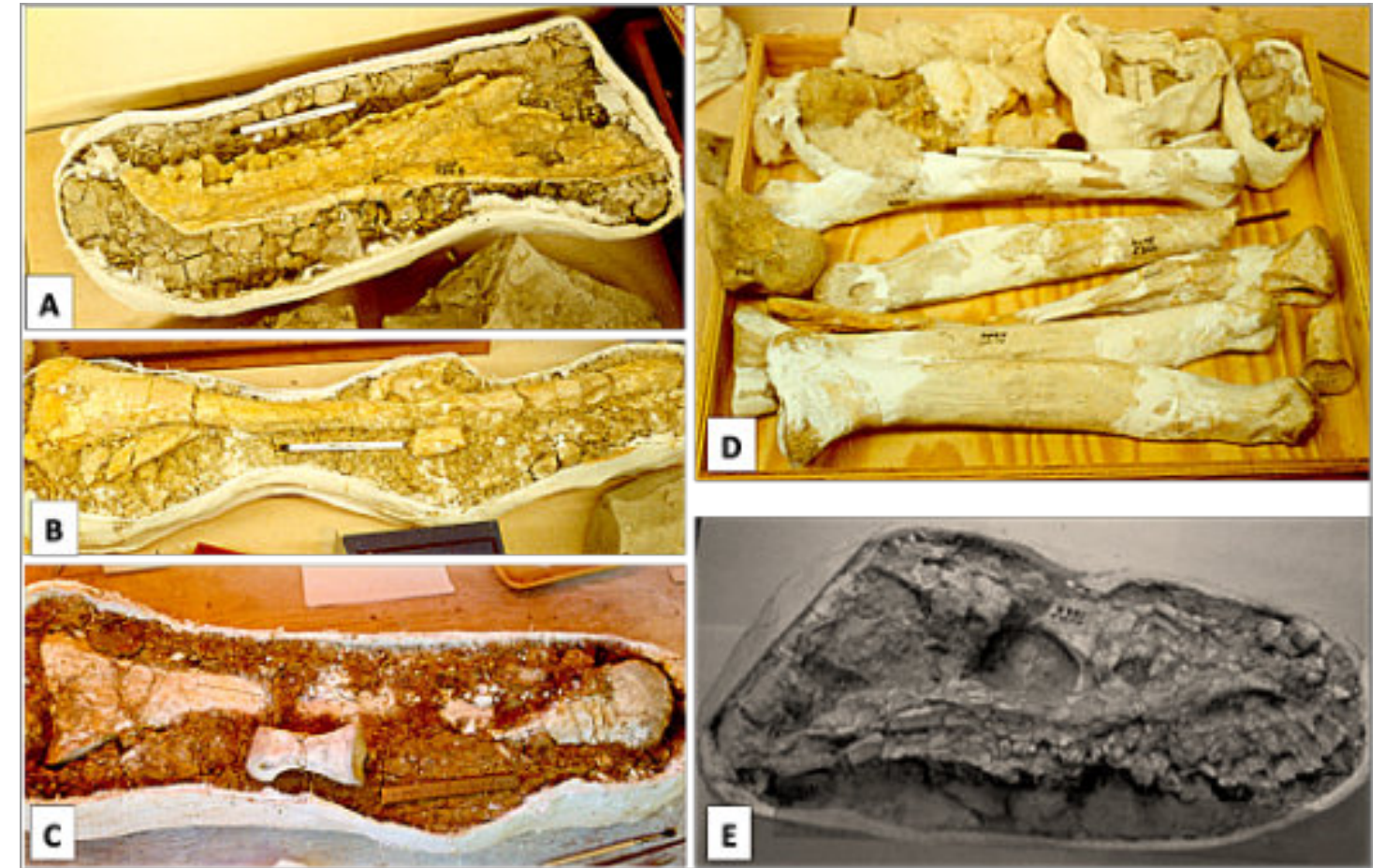
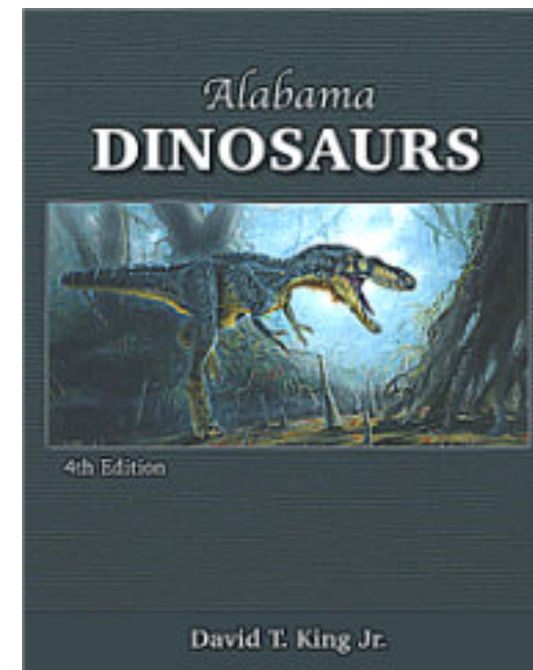


Figure 7. Some of *Appalachiosaurus*' partially cleaned bones that are still in their plaster jackets, as seen at Jim Dobie's laboratory, c. 1985. These bones were excavated by AU faculty and have AU museum numbers on them. They are presently housed at the McWane Center in Birmingham, along with many others from the AU collection. A) Right dentary. B) Fibula. C) Fibula and a phalanx. D) Mainly metatarsals. E) Maxilla and related skull bones. Photos by me; note – not at the same scale.

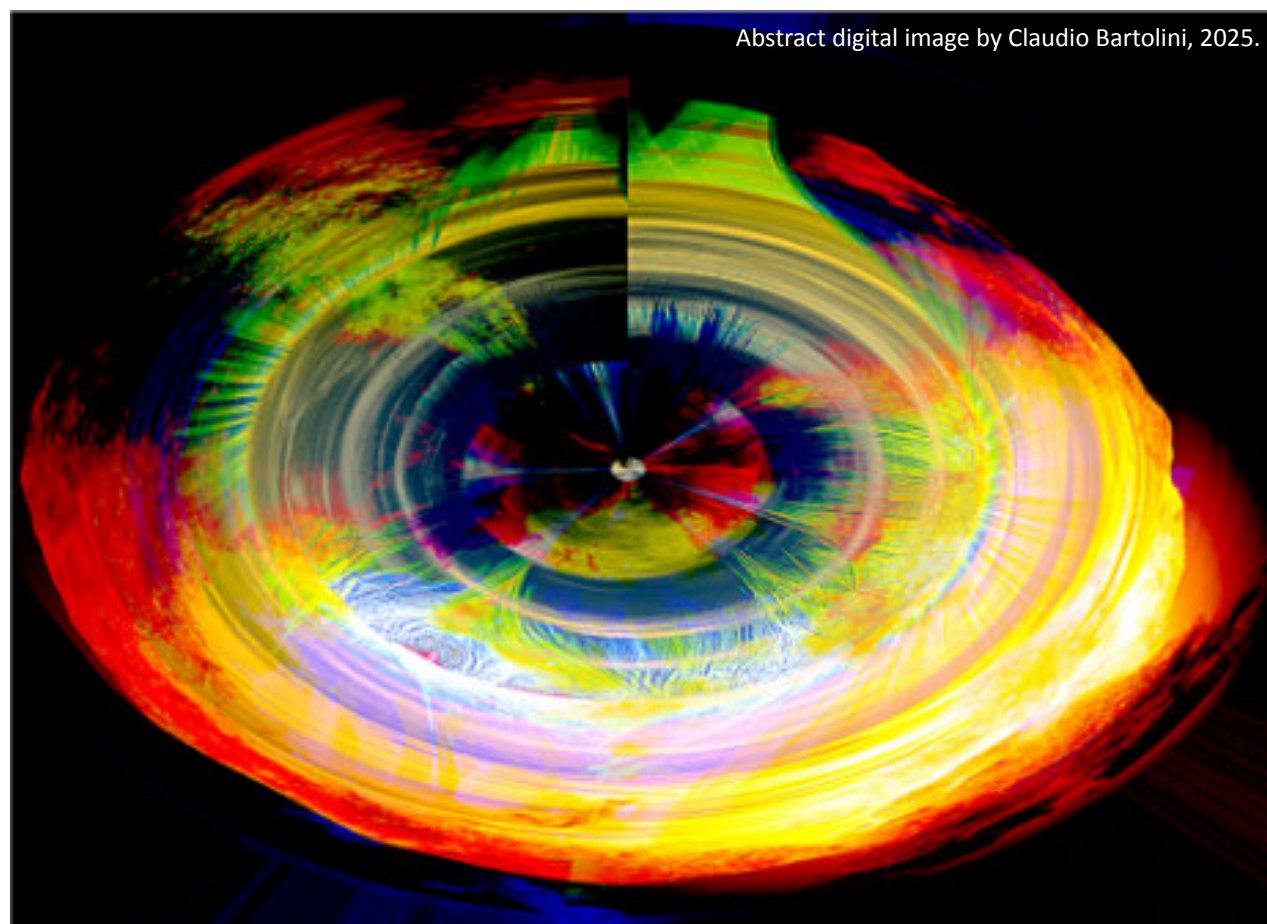


[https://www.amazon.com/Alabama-Dinosaurs-David-King-Jr/dp/1735934054/ref=sr\\_1\\_1?crd=UI5K1X1DEBPJ&dib=eyJ2ljojMSJ9.mojoy3tIzYptTNRXLV2kxrXgSp7Bf1vTT4WawdhpT-TWVItkUR89iT-WHLbxCjpUCaLI3iGK\\_yjF1s0TP7Iy0\\_MtQ8oQk\\_BqVQ-oezW3drDWLDsBE472Yv83Xa61smOIXtkSSU-YPe5Dds4v0RWfublyEK2XuWVhCgtojVyNPilv3wKZQpwCUnMsl42CN36hiojFXVxmFcnSWngdE7aNc7S31ePX1O9W4Jh3nu5J1MgU.9IZATO7WDnprkbD7hkpbBqDYGFPt9cya8WY1EqKo9-w&dib\\_tag=se&keywords=Alabama+Dinosaurs&qid=1762552369&srefix=alabama+dinosaurs+%2Caps%2C155&sr=8-1](https://www.amazon.com/Alabama-Dinosaurs-David-King-Jr/dp/1735934054/ref=sr_1_1?crd=UI5K1X1DEBPJ&dib=eyJ2ljojMSJ9.mojoy3tIzYptTNRXLV2kxrXgSp7Bf1vTT4WawdhpT-TWVItkUR89iT-WHLbxCjpUCaLI3iGK_yjF1s0TP7Iy0_MtQ8oQk_BqVQ-oezW3drDWLDsBE472Yv83Xa61smOIXtkSSU-YPe5Dds4v0RWfublyEK2XuWVhCgtojVyNPilv3wKZQpwCUnMsl42CN36hiojFXVxmFcnSWngdE7aNc7S31ePX1O9W4Jh3nu5J1MgU.9IZATO7WDnprkbD7hkpbBqDYGFPt9cya8WY1EqKo9-w&dib_tag=se&keywords=Alabama+Dinosaurs&qid=1762552369&srefix=alabama+dinosaurs+%2Caps%2C155&sr=8-1)



**David T. King, Jr.** Dr. King's academic research interests are related to stratigraphy and Earth history. In particular, he studies the effects of asteroid and comet impact upon Earth history and the stratigraphic record. In the area of applied research interests, his interests are petroleum exploration and deep subsurface waste disposal. He is an author of many scientific papers, including "Shallow marine-impact origin for the Wetumpka structure (Alabama, USA)", which was published in *Earth and Planetary Science Letters* (2002). With Hal Levin, he is co-author of an historical geology textbook, *The Earth through Time*, 11th ed. (2017). From 1997-2000, Dr. King served on the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature. He currently serves on the Alabama Board of Licensure for Professional Geologists as the representative of his state's academic community, and he is a licensed PG in the states of Alabama, Louisiana, and Texas.

Researchgate: <https://www.researchgate.net/profile/David-King-Jr>



Abstract digital image by Claudio Bartolini, 2025.

**Nada grande se ha hecho en el mundo sin una gran pasión.**

**Georg Wilhelm Friedrich Hegel**

## La importancia de la mineralogía en las ciencias de la Tierra, explicada con Volcanes Hawaianos.

**Henry Ortiz Erazo**  
Facultad de ingeniería de la UNAM

Cuando pensamos en Hawái, casi siempre se nos vienen a la cabeza playas paradisíacas, volcanes y cultura tradicional. Es cierto, es un lugar turístico reconocido en todo el mundo, pero también es un espacio clave para la ciencia. En esas islas están algunos de los volcanes más activos del planeta, y gracias a ellos se han podido estudiar procesos volcánicos en tiempo real, algo que en otros lugares solo se puede reconstruir con teorías o modelos. Dentro de las Ciencias de la Tierra, la mineralogía ha sido fundamental para entender Hawái. Los minerales no son únicamente cristales bonitos o recursos económicos, también funcionan como registros naturales que guardan información sobre lo que ocurre en el interior de la Tierra. En estas islas, la mineralogía ha permitido explicar la diversidad de lavas, conocer mejor cómo son las erupciones y hasta descubrir cómo está compuesto el manto.

### Lavas distintas y la cristalización fraccionada

En los años setenta, el geólogo Thomas L. Wright estudió las lavas del Kīlauea y el Mauna Loa. Su investigación demostró que las diferencias químicas entre ellas no se debían a magmas separados, sino a un proceso llamado cristalización fraccionada (Wright, 1971). Este proceso ocurre cuando minerales como el olivino, el piroxeno y la plagioclasa cristalizan primero en la cámara magmática y se separan del líquido, cambiando su composición. De esa manera, un mismo magma puede dar lugar a lavas muy diferentes dependiendo de cuánto y qué minerales hayan cristalizado. Lo importante de este hallazgo es que mostró cómo la mineralogía no solo clasifica minerales, sino que puede contar la historia química del magma y ayudar a construir modelos sobre la evolución volcánica.



Parque Nacional de los volcanes de Hawai. Fabrice Finotti.

### El "cabello de Pele": fibras que registran erupciones

Un fenómeno muy llamativo en Hawái es el cabello de Pele (Pele's hair), fibras delgadas de vidrio volcánico que se forman cuando gotas de lava incandescente son estiradas por el viento y se enfrían en el aire.

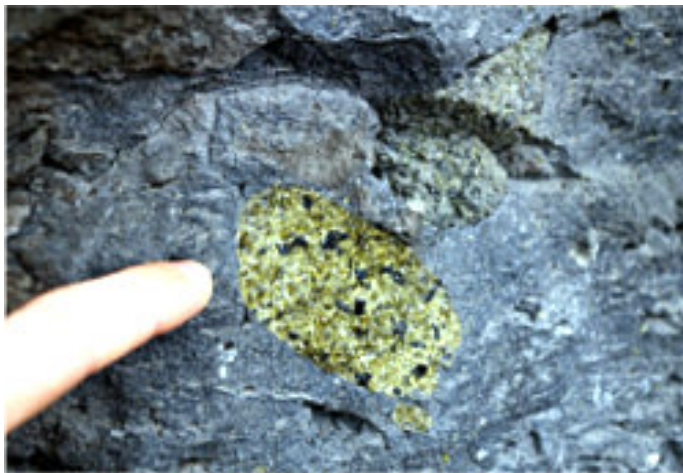


Pelos de pele bajo un microscopio. Observatorio Volcánico de Hawai.

Aunque parecen simples hilos de vidrio, al analizarlos se descubrió que contienen cristales de plagioclasa que se forman a unos 1 160 °C (Heiken, 1972). Esto los convierte en verdaderos termómetros naturales, capaces de registrar la temperatura y la dinámica de las erupciones. Este ejemplo muestra cómo algo frágil y hasta simbólico en la cultura hawaiana puede convertirse en una herramienta científica muy precisa.

### Xenolitos: fragmentos del manto en la superficie

En la isla de Oahu, el Honolulu Volcanics ha expulsado a la superficie xenolitos, fragmentos de roca que provienen del manto y que el magma arrastra en su ascenso. Estos xenolitos incluyen dunita, piroxenita y lherzolita, con minerales como olivino y espinela (Sen, 1983). Su importancia está en que permiten estudiar directamente la composición del manto terrestre, algo que usualmente solo se deduce de manera indirecta con la sismología. Gracias a la mineralogía, estos fragmentos se convierten en una ventana real hacia el interior profundo de la Tierra.



Xenolito de peridotita en basalto, Hawai 2009. Einat Lev.

### Cambios químicos y procesos después de la erupción

La mineralogía también ha servido para entender procesos que ocurren después de una erupción. Investigaciones de Borisova et al. (2020) mostraron que el manto bajo Hawái ha sido alterado por metasomatismo carbonatítico, un proceso en el que fluidos ricos en carbonatos cambian la composición de las rocas.

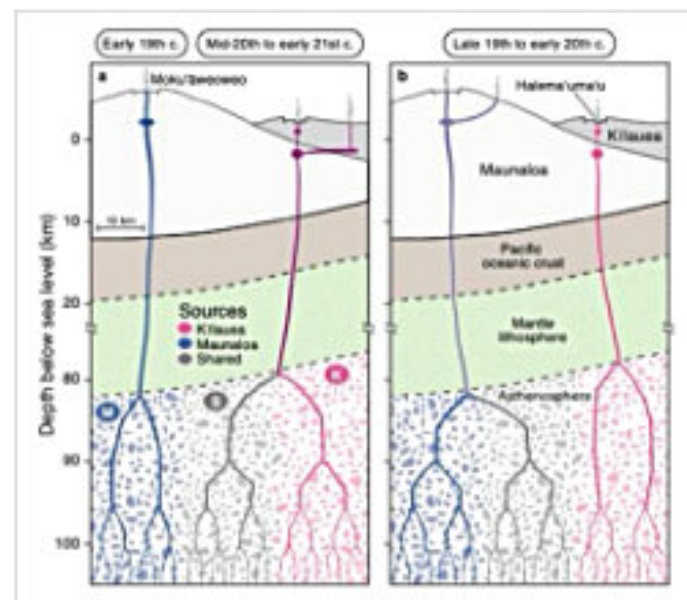
De forma complementaria, Mulder et al. (2023) encontraron en tubos de lava inactivos minerales como yeso, opalita y calcita. Estos se forman cuando el agua subterránea reacciona con la roca volcánica, lo que demuestra que la actividad mineralógica no termina con la erupción, sino que continúa mucho después.

### Dos fuentes magmáticas bajo Hawái

Durante mucho tiempo se pensó que el archipiélago estaba alimentado por un solo penacho magmático

profundo. Sin embargo, estudios más recientes han revelado un sistema más complejo. Por un lado, análisis geoquímicos han identificado diferencias isotópicas conocidas como los componentes Kea y Loa, lo que apunta a dos dominios distintos en el manto.

Más recientemente, Guillaumon et al. (2025) demostraron con análisis de elementos traza que Hawái se alimenta de al menos dos reservorios magmáticos. Incluso, trabajos como el de Pietruszka et al. (2025) sugieren que volcanes como el Kīlauea y el Mauna Loa pueden compartir una fuente profunda, alternando cuál recibe más magma en diferentes periodos. Estos descubrimientos no solo cambian la visión sobre la dinámica de Hawái, también aportan datos útiles para campos como la detección de geoneutrinos, partículas que permiten estudiar la energía que proviene del interior del planeta.



Journal of Petrology, Aaron Pietruszka.

### Conclusión

El caso de Hawái demuestra la importancia de la mineralogía como herramienta para entender los volcanes. Con ella se explicó la variabilidad de las lavas, se usaron fibras vítreas como termómetros de erupciones, se analizaron fragmentos del manto, se identificaron transformaciones químicas post-eruptivas y, más recientemente, se descubrió que el sistema magmático hawaiano es mucho más complejo de lo que se creía.

Y así como este ejemplo, hay más casos de investigación en los que sin la ayuda de las herramientas dadas por la mineralogía, no se habrían logrado los resultados obtenidos. Como ejercicio, puedes pensar en algún descubrimiento reciente en las ciencias de la Tierra y preguntarte si la mineralogía ayudó a que se lograra, seguramente sí. En resumen, si hablamos de mineralogía, hablamos del pilar de las ciencias de la Tierra.

### Referencias

Borisova, A. Y. et al. (2020). Carbonatite metasomatism in the Hawaiian mantle.

Guillaumon, P. et al. (2025). Trace elements and isotopes in Hawaiian volcanic rocks.

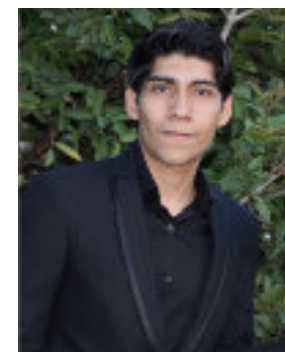
Heiken, G. (1972). Morphology and petrography of volcanic ash.

Mulder, M. et al. (2023). Secondary mineral formation in Hawaiian lava tubes.

Sen, G. (1983). A petrologic model for the origin of Hawaiian lavas.

Pietruszka, A. J. et al. (2025). Shared deep magma source for alternating eruptions at Kīlauea and Mauna Loa.

Wright, T. L. (1971). Chemical variation in Hawaiian lavas.



**Henry Ortiz Erazo** es estudiante de la facultad de ingeniería de la UNAM, soy originario de Cuernavaca, Morelos, actualmente estoy inscrito en el programa educativo Ingeniería de minas y metalurgia.

Aunque desde temprana edad supe que quería estudiar una ingeniería, tardó más tiempo del que le hubiera gustado en descubrir que las ciencias de la tierra es el área donde me gustaría ejercer la ingeniería, ya que desconocía por completo lo interesante que esta aérea puede ser.

Por eso pienso que las ciencias de la Tierra deben tener mayor difusión y que hay muchas mentes brillantes y con mucho que aportarles que aún no han escuchado hablar de ellas y desde ahora como estudiante siento el compromiso de promover y compartir el valor de las geociencias.

[ortizhenry1407@gmail.com](mailto:ortizhenry1407@gmail.com)

## La Importancia de la Mineralogía y Cristalografía en el desarrollo humano

**Daniel Olascoaga Arce**

Facultad de ingeniería de la UNAM

Desde que era pequeño, fui un niño muy curioso y a menudo me surgían todo tipo de preguntas sobre los objetos más cotidianos; ¿por qué la tierra tiene esos destellos tan pequeños?, ¿por qué todos los granos de sal parecen pequeños cubos?. Recuerdo haber roto un tornillo y al ver en su interior, una textura con granos muy, muy pequeños. Estas y muchas otras preguntas que seguramente tú también te has hecho pueden ser respondidas por la mineralogía y cristalografía, me atrevo a decir que estas ciencias nos ofrecen un lente, una herramienta para comprender y examinar la existencia misma, pues como argumentaban muchos filósofos, tales como Thomas Hobbes (*Leviatán* 1651). La realidad es una consecuencia de la materia organizada que precede y define a la conciencia, otros autores como Herman Hesse (*Lobo estepario* 1927) menciona que podemos acercarnos a conocer “El Todo” (la divinidad) tomando diversas rutas y mediante distintas disciplinas, el camino en el que nos enfocaremos es el que trazó Linus Pauling [1901-1994] en su obra publicada en 1939 “the nature of the chemical bond” donde simplifica la química cuántica, complejas ecuaciones se reducen a operaciones de adición, resta o división y es aquí donde establece los homónimos; Principios de Pauling, a los que entraremos en breve detalle para analizarlos.

El primero es el Principio de Coordinación; relata la relación que los cationes tienen con los aniones, pues estos se rodean a sí mismos de manera recíproca en las tres dimensiones del espacio y, se puede obtener una relación al dividir los radios atómicos, a este resultado se le nombra “número de coordinación” y lo que hace es describir la geometría del arreglo atómico en mano, que así mismo se le nombra “Poliedro de Coordinación”, pequeños tabiques, símil a un prisma que unidos, dan forma a la materia tal como la conocemos.

El segundo principio es “La Valencia Electroestática”, se define como el resultado de una diferencia entre las cargas de los átomos de interés. Esta información resulta de vital importancia para conocer el tipo de enlace que comparten los átomos, pues dependiendo de la fuerza de este, se dictaran las propiedades físicas del agregado, si el resultado es cero, el enlace será covalente (como un diamante), mientras que un enlace iónico polar (como la sal de mesa) hará que el cristal sea fácilmente soluble en agua.

El tercer principio es el de “Asociación” estudia la forma en la que los antes mencionados, “Poliedros de Coordinación” pueden compartir sitios geométricos para equilibrar sus cargas, con la posibilidad de compartir sus aristas, vértices o caras siempre y cuando los cationes guarden su distancia, pues similarmente al juntar dos imanes con polos iguales, estos se repelerán.

El último es: “El Principio de Parsimonia”, resulta práctico imaginarlo como el espacio vacío que existe entre los poliedros de coordinación y en estos espacios podemos alojar iones, siempre y cuando su radio sea menor al volumen del espacio, como guante en mano, este último es el cimiento para la ingeniería metalúrgica, concepto que revisaremos más adelante.

El breviario en los Principios de Pauling es necesario para comprender el comportamiento interno de un cristal, pero ahora demos un gran salto en el tiempo para hacia el pasado, pues destacaré que para la Dinastía Zhou ya se había publicado el texto “San Hey Din” (China 500 A.C.), texto en el que eran descritos al menos 17 minerales distintos, claro dentro del término “Piedras Preciosas”, así como existían textos Indios escritos en Sanscrito destacando diversas gemas. Con un salto en el tiempo de nuevo, aterrizamos en el año de 1839 para conocer a el físico-geógrafo y ahora mejor definido como “cristalógrafo”; Moritz Ludwig Frankhelm y su introducción al concepto: “Los Índices de Miller” (*Crystallonomische Aufsätze*). Son la clave para identificar minerales, cristales de cualquier naturaleza [Incluso minerales extraterrestres y artificiales] al usar un sistema

de tres ejes, no muy distinto a “x, y, z” y los ángulos que estos mantienen uno con respecto a otro.

Son siete los sistemas cristalinos en los que se dividen e identifican poco más de 6,000 especies minerales distintas, aunque son solo un puñado los más importantes y que constituyen a la corteza, manto y núcleo terrestre.

¿Pero para qué nos sirven estos 7 sistemas cristalinos? Cada mineral, independientemente de su ambiente de formación, incluso si son de origen artificial, tienen “nombre y apellido” y estos son sus índices de Miller, le asignamos coordenadas a cada cara de un cristal, la combinación de todas sus caras nos ayudarán a reconstruirlo, con la implementación de rayos X podemos refractar y obtener esta información sin importar el tamaño o que tan indistinguible a nuestros ojos sea un cristal.

Como dato curioso, ¿sabías que la icónica corona británica tiene una enorme gema roja, de unos gigantescos 170 quilates (34 gramos) y esta, se identificó erróneamente como un rubí? Pues esta magnífica gema no es un rubí, sino una espinela, dos minerales completamente distintos, que pertenecen a dos sistemas cristalinos completamente distintos. Mientras hablamos de rubíes, aclaremos que el verdadero nombre del mineral es “corindón” (los zafiros también forman parte de la familia del corindón), y este no solo es un ornamento para decorar joyería, pues tiene por composición química  $Al_2O_3$  y es un excelente ejemplo para respondernos ¿qué le da color a los minerales? Los minerales reciben su color gracias a “elementos cromóforos” y en caso del corindón, este recibe una amplia gama de colores gracias a pequeñas impurezas y este recibirá distintos nombres basados en su color, cuando es rojo se debe a impurezas casi negligibles de cromo en su red cristalina y cuando estos se forman en mármol, contrario a un proceso magmático, este se enriquece de óxidos hierro, con variedades de color tan intensas que llevan por nombre “rubí sangre de pichón”. Por otro lado, cuando el corindón presenta un espectro de colores que van del amarillo, verde y azul a los que les llamamos “zafiros” y estos deben

su color a impurezas de hierro y titanio, donde su concentración dominante dictará el color o en caso de ser partes iguales, el color será verde. Como mencioné, el corindón no solo es de uso ornamental, pues cuando no estamos en busca de un cristal de calidad gema, este es un mineral relativamente abundante y de propiedades espectaculares gracias a que su formación se dió en condiciones extremas de presión y temperatura, posee una increíble dureza y para cuantificarla, usamos la escala logarítmica de Mohs, donde el 1<sup>er</sup> número es el menos duro y este lugar lo ocupa el talco, el antes mencionado diamante es la sustancia natural más dura conocida y toma el valor de 10. El corindón lo hallaremos con una dureza de 9, lo que lo convierte en un material muy útil, su poder abrasivo es esencial para mantener un sinfín de industrias, lo podemos ver siendo usado para lijas, abrasivos y herramientas de corte. Hoy en día nuestra tecnología nos permite cultivar corindón de manera artificial en un laboratorio, pues es codiciado no solo por su abrasivo, al ser trabajado puede ser un preciso balero, tal y como es usado en relojes de alta gama, así como la ventana que recubre al reloj, este cristal también es codiciado por sus propiedades ópticas y es una pieza clave en la manufactura de láseres de alta precisión.

Es de vital importancia en las ciencias de la tierra un dominio en la cristalografía y mineralogía, pues nos ayuda para reconstruir ambientes del pasado, con cientos de millones de años de antigüedad, localizar recursos críticos que no solo ayudan e impulsan el crecimiento económico de un país, como lo puede ser distinguir sulfuros de plata que, a simple vista no se asemejan en lo absoluto a este precioso metal o el mismo caso para las menas de donde extraemos cobre, minerales indispensables para la industria tecnológica, como los boratos para la manufactura de metales o la eterna creciente demanda de tierras raras, vitales para la era digital, su valor solo ha aumentado con el pasar del tiempo y son ahora, más valiosas en peso que el oro, cediendo la balanza a su favor en negociaciones a las naciones que poseen control sobre este recurso, así como ha crecido el

interés por dominar el mercado con el uso de campañas bélicas.

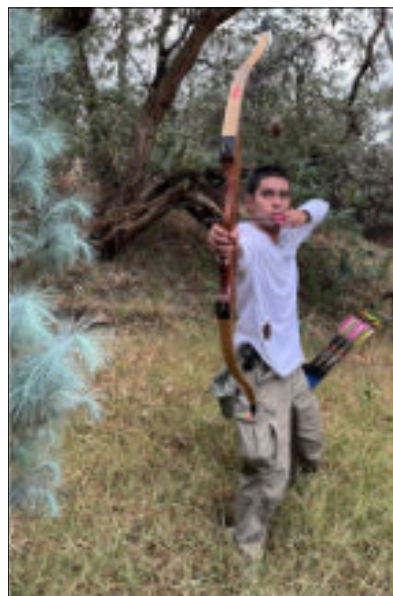
En una nota más positiva, démosle un vistazo al mundo de la ingeniería de materiales, pues podemos delimitar eras tecnológicas basándonos en el dominio y nuestra capacidad de aprovechar los recursos de la tierra, pasando por la edad de piedra, del cobre, bronce y hierro. Hoy en día no solo hacemos uso de los recursos que la tierra produce naturalmente, sino que hemos desarrollado industrias enteras para la elaboración de cristales sintéticos, incluso cristales líquidos que usamos diario en nuestras pantallas digitales (Liquid Crystal Display), o incluso gemas sintéticas, estas industrias permean en nuestra vida diaria y la constante mejora a nuestra calidad de vida. Para la elaboración de metales existe la ingeniería metalúrgica, especialistas que diseñan aleaciones para un sinnúmero de aplicaciones, pudiendo controlar según sea la necesidad, las impurezas de carbono u otros elementos, que finalmente afectarán en la dureza, tenacidad, ductilidad o flexibilidad, incluso controlando el crecimiento de cristales al recristalizarlos, proceso que conocemos como “templar”.

La aplicación de este conocimiento nos permite combinar propiedades, como usar acero para soportar grandes cargas, pero donde su resistencia a la corrosión

flaquea, podemos recubrirlo de una fina capa de un metal, que si bien no es una opción viable para soportar estrés, el Zinc no solo es excelente conductor, sino que actúa como un anti-corrosivo, evitando una oxidación prematura, protegiendo así estructuras de carga de los elementos y aumenta su seguridad, a este proceso se le conoce como galvanización.

Daré como último ejemplo mi aleación favorita; el acero Cromoly (acero 41XX) donde recordaremos el Principio de Parsimonia, esta aleación debe su nombre gracias a impurezas deliberadamente agregadas de Cromo (<1.2%) y Molibdeno (<0.25%), estas “imperfecciones” desalinean hileras de cristales en la misma forma que al construir un muro de tabiques, lo hacemos con hileras alternantes, dando como resultado un metal tan fuerte y ligero, que es usado para construir el esqueleto de aviones, engranes, bicicletas, jaulas anti-vuelcos para autos deportivos del tipo rally y la elaboración de autos del tipo fórmula 1.

Espero que esta lectura despierte un nuevo interés en el mundo que nos rodea, el estudio de las estructuras cristalinas está en toda la materia que nos rodea y sepas que todo no siempre es lo que parece, ¡hay mucho por aprender y deseo que jamás pierdas tu capacidad de asombrarte!



Soy **Daniel Olascoaga Arce**, estudio ingeniería geológica en la Facultad de ingeniería de la UNAM, me apasionan las artes, el tiro con arco instintivo, la filosofía y la manera en la que funcionan las cosas que me rodean, desde la mecánica, electrónica y especialmente geología, pues esta ciencia es multidisciplinaria; una intersección de física, química, biología e historia.

Es mi firme creencia que la mejor innovación del humano, incluso antes de ser *homo sapiens* es transformar los recursos que le rodean para facilitar su vida y es por esto que tengo un interés especial en la exploración y extracción de recursos naturales minerales y principalmente hacia los hidrocarburos, manera consciente y responsable.

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

## Nuevos conceptos sobre la relación entre los terremotos y la formación de vetas metálicas hidrotermales

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

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

\*Autor de Correspondencia:

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3452-0576>

### Resumen

La relación entre la sismicidad (especialmente los grandes terremotos) y la formación de yacimientos minerales metálicos tipo vetas hidrotermales ha sido objeto de interés creciente en las últimas décadas. Los terremotos modifican la arquitectura de fallas y fracturas, regulan la permeabilidad y la presión de los fluidos en la corteza y pueden inducir fenómenos físicos (por ejemplo, la vaporización instantánea) que favorecen la precipitación rápida de metales como oro, plata, cobre, plomo y zinc (en combinaciones minerales). Este artículo ofrece una revisión integradora dirigida a un público profesional y/o con interés en las geociencias: sintetiza los mecanismos físicos y geoquímicos propuestos, resume la evidencia de campo y de laboratorio, discute las implicaciones para la exploración minera y presenta figuras esquemáticas que ilustran los procesos clave.

### Introducción

Las vetas hidrotermales son cuerpos tabulares o filonianos de minerales precipitados en fracturas y/o espacios abiertos en las rocas por la circulación de fluidos calientes, de diverso origen: meteóricos, magmáticos y/o metamórficos, que transportan metales en solución a alta presión y temperatura. Estos minerales se precipitan

cuando cambian las condiciones fisicoquímicas (por ejemplo, cambios en temperatura, presión, pH, fugacidad del oxígeno). Tradicionalmente, la génesis de vetas se atribuye a fuentes de calor y fluido profundas, a gradientes de presión y temperatura, y a la presencia de fracturas que permiten la migración y la deposición. Sin embargo, un componente dinámico (la actividad sísmica) emerge como factor clave en muchos sistemas vetiformes: los terremotos generan, reabren o sellan fracturas y alteran las condiciones termodinámicas de los fluidos, produciendo episodios concentrados de mineralización. En este artículo vemos cómo los procesos asociados a los terremotos, tales como el aumento transitorio de permeabilidad (“seismic pumping”), la apertura súbita de cavidades y la vaporización instantánea de fluidos, pueden explicar las texturas, distribuciones y concentraciones de metales observadas en depósitos auríferos y otros depósitos de vetas.

### Marco conceptual: fallas, fluidos y mineralización

*Tipos de fluidos y fuentes de metal.* Los fluidos que forman las vetas hidrotermales pueden tener orígenes diversos:

- *Magmático-hidrotermal:* fluidos expulsados de cuerpos ígneos (p. ej., porfírico y epitermal).
- *Metamórfico:* fluidos liberados durante reacciones de deshidratación en la columna litológica de la corteza terrestre (orogénesis).
- *Meteórico/connata:* agua de lluvia (superficie) infiltrada y que circula a gran profundidad (varios kilómetros) y se calienta por gradientes geotérmicos (250+ grados centígrados).

Los metales se transportan en solución (complejos minerales) con sulfuros, cloruros, bisulfuros, bicarbonatos o como especies neutras, dependiendo de T–P–fO<sub>2</sub>–pH y la composición del fluido.

*Estructura: fallas y zonas de cizalla.* Las fallas y las zonas de cizalla constituyen los corredores preferentes de flujo por dos razones: 1) concentran la deformación y la fracturación, creando caminos conectados de

permeabilidad; 2) alojan la dilatación localizada donde puede enfocarse la precipitación mineral.

**Mecanismos por los que los terremotos favorecen la mineralización.**

A continuación se describen los principales mecanismos propuestos en la literatura que vinculan a los terremotos con la formación de vetas hidrotermales.

- **Modelo "fault-valve" o válvula de falla.** Propuesto en la década de 1980, (Sibson, 1987, 1992), el modelo fault-valve sugiere que durante el ciclo sísmico una falla actúa como una válvula que alterna entre estados de baja y alta permeabilidad. En el rango inter-sísmico, la falla puede sellarse por precipitación mineral y sellos amorfos que aumentan la presión de los fluidos por debajo del sello. Cuando la presión supera la

resistencia, la falla se reabre (ruptura sísmica), permitiendo un pulso de drenaje de fluidos sobrepresionados hacia zonas de menor presión. El descenso brusco de presión provoca cambios termodinámicos que favorecen la precipitación de metales (Figura 1, Sibson, 1987, 1992). Consecuencias: depósitos episódicos, vetas con texturas cíclicas y mineralización asociada a estructuras de transparencia/dilatancia.

- **Modelo "Seismic pumping" (bombeo sísmico).** Los terremotos generan poros y microfracturas y pueden producir pulsos repetidos de sobrepresión y descarga que movilizan fluidos a lo largo de la zona de falla y el entorno. Este bombeo sísmico incrementa el volumen de fluido transportado y puede transportar soluciones metalíferas hacia trampas estructurales o sitios dilatantes donde precipitan (Figura 2, Sibson et al.) Efectos observables: presencia de brechas

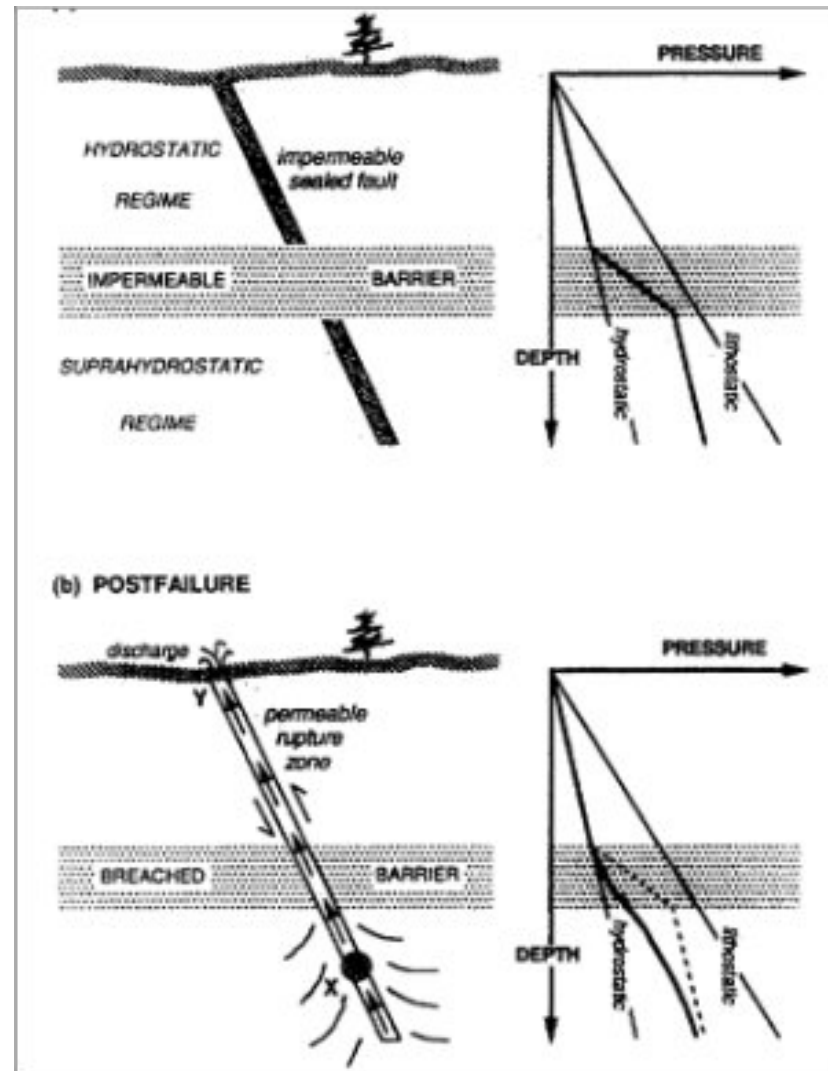


Figura 1. Esquema conceptual del modelo *fault-valve* (válvula de falla) mostrando: falla principal; condiciones de pre-ruptura (figura superior) de la falla con la zona sellada en periodo inter-sísmico con acumulación de fluidos y sobrepresión; condiciones de post-ruptura (terremoto) con apertura de la falla y expulsión de fluidos. Se ilustra el ciclo inter-sísmico-sísmico-post-sísmico que conduce a pulsos de mineralización por descompresión y flujo de fluidos. (Sibson, 1992).

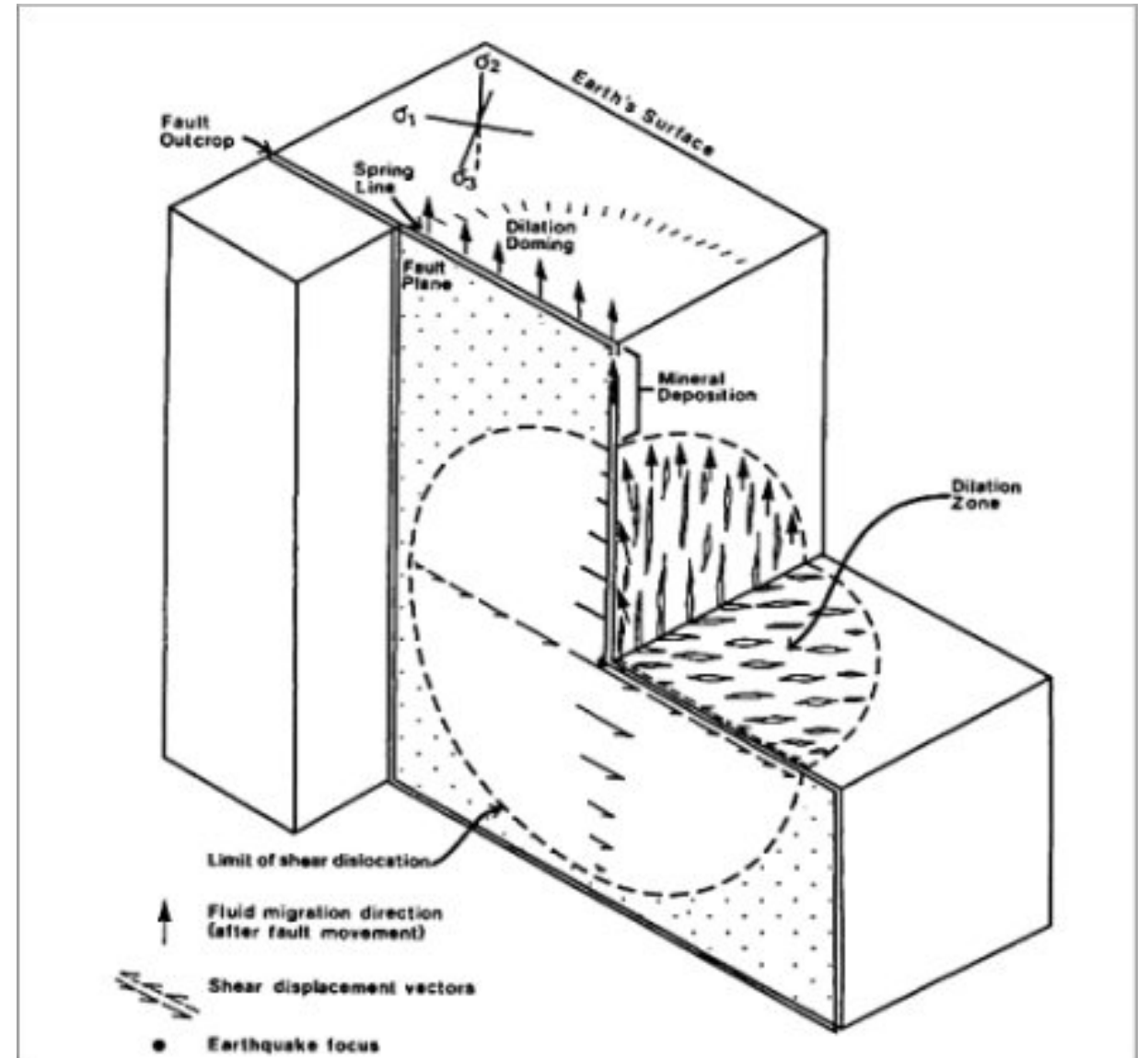


Figura 2. Diagrama esquemático que representa la expulsión de fluidos (bombeo sísmico "seismic pumping") seguido del colapso de la zona de dilatación alrededor de una falla de cizalla. (Sibson, et al., 1975).

hidrotermales, cementación rápida, paquetes de vetas con rellenos superpuestos.

- **Modelo "Flash vaporization" (vaporización instantánea).** Modelo propuesto por Weatherley y Henley (2013) cuando un fluido sobrepresionado en una cavidad o en una constricción de la falla experimenta una caída súbita de presión (por apertura en sismicidad) y puede ocurrir una vaporización instantánea. La vaporización reduce la solubilidad de metales (por ejemplo, Au, Ag), provoca nucleación rápida y la formación de cuarzo y otros minerales acompañantes. Este proceso puede concentrar metales en fracciones muy cortas de tiempo

(segundos a minutos) y explicar microtexturas de precipitación rápida en vetas auríferas (Figura 3, Weatherley y Henley, 2013). Implicaciones: generación de cuarzo fino, nanopartículas de sílice y concentraciones puntuales de oro y otros metales.

- **Cambios electroquímicos y generación de cargas eléctricas.** El deslizamiento y la fracturación pueden producir cargas, corrientes eléctricas y cambios redox locales que favorecen reacciones químicas (oxidación/reducción) que alteran la estabilidad de complejos metálicos y fomentan la precipitación por descomposición de los complejos o por descargas eléctricas que promueven la nucleación de partículas

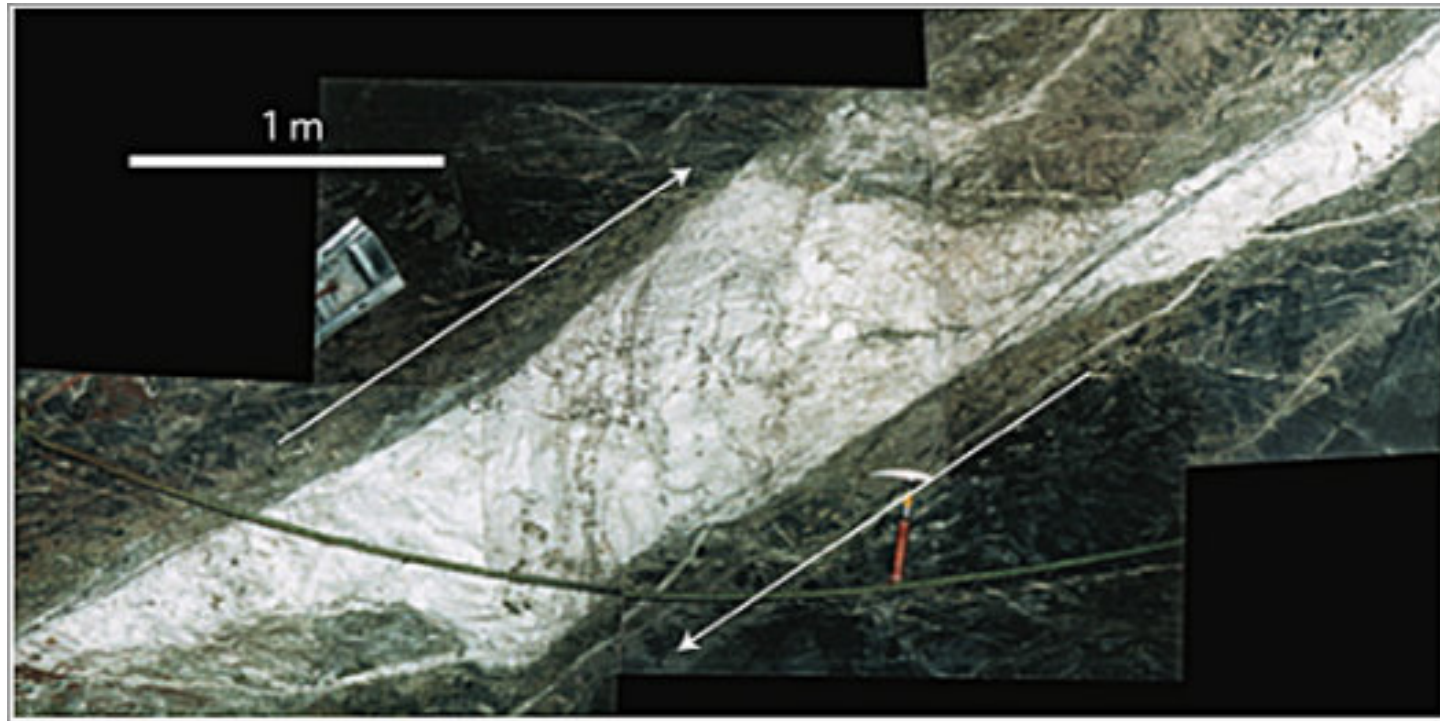


Figura 3. Fotografía de una veta de cuarzo formada por procesos de vaporización instantánea (*flash vaporization*) en una cavidad de falla. Ejemplo de una cavidad formada por dilatación (apertura de espacio) en una falla de cizalla y rellena de cuarzo en el depósito de oro de Archean Revenge (Kambalda, Australia). Se observa cómo un evento sísmico de corta duración puede generar condiciones físico-químicas que precipitan metales de forma muy rápida. (Weatherley y Henley, 2013).

metálicas.

- **Efectos térmicos y equilibrio químico.** La deformación rápida puede generar calor friccional en la falla (aunque su extensión espacial es limitada) y forzar reacciones endo/exotérmicas que cambian fugacidades y la especie química dominante del metal. Además, la entrada de agua fría tras un pulso de fluido caliente puede generar pérdida de temperatura y precipitación por enfriamiento.

#### Evidencia de campo y de laboratorio

**Texturas y microestructuras.** Las vetas asociadas a actividad sísmica presentan frecuentemente:

- Microbrechas truncadas por venas posteriores.
- Cementación rápida y brechas hidrotermales con clastos angulosos.
- Texturas de corte y trituración con múltiples

generaciones de relleno.

- Nanopartículas de sílice y microestructuras que sugieren sobresaturación y nucleación rápida.

Algunos estudios de campo (por ejemplo, sistemas de vetas y fallas exhumadas) muestran secuencias cíclicas que son consistentes con múltiples eventos de apertura y sellado.

#### Evidencia geocronológica y de tiempo rápido

La datación de minerales de venas (U–Pb en circón, Ar–Ar en adularia/sericita, Pb isotópico en galena) combinada con registros estructurales permite vincular episodios de mineralización con fases tectónicas y, en algunos casos, con registros sísmicos geológicos (por ejemplo, paleotsunamis, depósitos de avalanchas) que sugieren recurrencia sísmica.

#### Experimentos y modelado

Modelos numéricos y experimentales han reproducido condiciones de sobrepresión, apertura súbita y vaporización. Los experimentos de laboratorio sobre nucleación en cambios de presión/temperatura indican que la disminución rápida de presión es un poderoso mecanismo para inducir precipitación de metales en solución.

#### Casos de estudio emblemáticos

- **Depósitos auríferos porfíricos y de falla:** varios estudios en Nueva Zelanda, Papúa Nueva Guinea y el cinturón mesozoico del oeste de Estados Unidos han demostrado la asociación estructural entre zonas de falla activas y alta ley de oro, con texturas compatibles con procesos sísmicos. Por ejemplo en Papúa Nueva Guinea se han realizado investigaciones que vinculan episodios de mineralización de alta ley con procesos de “fault-valve” y sismicidad repetida.
- **Depósitos en áreas de subducción y orogenia:** en que la recurrencia sísmica y la elevación de fluidos metamórficos generan condiciones favorables para vetas.

#### Implicaciones para la exploración y la explotación minera

La relación entre sismicidad y mineralización tiene varias implicaciones prácticas:

1. **Foco de la prospección en estructuras activas:** fallas con evidencia de reactivación reciente son corredores prioritarios.
2. **Interpretación de texturas como registro de eventos:** reconocer microbrechas truncadas y cementación rápida orienta sobre procesos episódicos de mineralización.
3. **Modelos temporales:** la mineralización puede ser rápida y episódica; por tanto, dataciones de alta resolución y estudios de generaciones múltiples de venas son esenciales.
4. **Riesgos geotécnicos:** operar en zonas tectónicamente activas implica considerar sismicidad actual para seguridad y planificación.

5. **Integración geofísica–geoquímica–estructural:** el uso conjunto de resistividad, sísmica de alta resolución, muestreo de suelos y análisis isotópicos mejora la detección de corredores hidrotermales activos.

#### Límites, preguntas abiertas y futuras líneas de investigación

Aunque existe una creciente acumulación de evidencia, persisten algunas incertidumbres:

- ¿Cuál es la contribución relativa de eventos individuales grandes vs. fluido de circulación continua en la formación de yacimientos económicamente viables?
- ¿Qué parámetros controlan la eficiencia de la vaporización instantánea (composición del fluido, profundidad, geometría de la cavidad)?
- ¿Cómo cuantificar el volumen de metal depositado por pulso sísmico frente a procesos de larga duración?
- ¿Qué señales geoquímicas y texturales son inequívocamente «improntas sísmicas» y pueden usarse para diagnósticos en prospección?

Futuras investigaciones deben combinar modelado termodinámico y de flujo multifásico, experimentación a condiciones de alta presión y temperatura, mapeo detallado de exhumed fault-vein systems y alta resolución en datación de venas para resolver escalas temporales.

#### Métodos sugeridos para detectar influencia sísmica en un yacimiento

- **Microestructura y microscopía:** examinar clastos brechados, truncamientos de venas y textura de relleno.
- **Isótopos y geoquímica de elementos traza:** cambios en fraccionamiento isotópico y relaciones de elementos ligados a cambios de fase.
- **Datación:** usar Ar–Ar, U–Pb o Re–Os según minerales disponibles para definir episodios.
- **Geofísica activa:** registros sísmicos locales, tomografía para identificar zonas de baja velocidad (LVZ) que indican presencia de fluidos.
- **Modelado numérico:** simulación de descenso de presión, vaporización y dinámica de partículas para predecir eventos de precipitación.

## Conclusiones

La asociación entre grandes terremotos y la formación de vetas hidrotermales es robusta y multifacética: la sismicidad modifica la red de fracturas, cambia la permeabilidad, induce descensos de presión y, en algunos casos, provoca vaporización instantánea que favorece la precipitación rápida de metales. Estos mecanismos no son mutuamente excluyentes; más bien, actúan de forma complementaria y cíclica a lo largo de la historia tectónica de una región. Para la exploración minera, integrar la dimensión sísmica en modelos geológicos aumenta la probabilidad de éxito. Para la investigación, la prioridad pasa por cuantificar la magnitud de los pulsos mineralizantes ligados a eventos sísmicos y por identificar firmas diagnósticas en las rocas.

## Referencias y selección de lectura recomendada

Masoch, S., Pennacchioni, G., Fondriest, M., Gomila, R., Poli, P., Cembrano, J., & Di Toro, G. (2025). Earthquake swarms frozen in an exhumed hydrothermal system (Bolfín Fault Zone, Chile). *Solid Earth*, V. 16(1), p. 23-43.

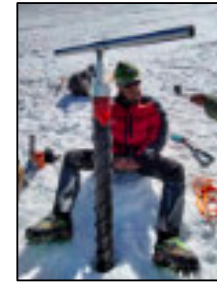
Sanchez-Alfaro, P., Wallis, I., Iturrieta, P., Rowland, J., Dempsey, D., O'Sullivan, J., ... & Cembrano, J. (2024). Earthquakes trigger rapid flash boiling front at optimal geologic conditions. *Geophysical Research Letters*, V. 51(16), e2023GL108109.

Sibson, R. H., Moore, J. M. M., & Rankin, A. H. (1975). Seismic pumping—a hydrothermal fluid transport mechanism. *Journal of the Geological Society*, V. 131(6), p. 653-659.

Sibson, R. H. (1987). Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems. *Geology*, V. 15(8), p. 701-704.

Sibson, R. H. (1992). Implications of fault-valve behavior for rupture nucleation and recurrence. *Tectonophysics*, V. 211, p. 283-293

Weatherley, D. K., & Henley, R. W. (2013). Flash vaporization during earthquakes evidenced by gold deposits. *Nature Geoscience*, 6(4), 294-298.



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



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



**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-oxidoreducción de metales en agua y (5) contaminación de metales en agua. En su programa posdoctoral está



**Eduardo González Partida** Se graduó de Ingeniero Geólogo (UNAM) en 1977 y en 1979 se graduó de Ingeniero Experto en Exploración y Valorización de Recursos Naturales en la Escuela Nacional Superior de Geología de Nancy, Francia, obteniendo posteriormente, los grados de Doctor Ingeniero en Materias Primas Minerales y Energéticas en 1981 y Doctor de Estado en Ciencias en 1985. Actualmente tiene 41 años de antigüedad docente/académico en la

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

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

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

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

UNAM, es nivel III en el SNI. En 2020-21 fue Co-fundador y nombrado Rector de la Universidad Politécnica de Nochixtlan Abraham Castellano. En su aportación científica y tecnológica cuenta con 350 productos. En la formación de recursos humanos ha dirigido 86 tesis, de las cuales 58 son de Licenciatura, 21 de Maestría y 7 de doctorado. Sus campos de acción son los yacimientos minerales y energéticos: geotermia, carbón, hidrocarburos.

**LAPIDARIOS MEDIEVALES: ¿GEOLOGIA, MEDICINA O SIMBOLISMO?**

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente, porrasjs@yahoo.com



**RESUMEN**

Desde la Antigüedad, el ser humano ha mostrado un profundo interés por los minerales, las rocas y los fenómenos naturales, reconociendo no solo su valor material sino también sus posibles efectos sobre la salud humana y animal. Esta fascinación alcanzó una expresión sistemática durante la Edad Media a través de los lapidarios, tratados que documentaban las propiedades físicas, medicinales, simbólicas y astrológicas de las piedras y gemas.

Inspirados en fuentes clásicas como Plinio y Dioscórides del siglo I d.C., e influidos por la tradición árabe y el pensamiento cristiano, los lapidarios integraban observación empírica, medicina tradicional y simbolismo espiritual, constituyendo un puente entre la tradición antigua y el pensamiento científico emergente.

En el presente artículo se examinan los lapidarios más influyentes de la Europa medieval, las rocas y minerales que describen, y la relación entre sus propiedades medicinales, simbólicas y astrales. Además, se analizan cómo estos textos contribuyeron al desarrollo de la mineralogía, la farmacología y la geoquímica moderna, mostrando la relevancia histórica y científica de la interacción del hombre con los materiales geológicos. Esta aproximación permite comprender cómo la geología no solo ha sido un recurso natural, sino también un vehículo de conocimiento, salud y cultura a lo largo de la historia.

**INTRODUCCIÓN: la fascinación humana por las piedras y los minerales**

Desde tiempos remotos, el hombre se ha sentido profundamente atraído por la naturaleza, ya sea por motivos religiosos, mágicos, místicos o simplemente por curiosidad. Fenómenos geológicos como la formación de montañas, las erupciones volcánicas y los terremotos, así

como los meteorológicos, han despertado siempre una mezcla de asombro, temor y admiración. De esa fascinación y respeto surgió tanto el deseo de comprender los procesos de la Tierra como de aprovechar sus recursos, entre ellos los minerales y las piedras preciosas. Estas no solo fueron valoradas por su utilidad o belleza, sino también por los significados simbólicos, espirituales y vitales que se les atribuyeron, convirtiéndose en emblemas de poder, salud y vínculo con lo sagrado, integrados en rituales, prácticas curativas y creencias que perduran a lo largo de culturas y siglos.

Las rocas y minerales se valoraron desde la Antigüedad por sus propiedades constructivas, decorativas y especialmente terapéuticas, tanto para humanos como para animales (Duffin, 2005; Plinio el Viejo, 77 d.C./1984; Harris, 2009). Schubnel (1972) destaca cómo, desde tiempos remotos, las civilizaciones han atribuido a estas gemas significados simbólicos, místicos y curativos. Aborda la evolución del conocimiento sobre las gemas, desde su uso en rituales y adornos hasta su estudio científico en la actualidad.



Figura 1. Pasajes de la Edad Media: a) extracción y minería de piedras preciosas b) página de enciclopedia de minerales c) Cubierta de libro en metal y gemas d) comercio de gemas y piedras preciosas (fuente: <https://es.pinterest.com/>)

El interés por las propiedades medicinales y simbólicas de los minerales alcanzó su máxima expresión en la Edad

Media con la aparición de los lapidarios, textos que recopilaban conocimientos sobre las virtudes físicas, curativas y espirituales de las piedras y gemas. Estos tratados constituyen un punto de convergencia entre la observación empírica, la medicina tradicional y el pensamiento religioso y mágico, reflejando cómo la geología y la mineralogía temprana se entrelazaban con la vida cotidiana y la salud (De Mély, 1898; King, 1994; Calvo, 2010; Alonso, 2020). Schubnel (1972) menciona que para el siglo XV seguía creyéndose en los poderes ocultos y virtudes medicinales de las gemas, creencias que la edad media había heredado de la antigüedad y que aún perduran hasta hoy.

Desde el siglo XVI hasta la actualidad, los minerales y piedras preciosas han despertado interés tanto por sus propiedades medicinales como simbólicas. Durante el Renacimiento se vinculaban a la alquimia, la astrología y la medicina, mientras que, en el siglo XVIII, durante el periodo del racionalismo y la ciencia moderna temprana, comenzaron a estudiarse desde un enfoque químico y empírico, dejando de lado la interpretación mágica. Hoy, aunque la medicina moderna reconoce solo propiedades farmacológicas reales, persiste su valor simbólico y esotérico, utilizado en terapias alternativas, joyería y prácticas espirituales.

**ANTECEDENTES HISTÓRICOS: de la Prehistoria y Antigüedad clásica al saber medieval**

El uso de piedras preciosas y minerales en la vida cotidiana, es tan antiguo como el hombre mismo. Desde tiempos remotos, las piedras preciosas y los minerales fueron valorados no solo por su belleza, sino también por su poder simbólico y espiritual. Para el Neolítico, los hombres distinguían ciertas piedras brillantes o de vivos colores, muchas talladas o grabadas con signos mágicos, a la que les atribuían ciertos poderes sobrenaturales (Schubnel, 1972). Estas piedras llegaron a ser las primeras monedas regulares y base del intercambio comercial, si bien las buscaban más por sus virtudes mágicas que por su valor estético.

En Mesopotamia y Sumeria se usaban cristales molidos en elixires y prácticas rituales. Entre los sumerios las piedras grabadas se convirtieron en sellos ya que se creía que así podían transmitir su poder mágico. En la India, los cristales eran venerados como expresiones de energía cósmica y empleados en la medicina ayurvédica.

En el antiguo Egipto se reconoce el uso de piedras preciosas, especialmente el lapislázuli, no solo con fines

ornamentales o estatuarios y en la glíptica, sino también trituradas o molidas para su empleo en prácticas medicinales, utilizadas con propósitos curativos y en diversos rituales de carácter religioso o mágico. Los pueblos aborígenes americanos las utilizaban en ceremonias chamánicas, mientras que en la Grecia y Roma antiguas se les atribuían virtudes curativas, protectoras y astrológicas, integradas al pensamiento alquímico. En la China antigua, las gemas formaban parte de la medicina tradicional para equilibrar cuerpo y espíritu, y entre celtas y nórdicos se usaban en rituales estacionales y lunares.

Cipriani y Borelli (1986) mencionan que además de sus orígenes fantásticos, innumerables propiedades mágicas y medicinales fueron atribuidas a las piedras preciosas durante siglos. Señalan que en la antigüedad se creía que el diamante tenía el poder de proteger contra el veneno y alertar sobre infidelidades, mientras que la amatista se asociaba con la prevención de la embriaguez, que el heliotropo detenía las hemorragias nasales y que los zafiros abrían caminos hacia la libertad, solo unos pocos ejemplos conocidos.

La tradición del conocimiento mineralógico se remonta a autores clásicos como Plinio el Viejo (Naturalis Historia, siglo I d.C.), Dioscórides (De Materia Medica, siglo I d.C.) y Teofrasto (De Lapidibus), quienes describieron minerales y rocas, sus propiedades y aplicaciones medicinales. Estas obras sirvieron como base para la transmisión del saber geológico y terapéutico durante la Edad Media, especialmente en el contexto europeo, donde se fusionó con el conocimiento árabe de la medicina y la alquimia (Avicena, 1025; Calvo, 2010).



Figura 2. Naturalistas y autores de la Antigüedad cuyas obras sentaron las bases del conocimiento científico y mineralógico: a)

Plinio el Viejo (Naturalis Historia) b) Dioscórides (De Materia Medica) y Teofrasto (De Lapidibus) (fuente <https://es.wikipedia.org>)

Durante la Edad Media, el conocimiento clásico se reinterpretó bajo una perspectiva cristiana. Las piedras no solo tenían valor terapéutico, sino también simbólico: se creía que podían proteger contra el mal, equilibrar los humores corporales y actuar sobre el espíritu y la moral del individuo (King, 1994). Esta combinación de propiedades físicas, médicas y simbólicas sentó las bases de los lapidarios medievales.

Schubnel (1972) menciona que, en esta época, seguía creyéndose en los poderes ocultos y virtudes medicinales de las gemas, creencia que la edad media había heredado de la antigüedad y que aún no ha desaparecido totalmente, como lo demuestra el uso tan extendido de las “piedras del mes” cuyo origen se remonta a las doce piedras del racional de los sumos sacerdotes judíos.

Según Harris (2009), diversas manifestaciones literarias, entre ellas los romances de caballería, las fábulas, las obras teatrales y los relatos de viajes o exploraciones, incluyen referencias, explícitas o implícitas, a la creencia en las propiedades curativas de las piedras. Estas obras mencionan también la existencia de los “lapidarios”, libros que recopilaban ese saber, y aluden a la posibilidad de obtener piedras con virtudes sanadoras a través de orfebres, joyeros o boticarios.

### LOS LAPIDARIOS MEDIEVALES: definición y contexto cultural

Los lapidarios son tratados medievales que describen las propiedades físicas, medicinales y simbólicas de las piedras y gemas. Más allá de un catálogo de minerales, estos textos constituían manuales de referencia para boticarios, médicos y eruditos, integrando conocimientos empíricos con creencias religiosas y astrológicas (Marbodo de Rennes, s. XI; Alfonso X, 1276; Evans & Serjeantson, 1933; Harris, 2009; Somers, 2014). Los lapidarios, como categoría de escritos, han sido descritos tradicionalmente como compendios de una disciplina medieval geológica sustentada en teoremas y prácticas de carácter médico y mágico (Brey Mariño, 1982; Harris, 2009; Somers, 2014; Pasero, 2018). Morewedge (2011) los define como obras enciclopédicas que reúnen conocimientos sobre las piedras preciosas, mezclando observaciones naturales con creencias mágicas, religiosas y médicas, reflejando la fusión entre la herencia pagana y cristiana.

Pasero (2018) señala “... el punto de partida ha de ser la definición dada hace un siglo por Fernand De Mély (1896) que englobaba lapidarios occidentales: unos escritos que estaban impregnados de un espíritu científico basado en la observación y análisis, heredera de una rica y fecunda tradición histórica iniciada con los filósofos griegos nutrida con los aportes místico-telúrgicos alejandrinos”.

Buettner (2022) define los lapidarios como textos que describen las propiedades de las piedras, incluidas gemas, minerales y otras sustancias afines, detallando sus nombres, origen, color y demás características, así como sus acciones o virtudes médicas, mágicas y religiosas (virtus en latín).

En ellos se combinaban tres enfoques principales:

1. Empírico y medicinal: observaciones sobre los efectos de piedras y minerales sobre la salud, incluyendo usos tópicos, ingestión de polvos minerales o elaboración de pociones.
2. Simbolismo religioso y moral: relación entre las piedras y virtudes cristianas, protección contra males o influencia sobre los humores y el carácter.
3. Astrológico: correspondencia de piedras con planetas, signos zodiacales y constelaciones, que indicaba momentos propicios para su uso.

Durante la segunda mitad del medievo, los lapidarios se consolidaron como género literario gracias a la síntesis y difusión permanente de saberes procedentes de fuentes hebreas, latinas, árabes y castellanas. En este período confluyen las condiciones necesarias para su afirmación definitiva como categoría literaria: la primacía de las fuentes antiguas, las sucesivas reintroducciones en Europa mediante traducciones y adaptaciones, y la difusión progresiva de los textos en distintos contextos culturales. Las traducciones y el respeto por las fuentes antiguas favorecieron un proceso acumulativo que unificó criterios y símbolos, dando origen a una doctrina lapidaria común con patrones repetidos en obras de diversa procedencia (Morewedge, 2011; Pasero, 2018)

Los lapidarios se redactaron en distintos idiomas y estilos según su origen y época. En la Antigüedad predominó la prosa didáctica en latín o griego; en la Edad Media surgieron versiones en lenguas vernáculas, tanto en prosa como en verso, según su propósito. El Lapidario de Alfonso X es un ejemplo destacado en prosa castellana con enfoque científico y simbólico. En su conjunto, los lapidarios fusionaron contenidos enciclopédicos, poéticos y rituales. Jones & Serjeantson (1933), en su recopilación

de los siete principales lapidarios ingleses de la Edad Media, indican que estos derivaron de distintas fuentes, traducidas o enriquecidas y escritos, tanto en verso como en prosa, a la misma usanza de los manuscritos conocidos.



Figura 3. Arriba: portada y página interior del Lapidario del Rey Alfonso X (<https://www.cervantesvirtual.com/obra/lapidario-del-rey-d-alfonso-x-codice-original/>); Abajo: Alberto Magno y páginas de su famoso lapidario De Mineralibus. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Alberto\\_Magno](https://es.wikipedia.org/wiki/Alberto_Magno)) (<https://www.arsvalue.com/>) (<https://www.rae.es/archivo-digital/virtudes-y-propiedades-de-la-piedra-del-aguila>)

En los lapidarios no es raro encontrar nombres extraños, inusuales o fantásticos aplicados a gemas, minerales o rocas, como sucede con las “piedras caldeas” del Lapidario de Alfonso X cuya carga simbólica y astrológica favoreció la creación de denominaciones imaginarias o alegóricas. Su interpretación ha sido abordada desde enfoques diferentes: Duchesne (1891) destacó la influencia caldea, o babilónica, directa, subrayando el valor místico y simbólico de las piedras, mientras que Nunemaker (1930) racionalizó esa herencia, mostrando que el conocimiento llegó por vía árabe y que el adjetivo “caldeo” designa una categoría cultural y científica más que geográfica.

Este simbolismo se manifiesta también en los nombres extraordinarios atribuidos a numerosas gemas y minerales en los lapidarios medievales. Designaciones como

galactita, aetites, draconites, melichites, calaica o escarboucle, entre muchas otras, reflejan cómo se combinaban la apariencia física, la procedencia legendaria y las virtudes mágicas o astrológicas de las piedras, evidenciando la creatividad simbólica de los autores y la transmisión intercultural del conocimiento mineralógico entre Oriente y Occidente a lo largo de los siglos (De Mély, 1898).

Los lapidarios sirvieron, así, como puentes entre la ciencia natural emergente, la medicina tradicional y la cultura simbólica medieval, preservando y transformando el legado de la Antigüedad clásica. Independiente de la visión astrológica y mágica, son una verdadera enciclopedia mineral y fuente de consulta para la historia de la mineralogía.



Figura 4. Páginas interiores del Lapidario Libellus de lapidibus preciosis de Marbode, Obispo de Rennes. (<https://archive.org/details/LibellusDeLapidibusPreciosis/marbode-b-lapidibus-1511-RTL015154-LowRes/page/n3/mode/2up>)

### LOS LAPIDARIOS MÁS CONOCIDOS Y SU INFLUENCIA

Diversos tratados, enciclopedias, compendios o lapidarios dedicados a las piedras preciosas y minerales han reflejado la evolución del pensamiento científico, simbólico y médico sobre el mundo mineral.

Las grandes colecciones de rocas, gemas y minerales, junto con el interés por sus propiedades naturales y ocultas, se remontan a los orígenes griegos y romanos. La tradición de los libros lapidarios medievales fue una continuación de estos.

Entre los más influyentes se encuentran:

Tabla 1. Principales textos lapidarios e influencias históricas

OBRA	AUTOR / FECHA / CARACTERÍSTICAS
De Lapidibus	Teofrasto de Ereso (~372–287 a.C.) filósofo griego y sucesor de Aristóteles en el Liceo de Atenas. Considerado el primer lapidario de la historia, este breve tratado describe las propiedades y clasificaciones de distintas piedras y minerales, estableciendo las bases del conocimiento mineralógico antiguo
Naturalis Historiae	Plinio el Viejo (siglo I d.C.), procurador y naturalista romano. Esta monumental enciclopedia recopila los principales saberes científicos del mundo antiguo, abarcando botánica, zoología, mineralogía, medicina, geografía, cosmología, metalurgia y etnografía, en una mezcla de observaciones empíricas, leyendas y tradiciones (Plinio, trad. 1995). En su relato categorizo piedras y gemas según color, durabilidad y origen (Somers, 2014).
De Materia Medica	Pedanio Dioscórides de Anazarbo (siglo I d.C.). Es un influyente tratado griego que describe más de 600 plantas, minerales y productos animales con propiedades terapéuticas, detallando sus usos, preparación y efectos médicos. (Duffin, 2013)
Lapidario de Damigerón-Evax	(siglo II d.C.). Compilación grecorromana muy influyente en la Edad Media, que mezcla propiedades naturales y virtudes mágicas. Describe 60-70 piedras preciosas y semipreciosas
Sermón de las doce piedras preciosas	Epifanio de Salamina, obispo de Chipre (siglo IV, ~315-403 d.C.). Rescata aquellas gemas que se dice fueron dictadas por Dios a Moisés para que integraran el pectoral de su hermano Aarón. Marca el punto de inflexión del lapidario naturalista antiguo (de Dioscórides o Plinio) al lapidario espiritual cristiano.
Etymologiae	Isidoro de Sevilla (560–636), constituye una de las primeras grandes enciclopedias universales del conocimiento, en la que se preserva la herencia grecolatina y se sistematizan los saberes de la Antigüedad, sirviendo como referencia fundamental para el pensamiento científico y filosófico medieval.
De Lapidibus	Marbodio, obispo de Rennes (~1035–1133), es el primer poema lapidario en verso y prosa de Europa occidental y uno de los primeros en atraer al público secular hacia la tradición lapidaria. En él se describen más de sesenta piedras con propiedades terapéuticas, morales y simbólicas, y su difusión fue notable en toda Europa medieval (Duffin, 2005; Somers, 2014)
Lapidaire	Philippe de Thaon, monje y poeta (siglo XII, †1126), escrito en anglonormando, fue ampliamente difundido en Inglaterra y Francia. Destaca por su enfoque en el simbolismo moral y cristiano de las piedras, integrando el conocimiento mineral con la alegoría religiosa (Evans, 1989).
Lapidario árabe Kitab al-Jamahir fi Marifat al-Jawahir	Al-Biruni (siglo XI). De gran rigor científico, describe la naturaleza, procedencia y comercio de las gemas en el mundo islámico. Conocido como el libro más completo en conocimiento sobre piedras preciosas.
De Mineralibus	Alberto Magno o Alberto el Grande (~1200–1280), constituye el primer tratado medieval en prosa dedicado a los minerales. Adoptó un enfoque naturalista y racional, precursor de la mineralogía científica, integrando la observación empírica con la filosofía aristotélica (Albertus Magnus, trad. 1967).
Physica	Santa Hildegarda de Bingen (siglo XII). Incluido en su obra Physica, Libro IV, presenta un enfoque médico y espiritual sobre el uso terapéutico de las gemas (Somers, 2014).
Lapidario de Alfonso X o libro de las Piedras	Siglo XIII (1221–1284), atribuido al rey Alfonso X de Castilla, es uno de los lapidarios más relevantes del medievo hispánico. Describe piedras preciosas y minerales, sus propiedades medicinales, mágicas y astrológicas, combinando saberes árabes, clásicos y cristianos, y asociando cada piedra con las constelaciones y su influencia sobre la salud humana (Brey Mariño y Amorós, 1982; Calvo, 2010)
Lapidario de Peterborough	Siglo XV, es el más extenso tratado inglés sobre los poderes ocultos de piedras y gemas. Describe 145 minerales con virtudes mágicas, curativas y espirituales, y ofrece instrucciones para liberar su poder oculto. Editado y traducido por Francis Young (2016), combina saberes de la magia natural, la medicina y la nigromancia medieval.

Existen muchos otros lapidarios que respaldan el interés medieval por el simbolismo de las gemas, rocas y minerales, como el lapidario náutico de Astrámpico, el alemán “Das Prüler Steinbuch” y los lapidarios orientales.

El “lapidario náutico” es un tratado especializado que describe piedras y minerales considerados útiles para la navegación, la protección de los marineros y la interpretación de fenómenos naturales en el mar. Estos textos medievales mencionan piedras como ámbar, ágata, calcedonia, lapislázuli o coral, asociadas a virtudes

mágicas, astrológicas y protectoras. La autoría o recopilación de las propiedades de las piedras se le atribuye al griego Astrámpico (De Mély, 1898; Nunemaker, 1930). El Das Prüler Steinbuch (1175) fue el primer lapidario escrito en lengua vernácula alemana, que enumera treinta y ocho piedras (Morewedge, 2011). Describe las propiedades y los poderes curativos de las doce piedras bíblicas del Apocalipsis (21:19/20): jaspe, zafiro, ónice (en lugar de calcedonia), esmeralda, sardónice, sardio, crisólito, berilo, topacio, crisoprasa, jacinto y amatista.

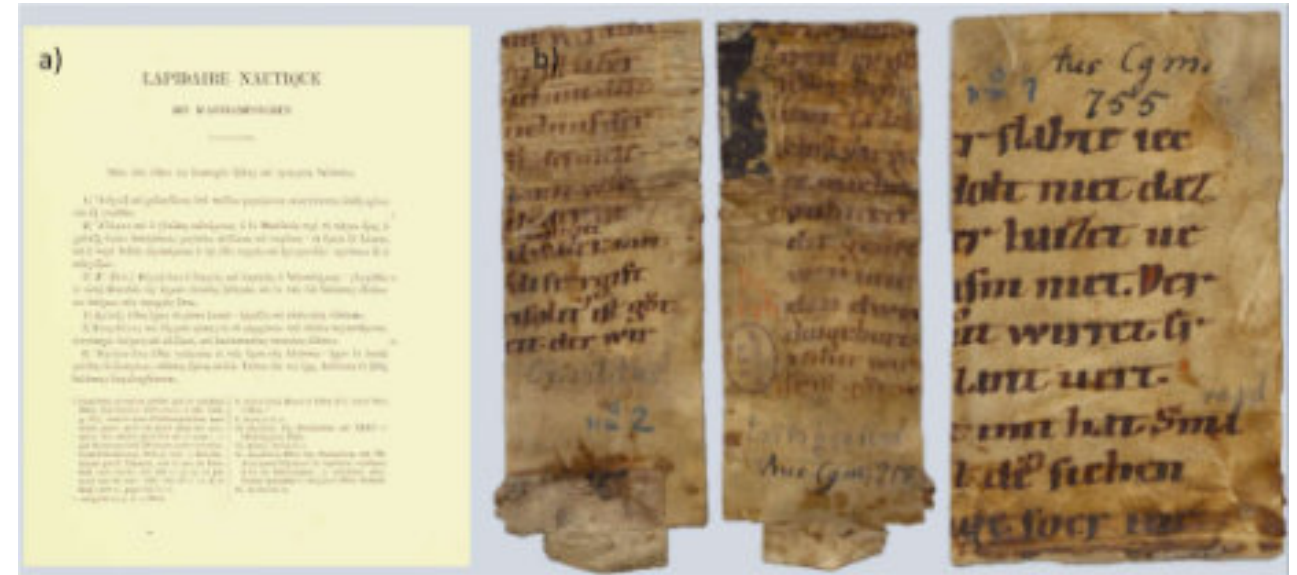


Figura 5. a) Lapidario Náutico en griego, atribuido al escritor alejandrino Astrámpico (<https://blog.pompilos.org/archivo/lapidario-nautico-atribuido-a-astrampsico>) b) Fragmentos de la obra Das Prüler Steinbuch lapidario más antiguo conocido en lengua alemana (<https://www.digitale-sammlungen.de/en/details/bsb00022141>)

Los lapidarios chinos representan una de las tradiciones más antiguas dedicadas al estudio simbólico y medicinal de las piedras. Textos como el “Shen Nong Ben Cao Jing” (25-220 c.C.) y el “Ben Cao Gang Mu” (1368-1644 d. C.) combinan propiedades físicas, virtudes curativas y significados espirituales, especialmente del jade y minerales alquímicos.

Según De Mély (1896), esta tradición influyó indirectamente en los lapidarios islámicos y, a través de ellos, en la literatura lapidaria medieval europea.



Figura 6. a) El mítico emperador Shen Nong, padre ancestral del té chino y autor del Shen Nong Ben Cao Jing, primer compendio de medicina tradicional china que clasifica 365 sustancias medicinales de origen mineral, vegetal y animal. (<https://www.redrockteahouse.com/blogs/articles/shen-nong-the-ancestral-father-of-chinese-tea>) b) Ilustraciones del Ben Cao Gang Mu: (izq.) conchas marinas y (der.) metales preciosos shuijin (oro de agua), shanjin (oro de montaña), yin (plata) y xilinzhiyin este último una plata procedente de Persia. (<https://welcomecollection.org/works/ngsz5waj/images?id=qmnsz2qf>)

Una de las obras más importantes de la mineralogía islámica medieval es el Kitab al-Jamahir fi Ma'rifat al-Jawahir (El libro más completo sobre el conocimiento de las piedras preciosas escrito por el erudito persa al-Biruni (973-~1050).

Se le atribuye el invento del picnómetro, instrumento de medida para determinar la densidad relativa de sólidos o líquidos mediante pesada, según el principio del desplazamiento del volumen de agua. Lo empleó para medir gravedades específicas de gemas.

Redactado hacia 1037-048 d.C., en ella, al-Biruni describe las propiedades, origen, valor y usos de minerales, gemas y metales, combinando observaciones científicas con saberes heredados de las tradiciones griega, india y árabe.



Figura 7. a) Figura del sabio persa al-Biruni (973-1050) quien se dedicó a la producción del saber en materias como geografía, mineralogía, historia, matemáticas, botánica y astronomía (<https://www.march.es/es/madrid/conferencia/sabios-ilustracion-olvidada-avicena-al-biruni-ii-al-biruni-intelectual-su-tiempo>) b) Portada de su obra Kitab al-Jamahir fi Ma'rifat al-Jawahir (El libro más completo sobre el conocimiento de las piedras preciosas (<https://www.amazon.com/-/es/Abu-Rayhan-Muhammad-Ahmad-Al-Biruni/dp/1836370652>) c) Esquema del aparato diseñado por al-Biruni para medir gravedades específicas de gemas (Sparavigna, 2013)

Otros lapidarios importantes, por el interés y como recurso popular del siglo XVI para comprender las propiedades naturales y místicas de las piedras y gemas, son:

- o "Interpretamenti Gemmarum Libellus" de Erasmus Stella (1517)
- o "De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas" de Gaspar de Morales (1598)
- o "Gemmarum et lapidum Historia" de Anselmo Boecio (1609).
- o "Lapidary or History of Precious Stones" de Thomas Nicols (1652)

Estos textos no solo preservaron el conocimiento antiguo, sino que también influyeron en la mineralogía renacentista, la química medicinal y la farmacopea mineral de los siglos XVI y XVII (King, 1994).

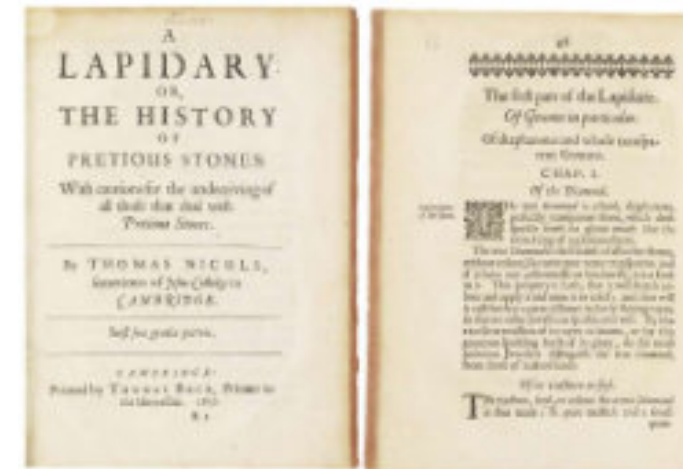


Figura 8. The Lapidary or, the History of Pretious Stones de Thomas Nicols (1652). Obra inglesa del siglo XVII que combina observaciones empíricas con creencias tradicionales sobre las virtudes y propiedades de las gemas, reflejando la transición entre la alquimia y la mineralogía moderna.

### ROCAS Y MINERALES MÁS IMPORTANTES EN LOS LAPIDARIOS

Los lapidarios medievales mencionan tanto piedras preciosas como minerales comunes, asignándoles propiedades medicinales, mágicas o simbólicas.

El valor medicinal de muchas piedras era en realidad limitado; sin embargo, su empleo reflejaba observaciones empíricas, tradiciones culturales y creencias simbólicas,

constituyendo un antecedente directo de la geoquímica médica y la farmacología mineral (Nicols, 1652; King, 1994; Duffin, 2005).

Desde una perspectiva actual, las propiedades mágicas o curativas atribuidas a los minerales se entienden como expresiones simbólicas y culturales más que científicas. Los lapidarios representan una etapa temprana del conocimiento natural, en la que mito, religión y observación coexistían.

Aunque sus virtudes carecen de fundamento empírico, conservan un notable valor histórico y antropológico, pues revelan cómo el ser humano buscó sentido y poder en las piedras.

Una comparación entre las propiedades medicinales o curativas que le asignaban en la época a ciertos minerales y su verdadero, y actual, valor medicinal se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Piedras comunes de lapidarios y sus propiedades

Piedra / Mineral	Propiedades según lapidarios	Observaciones modernas
Esmeralda	 Fortalece la vista, símbolo de pureza y esperanza	Contiene berilio, puede afectar metabolismo ocular indirectamente, joyería de alta gama
Rubí	 Vitalidad, protección cardíaca	Aluminio y cromo; simbología más relevante que efectos reales, joyería y relojería, corte
Zafiro	 Sabiduría, fe, protección contra fiebre	Aluminio y titanio, dureza alta, abrasivos industriales y electrónica, joyería fina
Amatista	 Templanza, prevención de embriaguez	Variedad de cuarzo, con hierro en trazas, piedra de joyería y decoración
Ágata	 Protección contra venenos, equilibrio emocional	Cuarzo microcristalino; usado en joyería y decoración
Jaspe y ónix	 Detención de hemorragias, protección	Minerales silíceos, resistencia física, joyería y decoración
“Tierras medicinales” (ocre, arcilla, tierra de serpiente)	 Mordeduras, purgaciones, aplicaciones tópicas	Contenido en óxidos, absorbentes; precursoras de geomedicina

**SIGNIFICADO SIMBÓLICO, MÉDICO Y ESPIRITUAL**

Los lapidarios medievales no se limitaban a la descripción física de las piedras, sino que articulaban un marco simbólico y moral. Se creía que cada piedra tenía una cualidad inherente capaz de influir sobre el cuerpo, la mente y el espíritu. Por ejemplo, el rubí y la esmeralda se asociaban con la fuerza vital y la pureza, mientras que la amatista promovía la templanza y la claridad mental (Marbodo de Rennes, s. XI; Alfonso X, 1276).

En el Lapidario alfonsí, las piedras se asocian a los signos del Zodíaco según su color y propiedades. Los distintos tratados, cuatro en total, explican su número, cualidades y la influencia de planetas y constelaciones. El primero describe 301 piedras junto con minerales, rocas, fósiles, plantas y huesos o caparazones de animales, distribuidas en doce signos. Aunque algunos capítulos están incompletos, parte de los nombres perdidos se recuperan en el segundo Lapidario. En el tercero, atribuido a Belienus, describe sus cualidades y las variaciones causadas por la influencia planetaria según el antiguo sistema astronómico de Aristóteles-Ptolomeo. El cuarto tratado, compuesto por Mahomat Aben Quich, explica el influjo de las constelaciones sobre las virtudes de las piedras, ordenadas alfabéticamente en árabe (Alfonso X, 1276, Edición de 1881).



Figura 9: Representación medieval de la correspondencia entre piedras y signos zodiacales para Aries. El signo de Aries, el primero de ellos, representado por un carnero alado, tiene cuatro piedras que le corresponden: Coral, Cornalina, Rubí y Zafiro. El Coral, de color rojo y procedente del mar, protege contra el mal de ojo y fortalece el corazón. La Cornalina, de color sanguíneo, infunde valor y alivia los males del vientre. El Rubí, semejante al fuego, otorga nobleza y alegría. El Zafiro, de tono celeste, refresca la sangre y calma la ira. (fuente: Lapidario Alfonso X, 1276).

La medicina medieval integraba la teoría de los humores con la acción de los minerales: piedras cálidas, frías, secas o húmedas se aplicaban según la condición del paciente, buscando equilibrar los humores y prevenir enfermedades (King, 1994). Además, el contexto cristiano y astrológico

reforzaba la eficacia simbólica de las piedras: su uso no solo curaba, sino que protegía contra espíritus malignos y fortalecía la virtud moral.

El tratado “De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas” de Gaspar de Morales (1605) es una obra enciclopédica que continúa la tradición de los lapidarios medievales, adaptada al pensamiento natural y moral del Barroco. Describe las características, orígenes y usos terapéuticos de numerosas gemas y minerales,



Figura 10. Portada y páginas interiores del libro “De las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas” de Gaspar de Morales quien logra una sorprendente conexión entre las piedras, los planetas y las estrellas. El tratado de Morales, tenía un enfoque semejante al de Alfonso X, pues también era un lapidario de tipo astrológico, concebido para el uso exclusivo de los médicos y en el que se habían sintetizado todos los conocimientos que sobre litoterapia gemológica-astrológica, existían en Europa en el siglo XVI. <https://play.google.com/books/reader?id=tBwmaETp7N8C&pg=GBS.PA1-IA1&hl=es>

Esta combinación de propiedades medicinales, espirituales y astrológicas refleja la interacción entre geología, medicina y cultura en la Edad Media, anticipando la importancia de la mineralogía en la farmacología moderna.

En otro sentido, los lapidarios náuticos reunían creencias sobre piedras con supuestos poderes protectores para los navegantes y viajeros del mar. Estas gemas se empleaban como amuletos contra tormentas, naufragios y vientos adversos, atribuyéndoles virtudes mágicas o divinas relacionadas con la seguridad marítima. Entre las gemas más mencionadas se encuentra el berilo, que garantizaba una travesía segura si se grababa en él la figura de Poseidón; el coral, que al ser atado al mástil protegía contra tormentas y olas; y la calcedonia, considerada un talismán que impedía hundirse en caso de naufragio.

Morewedge (2011) precisa que existen dos enfoques principales en el uso de las piedras: uno alegórico, relacionado con la interpretación simbólica, y otro científico-mágico, centrado en sus supuestas propiedades curativas o astrológicas. Aunque a menudo resulta

atribuyéndoles también virtudes espirituales y simbólicas. Incluye además las piedras asociadas a los signos zodiacales y el relato bíblico de las piedras de Aaron. La obra combina observaciones procedentes de la historia natural, la medicina y la teología, integrando la herencia de fuentes clásicas y medievales, como Marbodo de Rennes y el Lapidario de Alfonso X, con una interpretación cristiana del mundo mineral.

imposible separar los aspectos científicos y medicinales de los mágicos, muchos tratados se estructuran en torno a tres perspectivas principales: la científica, la cristiana y la mágica con asociaciones astrológicas.

Buettner (2022) señala que los lapidarios medievales integran tradiciones precristianas con las creencias y prácticas del cristianismo. Las gemas, utilizadas profusamente para ornamentar los libros de los Evangelios, los relicarios y las cruces, eran valoradas tanto por sus propiedades como por su significado alegórico.

**INFLUENCIA EN EL PENSAMIENTO NATURAL Y LA CIENCIA POSTERIOR**

Los lapidarios medievales desempeñaron un papel crucial en la transición hacia la mineralogía y la química moderna. Al documentar sistemáticamente las propiedades de las piedras y minerales, estos textos sentaron las bases para un enfoque más empírico y experimental que se consolidaría entre los siglos XVI y XVIII (Duffin, 2005; Calvo, 2010).

Autores renacentistas y alquimistas, como Paracelso, se inspiraron en las observaciones medievales para desarrollar la farmacopea química, buscando extraer la “lo mejor” de los minerales. Al mismo tiempo, la sistematización del conocimiento contribuyó al desarrollo de la geoquímica y mineralogía científica, separando gradualmente la observación empírica del componente simbólico y religioso (King, 1994; Morewedge, 2011). Las actividades de minería, contribuyeron mucho a ello.

Podgorny (2016), evoca a Hermann Georg Fühner (1871-1944), farmacéutico, médico y profesor universitario alemán, quien basó su investigación en diversos lapidarios y se destacó por sus investigaciones sobre el uso medicinal de las piedras preciosas, rocas y fósiles. Fühner realizó importantes aportes a la toxicología y a la farmacología experimental, plasmados en obras como *Lithotherapie* (1902) y *Medizinische Toxikologie* (1943). Fue uno de los primeros en introducir el término “litoterapia” como práctica de sanación.

En la literatura médica china (bencao), las sustancias terapéuticas se clasifican según sus propiedades naturales en diversas categorías: jades y piedras, hierbas, árboles, insectos y animales, frutas y verduras, cultivos y medicamentos asociados a regiones o nombres específicos. Aunque muchas de estas clasificaciones no tenían aplicaciones prácticas en sus orígenes, los bencao constituyen hoy un valioso recurso histórico y cultural, además de un punto de referencia fundamental para médicos, historiadores de la medicina y científicos. Su estudio ha contribuido al descubrimiento de nuevos fármacos y a la autenticación de la medicina tradicional china (De Mély, 1896).

Por otra parte, los lapidarios representan un valioso patrimonio histórico y cultural, evidenciando cómo la percepción de los materiales geológicos ha evolucionado desde la magia y la medicina empírica hasta la ciencia moderna, sin perder su influencia en la educación, la colección de minerales y la divulgación científica contemporánea.

Los lapidarios también han sido una fuente de inspiración para la poesía. En su obra *Lapidario* (1988), la poeta española Clara Janés reinterpreta la tradición medieval de los tratados sobre piedras preciosas, inspirándose en el *Lapidario* de Alfonso X el Sabio, en el texto de Gaspar de Morales y en el *Liber Lapidum* de Marbodo de Rennes. Presenta una estructura especular con textos en prosa y poemas alternos para cada piedra, donde a cada una se le destacan sus particularidades las cuales incluye nombre,

etimología, color, procedencia, así como las interpretaciones simbólicas y las virtudes medicinales o mágicas atribuidas. Transforma la sabiduría lapidaria en una meditación poética sobre la materia, el espíritu y el lenguaje.

### CONCLUSIONES

Los lapidarios medievales constituyen un testimonio singular de la interrelación entre geología, medicina y simbolismo en la Edad Media. A través de estos textos, se preservó y transmitió el conocimiento antiguo sobre las propiedades de las piedras y minerales, fusionando observación empírica, medicina tradicional y pensamiento religioso.

Si bien muchas propiedades atribuidas a las piedras tenían un fundamento más simbólico que científico, los lapidarios fomentaron una sistematización del saber mineralógico que sería esencial para el surgimiento de la mineralogía, la química medicinal y la farmacología moderna. También muestran cómo, en la sociedad medieval, los minerales tenían un valor que iba más allá de lo material: eran parte de la vida cotidiana, de las creencias y del conocimiento, reflejando la profunda conexión entre las personas y la Tierra.

Los lapidarios son un ejemplo temprano de cómo la geología puede integrarse en un marco interdisciplinario, aportando conocimiento, salud y significado cultural a lo largo de la historia.

### CONSULTAS Y REFERENCIAS

Albertus Magnus. (1967). *Book of Minerals* (De Mineralibus). Translated by Dorothy Wyckoff. London: Oxford University Press: Clarendon Press. 1967. Pp. xlii + 309. 84s.

Alfonso X. (1276). *Lapidario de las piedras*. Códice Original. Edición de 1881 de José Fernández Montaña. Conmemoración del octavo centenario del nacimiento de Alfonso X (1221-2021). Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado 2021. Colección Leyes Históricas de España. Digitalización: Biblioteca Nacional de España

Alonso R. (2020). Los enigmáticos lapidarios medievales. *El Tribuno Digital, Opiniones* (acceso 23/10/2025) (<https://www.eltribuno.com/nota/2020-12-14-0-0-0-los-enigmaticos-lapidarios-medievales>)

Avicena. (1025). *El Canon de Medicina*. Traducción española, 2005. Editorial Médica Panamericana.

Brey Mariño M. y Amorós Pórtol J. L. (1982). *Primer Lapidario del Rey Alfonso X El Sabio*. Ed. facsímil del Códice h. I. 15 de la Biblioteca del Escorial. Ed. Inter. de Libros Antiguos. Madrid

Buettner B. (2022). *The Mineral and the Visual Precious Stones in Medieval Secular Culture*. Pennsylvania State University Press, 272 p.

Calvo M. (2010). *El Lapidario de Alfonso X y la tradición de los saberes árabes en la Castilla medieval*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), *Anejos de la Revista de Filología Española*, 66. Madrid

Cipriani C. y Borelli A. (1986). *Simon & Schuter's Guide to Gems and Precious Stones*, Edited by Kennie Lyman, 384 p

De Mély, F. (1896). *Les Lapidaires Chinois*, en *Les Lapidaires de L'Antiquité et du Moyen Age*, Tome I, *Historie des Sciences*, Ernest Leroux Editor, Paris.

De Mély, F. (1898). *Les Lapidaires Grecs*, en *Les Lapidaires de L'Antiquité et du Moyen Age*, Tome II, *Premier Fascicule, Historie des Sciences*, Ernest Leroux Editor, Paris.

De Morales Gaspar (1605). *Libro de las virtudes y propiedades maravillosas de las piedras preciosas*. Editor Luis Sánchez. Biblioteca de Catalunya, Digitalización 2009., 744 p. (<https://play.google.com/books/reader?id=tBwmaETp7N8C&pg=GBS.PA1-IA1&hl=es>)

Dioscórides, P. (65 d.C./2000). *De Materia Medica* (J. Díez, Trad. y comentario). Madrid: Ediciones Clásicas.

Duffin, C. J. (2005). *Lithotherapeutical research sources from antiquity to the mid-eighteenth century*. Geological Society, London, *Special Publications*, 241, 45–68. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.241.01.05> en Christopher J. Duffin, Richard T. J. Moody y Christopher Gardner-Thorpe (eds) *A History of Geology and Medicine*, The Geological Society of London 2005.

Duffin, C. J. (2005). *Marbodius of Rennes and the medieval lapidary tradition*. Geological Society, London, *Special Publications*, 273, 9–29. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2005.273.01.02> en

Christopher J. Duffin, Richard T. J. Moody y Christopher Gardner-Thorpe (eds) *A History of Geology and Medicine*, The Geological Society of London 2005.

Duffin C.J. (2013). *Some early eighteenth century geological Materia Medica*, from Duffin, C. J., Moody, R. T. J. & Gardner-Thorpe, C. (eds) 2013. *A History of Geology and Medicine*. Geological Society, London, *Special Publications*, 375, 209–233. First published online April 2, 2013, <http://dx.doi.org/10.1144/SP375.13>. # The Geological Society of London 2013. Publishing disclaimer: [www.geolsoc.org.uk/pub\\_ethics](http://www.geolsoc.org.uk/pub_ethics)

Evans J. & Serjeantson M.S. (1933). *English Mediaeval Lapidaries*. The Early English Text Society, by the Oxford University Press, Original Series No. 190, 205 p.

Evans, J. (1989). *Magical Jewels of the Middle Ages and the Renaissance, Particularly in England*. Oxford: Clarendon Press.

Harris N.E. (2009). *The Idea of Lapidary Medicine: Its Circulation and Practical Applications in Medieval and Early Modern England, 1000-1750*. PHD dissertation submitted to the Graduate School-New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey, 252 p.

Janés C. (1988). *Lapidario*. Madrid: Hiperión, 1988. ISBN 84-7517-225-3

King, H. (1994). *Minerals, medicine and magic in medieval Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.

Marbodo de Rennes. (s. XI). *Lapidario*. Traducción al español: Biblioteca Nacional, Ms. 4327.

Morewedge, R. (2011). *Lapidaries*. In A. Classen (Ed.), *Handbook of Medieval Studies: Terms – Methods – Trends*. 3 Volumes (pp. 1845-1862). Berlin, New York: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110215588.1845>

Nicols T. (1652). *A Lapidary or, the History of Precious Stones: With cautions for the undeceiving of all those that deal with Pretious Stones*. University of Cambridge, Printed by Thomas Buck

Nunemaker Horace (1930). *The Chaldean Stones in the Lapidary of Alfonso X*, PMLA J. Vol. 45, No. 2 (Jun., 1930), pp. 444-453 (10 pages) Published by: Modern Language Association, Cambridge University Press

Pasero Díaz-Guerra (2018). La razón de ser de las gemas a través de los lapidarios en castellano (ss. XIII-XVI), Edad Media. Revista de Historia, 2018, nº 19, pp. 332-365. DOI: <https://doi.org/10.24197/em.19.2018.332-365>

Plinio el Viejo. (1995). Historia Natural. (Trad. A. García y Bellido). Madrid: Gredos.

Plinio el Viejo. (77 d.C./1984). Naturalis Historia (J. E. Powell, Trad.). Madrid: Editorial Gredos.

Podgorny I. (2016) Nuevas perspectivas sobre la materia médica: los vínculos históricos entre la geología y la medicina. Hist. cienc. saude-Manguinhos 23 (2), Apr-Jun 2016 ( <https://doi.org/10.1590/S0104-59702016000200014>)

Teofrasto. (s. IV a.C./2002). De Lapidibus. Traducción y comentarios de A. López. Barcelona: Editorial Crítica.

Schubnel H-J (1972). Piedras preciosas: gemas y piedras duras, Editorial Teide, Instituto Geográfico de Agostini, 1972, 80 p.

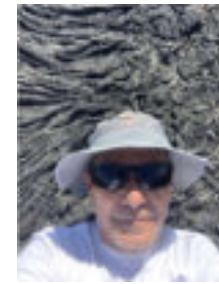
Somers J. (2014). Lapidaries Rock: Medieval Books on Gems, Stones, and Minerals. Posted on August 15, 2014 by medievalfragments (<https://medievalfragments.wordpress.com/2014/08/15/lapidaries-rock-medieval-books-on-gems-stones-and-minerals/>)

Sparavigna A.C. (2013). The Science of Al-Biruni. International Journal of Sciences Research Article, Volume 2-December 2013(12)

Streeter E.W. (1898). Precious Stones and Gems: their History, Sources and Characteristics, Sixth Edition, London: George Bell & Sons, York Street Covent Garden

Young F. (2016). A Medieval Book of Magical Stones. The Peterborough Lapidary. Texts in Early Modern Magic

**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.

**Deformaciones Miocenas en las cercanías de Madrid (España)**

**Dr. Carlos Giraldo**

**Consultor Internacional**

**Madrid, España**

[cgiraldoc1958@gmail.com](mailto:cgiraldoc1958@gmail.com)

En la imagen oblicua tomada de Google Earth (2025) se observan figuras antiformes y sinformes desarrolladas en rocas lacustres miocenas de la Cuenca evaporítica de Madrid. Se ha tenido la suerte de que este espectacular afloramiento ha aparecido gracias a las obras civiles destinadas a desarrollar un complejo urbanístico al este de la ciudad. Los estudios preliminares sugieren que se trata de estructuras sin-sedimentarias (Soft-Sediment Deformations "SSDS"), y cuyo origen aún está en discusión. Para más información sobre estas deformaciones, se recomienda consultar:

<https://www.researchgate.net/publication/382207853> GRALDO DRT 100724 SoftSedimentDeformationsMadridpdf

<https://www.researchgate.net/publication/382207824> GIRALDO DRT 2024pdf

<https://www.researchgate.net/publication/381992411> Reviewing outcrops with geographic geolocation tools



**UNA PARTICULAR DISCUSIÓN SOBRE EL SISMO DE ARICA, PERÚ, 1868**

**José Antonio Rodríguez A.<sup>1</sup>**

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

Colaborador de la revista

**RESUMEN**

El terremoto de Arica y su tsunami, ocurridos el 13 de agosto de 1868 en la localidad del mismo nombre en Perú (actualmente Chile), ha sido uno de los sismos más potentes registrados a nivel mundial. En algunos textos es conocido por haber “cruzado” el Océano Pacífico, sin embargo, la evidencia que su oleaje haya tenido un impacto *significativo* o *documentado* en costas venezolanas no está claramente respaldado en registros sismo-históricos, pese a algunas notas de Melchor Centeno Graü proveniente de su libro *Estudios Sismológicos*, un tanto ambiguas. Él documentó extensamente para Venezuela el sismo de Cumaná de 1929 siendo uno de los pocos eventos locales con olas tsunamigénicas, así como el terremoto de 1900, de epicentro cercano a Cabo Codera, que él mismo presencié y documentó en la prensa de la época o en la literatura del siglo XIX.

**Palabras claves:** Arica, Perú, 1868, impacto significativo en costas de Venezuela.

**ABSTRACT**

The Arica's earthquake and its tsunami, which occurred on August 13, 1868, in the town of the same name in Peru (currently Chile), has been one of the most powerful earthquakes recorded worldwide. In some texts, it is known for having “crossed” the Pacific Ocean; however, evidence that its waves had a significant or documented impact on the Venezuelan coast is not clearly supported in historical seismic records, despite some notes by Melchor Centeno Graü from his book *“Estudios Sismológicos”*, which are some what ambiguous. He extensively documented the 1929 Cumana earthquake in Venezuela, being one of the few local events with tsunamigenic waves, as well as the 1900 earthquake, with an epicenter near Cabo Codera, which he himself witnessed and documented in the press of the time or in 19th-century literature.

**Keywords:** Arica, Peru, 1868, significant impact on the Venezuelan coasts.

**SÍNTESIS BIOGRÁFICA DE CENTENO GRAÜ**

Nace el 7 de diciembre de 1867, en el estado Sucre. Destacado ingeniero, político y pionero de la Sismología en Venezuela.

Hijo de Melchor Centeno y González y Dolores Grau Rodríguez, destacados profesionales, acometió sus estudios superiores egresando de Bachiller en Artes y Filosofía de la Universidad Central de Venezuela en 1889, donde se gradúa igualmente de ingeniero civil y arquitecto ese mismo año, además de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas en 1929.

Se desempeñó como gerente de las minas de carbón de Naricual entre 1896 y 1899, fue explorador científico del proyectado ferrocarril Cumaná-Cumanacoa y construyó el teatro de Cumaná en 1901, el cual fue destruido en el sismo de 1929. Fue autor del proyecto del lazareto de Maracaibo, acreditándosele como precursor de las construcciones médico-asistenciales.

En 1903 llevó a cabo la construcción de la fachada de la Universidad del Zulia y al año siguiente ya era constructor del *Camino de Carora*, entre *San Timoteo* y *Carora*. Fue ingeniero responsable del proyecto de construcción del Ferrocarril del Táchira de 1901 a 1912 y la carretera Central del Táchira en 1910.

Era miembro de número de la *Sociedad de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Caracas* y presuntamente “confunde fechas” al mencionar como año y fechas del sismo de Arica el 12 de agosto a las 03:30 pm: (...) *Por terremotos habidos en ciudades y puertos del Perú hubo maremoto de 15 a 20 minutos en los ríos Orinoco, Apure, Arauca, Zulia, Catatumbo, Escalante, Lago de Maracaibo, en las costas norte de la isla de Margarita, costa de Cumaná, Río Caribe, etc. El mismo día a las 10 pm., hubo temblores en varios puntos de los Andes venezolanos, hay 2 cartas de septiembre de 1868 de personas de Cúcuta y Santa Bárbara del Zulia publicadas en la prensa de esa fecha en que describen el maremoto.*

*La de Santa Bárbara dice: que las aguas del río Escalante se movían de tal modo que una de sus riberas quedaba en “seco” y la otra se “inundaba”* (Centeno Graü, 1969:241)

**El terremoto de Arica, Perú**

Con una magnitud estimada de Mw≈9.0, ocurre el 13 de agosto de 1868, resultando el tsunami generado en una gran destrucción en las costas del sur de Perú y el norte de Chile.

Las olas del tsunami se propagaron a través del Océano Pacífico, llegando a lugares tan distantes como Hawái, Japón, Australia y Nueva Zelanda, lo cual está bien documentado.

**Entre Centeno y Ernst**

Mientras que Centeno Graü fue una figura clave en la documentación de eventos sísmicos nacionales, el evento de Arica fue un suceso transpacífico masivo, la mención de que este último haya ingresado significativamente en costas nacionales es una afirmación no es corroborable fácilmente en fuentes primarias o estudios sismológicos como la ya citada por el primero (Centeno Graü, 1969:241). Don Melchor no estuvo “activo” en 1868 por su escasa edad, aun teniendo el sismo de ese año una gran repercusión que influyó indirectamente en el desarrollo posterior de la sismología nativa.

Su interés tratado como “tempestad sísmica” generó un enorme impacto del tsunami transpacífico que motivaron a los círculos científicos de entonces. Encontrando entre ellos a Adolfo Ernst (1832-1899) quien debatió sobre la velocidad y las causas de las “olas” sísmicas”, catalizador del debate sismológico que lo involucró directamente.

**Adolfo Ernst y el debate científico**

Ernst, una de las figuras científicas más importantes de la Venezuela del siglo XIX, participó suscitando enorme interés; Junto a Rafael Villavicencio, Aristides Rojas, y otros dieron vida a la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas, foro de intercambio, discusión y divulgación científica nacional. Natural fue que los eventos del 86' generasen un trabajo publicado en *Vargasia*, órgano informativo del ente científico en cuyo primer ejemplar publicase un trabajo titulado “*Cálculo de la velocidad de la ola sísmica*” (Ernst, 1868:4) (...) *según el método empleado por la primera vez por el Dr. J. Schmidt en los estudios de Noeggerath sobre los temblores en la Prusia Renana, el 29 de Julio de 1846, y sobre el seismómetro de cilindros de Mallet*] correspondiendo a la sesión 14ª del 16 de diciembre de 1868 (...) *de un extracto [sic] de las actas*

*de las 23 sesiones que se verificaron desde aquella época (...) firmado de puño y letra de Don Adolfo donde su conocimiento científico para analizar la velocidad con la que se propagaron las ondas sísmicas, probablemente basándose en los datos del sismo peruano y sus efectos en puntos distantes.*

A Aristides Rojas y su artículo “*Sobre la tempestad seísmica de las Antillas de 1867 a 1668, con un mapa*” (Rojas, 1868:39-48), en donde señala: “*la tempestad de las Antillas ha influido tres ejes volcánicos de grande importancia: el eje A B de la América meridional, el eje C D de la América central y el eje Z H de las pequeñas Antillas, en su parte superior, es decir, en una línea que una el centro X del pentágono antillano con el centro Z del pentágono de la América rusa*”, sin detenernos en este cálculo” (Rojas, 1868:48)

**BIBLIOGRAFÍA**

**CENTENO GRAU, M.** 1969, Estudios sismológicos. *Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Litografía del Comercio, 2ª edic., 367 pp.

**ERST, A.** 1868. *Cálculo de la velocidad de la onda seísmica, según el método empleado por la primera vez por el Dr. J. Schmidt en los estudios de Noeggerath sobre los temblores en la Prusia Renana, el 29 de Julio de 1846, y sobre el seismómetro de cilindros de Mallet.* Vargasia, Soc. Cien. Fls. Nat. Ccs., (1-3):49 pp.

**FERNANDEZ CANQUE, M.** 2007. Arica 1868, Un tsunami y un terremoto, *Univ. de Carapacá, Arica, Centro de Investigaciones Diego Barros Arana*, 332 pp. [Documentación en línea], (noviembre 4. 2025), <https://www.bibliotecanacional.gob.cl/sites/www.bibliotecanacional.gob.cl/files/2022-08/Arica.pdf>

**ROJAS, A.** 1886. *Sobre la tempestad seísmica de las Antillas de 1867 a 1668, con un mapa*, Vargasia, Soc. Cien. Fis. Nat. Ccs., (1-3):4.



Portada del libro Arica 1868, *Un tsunami y un terremoto*.

## El transporte de sedimento en aguas profundas. Parte 1.

**Ramón López Jiménez**  
Colaborador de la Revista

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

La mayoría de nosotros sabe de la existencia de las olas y las mareas. Podemos ver estos fenómenos a lo largo de nuestras costas y, aunque no prestemos mucha atención, sabemos incluso que las olas y las mareas mueven sedimento que descansa en el fondo marino. Por ejemplo, en playas, estuarios, o en deltas de ríos vemos esas típicas ondulaciones en el lecho marino (en inglés llamadas *ripples*), o incluso podemos llegar a ver canales que se forman en aquellos lugares donde las mareas bajan y suben. Esos *ripples* y esos canales se forman porque las corrientes de agua mueven o desplazan partículas de diferente tipo, como, por ejemplo: arena, fragmentos de conchas o basura de origen humano. Si buceáramos unos cuantos metros por debajo del nivel del mar podríamos ver ciertas morfologías en el fondo marino comparables a esos *ripples* y los canales, pero de mayor tamaño. Un buen ejemplo son las dunas y barras submarinas, que son dos típicas morfologías de fondos marinos no demasiado profundos (ver imagen de la izquierda en la Figura 1). Dunas y barras también son formadas por las corrientes de marea y las olas. Entonces, ¿es esto todo lo que podemos encontrar en el fondo de nuestros océanos? ¿Qué pasa si buceáramos hacia las zonas más profundas a varios miles de metros de profundidad?

Muchos de nosotros hemos visto mapas de los fondos marinos del planeta denominados 'batimétricos' ([www.bbc.com/mundo/noticias-53133238](http://www.bbc.com/mundo/noticias-53133238)). En estos mapas podemos ver que hay cosas bastante llamativas y que se trata en general de una superficie del fondo marino bastante irregular. Si usáramos la misma terminología que usamos para describir las morfologías que vemos en los continentes podríamos hablar de que en el fondo marino profundo vemos grandes valles, montañas, volcanes, así como enormes y enigmáticas depresiones. Pero las cosas se ponen verdaderamente interesantes si observamos datos de batimetría de alta resolución. Estos datos son obtenidos con tecnología puntera, por ejemplo, el

ecosonda multihaz ([www.tecnociano.com/ecosonda-multihaz-multibeam.php](http://www.tecnociano.com/ecosonda-multihaz-multibeam.php)).

En estos mapas vemos qué directamente de nuestras costas o en zonas de la plataforma continental cercana a las costas, surgen morfologías muy parecidas a los canales de los ríos que hay en los continentes. Vemos grandes cañones que cortan el talud continental, y que forman serpenteantes canales así van descendiendo hacia las llanuras abisales de los océanos (ver imagen de la derecha en la Figura 1). A estas morfologías las llamamos canales submarinos. Pero, ¿cómo se han formado? ¿por corrientes como las que hay en los ríos de nuestros continentes?, ¿corrientes de agua dentro del océano que crean canales sinuosos en el fondo marino? Sí y no. Estos canales submarinos sí son formados por corrientes, pero no realmente como los ríos en los continentes. Los fondos marinos que se encuentran en zonas a las que llamamos profundas se diferencian de las que llamamos someras en los procesos que dominan el transporte de sedimento (en inglés, somero es *shallow marine* y muy profundo es *deep-water*). Esta definición basada en los procesos dominantes, es estrictamente usada en el área de la sedimentología marina; para otras personas, por ejemplo, las que trabajan en la industria petrolera, la definición de aguas profundas es más arbitraria. Así, para un sedimentólogo marino, en un fondo marino somero el oleaje y las corrientes de marea dominan el transporte del sedimento. En un fondo marino muy profundo son las 'corrientes de gravedad' las que dominan el transporte del sedimento.

En un fondo marino muy profundo son las 'corrientes de gravedad' las que dominan el transporte de sedimento (ver comparación en Figura 1). Las corrientes de gravedad son aquellas que surgen de la atracción de algún tipo de materia hacia el centro de la tierra. En este caso vamos a enfocarnos en corrientes submarinas de gravedad que se inician por la caída de material sólido. Sabemos de varios escenarios en los que volúmenes relativamente grandes de sedimento caen regularmente a través de la columna

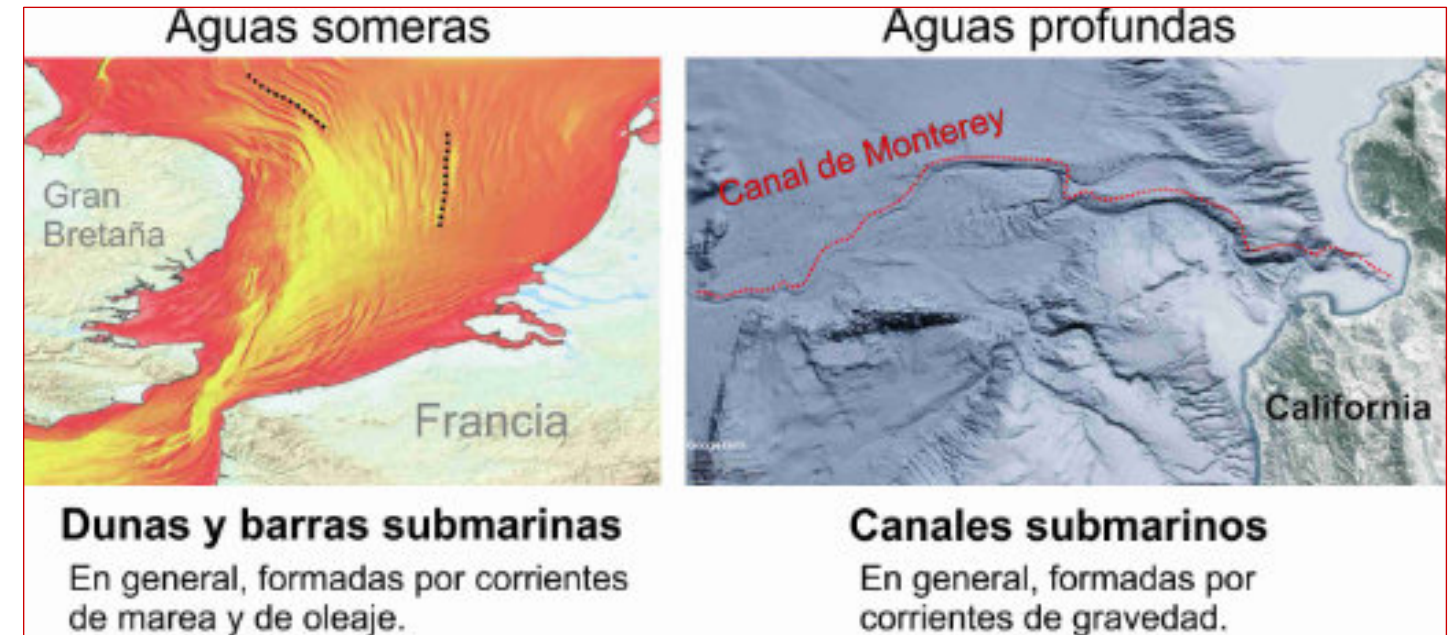


Figura 1. Los dos principales ambientes submarinos: aguas someras y aguas profundas.

En la figura de la izquierda se ven en colores rojos y amarillos relieves en el fondo marino del Mar del Norte. Se trata de barras submarinas de arena que se alargan por decenas de kilómetros (ver la cresta de alguna de ellas marcada con línea negra punteada). En la imagen de la derecha se muestra el canal submarino de Monterey. Este canal comienza como una incisión en la plataforma continental y después va haciéndose más sutil y más sinuoso según continúa por la llanura abisal, ya varios miles de metros de profundidad. El curso aproximado del canal está marcado con una línea roja punteada.

del agua marina o directamente comienzan a moverse desde el mismo fondo marino hacia zonas más profundas, por ejemplo: las descargas de sedimento que los ríos realizan en los océanos, el colapso de acumulaciones de sedimentos en las cabeceras de los canales submarinos, deslizamientos de porciones de estas cabeceras de los canales submarinos, o deslizamientos de porciones del fondo marino en cualquier otro lugar. Durante estas caídas de sedimento, se producen mezclas de partículas de muy diverso tamaño y densidad que comienzan a moverse con diferentes velocidades y de diferentes formas. El movimiento de estas partículas sólidas provoca a su vez el desplazamiento del agua que las rodea, ya que tienden a empujar y arrastrar el agua en la misma dirección en la que caen a lo largo del fondo marino. En este momento ya podemos decir que se ha formado una corriente submarina gravitacional portadora de sedimento. Este nombre tan largo puede ser sustituido por el más común: corriente o flujo turbidítico. Corriente o flujo, en inglés *current/flow*, son términos que se usan como sinónimos, aunque en el estudio de dinámica de fluidos el más adecuado sería seguramente, flujo.

Simplificando mucho, este es el mecanismo que hace posible que una corriente se pueda formar dentro del propio océano. Corrientes que son relativamente efímeras (minutos a horas típicamente), ¡pero que pueden recorrer miles de kilómetros! Lo importante es lo que puede llegar a hacer esta corriente turbidítica en el fondo marino. Y aquí entramos en materia sedimentaria: erosión y deposición. En general las corrientes de los ríos en los continentes y las corrientes turbidíticas erosionan y depositan de una manera bastante similar. Cuando el agua se mueve sobre un fondo compuesto de partículas es capaz de arrastrarlas más o menos distancia, dependiendo fundamentalmente de una propiedad física llamada viscosidad y de su velocidad. Pero las partículas que forman parte de una corriente también pueden impactar contra aquellas partículas que descansan sobre el fondo, provocando su desplazamiento hacia otros lugares. Estos son mecanismos muy intuitivos que explican el proceso de erosión y deposición. Pero también hay otros fenómenos más complejos que son capaces de erosionar y transportar grandes volúmenes de sedimento a lo largo de tanto los canales de los ríos en los continentes como los canales submarinos. El llamado salto hidráulico es uno de estos fenómenos.

Este fenómeno resulta de una compleja interacción entre la gravedad junto con las propiedades físicas del agua y de las partículas sólidas que hay tanto en el fondo marino como las incorporadas en la corriente. Simplificando de nuevo mucho, algunas corrientes que ya se está moviendo a una relativa alta velocidad si se les frena en un corto espacio pueden llegar a desarrollar una especie de explosión, surgimiento vertical o también llamado 'salto'. Es como una cascada de agua, pero hacia arriba, desafiando la gravedad (Figura 2-1). En los ríos o en canales cuando se observa parece una ola como las que vemos romper en las playas; pero cuidado, el movimiento de agua que ocurre dentro de estos saltos hidráulicos no tiene nada que ver con aquel que ocurre en las olas que surcan la superficie de los mares. En un salto hidráulico, el agua se mueve violentamente hacia arriba desde el fondo y esto causa una presión negativa que provoca a su vez la

absorción del sedimento, de forma que este es incorporado violentamente en la corriente. Es una especie de aspiradora natural que se forma en una parte concreta de una corriente. Estos saltos hidráulicos crean depresiones a veces espaciadas en el fondo marino y se piensa que son mecanismos fundamentales en la formación y mantenimiento de los canales submarinos (Figura 2-2). En el medio submarino, y más aún en aguas profundas, la observación de saltos hidráulicos es muy complicada. El salto hidráulico en el ambiente submarino era hasta hace poco un fenómeno que se suponía su existencia por la observación de morfologías y estructuras sedimentarias compatibles con el tipo de erosión y sedimentación esperado. Sin embargo, los avances tecnológicos y los esfuerzos de investigación algunas personas han hecho posible las primeras observaciones de saltos hidráulicos en canales submarinos (Figura 2-3).

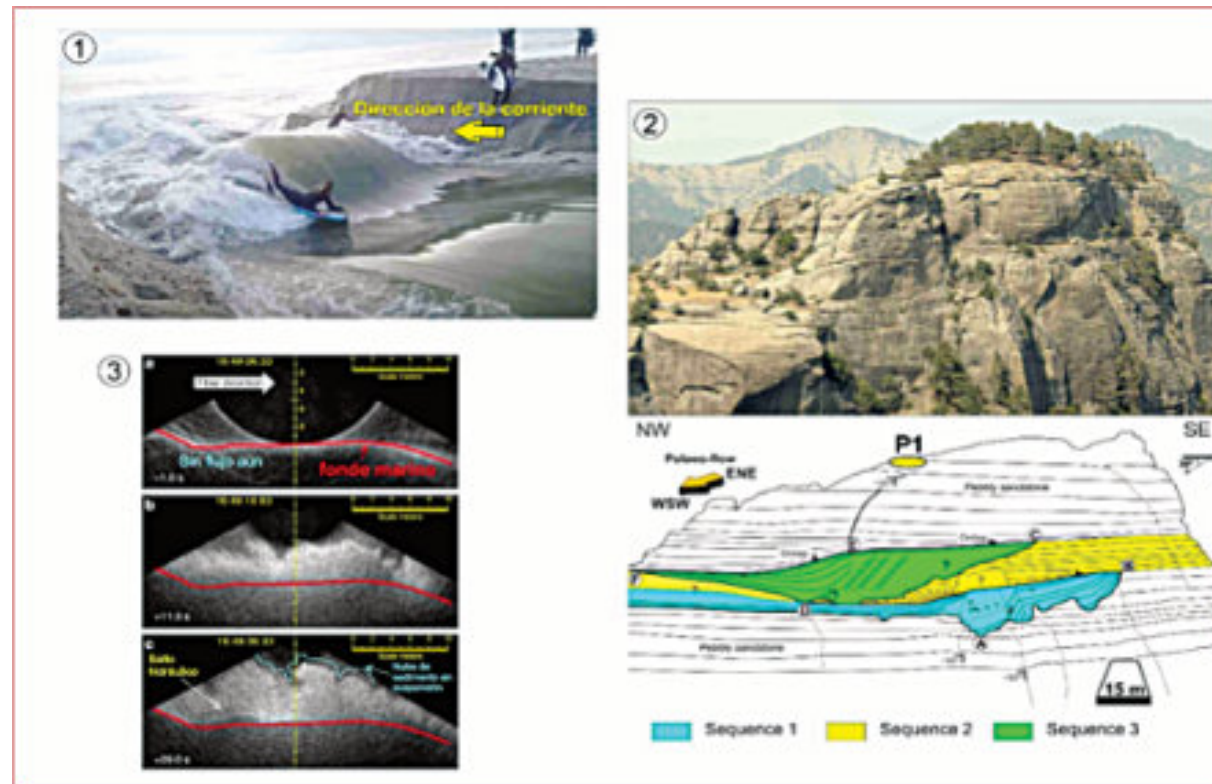


Figura 2. Tres ejemplos que describen diferentes aspectos del salto hidráulico. 1) Una persona surfea justo en la parte trasera de un potencial salto hidráulico o de un 'standing wave' alternativamente, que ha sido producido artificialmente al romper la barra de arena que cerraba un lagoon al mar. El salto hidráulico, aunque parece una ola como las que se forman en la playa, es muy diferente desde el punto de vista de dinámica de fluidos (ver video completo en: <https://youtu.be/eDmoXkF-g9I?t=2782>). 2) Este afloramiento de un relleno de canal del Mioceno en Turquía expone la arquitectura sedimentaria que se interpreta como resultado de al menos dos saltos hidráulicos que ocurrieron en una parte del canal. Las secuencias 1 y 2 muestran depresiones irregulares (*scours*) que son compatibles con las que una 'aspiración' de un salto hidráulico produciría. Nótese las dimensiones de estas paleo-depresiones: más de 15 metros de profundidad (investigación en curso de Channels Geoconsultancy). 3) Estas imágenes de un *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* en un canal conectado al delta del río Squamish en Canada, muestran evidencia de un salto hidráulico (*hydraulic jump*) a través de la geometría de la 'nube' de sedimento en suspensión que se formó durante un evento de corriente portadora de sedimento (modificado de Hughes Clarke, 2016).

**Conclusión**

En resumen, hay morfologías en el fondo marino más profundo muy similares a los ríos en los continentes, y los procesos que los forman tienen similitudes, pero las diferencias también pueden ser significativas sobre todo en cuestiones de dinámica de fluidos. De hecho, aún definimos la mayor parte de los procesos que transportan y depositan sedimentos en aguas profundas a través de especulaciones basadas en una serie de asunciones. Por ello necesitamos continuar con más y mejores estudios que nos hagan comprender los procesos que transportan sedimentos en las zonas más profundas y oscuras de

nuestros océanos. En un próximo artículo se tratará de otro tipo de corrientes gravitacionales que son muy importantes en las aguas profundas de los océanos: las corrientes termohalinas.

**Referencias**

Hughes Clarke, J.E.H., 2016. First wide-angle view of channelized turbidity currents links migrating cyclic steps to flow characteristics. *Nature communications*, 7(1), pp.1-13.



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

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

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



## Mourning the Cactolith

Jon Blickwede

Consultor Internacional

Linguists estimate that there are somewhere between 2,000 to 3,000 words in both the Spanish and English languages that are in common, everyday use in the Spanish and English-speaking countries. In contrast, my copy of the 1974 edition of the American Geological Institute's (AGI) *Glossary of Geology* has about 33,000 entries, and that number has risen to nearly 40,000 in a more recent (2011) edition. Is that too many?

Language is both "a systematic means of communicating by the use of sounds or conventional symbols" and "a system of words used to name things in a particular discipline."<sup>1</sup> The former definition has an intrinsic objective of effective communication, to ensure as much as possible that a particular concept is understood by the audience in precisely the same way as the person trying to convey the concept. The latter definition of language has no such built-in objective, and it is here that we geoscientists, just as all scientists, have run into the most trouble at times.

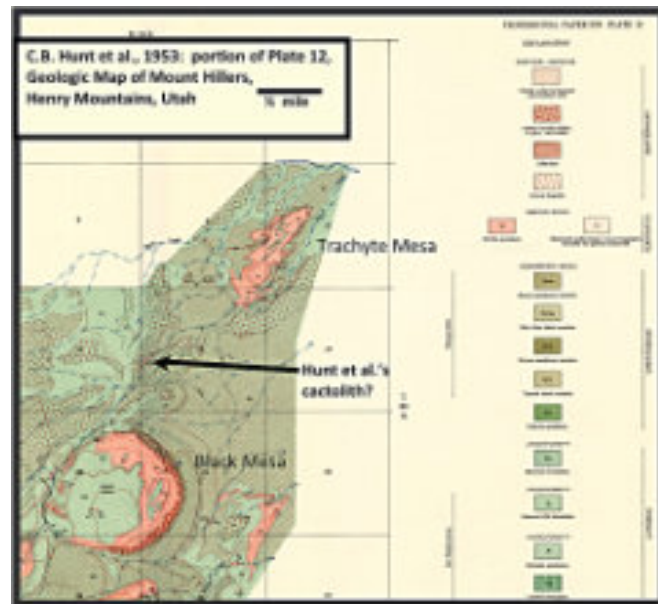
A classic example which illustrates the situation where the proposal of new geological words has gone loco relates to the term "cactolith," coined by Hunt et al. in their 1953 USGS Professional Paper 228 entitled *Geology and Geography of the Henry Mountains Region, Utah*: "The feeder to the Trachyte Mesa laccolith has a distinctive form and some may wish it named... 'cactolith' might be used, and defined as a quasi-horizontal chonolith composed of anastomosing ductoliths whose distal ends curl like a harpolith, thin like a sphenolith, or bulge discordantly like an akmolith or ethmolith."



For years I thought this was a serious (but laughable) attempt to add a useful term to the geological lexicon, though I did once hear a rumor that Hunt and colleagues wrote this as a mischievous experiment to see if the term would pass the USGS editorial process, which it obviously did. Thus surviving the USGS editors, "cactolith" gained entry into the AGI *Glossary*.

As it turns out, Hunt et al. did indeed propose the term as a way to protest the plethora of geologic gobbledygook, at least in the specialty of igneous geology-- I recently discovered a 1988 publication by Hunt in which he clarified the origin of the term: "It was intended to call attention satirically to the absurd nomenclature geologists were developing by applying new names to the infinite variety of shapes intrusions can form. The name cactolith and its definition started July 1939 at what may be called elegantly a luncheon seminar on an outcrop of that feeder to the Trachyte Mesa laccolith..."

I'm sorry to report that the cactolith, which appears in my copy of the 1974 AGI *Glossary*, has apparently been declared dead as it was unceremoniously dropped from the 2011 edition. Perhaps it should be revived, not as a term for describing intrusive igneous bodies that look like cacti-- but rather for the message it was meant to convey, about the importance of trying to keep our geological jargon as simple as possible. I suppose its resurrection could also be justified by having value as a candidate for crossword puzzles.



In any case, the curious can visit Hunt et al.'s mapping area in the Henry Mountains around Trachyte Mesa, Garfield Co., Utah, just off State Route 276 about five or six miles south of the junction with State Route 95. I went there a few years ago and spent a day hunting for the poor,

rejected cactolith. Because Hunt et al. did not provide a photo or drawing of the cactolith in their 1953 report, I imagined it to be an intrusive igneous body perhaps up to a few tens of meters in length. Hiking up and down an arroyo where I expected the cactolith might be located (based on the 1953 geological map), I found no such feature. I began to think I was in the wrong arroyo, so I climbed up to the top of the adjacent mesa to better get my bearings. When I reached the top of the mesa and



So it appears that Hunt et al. had described, with a bit of imagination (and maybe a lunchtime beer or two?) the large-scale map pattern of a plutonic body. Not exactly what I expected... but then that's true of the vast majority of discoveries, isn't it?

<sup>1</sup>definitions from *Terminology* app, version 2.21, ©2012 Agile Tortoise Inc.



**Jon Blickwede** egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts, EEUU con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en 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 1981, trabajando por 35 años como geólogo de exploración petrolera para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y Statoil. Realizó

started walking around, I noticed that all the outcrops and float consisted of a dark-colored porphyry, perhaps the diorite that Hunt et al. had mapped as comprising the Trachyte Mesa laccolith and associated cactolith feeder. In the evening, back in my motel room in Hanksville, I looked at the Google Earth™ imagery for the area I'd been hiking, and discovered that the entire mesa that I'd climbed up to the top of, measuring a few kilometers across, had a form reminiscent of a saguaro cactus lying on its side.

Hunt, C.B., et al., 1953, *Geology and geography of the Henry Mountains Region, Utah*: USGS Professional Paper 228, U.S. Government Printing Office, Washington

Hunt, C.B., 1988, *Geology of the Henry Mountains*, as recorded in the notebooks of G.K. Gilbert, 1875-76: Geological Society of America Memoir 167

proyectos de geología sobre EEUU, México, Centroamerica y el Caribe para estas empresas. Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC ([www.teyrageo.com](http://www.teyrageo.com)), donde está realizando un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes tomados con su drone, integrados con otros datos geoespaciales.

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

## ALGUNOS USOS DE ROCAS SEDIMENTARIAS EN CONSTRUCCIONES, MONUMENTOS Y ORNATO DE LA CIUDAD DE MADRID, ESPAÑA

**JHONNY E. CASAS**

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



Muralla Islámica (Siglo IX), en el entorno de la Cuesta de la Vega. Foto del autor

### UNA INVITACIÓN A DESCUBRIR EL MADRID DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Madrid, la vibrante capital española, es un destino ineludible, conocido por su rica historia, su arte y su impresionante arquitectura. Sin embargo, propongo ir un poco más allá de la postal. Este trabajo te invita a emprender un viaje con una perspectiva diferente: una exploración de la ciudad a través de su geología sedimentaria.

Cada monumento, cada fachada histórica y cada majestuosa obra de arte pétreo que adorna las edificaciones madrileñas, tiene una historia oculta que se remonta a millones de años. Murallas, iglesias, monasterios, palacios, fuentes y esculturas, son testigos silenciosos de eras geológicas, procesos de formación de rocas, y el fascinante viaje de los materiales extraídos de la Tierra.

La ciudad es un verdadero museo de geología urbana. Invito a todo viajero, ya sea un geólogo experimentado o un curioso no especialista, a detallar y admirar estos

rasgos: las texturas, los colores y los fósiles preservados, que revelan el origen y la composición de estas rocas sedimentarias. Al cambiar el foco de nuestra mirada, la arquitectura y las esculturas, se convierten en un catálogo de la corteza terrestre. Prepárate para desvelar una porción, del secreto geológico de Madrid y apreciar su patrimonio edificado con una mirada y un asombro completamente nuevos.

### GEOLOGIA DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Ubicadas en la zona central de la península Ibérica, las sierras de Guadarrama y Somosierra forman parte del sistema central en el noroeste de la Comunidad de Madrid. Su sustrato es muy antiguo y diverso (Paleozoico y Mesozoico). Las rocas más viejas son gneises, mármoles y esquistos (> 500 Ma), seguidas por pizarras y cuarcitas depositadas cuando la península era parte de Gondwana. Los granitos de Guadarrama ubicados al noroeste de la Comunidad de Madrid, se formaron en el Carbonífero durante la Orogenia Varisca (LOZANO et al. 2010).

Se reconocen dos grandes ciclos geológicos

**La sedimentación Cretácica:** Tras la erosión de las montañas Variscas, la zona central de la península se aplanó y fue cubierta por el mar durante el Cretácico, depositándose areniscas, calizas y dolomitas.

**La Orogenia Alpina (Cenozoico):** Las actuales cordilleras, incluido el Sistema Central, se levantaron hace ~80 Ma debido a la Orogenia Alpina, causada por la doble colisión de las placas litosféricas (Placa Ibérica con Euroasiática y Placa de Alborán con Ibérica/Africana). La Orogenia Alpina ocasionó también un progresivo drenaje de la Península hacia el Atlántico a partir del Plioceno, cambiando las cuencas interiores de endorreicas a exorreicas.

### LA CUENCA DE MADRID

Aproximadamente dos tercios de la Comunidad de Madrid son ocupados por la denominada Cuenca de Madrid, una gran depresión tectónica que se rellenó con sedimentos durante el Neógeno.

**Depósitos Neógenos (Mioceno):** Durante el Mioceno, la cuenca se rellenó con materiales erosionados de las sierras circundantes, creando extensos abanicos aluviales (conglomerados y arcosas) y depósitos lacustres (yesos, carbonatos, arcillas y limos), formados por decantación, evaporación, y actividad biológica, en un clima más cálido y árido. Este relleno inicial se considera en líneas generales aluvial y lacustre.

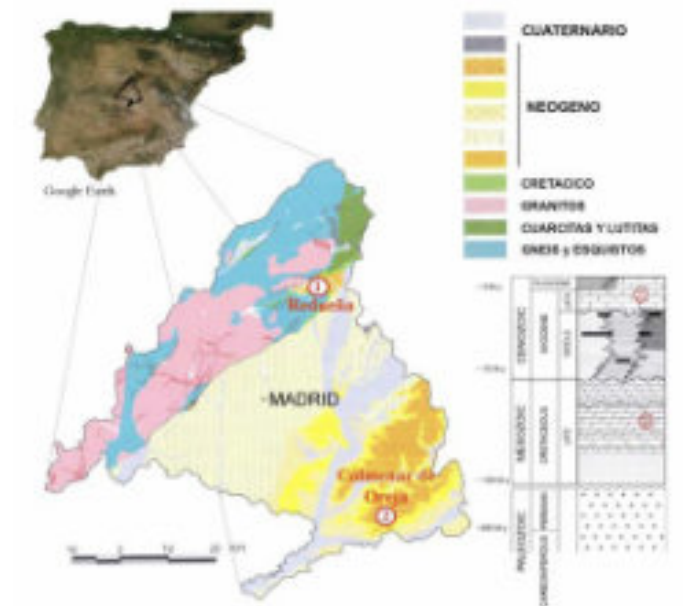
**Depósitos Cuaternarios:** El segundo grupo de formaciones, más recientes, son los sedimentos predominantemente fluviales depositados por ríos, que incluyen gravas, limos y arenas, en terrazas y llanuras de inundación. La ciudad de Madrid se asienta sobre esta vasta cubeta sedimentaria (LOZANO et al. 2010).

### LAS ROCAS SEDIMENTARIAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID.

En la Comunidad de Madrid, las rocas de tipo carbonático pueden ser del período Cretácico, ubicadas al norte, o más modernas, del Mioceno, situadas al sureste. Su origen es también diferente: las calizas del norte son marinas, mientras que las del sureste son continentales (lacustrinas). Las más utilizadas en la construcción y revestimiento de edificios de Madrid, son las segundas, siendo las más reconocidas las provenientes de Colmenar de Oreja.

Las rocas carbonáticas de estas localidades al sureste, también conocidas como «piedra de Colmenar», se formaron durante el Mioceno, en un vasto mosaico de

lagos y lagunas de agua dulce. Estas rocas se originaron por acumulación de restos de algas calcáreas (*Characeae*), gasterópodos, ostrácodos y moluscos, así como por carbonato cálcico procedente de la actividad de cianobacterias. Las cianobacterias producen carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) al incorporar el calcio disuelto en el agua y precipitarlo sobre sus capas externas mucilaginosas, un proceso conocido como biomineralización.



Mapa geológico de la Comunidad de Madrid. Modificado de FREIRE & FORT (2017).

Las calizas de Colmenar son principalmente micritas bioclásticas (FORT et al. 2013), se han utilizado en la construcción de algunos de los monumentos emblemáticos de la Comunidad de Madrid, tales como los palacios reales de Aranjuez y de Madrid, las Puertas de Alcalá y de Toledo dentro la ciudad de Madrid (LOZANO et al. 2010).

Otra de las rocas de construcción carbonáticas tradicionalmente utilizadas en Madrid han sido las rocas dolomíticas de la localidad de Redueña (Coniaciense-Santoniense). La denominada «piedra de Redueña», incluye calizas y dolomicritas, normalmente de tonos crema claro. Sus canteras históricas estaban muy dispersas, destacando los pueblos de Redueña, al norte, Guadalix de la Sierra, El Molar, Venturada y Torrelaguna, así como otras localidades de la cercana Guadalajara (FREIRE y FORT 2017). El uso significativo de la «piedra de Redueña» finalizó muy probablemente en el siglo XVIII, cuando se introdujo en Madrid el uso

de rocas carbonáticas del Neógeno, denominadas «piedra de Colmenar» (FORT et al. 2013).

Por último se debe mencionar que desde finales del siglo XVII hasta la actualidad, la denominada «piedra de Novelda», también se ha utilizado profusamente en edificios y monumentos de Madrid y Valencia, así como Alicante. En el pasado, las canteras principales donde se extrajo la «piedra de Novelda», se localizaban en Alicante; en los distritos municipales de Monóvar («piedra Almorquí»), Sax («piedra Portazgo») y Elda («piedra Bateig»). Hoy en día, la actividad principal se sitúa en las canteras de Bateig (FORT et al. 2002).

### EL USO DE LAS ROCAS

Desde sus orígenes, Madrid ha utilizado los diversos materiales geológicos, existentes en el terreno sobre el que se asienta, para levantar sus construcciones, diferenciándose dos grandes grupos de materiales, las rocas ígneas y metamórficas del norte y noroeste de la región, y las rocas sedimentarias del norte y sureste. Así, los principales materiales tradicionales que constituyen el patrimonio arquitectónico de la ciudad son el granito y la caliza, y en menor medida, el chert y la filita o pizarra.

La espectacular ciudad de Madrid esta llena de edificios y monumentos históricos que han perdurado por siglos. A pesar de su enorme crecimiento durante los últimos 100 años, muchas de las «nuevas» construcciones han continuado con el uso de materiales tradicionales, en especial el granito, la roca empleada por excelencia en casi cualquier construcción. Conocido como «piedra berroqueña», el granito procede de la sierra de Guadarrama y actualmente las principales explotaciones se encuentran en las localidades de Colmenar Viejo, Zarzalejo, Alpedrete, Galapagar y Cadalso de los Vidrios (FORT et al. 2008).

Sin embargo, el uso de rocas sedimentarias, también ha jugado un papel importante, sobretudo, en la elaboración de monumentos y decoración. Principalmente destacan las rocas carbonáticas (calizas y dolomitas) del Cretácico superior del norte de la región que se han denominan genéricamente «piedra de Redueña», las calizas Neógenas del páramo de Colmenar de Oreja («piedra de Colmenar»), y las calizas denominadas «Piedra de Novelda» también del sureste de Madrid, conocidas como material de construcción desde el siglo XIII.

A continuación mencionaremos algunos de los lugares importantes o emblemáticos, donde se ha verificado el uso de rocas sedimentarias (locales y/o foráneas), incluyendo decoración de edificios eclesiásticos y civiles.

### LAS MURALLAS ISLAMICAS

Las Murallas Islámicas pueden considerarse la construcción en pie, asociada al uso de rocas sedimentarias, más antigua de la ciudad de Madrid, ya que están relacionadas con su fundación.

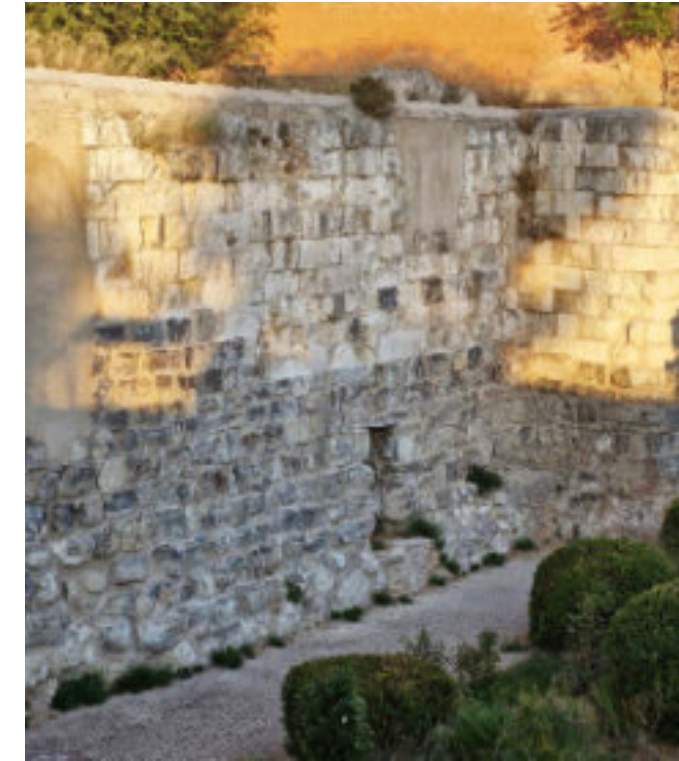
Los restos de la Muralla Islámica que pueden verse, sobretudo a un lado de la Catedral de La Almudena, pertenecen al primer recinto amurallado de Madrid construido en el siglo IX (852-866), durante el dominio andalusí de la región y bajo el mandato del emir Muhammad I de Córdoba, como un enclave militar de cierta importancia. Se conserva un tramo de 120 metros de longitud, con una altura máxima de 11,5 metros y un espesor de 2,6 metros, en el que destacan varios torreones de planta cuadrangular. Consecuentemente, se construiría una fortificación con unos 850 metros de perímetro (de los cuales se conservan algo más de 200) y un área cercada de 4 hectáreas. Se calcula que los muros pudieron alcanzar originalmente una altura de entre 12 y 15 metros

En esa época, la península ibérica estaba prácticamente dominada por los musulmanes, y junto al río Manzanares se inicia la construcción de la muralla. Un poblado conocido como «Mayrit» comienza a crecer. Con la Reconquista, y tras pasar la villa de Madrid a la Corona de Castilla, la muralla inicial se va ampliando con el andar del siglo XII, dando lugar a la denominada muralla cristiana o medieval, que cobijaba los nuevos barrios surgidos tras la expulsión de los musulmanes.

Sin embargo, tras varios siglos en pie protegiendo a su población, con la llegada de los Austrias, el establecimiento de la corte en Madrid en 1561 y la pretensión de Felipe II de construir una ciudad moderna, la muralla quedó en desuso y fue prácticamente demolida en su totalidad, ya que dificultaba el crecimiento de una nueva e incipiente urbe que, ubicada en el centro de la península, permitía la conexión con el resto de los territorios.

La muralla se construyó sobre un zócalo de chert también denominado sílex, pedernal o ftanita, del período Neógeno. En su parte interior se utilizaron grandes bloques o sillarejos de este mismo material, y

en su cara externa, sobre algunas hiladas de sillares de chert, se emplearon otros adicionales de rocas carbonáticas, dispuestas «a soga y tizón» o lo que es lo mismo en disposición alternada. En algunas partes pueden apreciarse ladrillos, que pertenecen a reconstrucciones de épocas posteriores.



Detalle de la Muralla Islámica (aprox. 10 metros de altura), en el entorno de la Cuesta de la Vega. Obsérvese la mitad inferior de la muralla construida a base de bloques de ftanita (oscura) y la parte superior de bloques claros de rocas carbonáticas. Foto del autor.

Observando la superficie de la muralla, se nota fácilmente que sus partes inferiores están formadas por bloques de chert de gran tamaño, tallados únicamente en su cara externa y ligeramente desbastados en el interior. A partir de ahí, se levantan sillares de rocas carbonáticas o calizas, ofreciendo una nueva prueba de que el trazado es de origen andalusí, pues los materiales siguen el estilo cordobés. La mampostería se encuentra unida con argamasa de cal. Es interesante resaltar que todos los materiales que conforman el muro pertenezcan a zonas relativamente cercanas a la ciudad, lo cual reafirma una vez más el interesante papel geoestratégico de la elevación en la que surge la ciudad islámica.

Los restos de mayor importancia, con un interés más arqueológico que artístico, se hallan en la cuesta de la

Vega, junto a la cripta de la catedral de la Almudena. Los mismos, han sido integrados en el denominado parque de Mohamed I, llamado así en referencia a Muhammad I de Córdoba, considerado el fundador de la ciudad, donde se conserva un tramo de aproximadamente 120 metros de longitud. La muralla fue declarada Monumento Histórico-Artístico en el año 1954.

### CATEDRAL DE LA ALMUDENA

El inicio de la catedral de Santa María la Real de la Almudena comenzó a gestarse el 22 de diciembre de 1868, cuando la Congregación de Esclavos de la Virgen de la Almudena, solicitó al arzobispo de Toledo permiso para construir otra iglesia dedicada a la Virgen de la Almudena, ya que la primera había sido derribada en la revolución del año 1868; sublevación militar con elementos civiles que tuvo lugar en España en septiembre de ese año, y que supuso el destronamiento y exilio de la reina Isabel II.

El arquitecto Francisco de Cubas y Montes (1827-1899), recibió el encargo y, el 4 de abril de 1883, el rey Alfonso XII, colocó la primera piedra de la futura iglesia. La iglesia pasó a ser catedral cuando en 1885, Madrid fue erigida en diócesis por el Papa León XIII. Es poco típico que una catedral tenga tantos estilos arquitectónicos, sin embargo, la catedral de La Almudena tiene tres. Tiene un exterior neoclásico, un interior neogótico y una cripta neoromántica, todo esto debido al largo lapso de su construcción, que refleja la historia y política de cada época.

En cuanto a los materiales utilizados para la construcción de la Almudena, siempre se tuvo presente dos aspectos. Por un lado, los materiales utilizados en la preexistente estructura gótica del Marqués de Cubas, y por otro los materiales propios que componen el Palacio Real. La construcción de la catedral continuó con la cripta a partir de 1911, usando la denominada «piedra de Novelda» (proveniente de Alicante), material en boga para la época. Esta piedra es una roca carbonática de tono crema, que se clasifica como biocalcarenita, y está formada por una acumulación de restos de fósiles (foraminíferos, moluscos, briozoos, etc.). La «piedra de Novelda» se extrae de una unidad de carácter transgresivo depositada durante el Neógeno (Mioceno Medio-Superior). Esta unidad es posterior a las deformaciones mayores que generaron las Cordilleras Béticas en Alicante (FORT et al. 2002).

En la zona de balaustrada se utilizaron rocas más tradicionales como la procedente de Colmenar de Oreja, Madrid. La denominada «piedra de Colmenar» es una caliza fosilífera utilizada en la construcción de numerosos edificios singulares de Madrid, durante los siglos XVIII y XIX. Está formada por carbonato de calcio muy puro, con un contenido superior al 99%. Es una roca compacta, poco fisurada, con densidad media-alta, y buen comportamiento en el exterior de los edificios. Su porosidad es inferior al 3%, siendo la más importante, la debida a los caparazones fósiles que aparecen disueltos (FORT et al. 2002).



Biocalcarenita exhibiendo moldes de moluscos, procedente de una jamba, en la entrada este de la Catedral de La Almodena. Foto del autor.

El arquitecto Chueca Goitia (1911-2004) finaliza la cúpula con la denominada «piedra de Bateig» (Alicante), muy similar a la «piedra de Novelda», al proceder de la misma formación geológica y de las mismas áreas de extracción. La «piedra Bateig» petrológicamente es una roca calcárea aloquímica (biocalcarenita) conteniendo foraminíferos (Globigerinas, rotálidos, textuláridos) y restos de briozoos, moluscos y equinodermos, así como cantidades de cuarzo detrítico en diferentes proporciones (FORT et al. 2002). La cubierta de la

cúpula está construida con filita metamorfa procedente de la cantera de Valdemiguel (Orense).

La portada principal de la catedral, con sus dos torres, es de granito proveniente de la cercana Sierra de Guadarrama, en donde resalta la presencia de xenolitos de gran tamaño, procediendo posiblemente de la zona de Zarzalejo (Madrid). La portada hacia la calle Bailén muestra por el contrario una menor cantidad de xenolitos, siendo el granito de tono más blanco (FORT et al. 2002). Ambas fachadas presentan cornisas, capiteles, jambas y dinteles, con ornamentación en caliza de Colmenar, siguiendo la construcción tradicional de Madrid y copiando las trazas y estilo del Palacio Real de Madrid, localizado frente a la portada principal de la catedral.



Biocalcarenita exhibiendo fósiles de moluscos, procedente de las columnas interiores de la Catedral de La Almodena. Foto del autor.

Finalmente, la Catedral de La Almodena fue consagrada el 15 de junio de 1993, por el papa Juan Pablo II, en el transcurso de su cuarto viaje a España. La catedral había tardado 110 años en construirse.

#### **EL MONUMENTO A CERVANTES**

El monumento a Cervantes es el conjunto escultórico de la Plaza de España de Madrid, frente al lujoso Hotel Ríu, y que honra a Miguel de Cervantes y su obra cumbre, El Quijote. El monumento fue promovido por Alfonso XIII para conmemorar el tercer centenario de la publicación de la segunda parte de El Quijote. Fue construido entre

1925 y 1929, culminando su construcción en los años 60, con la adición de estatuas laterales. El monumento presenta a Don Quijote y Sancho Panza a los pies de Cervantes, rodeados de alegorías y personajes de sus obras, coronado por un globo terráqueo que simboliza la universalidad de su obra.

El arquitecto Muguruza Otaño (1893-1952) será responsable del diseño final del monumento. La parte escultórica del monumento fue obra de Lorenzo Coullaut (1876-1932) hasta su muerte. Por motivos de falta de financiamiento, el monumento no sería terminado hasta el año 1957, cuando se instalaron los últimos grupos escultóricos; 1960, al modificar la ubicación de algunos de éstos; o 1969, con el inicio de funcionamiento de la fuente. Posteriormente, se han realizado diversas obras de restauración, que comprendieron la consolidación del conjunto o la modificación en sí, de la Plaza de España (MORALES 2024).



El autor señalando la ubicación de los bloques de rocas carbonáticas, pertenecientes a la denominada «piedra de Novelda», colocadas sobre sillares de granito más grisáceo, hacia la base del Monumento a Cervantes.

El monumento a Cervantes es una obra escultórica compleja de 34 metros de altura, que incluye materiales como bronce, para las figuras de Don Quijote y Sancho Panza, así como el mármol para los elementos alegóricos de la literatura y el globo terráqueo. El

pedestal principal está construido de granito y sobre el, bloques de rocas carbonáticas, también provenientes de Novelda.



Detalle de las biocalcarenitas en la base del Monumento a Cervantes. La roca contiene foraminíferos, oncolitos, moluscos y algas. Foto del autor.

#### **REAL BASILICA DE SAN FRANCISCO EL GRANDE**

El actual templo de San Francisco el Grande fue edificado sobre el primitivo convento franciscano que, conforme a la leyenda, había sido fundado personalmente por San Francisco de Asís, en 1217.

El nuevo edificio se acogía a los planos del renovador y clasicista planteamiento propiciado en 1761 por el lego y arquitecto franciscano Fray Francisco Cabezas (1709-1773), protagonista del novedoso proyecto arquitectónico. La inauguración del nuevo templo tuvo lugar el 6 de diciembre de 1784, en solemne ceremonia presidida por el rey Carlos III (BONET 2008).

De planta circular y amplia espacialidad central flanqueada por seis capillas laterales y atrio. En su disposición arquitectónica se refleja la indudable influencia grecorromana, junto al denominado segundo renacimiento español. Con apoyo entre las arcadas que dan paso a las capillas laterales se alzan las 12 estatuas de los Apóstoles, de 2,10 m. cada una. Todas fueron modeladas en barro y enviadas a Italia, en donde fueron labradas en mármol blanco de Carrara (BONET 2008). Las estatuas están emplazadas sobre elevados pedestales de 2,66 m. de altura, erigidos en el mal llamado marmol rojo de Ereño.

El denominado popularmente mármol rojo de Ereño no es realmente mármol, ni siquiera se extrae del municipio de Ereño. La población de Vizcaya, lo bautizó con este nombre debido a su parecido al mármol, y a la proximidad de su principal cantera, al municipio de Ereño.



Estatua de San Pablo elaborada en mármol de Carrara, sobre un pedestal de roca carbonática de color rojo intenso, mal denominada «mármol rojo de Ereño». Foto del autor.

El rasgo que hace especial a esta roca, es su color rojo intenso. Aunque el conjunto de calizas en general es de color gris, hay una franja en la región de Vizcaya (desde Ereño hasta Gautegiz Arteaga), que destaca por su tono rojo. Es en el municipio Gautegiz Arteaga, donde se encuentra la cantera de mayor tamaño: Cantera Gorria o Cantera de Andrabide. La cantera está declarada como Patrimonio Histórico de Vizcaya y forma parte de los lugares de interés geológico del País Vasco.

Además de su color rojo, que recuerda a las famosas facies del «Ammonitico Rosso», esta roca carbonática compuesta de una caliza arrecifal recristalizada, conserva abundantes fósiles de moluscos de colores blancos y grises, con formas redondeadas en corte, donde se identifican numerosos rudistas caprotínidos (dominantes), requiénidos y monopleúridos (DAMAS-MOLLÁ et al. 2011). Estos organismos colonizaron el fondo de un mar cálido de poca profundidad durante el Cretácico (Aptiense superior-Albiense inferior). El color rojo se debe a la presencia de óxidos de hierro ultrafinos (hematites), que durante el proceso de litificación del sedimento, «tiñeron» el fango marino, pero no los fósiles.



Detalle de una de las arcadas, donde se observa la roca carbonática cretácica de color rojo intenso, llena de rudistas. Foto del autor.

La sedimentación carbonática de Ereño tuvo lugar en una plataforma marina de energía moderada, en condiciones climáticas subtropicales, que favorecieron el desarrollo de grandes colonias de moluscos bivalvos, entre los que destacan rudistas de diferentes familias, como las ya mencionadas. También aparecen con frecuencia, *Chondrodonta* sp., (bivalbo), restos de corales, equinodermos y foraminíferos (DAMAS-MOLLÁ et al. 2011).

El uso de esta roca con fines ornamentales, consta desde el siglo I d. C. hasta el presente. Fueron los romanos, los primeros en dar valor a esta roca: el museo Arkeologi de Bilbao, por ejemplo, conserva un Ara Votiva y un cipo funerario (pedestal colocado en tumbas honrando al fallecido), procedentes del yacimiento romano de Forua (Vizcaya), y elaborados en

este material (DAMAS-MOLLÁ et al. 2011). Su singularidad y belleza geológica le ha permitido a las calizas rojas de Ereño, entrar en una selecta lista de 55 rocas declaradas Patrimonio Internacional por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por sus siglas en inglés).

#### **PALACIO DE LAS CORTES**

El Palacio de las Cortes o Palacio del Congreso de los Diputados, ubicado en la Carrera de San Jerónimo en Madrid, tiene una fachada de granito y «piedra de Redueña», con seis columnas de estilo corintio, y con una puerta central y dos grandes leones de bronce en la escalinata principal, obra del escultor neoclásico Ponciano Ponzano (1813-1877). El frontispicio triangular es de mármol de Carrara.

Los dos leones que flanquean la entrada principal son de bronce, y tienen una historia singular. El 23 de marzo de 1860, el ejército español consiguió una gran victoria en la batalla de Wad-Ras, en la guerra contra Marruecos, adueñándose de unos cañones del enemigo. Tales cañones se entregaron a Ponzano, para esculpir los leones del Congreso, siendo fundidos en la Real Fábrica de Artillería de Sevilla en el año 1865.

Mediante documentos históricos (PALACIO DEL CONGRESO 1856) y observación directa, investigadores han confirmado que las rocas con la que se construyeron las jambas, dinteles y repisas del Palacio de las Cortes, donde se aloja el Congreso de los Diputados, provienen de las canteras de la localidad madrileña de Redueña.

En la publicación del PALACIO DEL CONGRESO (1856) se lee: «La fachada principal es toda de piedra, ya de granito, ya calcárea de Redueña. Son de la primera los fustes de las columnas ... y la segunda se ha empleado en las basas y capiteles, en el frontón, excepción del tímpano, en las impostas y pilastras, y finalmente, en el decorado de todos los vanos; haciendo así que los miembros relevados destaquen de los fondos».

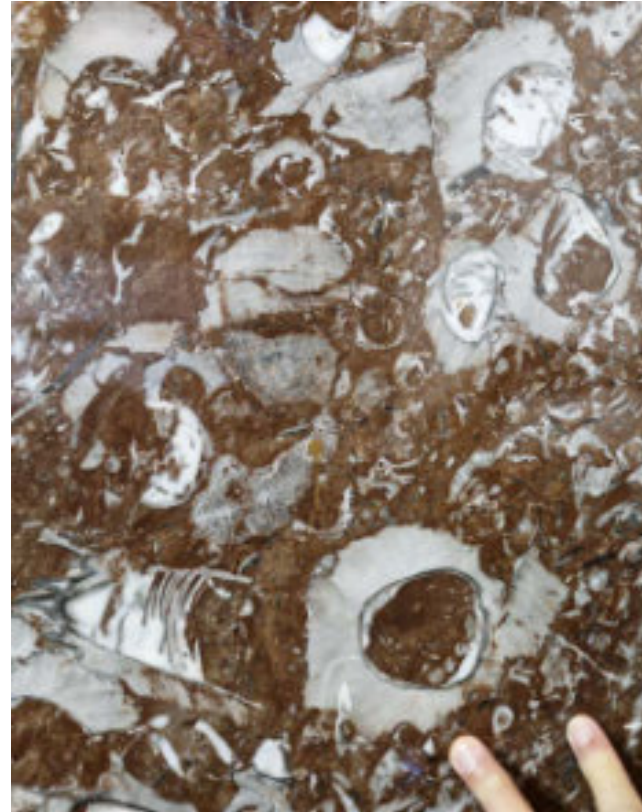


Fachada principal del Congreso de los Diputados. Las jambas y dinteles de color crema claro, fueron hechos a partir de dolomitas («piedra de Rueña»). Foto del autor.

Aquí la roca dolomítica de Redueña, perteneciente a una formación geológica denominada Castrojimeno, presenta rasgos característicos, como un nivel con fósiles que no aparecen en otras zonas. En concreto, en las rocas de los dinteles y repisas, se han identificado numerosos fósiles de gasterópodos, en especial *Trochactaeon lamarcki*, y fragmentos de bivalvos (FREIRE y FORT 2017), que vivieron en el Cretácico superior hace aproximadamente 85 Ma, lo que ha resultado clave para datar y localizar la procedencia de estas rocas.



Dolomita de Redueña ,exhibiendo *Trachaectaeon lamarcki*, procedente del Palacio de las Cortes. Fuente: <https://short.do/4UdkJy>



Detalle de la caliza roja de Ereño (Aptiense-Albiense), como decoración interna de un edificio privado, mostrando gran cantidad de rudistas. Foto del autor.

### EDIFICIOS PRIVADOS

Varios edificios residenciales de las zonas del centro de Madrid, exhiben en sus paredes, losas decorativas hechas a partir de rocas sedimentarias.

Uno de los edificios identificados como ejemplo, se encuentra en la calle Arenal 26, y corresponde a una construcción cuya fecha original es 1887. Si bien los apartamentos han sido completa y modernamente remodelados, la fachada principal y el vestíbulo parecen ser originales de la época.

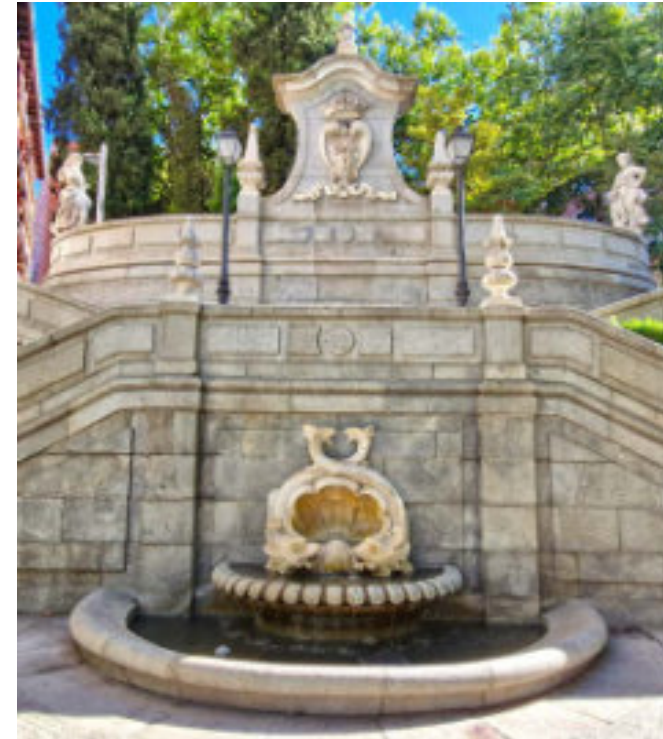
En el vestíbulo pueden observarse numerosas losas de caliza roja arrecifales, que conservan perfectamente abundantes fósiles de moluscos de colores blancos y grises, con formas redondeadas en ocasiones, donde se identifican numerosos rudistas, otros bivalvos, y equinodermos. Estas rocas carbonáticas corresponden a las ya mencionadas calizas rojas de Ereño, que fueron descritas en la Basílica de San Francisco, y que además pudieron ser reconocidas por el autor, como elemento decorativo, dentro de algunas fuentes del Palacio Granja de San Ildefonso, una de las residencias de la familia real española, ubicado a unos 80 kilómetros de Madrid, muy cerca de Segovia.

### LA FUENTE DE LOS AFLIGIDOS

La fuente de los Afligidos, también conocida como fuente de Cristino Martos, es una fuente de la ciudad de Madrid, situada entre la calle de la Princesa y la plaza de Cristino Martos.

La fuente, pegada al muro inferior de la escalinata entre dos pilastras, muestra una hornacina o nicho, con dos delfines unidos por la cola. Entre los acuáticos mamíferos, de cuyas cabezas brota el agua, hay una tridacna (concha de molusco), de cuyo centro, en forma de perla, brota el surtidor de agua.

El monumento, en su vista desde la calle de la Princesa, muestra tres niveles de orientación barroca. Los elementos decorativos (fuente y jarrones) están labrados en roca carbonática de Colmenar, pero las esculturas se hicieron con «piedra rosa de Sepúlveda», siendo la base arquitectónica del conjunto, bloques de granito.



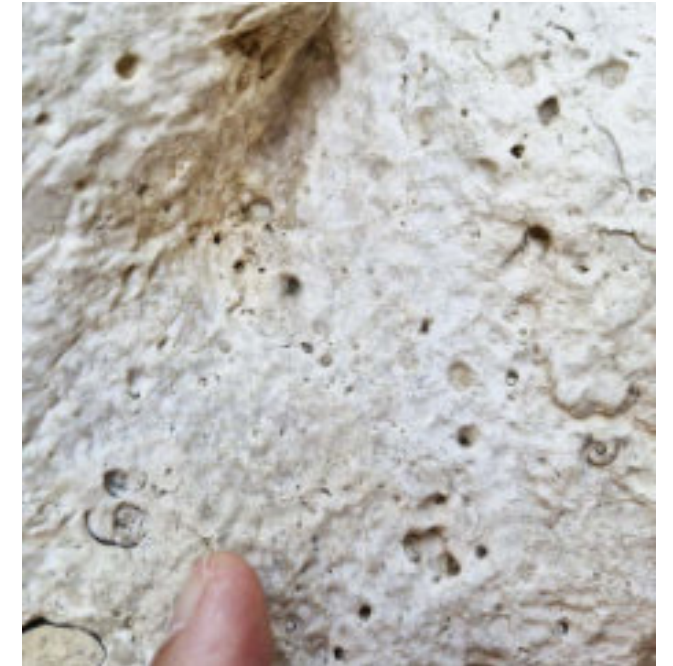
Vista de la fuente de los afligidos desde la calle Princesa. La fuente y jarrones están elaborados en «piedra de Colmenar», mientras que las esculturas están hechas en «piedra rosa de Sepúlveda». Los bloques de las paredes están hechos de granito. Foto del autor.

La «piedra rosa de Sepúlveda» es una caliza del período Cretácico superior, muy apreciada por su color rosado salmón, y por ser fácil de labrar, adecuada para tallas artesanales y para usos tanto en interiores como exteriores. Esta roca sedimentaria es de origen marino, cementada por carbonatos y manchada suavemente por óxidos de hierro (OLMEDO et al. 2004). Se extrae de canteras en el término municipal de Villar de Sobrepeña (Segovia) y también fue ampliamente utilizada en el mencionado Palacio de La Granja de San Ildefonso, cerca de Segovia.

Las rocas denominadas caliza rosa Sepúlveda, se sitúan estratigráficamente dentro del Miembro Calizas de Linares, el cual está incluido en la Formación Calizas, dolomitas y areniscas dolomíticas de Linares-Hontoria. La edad del Miembro Calizas de Linares se atribuye al Coniaciense-Santoniense. La roca consiste en calizas bioclásticas, esencialmente con texturas *grainstone* y *packstone*, así como fragmentos de fósiles muy variados (OLMEDO et al. 2004).

Las evidencias históricas del uso de este material, en orden cronológico, comienzan con su utilización en puentes y vías de comunicación romanos,

continuándose en necrópolis y elementos de culto visigodos, y ampliándose posteriormente su presencia en edificaciones religiosas a lo largo de toda la Edad Media. En tiempos más recientes su uso se evidencia en importantes palacios, como las columnas de la fachada de la Granja de San Ildefonso en Segovia (OLMEDO et al. 2004).



Detalle de las calizas dolomíticas de Sepúlveda, empleada en la elaboración de la escultura alegórica a la Abundancia (derecha subiendo). Fuente de los Afligidos. Nótese la presencia de fósiles de gasterópodos. Foto del autor.

### LAS ROCAS EN EL APAREJO TOLEDANO

Existen en Madrid una serie de iglesias y monasterios que exhiben en sus paredes exteriores un tipo de decoración/construcción denominada «aparejo toledano». El «aparejo toledano» (conocido como cajón de mampostería), es un sistema de construcción que consiste en un aparejo elaborado mediante una fábrica mixta de ladrillos y piedra. Está compuesta por cajones de mampostería, entre hiladas de ladrillo. Se empleó con frecuencia en los muros de las fachadas exteriores de las casas medievales (FLORES 1987).

Este tipo de fábrica se desarrolla a partir de los antiguos aparejos romanos denominados *opus mixtum* y *opus vittatum*. Su presencia se da, tanto en obras tardías romanas, como medievales. Siendo una evolución de la arquitectura romana hispánica, la misma se mantuvo en la arquitectura militar musulmana y posteriormente fue usada por los alarifes, en la arquitectura mudéjar de Toledo. Desde el siglo X hasta el XV fue un denominador

común en la arquitectura popular del Reino de Castilla (FLORES 1987). El empleo del aparejo toledano permite que las paredes puedan resistir el estrés estructural, inducido por los cambios de temperatura diurna-nocturna, esto debido al empleo mixto de dos materiales que compensan las dilataciones, al poseer diferente respuesta térmica.

En numerosas iglesias y monasterios en Madrid, este estilo de «aparejo toledano», es un patrón muy común de construcción, donde los bloques de piedra que se incluyen dentro del aparejo son principalmente chert y rocas carbonáticas, aunque de vez en cuando es posible encontrar alguno que otro bloque de granito. Estos bloques de chert proceden en su mayoría de canteras de las localidades de Vicálvaro, Vallecas, Coslada y Paracuellos (FORT et al. 2008). Todo ello refleja el uso de los materiales locales en numerosas construcciones. A continuación, se mencionan algunas iglesias y monasterios donde es posible encontrar «aparejos toledanos», conteniendo rocas sedimentarias.

#### **IGLESIA DE SAN NICOLÁS DE LOS SERVITAS**

Esta iglesia está ubicada en la calle de San Nicolás. La iglesia contiene una torre mudéjar, del siglo XII, y se piensa que es la construcción más antigua conservada en Madrid. La torre, podría corresponder a un antiguo minarete, pero la fecha de su construcción parece indicar que desde el principio, fue de una iglesia cristiana. En 1931 la torre fue declarada Monumento Nacional.

Para la construcción de la iglesia se utilizaron cuatro tipos de piedra tradicional. Chert para las mamposterías de los zócalos de la fachada, y en los cajones con ladrillos también de las fachadas. La piedra de Redueña utilizada, corresponde a una dolomita, probablemente procedente de El Molar o de Torrelaguna (FORT et al. 2008), que conforma el ábside, constituido por sillares de pequeño tamaño, y también se utiliza como mampostería, en los cajones encintados. El granito fue utilizado en el zócalo de algunas fachadas y en las dos portadas de la Iglesia, siendo la pizarra el material utilizado en el capitel de la torre. En las fachadas de la iglesia, se alternan encintados de ladrillos con «aparejos toledanos», donde predominan rocas de chert y rocas carbonáticas.

#### **IGLESIA DE SAN GINÉS DE ARLÉS**

El edificio fue construido a mediados del siglo XVII, y junto a las pinturas y esculturas que alberga en su

interior, forma un importante conjunto histórico, artístico y arquitectónico del Madrid de los Austrias. Las primeras referencias a un templo dedicado a San Ginés de Arlés en Madrid datan de comienzos del siglo XII, estimándose que el origen del culto al santo francés, podría remontarse al momento mismo de la conquista de Madrid, cuando Raimundo de Borgoña, yerno de Alfonso VI, estableció en 1086 su campamento, con sus huestes formadas por borgoñones y francoprovenzales, (MONTES y QUESADA 2009), probablemente en las proximidades del emplazamiento del templo actual.



Iglesia de San Ginés, vista desde su entrada por la calle Arenal. Nótese los numerosos «aparejos toledanos», o «cajones de mampostería», rellenos con bloques fundamentalmente de chert y rocas carbonáticas. Foto del autor.

Su estructura actual corresponde a la reforma de 1645, pero más adelante, la iglesia sufrió tres incendios (1724, 1756 y 1824), seguidos de otras tantas restauraciones. De 1956 a 1964 se hizo el último gran conjunto de obras en el edificio. Se pretendía, sobre todo, restaurar y consolidar los muy deteriorados cimientos, pero también remodelar completamente el exterior. Con esto último se buscaba dar nuevamente al templo la

aparición que tuvo en el siglo XVII, típica del Madrid de los Austrias. Por ello, se levantó totalmente el revoco de todos los muros, y se reconstruyó la fábrica original: ladrillo macizo alternando con «aparejos toledanos», rellenos fundamentalmente de chert, rocas carbonáticas y algunos granitos. Fue declarada Monumento Nacional el 24 de enero del 2003.



Detalle de un fragmento de chert dentro de la mampostería o «aparejo toledano». Foto del autor.

#### **MONASTERIO DE LAS DESCALZAS REALES**

El Monasterio de las Descalzas Reales, ubicado en la calle de la Misericordia, en pleno corazón de Madrid, es un monasterio de monjas de clausura, clarisas coletinas. Fue voluntad de su fundadora, Juana de Austria (1535-1573), hija menor del Emperador Carlos V, y princesa de Portugal, convertir el palacio en el que ella misma nació, y que pertenecía al tesorero de su padre, en un monasterio de monjas clarisas. En él instaló sus aposentos tras su regreso de Portugal, y en la capilla que ocupa el mismo espacio en el que vino al mundo, descansa su cuerpo. Juana residió en el monasterio hasta su muerte en 1573.

Las paredes externas del monasterio están construidas con el típico «aparejo toledano», donde cada mampostería está rellena con bloques principalmente de chert y rocas carbonáticas, tal y como se explicó en ejemplos anteriores.



Detalle de un fragmento de roca carbonática, incrustada en un cajón de mampostería del monasterio de las Descalzas Reales. Obsérvese gran cantidad de fósiles. Foto del autor.

#### **OTRAS IGLESIAS**

Otras iglesias en el centro de Madrid, que se pueden mencionar, y que poseen mampostería a base de fragmentos de chert y rocas carbonáticas son: el Real Monasterio de la Encarnación, ubicada en la plaza de la Encarnación; la iglesia Nuestra Señora del Carmen y San Luis, ubicada en la calle del Carmen, y la iglesia de San Jerónimo el Real, ubicada en la calle Moreto, al lado del Museo Nacional del Prado.

#### **EL PASEO DE LAS ESTATUAS EN LA PLAZA DE ORIENTE**

La plaza de Oriente, ubicada frente al Palacio Real de Madrid, alberga una colección escultórica de veinte reyes españoles (no hay tantas estatuas de reyes juntas en ningún otro sitio del mundo), correspondientes a cinco visigodos y a quince monarcas de los primeros reinos cristianos de la Reconquista. Estas estatuas, realizadas en piedra caliza, se distribuyen en dos hileras, que surcan el recinto en dirección este-oeste, a ambos lados de los jardines centrales. Los reyes son: Ataúlfo, Eurico, Leovigildo, Suintila, Wamba, don Pelayo, Alfonso I, Íñigo Arista de Pamplona, Alfonso II de Asturias, Ramiro I de Asturias, Ordoño I de Asturias, Wilfredo el Velloso, Alfonso III de Asturias, Ordoño II de León, Ramiro II de León, Fernán González de Castilla, Alfonso V de León, Ramiro I de Aragón, Sancha I de León y Fernando I de León y Castilla.

Originalmente, el grupo de estatuas formaba parte de una serie más grande, dedicada a todos los monarcas de España, y mandada hacer para la decoración del Palacio Real de Oriente, durante el reinado de Fernando VI. Las estatuas se esculpieron entre 1750 y 1753, con un total

de 108 reyes, cada uno con más de 2,5 metros de altura, necesitándose 24 escultores, bajo supervisión de Domenico Oliveiri y Felipe de Castro (1711-1775), los escultores oficiales de la corte. El resultado final de las estatuas fue bastante mediocre, sin detalles, aunque la idea era que con la altura en la que iban a ser colocadas, eso detalles pasarían desapercibidos.

La idea original, por tanto, era que las esculturas adornasen la cornisa superior del nuevo Palacio Real. Sin embargo, tras colocar algunas de ellas en lo alto del edificio, se temió que la cubierta superior no aguantase su peso, así que todas ellas fueron finalmente distribuidas por distintos puntos de Madrid (incluyendo la Plaza de Oriente, el Parque de El Retiro y los Jardines de Sabatini), y de otras ciudades españolas. La tradición, cierta o falsa, sostiene que las estatuas fueron dejadas a nivel del suelo porque Elisabetta Farnese o Isabel de Farnesio (1692-1766), esposa de Felipe V, y madre del rey Carlos III, tuvo una pesadilla, en la que se sucedía un terremoto, y las pesadas estatuas caían desde la cornisa, matándola a ella y a varios miembros de la familia real. Estos sueños fueron interpretados como una premonición sobre el final de la monarquía, por lo que Isabel pidió a su hijo, Carlos III, que colocara las estatuas en otro lugar.

PUCHE y MAZADIEGO (1999) aseguran que las estatuas fueron esculpidas en calizas blancas procedentes de Colmenar de Oreja («piedra de Colmenar»), ya descrita

#### REFERENCIAS CONSULTADAS

- BONET-SALAMANCA, A. 2008. El templo de San Francisco el Grande de Madrid, en *El culto a los santos: cofradías, devoción, fiestas y arte, San Lorenzo de El Escorial*, Ediciones Escorialenses, 901-922. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2827957>
- DAMAS-MOLLA, L., ARANBURU-ARTANO, A. y GARCÍA-GARMILLA, F. 2011. Las canteras de Rreño, patrimonio histórico de Vizcaya. Actas del V Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia Históricas en El suroeste europeo (León 2008). ISBN n° 978 - 99920 -1-790-6, 735-742. <https://oa.upm.es/10267/4/PARTE-4.pdf>
- FLORES, C. 1987. *Arquitectura popular española*. Ediciones Aguilar, Madrid. 446 p.
- FORT GONZÁLEZ, R., BERNABEU, A., GARCIA DEL CURA, M.A., LOPEZ, M.C., ORDOÑEZ, S. y MINGARRO, F. 2002. La Piedra de Novelda: una roca muy utilizada en el patrimonio arquitectónico. *Materiales de Construcción* 52(66): 19-32. <https://www.researchgate.net/publication/250311481> La Piedra de Novelda una roca muy utilizada en el patrimonio arquitectónico
- FORT GONZÁLEZ, R., PÉREZ-MONSERRAT, E. M., VARAS, M. J. y ÁLVAREZ DE BUERGO, M. 2008. Ruta geomonomental: la piedra tradicional utilizada en la construcción del patrimonio arquitectónico de Madrid. *Comunicación social de la ciencia*, CSIC, 1-11 <https://docta.ucm.es/entities/publication/68a7e9c0-4346-4971-a425-5a05f15912ab>
- FORT GONZALEZ, R., BUERGO, M., PEREZ-MONSERRAT, E., GOMEZ-HERAS, M., VARAS-MURIEL, M. & FREIRE, D. 2013. Evolution in the use of natural building stone in Madrid, Spain. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* (46): 421-429.

anteriormente como de edad Mioceno, obtenidas de canteras al sureste de Madrid. Dichos autores mencionan que importantes edificios antiguos de Madrid, incluyendo la Puerta Monumental de Toledo y detalles ornamentales del Palacio Real, de la Puerta de Alcalá, y las numerosas estatuas de los reyes de España, que adornan la plaza de Oriente, se hicieron con «la mejor piedra caliza de toda Castilla la Nueva», proveniente de las canteras de piedra blanca de Colmenar.



Esculturas de don Pelayo (rey de Asturias) a la izquierda, y de Wamba (rey visigodo), en el paseo de las estatuas, ubicado en la plaza de Oriente. Foto del autor.

- FREIRE-LISTA, D. & FORT, R. 2017. Historical Quarries, Decay and Petrophysical Properties of Carbonate Stones Used in the Historical Center of Madrid (Spain). *AIMS Geosciences*. DOI: 10.3934/geosci.2017.2.284. <https://www.researchgate.net/publication/318212638> Historical Quarries Decay and Petrophysical Properties of Carbonate Stones Used in the Historical Center of Madrid Spain
- LOZANO, R., DIAZ, E., JIMENEZ, R. y BAEZA, E. 2010. *Geología en las paredes: las rocas de tu ciudad*. Museo Geominero. 10a Semana de la Ciencia de Madrid. 16 p.
- MONTES, J.L. y QUESADA, J. 2009. *Real Parroquia de San Ginés. Guía del Patrimonio Cultural*. EDILESA. Fundación Ramón Areces. 75 p.
- MORALES, L. 2024. Una Ventana desde Madrid. Recuperado el 1 octubre, 2025, de <https://www.unaventanadesdemadrid.com/madrid/monumento-a-miguel-de-cervantes.html>
- OLMEDO, J., CALVO, J., GONZALEZ, A., FERNANDEZ, M. 2004. La Caliza Rosa Sepulveda: yacimientos, características petrofísicas y utilización en construcción. *Geotemas*, 6(1): 279-282. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/edf5afb9-7464-4437-afe3-ad971177f001/content>
- PALACIO DEL CONGRESO. 1856. Memoria histórico-descriptiva del nuevo Palacio del Congreso de los Diputados. Aguado impresor de cámara de S.M. y de su R.C., Madrid. 102 p. [https://www.congreso.es/docu/PHist/docs/03Regen/DecMod/memoria\\_historico\\_descriptiva.pdf](https://www.congreso.es/docu/PHist/docs/03Regen/DecMod/memoria_historico_descriptiva.pdf)
- PUCHE, O. y MAZADIEGO, L. 1999. Explotaciones históricas de calizas en la Comunidad De Madrid: Colmenar de Oreja. *Simpósio sobre Patrimonio Geológico y Minero*, 28-30 de octubre, Belmez. 91-104.

#### REFERENCIAS ADICIONALES CONSULTADAS

- <https://www.archimadrid.org/index.php/oficina/25-aniversario/una-mirada-a-la-historia/la-catedral-de-la-almudena-materiales-de-construccion>
- <https://catedraldealmudena.es/historia/>
- <https://www.archimadrid.org/index.php/una-mirada-a-la-historia>
- <https://tectonica.archi/materials/piedra-de-colmenar-1/>
- [https://elpais.com/espana/2025-02-20/la-caliza-rojo-ereno-va-camino-de-ser-tratada-con-el-estatus-del-marmol.html?event\\_log=oklogin](https://elpais.com/espana/2025-02-20/la-caliza-rojo-ereno-va-camino-de-ser-tratada-con-el-estatus-del-marmol.html?event_log=oklogin)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente\\_de\\_los\\_Afligidos](https://es.wikipedia.org/wiki/Fuente_de_los_Afligidos)
- <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Caracoles-del-Cretacico-se-esconden-en-monumentos-de-Madrid>
- <https://www.archimadrid.org/index.php/oficina/25-aniversario/una-mirada-a-la-historia/la-catedral-de-la-almudena-materiales-de-construccion>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Aparejo\\_toledano](https://es.wikipedia.org/wiki/Aparejo_toledano)
- <https://flaneandopormadrid.wordpress.com/2014/01/16/146/>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Iglesia\\_de\\_San\\_Gin%C3%A9s\\_de\\_Arl%C3%A9s\\_\(Madrid\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Iglesia_de_San_Gin%C3%A9s_de_Arl%C3%A9s_(Madrid))
- <https://nueva-acropolis.es/madrid/2025/historias-de-madrid-las-estatuas-de-la-plaza-de-oriente/>



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

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

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).

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 55 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



Abstract digital image by Claudio Bartolini, 2025

**Daríá todo lo que sé por la mitad de lo que ignoro.**

**René Descartes**

**IMPORTANT CONTRIBUTIONS IN GEOSCIENCES  
PROMISE TO REVOLUTIONIZE O&G&M EXPLORATION. No 4/10.**

**Solution to Uncertainty Volcanic Arc Of The Subduction Zone,  
Over The Central Cordillera, Colombian Andes.**

**EDINSON ALVAREZ 1,2**

1 Exploration Geologist, O&G&M Specialist,  
Researcher of tectonic and structurally complex areas.

2 Expert in geoscientific solutions through integrated O&G&M studies.  
with strong positive economic implications..



**Complex Source Theory (Edinson Alvarez 2025):** A mechanism used by interdisciplinary groups of specialists in any field of science, where new concepts, new methodologies, new technology, and new knowledge are employed, obtaining new results, in order to resolve complex issues.. (Image Courtesy of Pixabay).

**EAST-P Method-Tool (Processing and Seismic Treatment Edinson Alvarez 2025):** It requires specialized personnel, computer equipment and advanced software.

**Edinson Geochemical Hydrocarbon Family Classification Maps -Tool (Edinson Alvarez 2025):** New classification of hydrocarbon families based on geochemical-isotopic-molecular signatures, migration pattern from source rock, their close relationship with geology, geochemical modeling of generation, expulsion, and hydrocarbon migration routes in a regional context.

**Integrated O&G&M studies - Onshore-Offshore-Tool:** It involves the participation of more than 20 geoscience disciplines, in order to find answers to complex industry problems, with strong positive economic implications.

**Citation:** Alvarez Edinson 2025. Solution to Uncertainty Volcanic Arc Of The Subduction Zone, Over The Central Cordillera, Colombian Andes.. Important Contributions In Geosciences Promise To Revolutionize O&G&M Exploration. No 4/10..Revista Maya Diciembre 2025.17 p. Citation Articles 1,2,3, at the end.

**INTRODUCTION**

The purpose of this work is to contribute to the geoscientific knowledge of Colombia. This study aims to present a new area of interest related to volcanology, seismology, tectonics, and volcanic arcs in subduction zones, located in the central and southern regions of the Central Cordillera of the Colombian Andes. **While the central theme is addressing the specific uncertainties or unanswered questions posed by researchers over more than 100 years**, we will also examine the implications of this problem for petroleum, mining, social, and environmental systems in a general way.

Highlighting the various companies, institutions, entities, and individuals that have contributed to the development of knowledge in such topics, including the Colombian Geological Survey (SGC), state universities such as the University of Caldas, its Institute of Stratigraphic Research (IIES), the National University of Colombia (Unal), the Industrial University of Santander (UIS), the Pedagogical and Technological University of Colombia (UPTC), EAFIT University, the University of Pamplona, the University of the Andes, among others...

We would like to clarify that the narrative style used by the author is solely intended to generate new readers, audience, and interest in scientific research related to Geosciences – Earth sciences. This is to avoid any misinterpretation of arrogance, as the narrative style is simply a strategy for attracting an audience. All respect and admiration go to those who have made valuable contributions to Geosciences. All glory and praise belong to God.

Based on the above, we now proceed **to take down the seventh Giant in this series** (a tribute to one of the greatest figures in world literature, **Miguel de Cervantes Saavedra (1547–1616), with his masterpiece, Don Quixote of La Mancha (1605)**). In this case, we will refer to Giants as (concepts, techniques, technologies, methodologies, procedures, tools, uncertainties, unresolved questions, etc.). We invite you to consider the positive side of this story, which is the contributions of geosciences to our country, Colombia.

**METODOLOGY**

To overcome the structural, stratigraphic, volcanological, and seismological obstacles and difficulties posed by the area's tectonic–structural complexity, the following activities were undertaken:

– Compilation of information from petroleum exploration, geochemical, geophysical, geological, stratigraphic, tectonic–structural, petroleum systems, volcanological, seismological, petrographical, and other studies of the area of interest.

– As part of the author's independent professional activity, several integrated studies have been conducted to address the tectonic–structural complexity of the study area and its implications for oil and gas exploration and production in Colombia, and in this case, the volcanic and seismological activity of the study area.

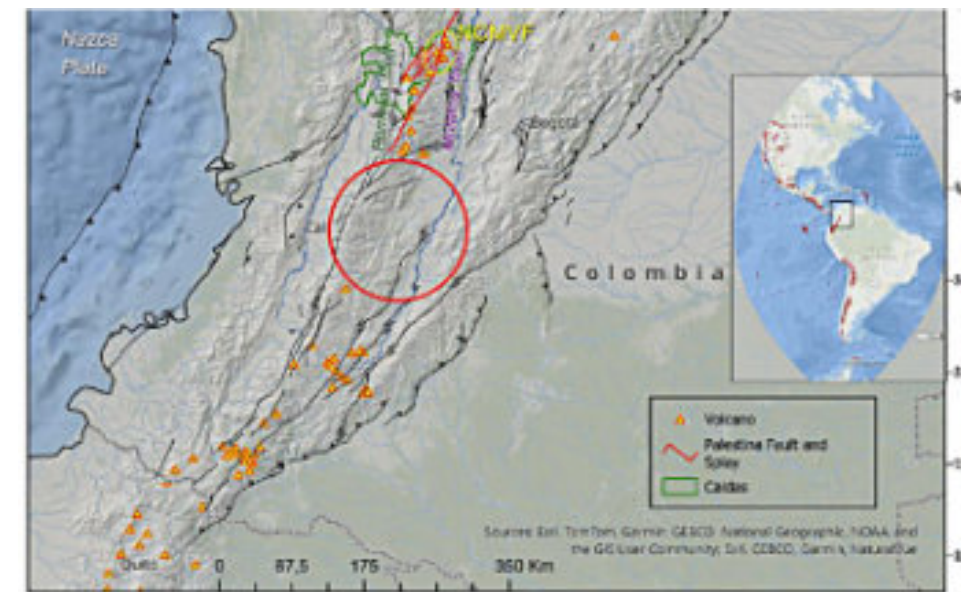
**RESULTS**

**1. Problem Statement, Analysis and Demolition of Giant Number 7 of this Series.**

In the important research work of the Geoscientists: **Carlos Alberto Vargas, Carlos A. Zuluaga, Mathias Bernet, and Sergio Amaya. 2025**. Surficial serpentinite emplacements and their potential links with the mantle wedge in NW South America. 12 p. <https://www.lyellcollection.org/doi/full/10.1144/SP558-2023-120>, the following conclusion arises as a result of the investigative analysis, after more than 100 years of waiting for the concrete reasons that determine the problem or the uncertainty raised (**Figure 1,2**).

The absence of volcanic activity in the middle of the current volcanic arc (latitude 3.0–4.5° N) corresponds to an area of minimal seismicity, suggesting the presence of either ductile rocks or highly resistant rocks experiencing stresses below the critical threshold. These rocks, possibly magmatic bodies, may be connected to the northern and southern magmatic bodies that exhibit volcanic manifestations at the surface.

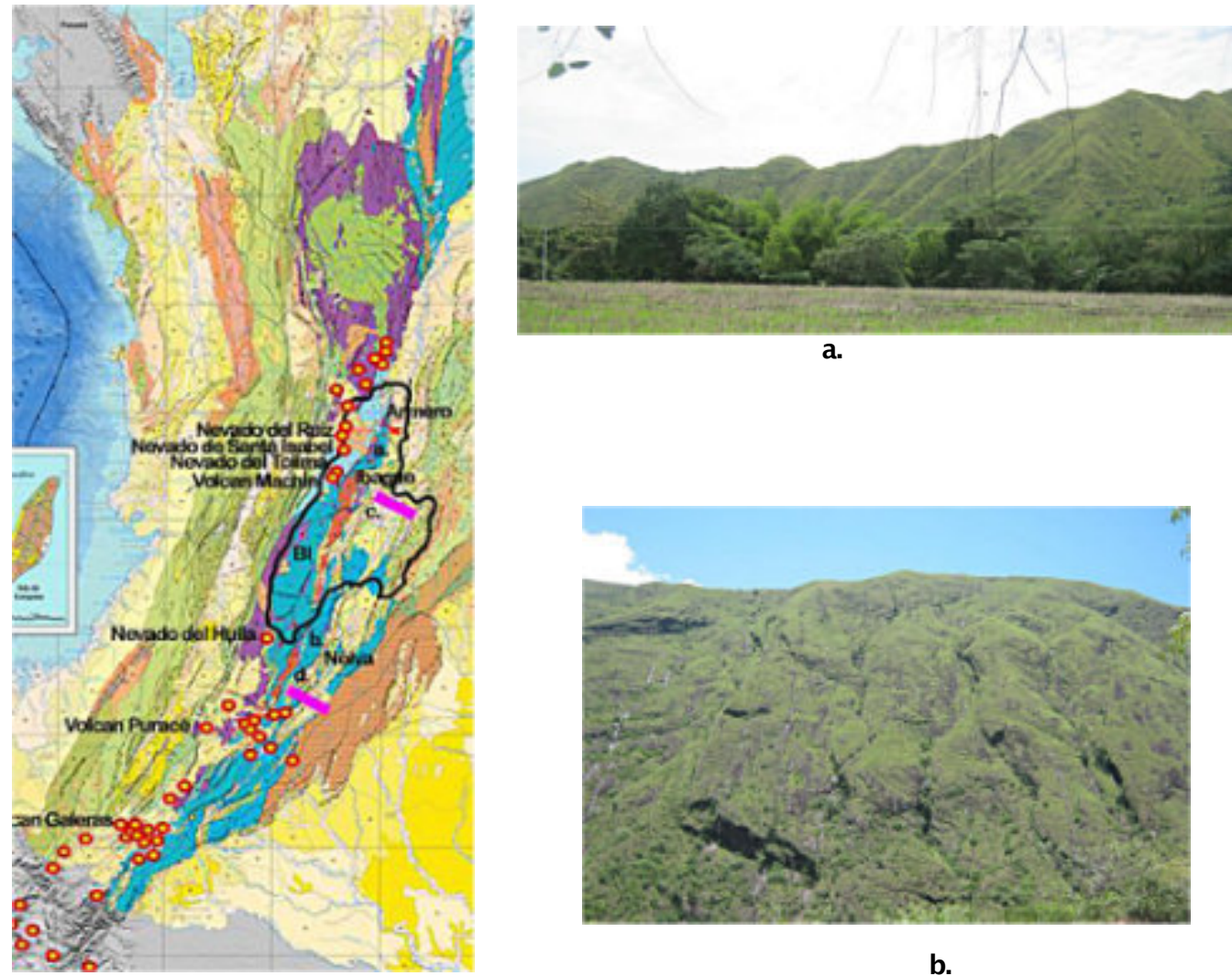
**Figure 1.** Problem, question or uncertainty raised.



**Figure 2.** Location of the problem, question, or uncertainty raised. Modified from **Monsalve-Bustamante et al 2022**. Study area: Red Circle.

**1.1 Analysis**

Using the advanced tools of Complex Source Theory (CST), it became very easy to find an answer to the question posed by the renowned geoscientists honored in this article, which had kept the community of geologists, volcanologists, seismologists, geophysicists, and geoscientists in general awake at night for decades.



**Figure 3.** Geological map showing the location of the main volcanoes of the Central Cordillera of Colombia. **a.** Geomorphological expression of the Ibagué Batholith, Northern Zone. **b.** Geomorphological expression of the Ibagué Batholith, Southern Zone. **c., d.** Petroleum systems and seismic lines in the Girardot and Neiva area. **(BI:** Dark blue color, center of the map, between volcanoes, **Ibagué Batholith,** sketch of the Department of Tolima, Colombia)

**Definition of Batholith According to** <https://www.vedantu.com/geography/batholith>

Batholith comes from the Greek words batho, meaning depth, and litho, meaning rock. Therefore, a batholith is a large mass of intrusive igneous rock that can reach up to 100 km<sup>2</sup> (greater than 100 km<sup>2</sup>). These rocks generally form from magma that cooled deep within the Earth's crust. Most batholiths are composed of felsic or intermediate rocks such as quartz monzonite, granite, or diorite.

These plutons originate from large masses called plutonic diapirs. Diapirs are hot and molten, allowing them to penetrate the surrounding rocks, displacing and partially melting them. Due to their force, they settle just below the surface, at depths of about 5 to 30 km. Then, through tectonic and/or erosive processes, they are exposed at the surface.



**a.**



**b.**

According to the website <https://www.britannica.com/science/batholith>, recent studies have shown that many batholiths are between 10 and 15 km (6 and 9 miles) thick. They form under conditions of high temperature (generally between 800 °C and 1330 °C) and high pressure (above 10 kbar or 10,000 bar).

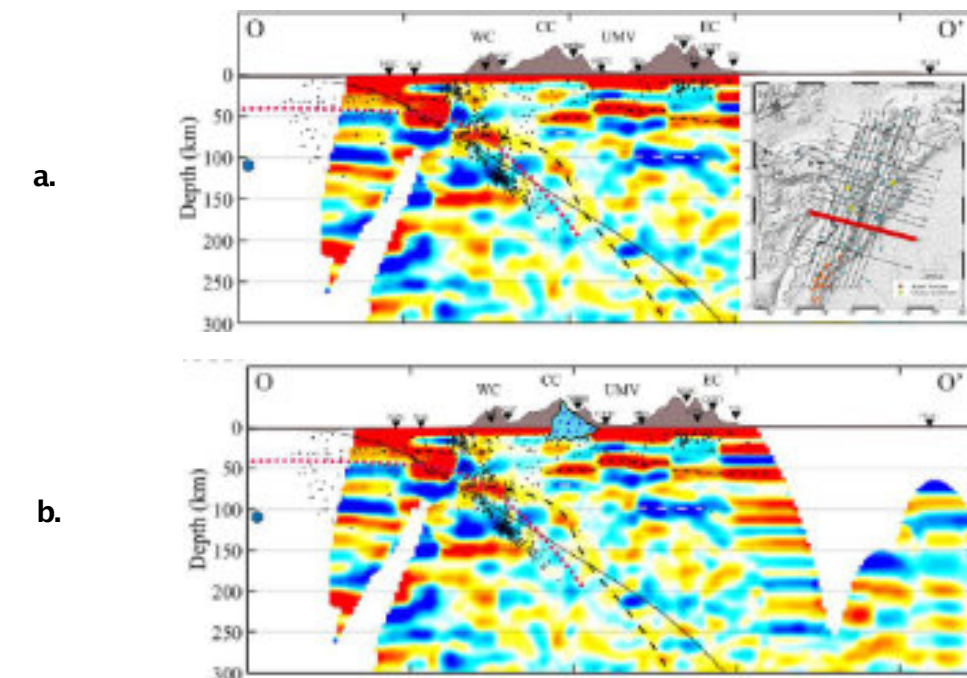
Based on the above definition, we proceed to perform the following more complex analyses (Figure 4).

**Ibagué Batholith (Alberto Nuñez 1986):**

The **Ibagué Batholith** was the name given by Nelson (1957) to one of the largest intrusive igneous bodies on the eastern flank of the Central Cordillera of Colombia. Its outcrops extend from northern Tolima Department to just south of the town of La Plata (Huila Department), as shown on the geological map (Figure 3). It has an approximate area of 11,700 km<sup>2</sup> and an estimated thickness of 10–15 km (<https://www.britannica.com/science/batholith>).

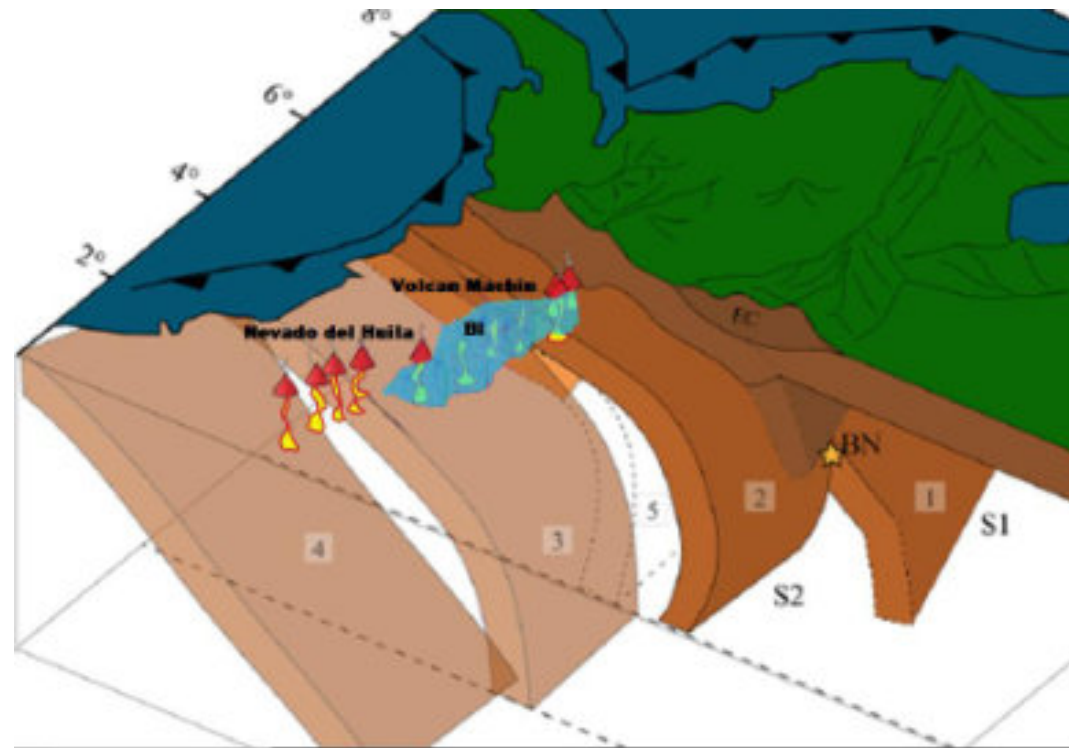
The predominant composition of the intrusive is quartz diorite, with a medium to coarse grain size, color gray with varying shades. Diorite, quartz diorite, granodiorite, and quartz monzonite are the four main compositions. Rodríguez et al. (2017) showed that actually consists of two bodies: one that was subjected to metamorphism and another that is exclusively igneous.

Radiometric dating of the **Ibagué Batholith** (K–Ar in hornblende and biotite) in samples collected south of the town of Armero (Tolima), gave ages that vary between 140 and 150 m.a. (BARRERO and VESGA, 1976) and correspond to the Upper Jurassic. (189 Ma and 138 Ma Bayona et al 2020.)



**Figure 4. a.** O–O' section of the R function, processed from seismological station data of the Region, Modified from **Mojica Boada, et al 2022.** Without Ibagué Batholith. You can see low seismicity, **b.** With Ibagué Batholith. Middle section between Machín Volcano and Nevado del Huila.

North and west of Ibagué, the pluton intrudes a sequence of gneisses and amphibolites, named the Tierradentro Rocks by Barrero and Vesga (1976). This sequence consists of amphibolites with diastrophic effects and quartz–feldspathic–biotite schists and gneisses. The amphibolites were radiometrically dated using the K–Ar method on hornblende, yielding an age of 1,360 ± 270 Ma (Barrero and Vesga, 1976); that is, of Precambrian age.



**Figure 5.** Schematic diagram showing the **Ibagué-BI Batholith**, obstructing the flow of magmatic plumes between the Machin Volcano (**Central Volcanic System-SVC**) to the North and Nevado del Huila to the South (**South Volcanic System-SVS**) (Approximately 250 km), in the proposed subduction zone and Modified from **Mojica Boada, et al 2022**.

Other rocks resulting from low-grade regional metamorphism, affected by the batholith intrusion, appear on the western margin of the pluton and correspond to a polymetamorphic series, which Nelson (1962) called the **Cajamarca Group** in this area. This unit forms the core of the mountain range and consists of greenschists, quartz-sericite-graphite schists, amphibolic schists, and quartzites. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating yielded plateau ages of  $146.5 \pm 1.1$  Ma and  $157.8 \pm 0.6$  Ma, and  $157.5 \pm 0.4$  Ma, respectively. These Late Jurassic ages contrast with previously published (Permian)Triassic ages of metamorphism in the Cajamarca Complex. (F. Blanco-Quintero et al 2014).

On the eastern flank, the batholith intrudes another series of pre-Cretaceous sedimentary and volcanic rocks, formerly known as the **Payandé Group**, which consists of three clearly distinguishable units, chronostratigraphically ordered from oldest to youngest as follows:

- **Luisa Formation:** Formerly called the Pre-Payandé Formation; it consists of thick beds of sedimentary breccias and arkosic conglomerates, evidence of intense erosion. Because it is overlain by the fossiliferous Payandé Formation, it is assigned a Upper Triassic-Lower Jurassic age. (Bayona et al 2020).
- **Payandé Formation:** composed of two members, one calcareous and the other clastic; fossiliferous levels reported in this unit have confirmed a Late Triassic age (Karnian-Norian). (Bayona et al 2020).
- **Saldaña Formation:** This is the uppermost unit; it corresponds to the former Post-Payandé Formation; it is divided into two members, a lower, predominantly volcanic member, informally called the Volcanic Unit by Jimeno and Guevara (1976:19), and an upper, sedimentary member unconformably overlying the former, called the Arkosic Unit by the same authors. Permian age. (Bayona et al 2020).

The emplacement of the intrusive rock marks the beginning of a period of strong deformation and disturbance in the Central Cordillera of Colombia, which culminated in the Cretaceous with continental accretion.

**3. Synthesis:** Taking into account the thesis of the authors **Carlos Alberto Vargas, et al 2025**. when saying that it is a ductile rock or a rock resistant to stress, the answer is the second.

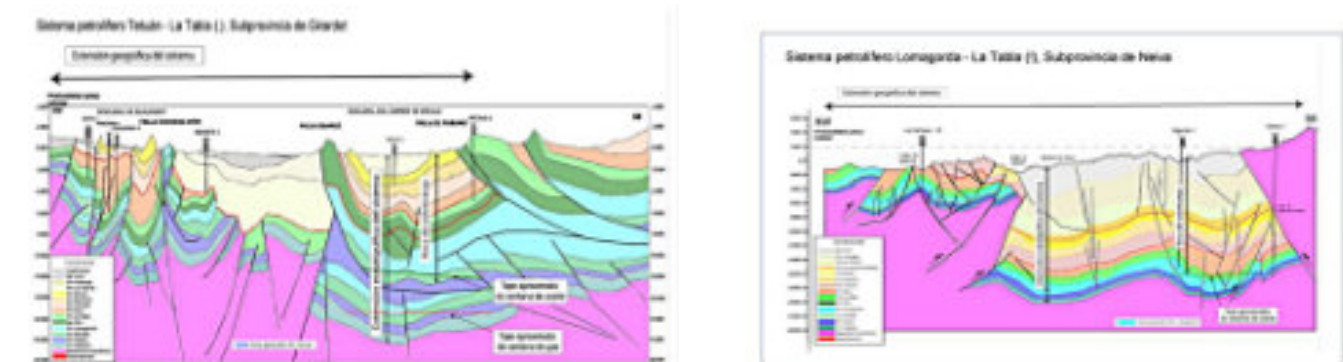
The absence of volcanic activity in the middle of the current volcanic arc (latitude 3.0-4.5° N) corresponds to an area of minimal seismicity, suggesting the presence of either ductile rocks or highly resistant rocks experiencing stresses below the critical thresh-

**Figure 6.** Problem, question or uncertainty raised.

A stress-resistant rock called the **Ibagué Batholith**, compositionally granodiorite-diorite, with an approximate area of 11,700km<sup>2</sup>, is a massive body that can reach a thickness of 10-15 km according to recent studies on batholiths. Due to its origin as a magmatic body, it has been emplaced and cooled, cutting or melting the surrounding rocks, under similar pressures of the upper mantle-asthenosphere, which can reach temperatures of 1330 degrees Celsius and pressures exceeding 10 kilobars. **This has created a natural plug or seal for the magmatic lineament or arc in the direction of the southern volcanic segment (SVS) and the central volcanic segment (SVC).** (Figures 1, 2, 3, 4, 5).

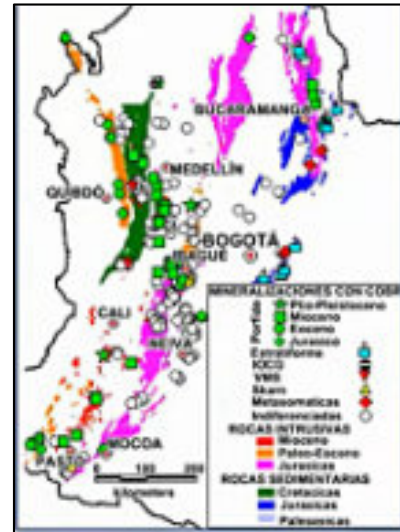
**Implications for Petroleum, Mining, Social and Environmental Systems.**

The existence of the natural plug or seal of the volcanic arc of the Central Cordillera of the Colombian Andes by the **Ibagué Batholith**, which interferes with the continuity of the southern volcanic arc (SVS) and the central volcanic arc (SVC), has been pushed by the movement of the surrounding plates against the stratigraphic and petroleum system of the upper Magdalena Valley. This, combined with the opposing effect of the South American Plate, has given the Upper Magdalena Valley basin an inverted horst configuration and its tectonic, stratigraphic, and structural complexity. (Figure 7, location Figure 3c,d).



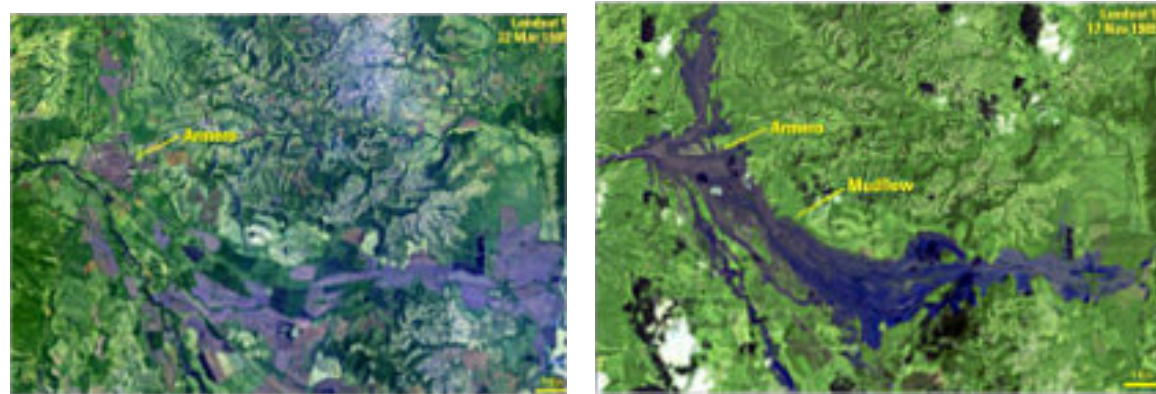
**Figure 7.** Inverted horst configuration and tectonic, stratigraphic, and structural complexity characterize the Upper Magdalena Valley basin. The pink crystalline basement to the west corresponds to the **Ibagué Batholith**. Taken from **ANH-Unal 2020**.

The existence of the natural plug or seal of the volcanic arc of the Central Cordillera of the Colombian Andes by the **Ibagué Batholith**, has generated a great magmatic–hydrothermal activity disseminated through cracks, fractures and faults, generating gold, copper, and mineralization manifestations, additional to associated with the skarn of the batholith. (Figure 8).



**Figure 8.** Gold and copper deposits, and mineralizations associated with magmatic–hydrothermal activity and the skarn of the **Ibagué batholith**. Modified from **Timoleón Garzón 2021**.

The existence of the natural plug or seal of the volcanic arc of the Central Cordillera of the Colombian Andes, formed by the **Ibagué Batholith**, has logically prevented the formation of new and numerous volcanic bodies in the area, especially in the Department of Tolima, with their associated risks of eruptions, avalanches, glacial melt, and seismic activity. These events have had serious repercussions for society, **such as the eruption of Nevado del Ruiz, which resulted in the deaths of 22,000 people due to the lahar generated after the eruption that destroyed the city of Armero, Tolima, on November 13, 1985 (Fig. 9) . Or the eruption of the Galeras volcano, which left six scientists and three tourists dead during a study expedition to the area on January 14, 1993.**



**Figure 9.** **Ibagué Batholith**, has prevented the formation of numerous new volcanic bodies in the Tolima Department, thus avoiding the associated risks of eruptions, avalanches, glacial melt, and seismic activity, with serious repercussions for society. Images taken from <https://Infobae.com> , and <https://laotraverdad.co>

The upper reaches of the mountain range, where significant thicknesses of saprolite and soil have formed, are rich in springs, flora, and fauna. (A topic we will expand upon in a future edition).

#### DISCUSSION

The present analysis would seem to require no further discussion, since the evidence and elements to resolve this uncertainty are quite clear and consistent with the tectonic, geological, structural, seismological, volcanological, and petrographic framework. Question reported by the respected Doctors **Carlos Alberto Vargas, Carlos A. Zuluaga, Mathias Bernet, and Sergio Amaya. 2025. Surface serpentinite emplacements and their potential links with the mantle wedge in NW South America. 12 p.** <https://www.lyellcollection.org/doi/full/10.1144/SP558-2023-120>, in their article.

It is clear that the massive body of rock that obstructs the passage or ascent of magma in the different magmatic chambers existing in the approximate north–south orientation that make up the volcanic arc of the current subduction zone of the Central Cordillera of Colombia, is the **Ibagué Batholith**; a plutonic body ejected from the upper mantle and emplaced in the Earth's crust, with similar pressure and temperature conditions to the magmatic flames; **of a massive nature, which can reach 10–15 km in thickness, responsible for supporting the high pressures and temperatures of the ascending magma, preventing its passage to the surface.**

The integration of knowledge developed through the SCT Complex Source Theory and its various advanced tools allows us to shed light on and answer all the questions that, for over a century, have troubled geoscientists, petroleum explorers, seismologists, and volcanologists, in this case related to the uncertainty surrounding the volcanic arc of the current subduction zone of the Central Cordillera of the Colombian Andes. **Figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9.** (The same approach has been applied to all other oil and mining basins in Colombia.)

The answer becomes logical, simple, and gains value in light of Complex Source Theory (CST) and its tools, as you will see in the concluding part of this study.

**If you have a highly complex geoscientific problem at your company, Complex Source Theory (CST) and its tools are here to solve it.** For more detailed analysis and solutions to highly complex tectonic, structural, and stratigraphic problems, please consult with the author of this article.

## CONCLUSION

The SCT Complex Source Theory and its advanced tools demonstrate their value in this report, contributing to the knowledge and understanding of the volcanic arc generated by the subduction zone over the Central Cordillera of the Colombian Andes. This contributes to the country's geoscientific knowledge and development, which will help guarantee the country's energy, economic, and social sustainability.

Through this analysis, we have demonstrated how the SCT's postulates have been corroborated and proven over time, revealing their predictive power. And in this article, dedicated to Miguel de Cervantes Saavedra and his work, **we verify the demolition of the Seventh Giant in this series** (we will refer to Giants as: concepts, techniques, technologies, methodologies, procedures, tools, uncertainties, unanswered questions, etc.).

**1. Giant Number Seven – Absence of activity in the Volcanic Arc of the Colombian Pacific Subduction Zone (Latitude 3.0–4.5 degrees North), cited by Carlos A. Vargas, et al 2025:** The present challenge posed by the cited geoscientists has been resolved in a clear and conclusive manner, an uncertainty with more than 100 years of history.

Taking into account the thesis of the authors Carlos Alberto Vargas, et al 2025. when saying that it is a ductile rock or a rock resistant to stress, the answer is the second.

A stress-resistant rock called the **Ibagué Batholith**, composed of granodiorite and diorite, covers an area of approximately 11,700 km<sup>2</sup>. This massive body, which may reach a thickness of 10–15 km according to recent studies on batholiths, originated as a magmatic body and cooled by cutting or melting the surrounding rocks under pressures similar to those of the upper mantle and asthenosphere, which can reach temperatures of 1330 degrees Celsius and pressures exceeding 10 kilobars. This created a natural plug or seal for the magmatic lineament or arc in the direction of the southern volcanic segment (SVS) and the central volcanic segment (SVC) (Figures 1, 2, 3, 4, 5). This plug is responsible for withstanding the high pressures and temperatures of the ascending magma, preventing its passage to the surface.

The existence of the above phenomenon is not only anecdotal, but has an impact that has not been widely related and studied on **the Petroleum, Mining, Social and Environmental Systems of the area.**

The existence of the natural plug or seal of the volcanic arc of the Central Cordillera of the Colombian Andes by the **Ibagué Batholith**, which interferes with the continuity of the southern volcanic arc (SVS) and the central volcanic arc (SVC), has been pushed by the movement of the surrounding plates against the stratigraphic and petroleum system of the Upper Magdalena Valley. This, combined with the opposing effect of the South American Plate, has given the Upper Magdalena Valley basin an inverted horst configuration and its tectonic, stratigraphic, and structural complexity.

The existence of the natural plug or seal of the volcanic arc of the Central Cordillera of the Colombian Andes by the **Ibagué Batholith**, has generated a great magmatic–hydrothermal activity disseminated through cracks, fractures and faults, generating gold, copper, and mineralization manifestations, additional to associated with the skarn of the batholith.

The **Ibagué Batholith**, has logically prevented the formation of new and numerous volcanic bodies in the area, especially in the Department of Tolima, with their associated risks of eruptions, avalanches, glacial melt, and seismic activity. These events have had serious repercussions for society, **such as the eruption of Nevado del Ruiz, which resulted in the deaths of 22,000 people due to the lahar generated after the eruption that destroyed the city of Armero, Tolima, on November 13, 1985. Or the eruption of**

**the Galeras volcano, which left six scientists and three tourists dead during a study expedition to the area on January 14, 1993.**

The upper reaches of the mountain range, where significant thicknesses of saprolite and soil have formed, are rich in springs, flora, and fauna.

This methodology is also applicable to complex areas such as pre-salt belts, the Gulf of Mexico, Gulf of America, Brazilian coast, African coast, Mediterranean, the coasts of Alaska and Canada, the mountain ranges and foothills of the Rocky Mountains, Andes, Atlas Mountains, Himalayas, and the Arabian Peninsula, among others, as well as areas of low or minimal tectonic structural complexity. It also helps increase production in complex reservoirs by confirming and refining the geological and geomechanical models of reservoirs that present this problem of double or even triple interpretations and models.

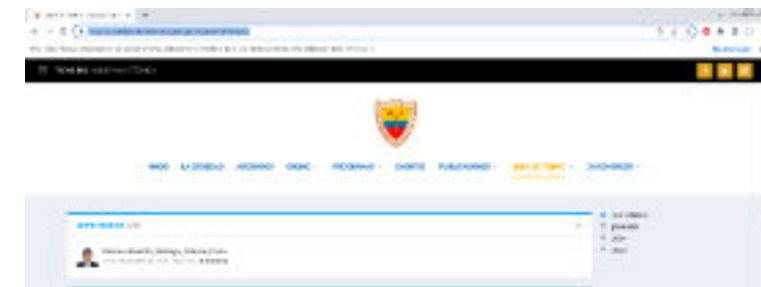
Some of the tools of the SCT Complex Source Theory, such as the SCT EAST–P method, were proposed to Ecopetrol in April 2024, for a value comparable to the transactions of large technology companies. This value logically exceeded the company's economic and financial capacity; **therefore, we invite to @Pötus, Forbes List and giant Companies to participate in this development.**

Analysis of the technical support has deserved him recognition for his contributions to geoscientific knowledge of Colombia by important personalities and entities.. ( Maya journal of geosciences September edition 2025, pag. 154, Art–1/10), <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/08/Revista-Maya-Geociencias-Septiembre-2025.pdf>.

Article–2 (Page–37–47): <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/09/Revista-Maya-Geociencias-EDICION-ESPECIAL-XXV-2025.pdf>.

Article–3 (Page–76–98): <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/10/Revista-Maya-Geociencias-EDICION-ESPECIAL-XXVI-2025.pdf>

The prestigious **Colombian Geological Society (SCG)** has joined in disseminating the recognition and results of the research work through publication on its website. [https://sociedadcolombianadageologia.org/reconocimiento\\_edinson\\_dario/](https://sociedadcolombianadageologia.org/reconocimiento_edinson_dario/)



**Note1: The Colombian Geological Society (SCG) and the Colombian Association of Petroleum Geologists and Geophysicists (ACGGP)** are private organizations that fulfill a similar social function – public functions: To disseminate, publicize, and support everything related to knowledge of Geosciences and Earth Sciences.

We reject the institutional blockade and censorship applied to this research work by **Jaime Gonzalo Checa Jimenez, President of ACGGP, and Flover Rodriguez Portillo, Executive Director**, who have on three occasions denied the publication of both the recognition granted by prestigious entities for the research work in geosciences and the informative articles presenting the results of the work classified as being of national interest. **In addition to denying the recognition granted for contributions to the country's geosciences, they are arbitrarily attempting to impose a prior review of the informative articles, which is prohibited by law and international Agreement, violating freedom of expression and freedom of information, fundamental and supreme values in a democracy. (Art 13 CADH).**

**“Censorship is inherently discriminatory (...)” (Judgment T 539 of 1994).** Based on the premise, the application of censorship discriminates against the affected person, by the same way. Furthermore, through their actions, **Mr. Jaime Gonzalo Checa Jimenez, President of the ACGGP, and Mr. Flover Rodriguez Portillo, Executive Director,** would be discriminating against the President of the United States of America, who is one of the many individuals and audience members to whom this informational message is directed. In addition, they are concealing information of national interest from the Colombian people by obstructing the free flow of information and public debate regarding the results of this geoscience research. **(Art 13 Convención Americana Sobre Derechos Humanos).**

#### REFERENCES

- ANH-Universidad Nacional de Colombia 2020. Evaluación del potencial Exploratorio de las Unidades Cenozoicas del Valle Superior del Magdalena. 850p. <https://experience.arcgis.com/experience/b4cebb9e9f8743e5b0d75264121d93bc/>
- Alberto Nuñez Tello. 1986. Petrogenesis Del Batolito De Ibagué. Ingeominas. Geología Colombiana No. 15.1986. Pp.35-45. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6560058>
- Carlos A. Vargas and Paul Mann 2013. Tearing and Breaking Off of Subducted Slabs as the Result of Collision of the Panama Arc-Indenter with Northwestern South America. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 3, pp. 2025-2046, June 2013, 22p. <https://doi.org/10.1785/0120120328>
- Bayona, G., Bustamante, C., Nova, G. & Salazar-Franco, A.M. 2020. Jurassic evolution of the northwestern corner of Gondwana: Present knowledge and future challenges in studying Colombian Jurassic rocks. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic. Servicio Geológico Colombiano, 36, 37 p. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.36.2019.05>
- Carlos Alberto Vargas, Carlos A. Zuluaga, Mathias Bernet, and Sergio Amaya. 2025. Surficial serpentinite emplacements and their potential links with the mantle wedge in NW South America. 12 p. <https://www.lyellcollection.org/doi/full/10.1144/SP558-2023-120>
- Clasificación de Rocas Magmáticas. <https://post.geoxnet.com/rocas-magmaticas-clasificacion-de-los-magmas/>
- Definición de Batolito. <https://www.britannica.com/science/batholith>
- Definición de Batolito. <https://www.vedantu.com/geography/batholith>
- Definición de Batolito. <https://petroigne.wordpress.com/formas-de-yacimiento/formas-plutonicas-y-filonianas/plutones/batolitos/>
- I. F. Blanco-Quintero, A. García-Casco, L. M. Toro, M. Moreno, E. C. Ruiz, C. J. Vinasco, A. Cardona, C. Lázaro & D. Morata (2014): Late Jurassic terrane collision in the northwestern margin of Gondwana (Cajamarca Complex, eastern flank of the Central Cordillera, Colombia), International Geology Review. <http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2014.963710>
- Gómez, J., Montes, N.E. & Marín, E., compiladores. 2023. Mapa Geológico de Colombia 2023. Escala 1:1 500 000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá. [https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc\\_1\\_5M2023.aspx](https://www2.sgc.gov.co/MGC/Paginas/mgc_1_5M2023.aspx)
- Laotraverdad.co 2020. Así fue vista desde el Espacio la tragedia de Armero. <https://laotraverdad.co/asi-fue-visto-desde-el-espacio-la-tragedia-de-armero/>
- Maria Luisa Monsalve-Bustamante\*, Harold Avila-Vallejo, Ivan Darío Ortiz-Martin and Susana Osorio-Ocampo. 2022. Characterization and space-time distribution of Plio-Quaternary volcanism NE of Caldas, Colombia. 23p. [https://www.researchgate.net/publication/389622981\\_Characterization\\_and\\_space-time\\_distribution\\_of\\_Plio-Quaternary\\_volcanism\\_in\\_the\\_Northeast\\_of\\_Caldas\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/389622981_Characterization_and_space-time_distribution_of_Plio-Quaternary_volcanism_in_the_Northeast_of_Caldas_Colombia)
- Mojica Boada, M. J., Poveda, E., & Tary, J. B. (2022). Lithospheric and slab configurations from receiver function imaging in northwestern South America, Colombia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127, e2022JB024475. 22p. <https://doi.org/10.1029/2022JB024475>
- Rodríguez, G., Obando, G., Correa-Martínez, A.M., Zapata, G. Correa, T., Obando, M., Rincón, A. & Zapata, J.P. 2017. Redefinición del bloque norte del Batolito de Ibagué con base en nuevos datos de petrografía, litogeoquímica y geocronología U-Pb. XVI Congreso Colombiano de Geología. Memoirs, p. 1437-1442. Santa Marta.
- Vargas, C.A. 2020. Subduction geometries in northwestern South America. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), The Geology of Colombia, Volume 4 Quaternary. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 38, p. 397-422. Bogotá. <https://doi.org/10.32685/pub.esp.38.2019.11>
- Timoleón Garzón 2021. Potencial mineral y algunos proyectos mineros colombianos. Charla Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0-5meQFa3As>



[edinson.alvarez@gmail.com](mailto:edinson.alvarez@gmail.com)

Exploration Geologist Specialist - Geophysicist, expert in O-&G-Mining integrated studies (Colombia, Perú and México), Giving solutions to geoscientific problems, which have been in uncertainty for more than 5 decades. With important + economic implications.

The God's grace guide us to develop the "Complex Source Theory", a new mechanism that allow us increasing traditional O&G&M discoveries, production, reserves, as new energies and CCUS.

Geological mapping, surveys design, acquisition, processor PSTM (Conv-3C-4C-TZ-OBC), geomodeller, seismic interpreter and reservoir characterization (Conventional and Unconventional Reservoirs). Stratigraphic sequence, seismic attributes, AVO analysis, fluids substitution, seismic inversion, risk and uncertainty, leads and prospects, reserves. Discovery of New prospective corridors and O&G prospects, in Foothills, Llanos, Putumayo, VIM, VMM, VSM, COR, CR, CAT, GuaOff-Guajira, SSJFB, Sinú-SinuOff, Cayos basin, Colombia basin.

# Foro de discusión Discussion Forum

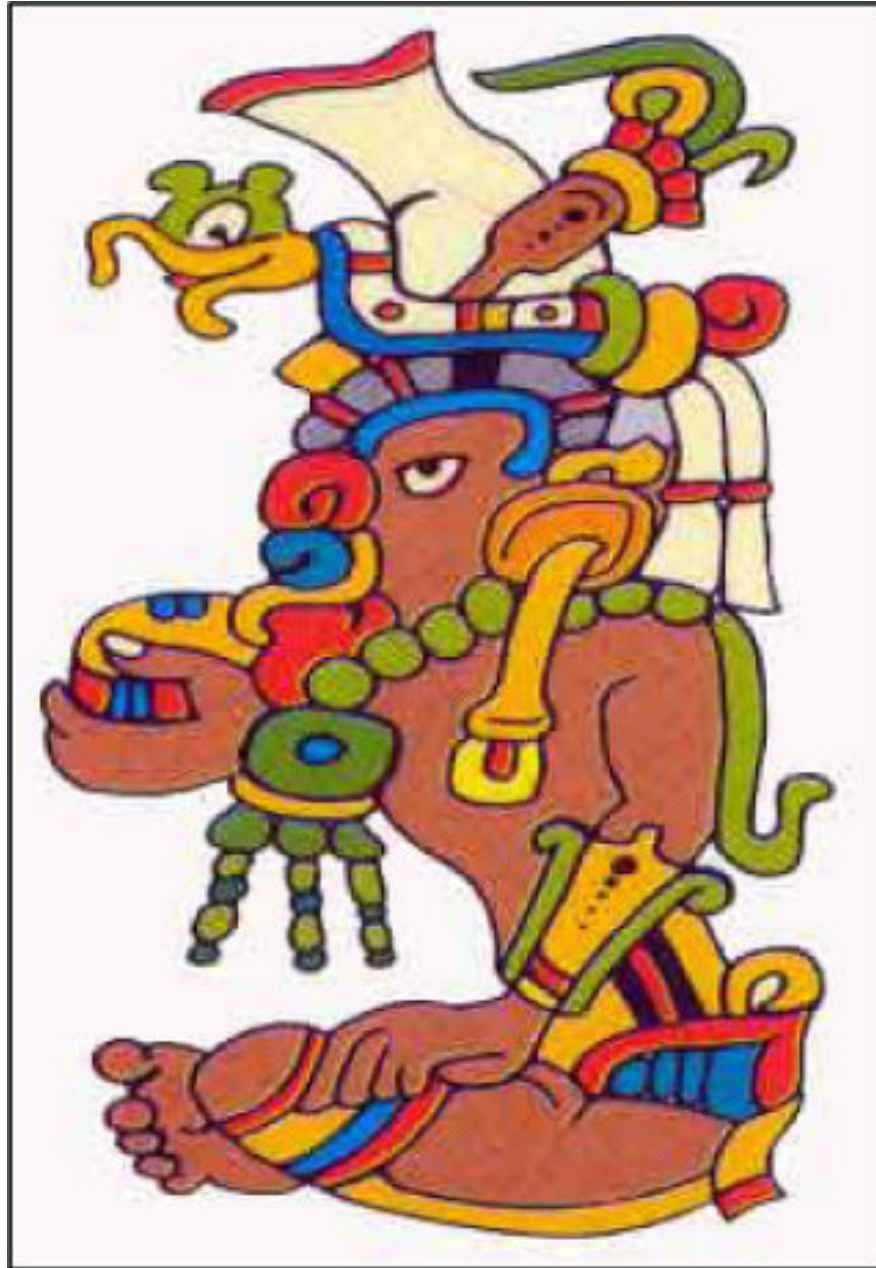
**A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de ahora, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para 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.

## Museo LaSalle, Costa Rica.

**Haz click en la imagen**





COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS

Ven y participa con nosotros en nuestra iniciativa de divulgación técnica y científica:

# GeoSeminarios

## ¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

*Presenta con nosotros tu:*

- + Tesis de licenciatura, maestría o doctorado
- + Especialidad en la industria o academia
- + Proyecto de investigación
- + Etc...

Click aquí o [bit.ly/GeoSeminarios2025](https://bit.ly/GeoSeminarios2025)

**TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO FORMULARIO Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!**

**¡TE ESPERAMOS!**










**GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences**  
Open Access Journal - 112 issues - 18 years

EL COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS INVITA A LOS:

# GeoSeminarios

## JUEVES 11 DE DICIEMBRE

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE TENSOACTIVOS IÓNICOS COMO ESTRATEGIA DE RECOBRO MEJORADO DE ACEITE EN ROCAS DEL PALEOCANAL DE CHICONTEPEC, MÉXICO.**

El estudio experimental evaluó la recuperación mejorada de aceite mediante inyección de soluciones químicas a diferentes concentraciones de surfactantes iónicos y salmueras, en rocas análogas al Yacimiento de Petróleo, "Paleocanal de Chicontepec" con el propósito de incrementar el factor de recobro



**DRA. ANA FINOL G.**  
Universidad Politécnica de Chiapas



**DR. ARCADIO G. PENAGOS**  
Universidad Politécnica de Chiapas

**DEL SUBSUELO AL MERCADO: EL REDISEÑO DE LA CADENA DE VALOR PETROLERA MEXICANA**

La cadena petrolera mexicana evoluciona integrando exploración, producción, refinación y mercado con digitalización, eficiencia, sostenibilidad y nuevas inversiones, buscando mayor competitividad y valor desde el subsuelo hasta el consumidor

**11 AM** (Hora México) |  |  **YouTube** Disponibles en YouTube tras transmisión

 @GeoLatinas



<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://paleontologiamexicana.geologia.unam.mx/index.php/paleontologia>



<https://paleontologiamexicana.geologia.unam.mx/index.php/paleontologia/issue/view/102>

**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://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://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



## New fossils reveal a hidden branch in human evolution

**Fossils in Ethiopia reveal a new ancestor species and confirm human evolution branched out, not in a straight line.**

**Date: August 27, 2025**

**Source: University of Nevada, Las Vegas**

### Summary

**Fossils unearthed in Ethiopia are reshaping our view of human evolution. Instead of a straight march from ape-like ancestors to modern humans, researchers now see a tangled, branching tree with multiple species coexisting. Newly discovered teeth reveal a previously unknown species of Australopithecus that lived alongside some of the earliest Homo specimens nearly 2.8 million years ago. This suggests that nature tested multiple versions of “being human” before our lineage endured. The discovery of new fossils and a new species of ancient ancestor may help shift the perception of human evolution from linear evolution to that of a tree with many branches, new UNLV research published on August 13 in the journal Nature shows. UNLV anthropologist Brian Villmoare and a team of international scientists discovered new fossils at a field site in Ethiopia that indicate Australopithecus, and the oldest specimens of Homo, coexisted between 2.6 and 2.8 million years ago at the same place in Africa.**

<https://www.sciencedaily.com/releases/2025/08/250821094509.htm>



## Los Científicos Desvelan Los Secretos Del Antiguo ADN Humano.

En la década de 1860, el químico suizo Friedrich Miescher descubrió el ADN humano. Este descubrimiento ayudó a los científicos a descubrir verdades sobre nuestros antiguos antepasados. Incluso en 2018, los investigadores hicieron nuevos descubrimientos. Esta excavación desenterró varios misterios antiguos, incluido un grupo de antiguos humanos no descubiertos hasta entonces. Lee sobre sus descubrimientos aquí.

### Dos esqueletos de 11.500 años de antigüedad

En 2018, unos arqueólogos descubrieron los esqueletos de dos bebés nativos americanos. Ambos tenían 11.500 años y eran miembros de la misma familia. No eran esqueletos normales. Estaban lo bastante bien conservados como para ayudar a los científicos a comprender la humanidad primitiva. De hecho, incluyen información sobre los primeros humanos que visitaron Norteamérica.

<https://www.beachraider.com/worldwide/dnanat-ta-sp>



<https://www.microsiervos.com/archivo/ciencia/un-archivo-completo-de-todos-los-ejemplares-de-investigacion-y-ciencia-1976-2023.html>

**microsiervos**

Un cuento de hadas digital

PORTADA SECCIONES/BUSCAR HUMOR CONTACTAR TIENDA LIBRO

CIENCIA

## Un archivo completo de todos los ejemplares de Investigación y Ciencia (1976-2023)

POR @ALVY — 1 DE OCTUBRE DE 2025





Por Luis C. Restrepo  
Ingeniero Petrolero jubilado  
Katy, Texas

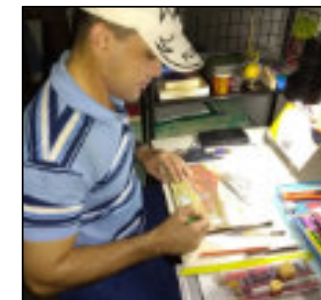
Pueblito Colonial: Acuarela en papel multimedia.



## Yellowstone National Park, Wyoming, USA. Foto de Gilda Yolid Muñoz - 2013.



**Mi abuelita siempre muy guapa. Foto de Claudio Bartolini, 2023.**



M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: [wilmerperezgil5@gmail.com](mailto:wilmerperezgil5@gmail.com)

# La casa de los desiertos

<https://www.britannica.com/science/desert>

<https://geology.com/records/largest-desert.shtml>

<https://geojango.com/blogs/explore-your-world/largest-deserts-in-the-world>

<https://www.oldest.org/nature/deserts/>

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/deserts>

<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/desert/>

<https://www.nationalgeographic.org/video/deserts-101/>



## Chiricagua National Park, Arizona

By far the most noticeable natural features in the park are the rhyolite rock pinnacles for which the monument was created to protect. Rising sometimes hundreds of feet into the air, many of these pinnacles are balancing on a small base, seemingly ready to topple over at any time. The Civilian Conservation Corps (CCC), during their occupation here in the 1930s, named many of the rock formations that can be seen today. Other geologic features of the park include shallow caves, faults, mountain formations, ancient lava flows, and a giant volcanic caldera. The Turkey Creek Caldera is located just to the south of the park. A cataclysmic volcanic eruption, roughly 27 million years ago, spewed ash and molten debris at super-sonic speeds and formed the approximately 12 mile wide caldera.\* Ash and debris settled and compacted, forming a thick layer of rock called rhyolite tuff. This rock layer has fissured and eroded over time, forming the spectacular rock pillars of Chiricahua National Monument.

<https://www.visitarizona.com/places/parks-monuments/chiricahua-national-monument>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Chiricahua\\_National\\_Monument](https://en.wikipedia.org/wiki/Chiricahua_National_Monument)

<https://www.nps.gov/chir/index.htm>

[https://www.tripadvisor.com/Attraction\\_Review-g60773-d143103-Reviews-Chiricahua\\_National\\_Monument-Willcox\\_Arizona.html](https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g60773-d143103-Reviews-Chiricahua_National_Monument-Willcox_Arizona.html)

<https://www.backpacker.com/news-and-events/news/chiricahua-national-monument-national-park/>

<https://wnpa.org/plan-your-trip/trip-ideas/park-stories/american-west-monthly-chiricahua-national-monument-1>

<https://www.thetravel.com/arizona-national-monument-converting-into-a-national-park-is-getting-mixed-reactions/>

Compilado por Nimio Tristán,  
Geólogo,  
Houston, Texas



Como parte de las actividades de difusión de nuestra revista de geociencias, tenemos una relación de buena fe y amistad con las escuelas, sociedades y asociaciones geológicas en otros países del mundo.

Instituto Nacional de Geoquímica (México). <https://www.inageq.com/>



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/>



Geología Médica

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



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/>



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

<https://uteco.edu.do/>



<http://cbth.uh.edu/>



Piezade Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA



¿QUIERES COLABORAR CON NOSOTROS?

ENVÍANOS UN CORREO A:

[luis.valencia.11@outlook.com](mailto:luis.valencia.11@outlook.com); [bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu](mailto:bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu)