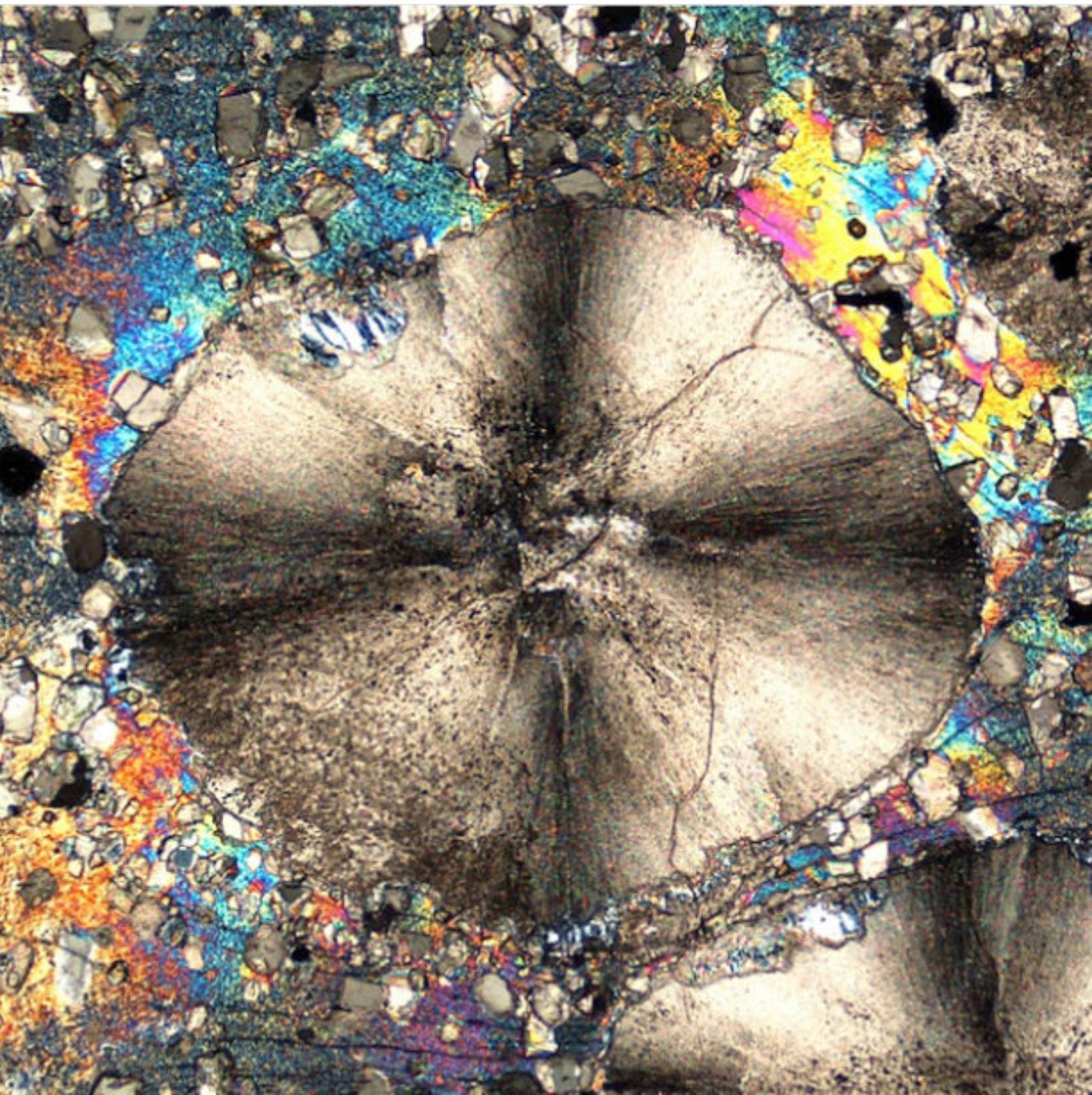


**FEBRERO
2026**



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



FEBRERO
2026



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

Portada de la revista: Esferulita de calcita baja en magnesio (cristales fibroso-radiales con colores de cuarto orden) y cristales de planares-e (euhedrales) de dolomita en una matriz de estevensita poiquilítica (colores de tercer orden alto). Nícoles cruzados. Facies de lago alcalino profundo del Aptiense (pre-sal) de la cuenca de Santos (offshore Brasil). Fotomicrografía de **Jordi Tritlla Cambra**. Referencia: Tritlla et al. (2014). Volcanism, alkalinity and hydrothermalism in offshore Brazil: unraveling the Pao de Açucar reservoir. KH Journal (Repsol), Vol. 3, Nº2, pp 65-70.

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

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

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

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

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

Revista de difusión y
divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

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



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

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

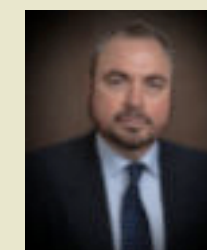
bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu



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

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

jhrosenfeld@gmail.com



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

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

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

bartolini.claudio@gmail.com

COLABORADORES



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

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

geodoxo@gmail.com



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

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

r.lopez.jimenez00@aberdeen.ac.uk

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

rodriguez.arteaga@gmail.com



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

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



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

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

ensilvacruz@gmail.com



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

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

diegogabriel807@gmail.com



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

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

dcalvo@geociencias.unam.mx



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

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

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

tenreyro2015@gmail.com



Laura Itzel González León / Ingeniera geóloga ambiental

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

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

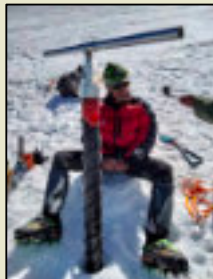
gleon.laura@gmail.com



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

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

r.avalos@astrocamp.mx



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

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



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

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

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

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

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

norma.olvera@atmosfera.unam.mx



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

Estimados Colegas

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

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

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

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

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,

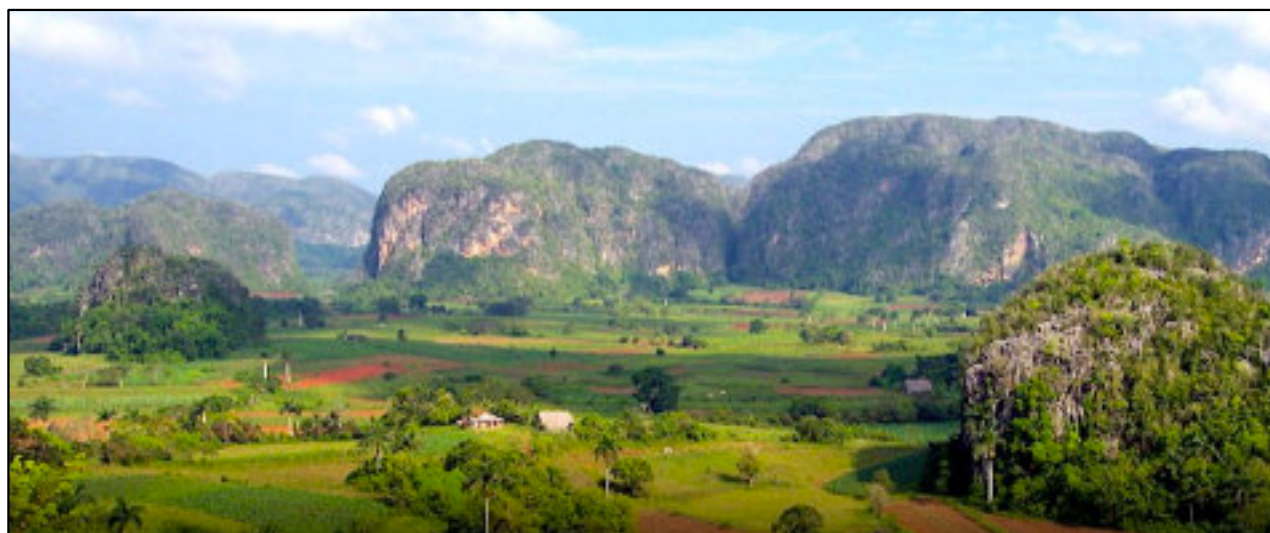
Te invitamos a que visites la página web de nuestra Revista Maya de Geociencias, donde podrán encontrar (en formato PDF), todas las revistas que hemos publicado hasta ahora, mismas que pueden descargar de la página. También estaremos incluyendo información adicional que sea de utilidad para nuestras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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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



QUINTO ANIVERSARIO

Queridas y queridos lectores,

Con el presente número de febrero, Revista Maya de Geociencias cumple cinco años dedicados a la divulgación y difusión de las Ciencias de la Tierra. La revista ha alcanzado una distribución en cuarenta países y tiene más de 10,000 lectores.

Primeramente, agradecemos profundamente a las y los cientos de autores de diversos países del mundo, quienes han hecho posible que la Revista Maya de Geociencias exista. Asimismo, le damos gracias a todas y todos los colaboradores que la revista ha tenido durante estos cinco años, y quienes han hecho grandes esfuerzos para mantenerla activa. Esperamos continuar con la publicación de esta revista de manera mensual, internacional, bilingüe y gratuita para este año y los venideros.

Un fuerte abrazo,

El Equipo Editorial

Dear readers,

With this February issue, the Revista Maya de Geociencias has now achieved five years of revealing and spreading aspects of the Geosciences. The Revista has reached 40 countries with over 10,000 readers.

Primarily, we must sincerely thank the hundreds of authors from diverse countries who have made the existence of the Revista Maya possible. We also thank all the collaborators of the Revista Maya who during these five years have dedicated much effort to maintaining our activities. We hope to continue publishing this bilingual magazine monthly, internationally and at no cost this year, and into the future.

With warm regards.

The Editorial Team



Nimio Tristán, geólogo jubilado en Houston, Texas, ha enviado imágenes a la sección titulada “Bellezas Únicas en el Mundo” de Revista Maya de Geociencias durante cuatro años. Estas imágenes no solo han embellecido la Revista, sino también nos han llevado por el mundo para disfrutar el paisaje geológico. Su primera contribución (ver abajo) fue en enero del 2022.

Muchas Felicidades!

El Equipo Editorial

An Explanation, at Last, for Mysterious “Zen Stones”

Every once in a while, nature produces something with captivating fragility. Such is the case with Zen stones, which seemingly hover above frozen lakes, their masses supported by thin, sometimes nearly invisible, pedestals of ice. Researchers have now determined the physics underpinning the formation of Zen stones using laboratory experiments and numerical simulations. Sublimation of ice plays a key role, the team discovered, which puts Zen stones in rare company with other sublimation-sculpted natural features such as penitentes.

<https://eos.org/articles/an-explanation-at-last-for-mysterious-zen-stones>

Photos: The Incredible Ice Formations of Lake Baikal

<https://www.theatlantic.com/photo/2019/05/lake-baikal-ice-formations-photos/590374/>

Scientists may be solved the case of mysterious zen stone | | balanced Zen Stone Baikal Lake

<https://www.youtube.com/watch?v=vpSv2Ci8QD4>



Felicidades a nuestro colega Jhonny E. Casas por su contribución de sesenta artículos a las Notas Geocientíficas y los Temas de Interés de la Revista Maya de Geociencias durante los últimos tres años. Estos excelentes trabajos han enriquecido sin duda alguna el contenido de la revista, ¡enhorabuena!

jcasas@geologist.com

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

Autor/Co-autor en 63 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de mas de 58 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).



Dr. Joshua Rosenfeld

Estimados lectores,

Es un placer informarles que el Dr. Joshua Rosenfeld ha realizado un índice de todos los Temas de Interés y las Notas Geocientíficas que fueron publicadas por autores de diferentes partes del mundo en la Revista Maya del año 2021 al 2023.

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

Esteemed readers,

We are pleased to inform you that Dr. Joshua Rosenfeld has indexed the Temas de Interés and Notas Geocientíficas published by authors from different parts of the world in the Revista Maya from the year 2021 to 2023.

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

índice (index) 2023: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/01/INDICE-2023.pdf>

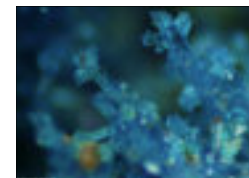
índice (index) 2022: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/01/INDICE-2022.pdf>

índice (index) 2021: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/01/INDICE-2021.pdf>

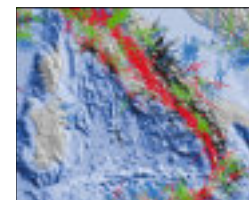
BASES DE DATOS - CIENCIAS DE LA TIERRA



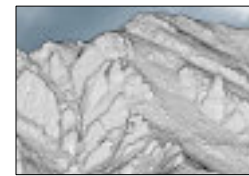
COPERNICUS: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE>



MINERALS: <https://www.rruff.net/>



WORLD STRESS MAP: <https://www.world-stress-map.org/>



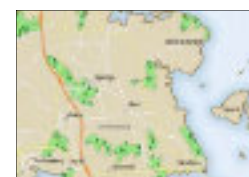
TOPOGRAPHY: <https://www.opentopography.org/>



GEOHERMAL: <https://worldgeothermal.org/geothermal-data>



SHEAR-WAVE: <https://splitting.gm.univ-montp2.fr/DB/>



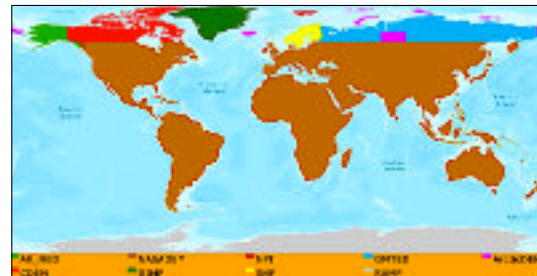
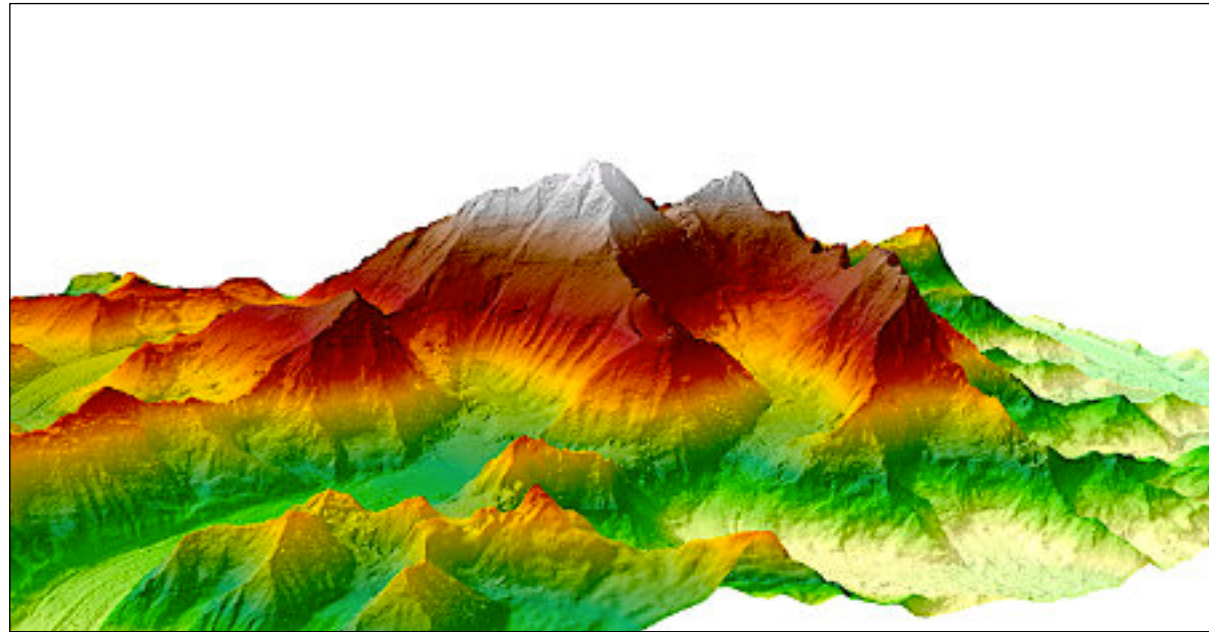
QGIS: <https://www.qgis.org/>



ARCGIS: <https://www.arcgis.com/index.html>

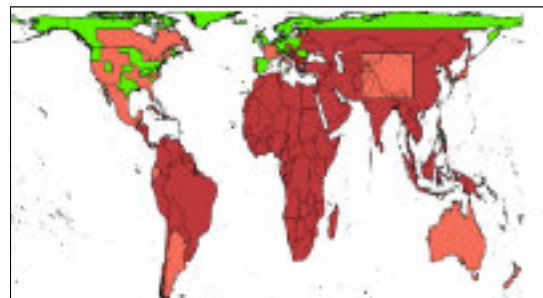
2D AND 3D DIGITAL ELEVATION MODELS

<https://opentopography.org/home>



USGS - Landsat Collection 2 Digital Elevation Model

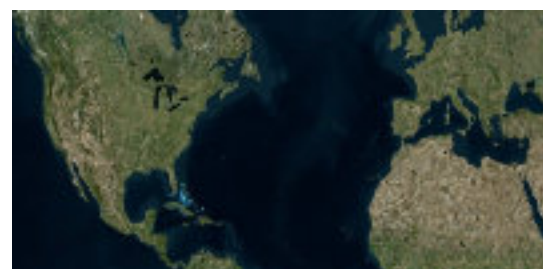
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-digital-elevation-model>



Open Digital Elevation Model (OpenDEM)

The Portal for sharing the 3rd Dimension

<https://opendem.info/>

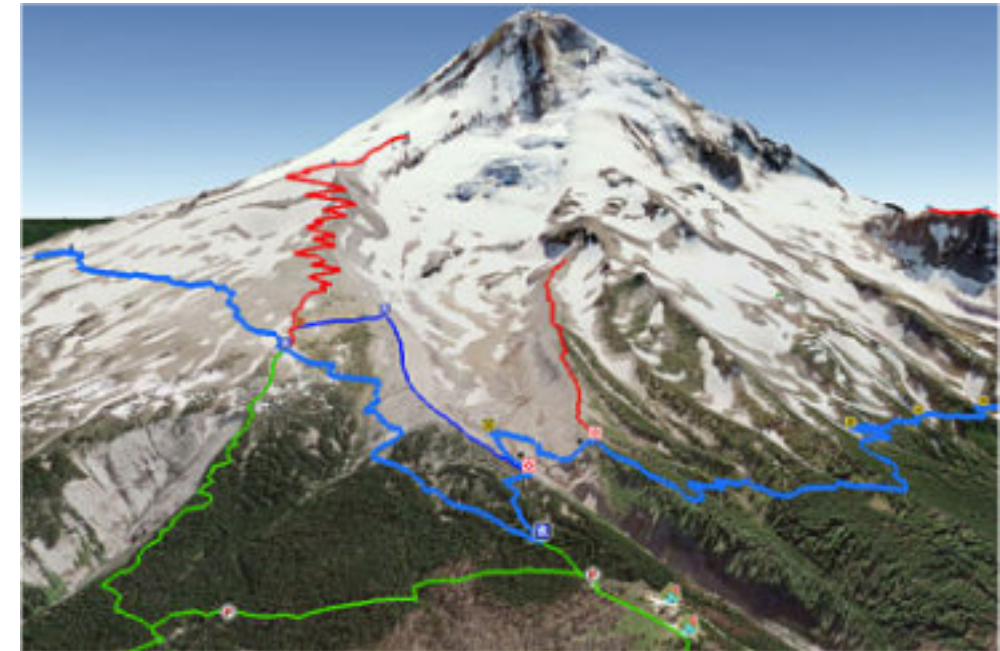


13 Free Global DEM Data Sources

<https://mapscaping.com/13-free-global-dem-data-sources/>

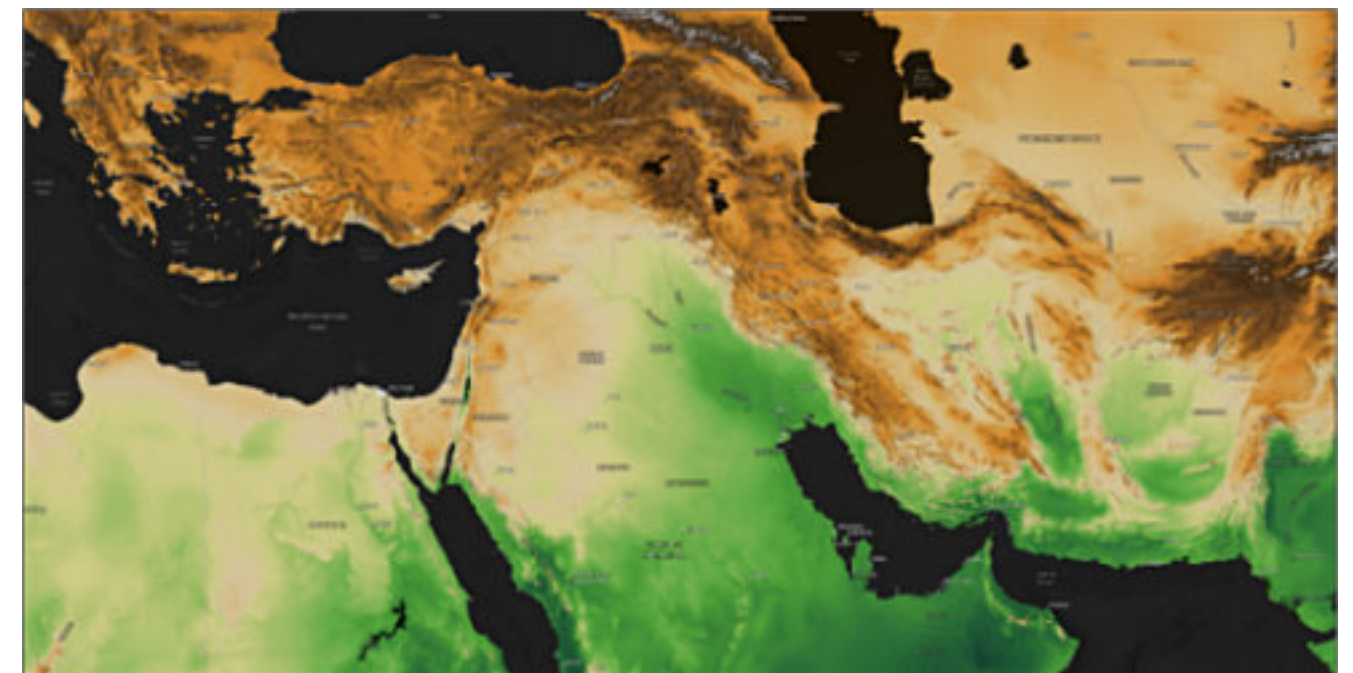
GPS VISUALIZER

<https://www.gpsvisualizer.com/>



ARCGIS - MAPS OF THE WORLD

<https://livingatlas.arcgis.com/en/home/>



PALEOMAGNETISM DATABASES

<https://paleomagnetism.org/library/>



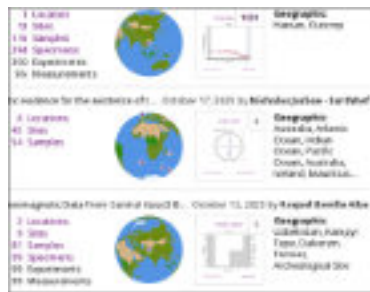
GLOBAL PALEOMAGNETIC DATABASE

<http://gpmdb.net/>



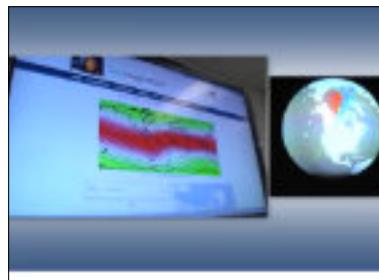
MAGNETICS INFORMATION CONSORTIUM

<https://www2.earthref.org/MagIC>



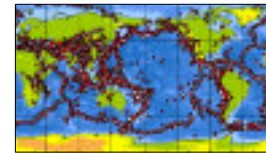
NOA GEOMAGNETISM

<https://www.ncei.noaa.gov/products/geomagnetic-data>



GEOMAGIA DATABASE

<https://geomagia.gfz-potsdam.de/dblinks.php>



MECANISMOS FOCALES.

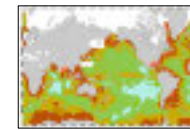
<https://www.globalcmt.org/>

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



TERREMOTOS USGS.

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



DATOS BATIMETRIA DE EUROPA DE ALTA RESOLUCIÓN.

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

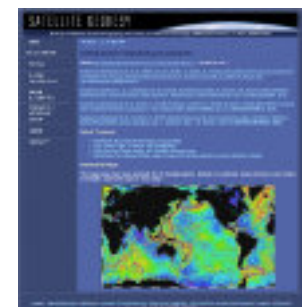


INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA TERRESTRE.

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

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

https://gdemdl.aster.jspacesystems.or.jp/index_en.html

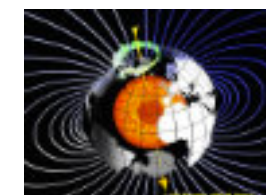


INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA MARINA.

https://topex.ucsd.edu/marine_grav/mar_grav.html

DEM SRTM

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



INFORMACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA.

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

<https://wdmam.org/>

Semblanzas.....	21
Obituarios.....	35
Miscelanea de imágenes.....	37
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	41
Los libros recomendados.....	53

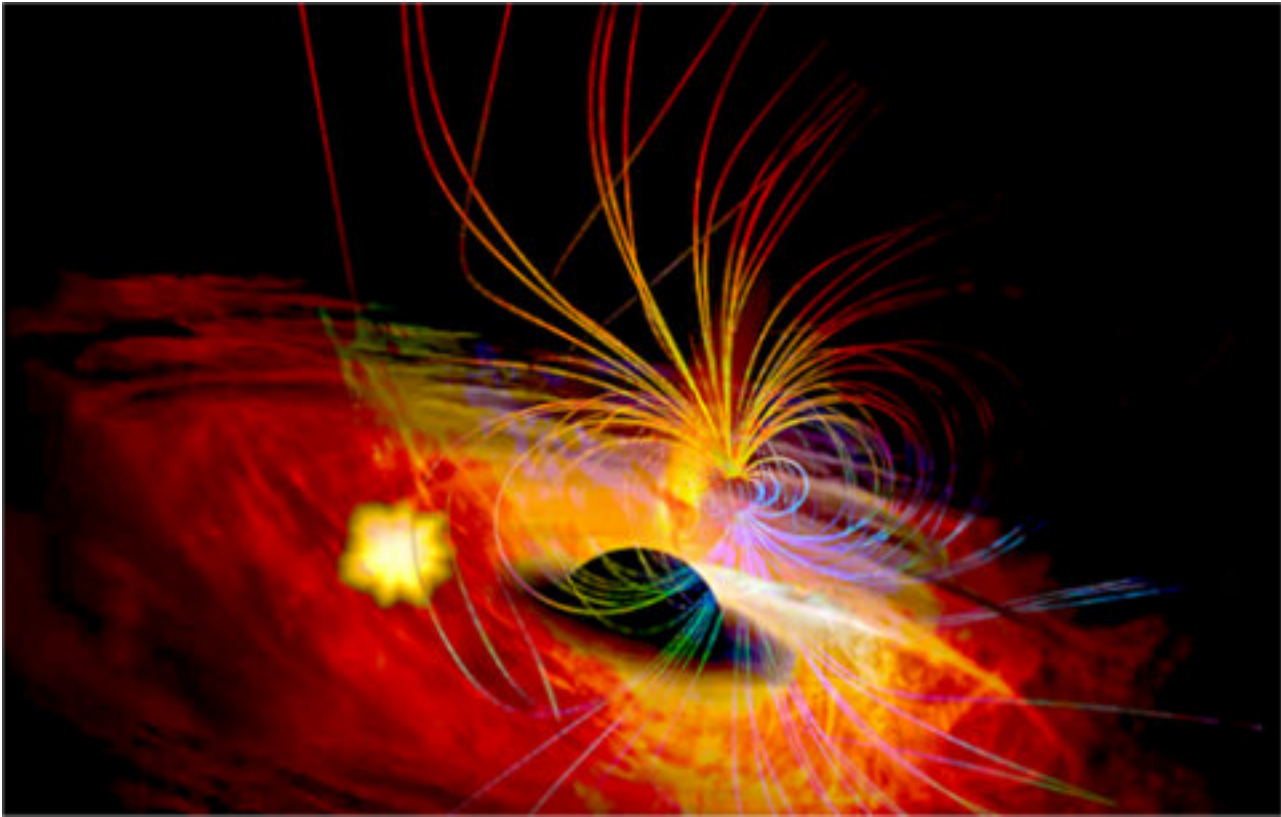
Temas de interés

Sostenibilidad en la transición energética. Retos de la red eléctrica. Natalia Silva Cruz.....	58
La biomasa como eje de la transición energética y la economía biofísica: Un análisis multidimensional. Luis Ángel Valencia Flores.....	60
El ciclo de los microplásticos en el medio ambiente. Daniela K. Calvo-Ramos, Alejandro Carrillo-Chávez y Luisa F. Rueda-Garzón.....	64
Pintando al cosmos: una propuesta interpretativa del arte rupestre Jocelyn Ramírez Reyes.....	68
La teoría del observador de Luenberger en el monitoreo de aguas subterráneas en el karst. Leslie F. Molerio León.....	72
Sismicidad, redes sismológicas, sistemas de alarma e instituciones. Claudio Bartolini.....	82
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	102

Notas Geocientíficas

Los MTDs: grandes deslizamientos submarinos que remodelan el fondo oceánico Ramón López Jiménez.....	111
Los yacimientos de separación ácida o tipo Greisen.: Importancia económica Eduardo González-Partida.....	115
The last Ammonites <i>Jhonny E. Casas</i>	121
Las piedras verdes de Guayaquil, Ecuador: geología, usos constructivos y valor patrimonial Jesús S. Porras Moreno.....	129
The dangerous exploration of the Rio Lora Basin, western Venezuela (1919-1926) Franco Urbani Patat y Jhonny E. Casas.....	140
Palinología Forense Mariano Castro Mora.....	146
Las ciencias de la tierra en las Escuelas Pías cubanas Rafael Tenreiro Pérez.....	153
Solution to uncertainty volcanic arc of the subduction zone, over the central cordillera, Colombian Andes. Edinson Alvarez.....	158
De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental Juan Rogelio Ramos.....	170
Misceláneos Museos de historia natural.....	176
GeoLatinas - GeoSeminarios.....	177
Venezuelan American Petroleum Association.....	178
Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.....	179
Biblioteca digital cubana de Geociencias.....	176

Seminario Institucional de geofísica - UNAM.....	181
Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.....	183
Conferencia terremoto Guatemala 1976.....	184
The Leakey Foundation: lectures and videos.....	185
Scientists unearth 2.6-million-year-old hominin fossil in Ethiopia.....	186
Caverna del Arte.....	187
Geo-caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	191
La casa de las cavernas.....	192
El Cerro Mutún, Bolivia.....	193
Asociaciones geológicas hermanas.....	194



Cuanto más difícil es la lucha, más glorioso es el triunfo.
Marco Aurelio

SEMBLANZAS

Herman Karsten: 1817 - 1908

Los ammonites en la obra de Hermann Karsten, 1817–1908

José Antonio Rodríguez Artega*
rodriguez.arteaga@gmail.com
 *Colaborador de la Revista Maya
 *Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias, SVHGc

RESUMEN

Armando Espinosa Baquero,¹ expresa no con poco detalle, al referirse a su biografiado Herman Karsten, que *exploró el territorio de las actuales repúblicas de Venezuela, Colombia y Ecuador entre 1844 y 1856 y dejó una obra geológica que representa un paso importante en la evolución del conocimiento del subsuelo de esos inmensos territorios.*

Por un lado, Karsten dejó una primera descripción sistemática, aunque con zonas no estudiadas. Por otro lado, dio inicio a la cartografía geológica territorial, obra de tal magnitud que, en Colombia, a más de 150 años después de sus exploraciones y de cien años de trabajos del Servicio Geológico Colombiano, SGC aún no está totalmente terminada a escala regional (1:100 000).

Hermann Karsten, cuyo nombre completo era Hermann Gustav Wilhelm Karl Karsten, fue un destacado naturalista, botánico y farmaceuta cuyo aprendizaje de ésta la hizo y practicó en la *botica* de Krüger para luego marcharse a Berlín, donde estudió Medicina y Ciencias Naturales, bajo la dirección de grandes profesores, entre quienes se encontraba un primo del mismo nombre de quien recibió clases de Mineralogía y Física y en forma idéntica del



profesor Róper en Anatomía, Fisiología y Zoología, además de Botánica con Johannes Müller (1828- 1896).

Acudió a las conferencias de los profesores Erman, Weiss y otros conocidos científicos de la época, dedicándose también, con entusiasmo al estudio de, Paleontología, Cristalografía y Geología, cuya labor a mediados del siglo XIX, sentaron las bases de la geología *moderna* en el norte de Sudamérica.

Fue distinguido como miembro honorario de la Sociedad Venezolana de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas fundada y dirigida por el Dr. Adolfo Ernst (1832-1899), naturalista, botánico y zoólogo, igualmente de origen germano, y radicado en Venezuela quien fue el principal promotor de los estudios naturales en país durante la segunda mitad del Siglo XIX.

Karsten fue naturalista, botánico, zoólogo, farmaceuta por su trabajo como profesor de Botánica en la Universidad de Viena (Bruni Celli, 1968: I (1):15). Dicha circunstancia y lo

fecundo de sus estudios y especialidades lo hacen polímata en todo sentido, aunque juzgando por los temas que investigó, nos inclinamos a pensar que “su *fuerte*” fuero los estudio de los ammonites en donde se distinguió ampliamente.

Nacido un 6 de noviembre de 1817 en Stralsund, Alemania, provincia de Pomerania (Röhl, 1948: 137-146), falleció en Prusia el 10 de julio de 1908 en Berlín, Alemania a la edad de 91 años.

Su perfil modificado y adaptado con recursos digitales se muestra en la fotografía que ilustra el presente trabajo. Aunque su formación inicial fueron los estudios farmacéuticos se dedicó en sus exploraciones por la “*Colombia bolivariana*” (Venezuela, Colombia y Ecuador) que lo convertirían en pionero de la cartografía geológica y la paleontología regional al combinar en sus expediciones la multiplicidad de saberes que llevaba consigo. Su exploración por América efectuada entre 1844–1856, fue el “*pretexto*” con el cual durante 12 años recorrió extensamente los territorios de tres países: Venezuela, Colombia y Ecuador, recolectando miles de especímenes botánicos, geológicos y fósiles, estos 2 últimos, a los cuales dedicamos este ensayo.

Para 1849 estudia la Geografía Y La Geología de varias regiones venezolanas reuniendo con sus observaciones un mapa que publicaría en 1850. Como detalle, en la denominada depresión de Barbacoas, estado Lara, descubriría en la *Aguada de los Chivos* las primeras muestras de *ammonites* nacionales, hecho al que se dedica muy en particular.

Ella era una localidad del país, que representa actualmente una unidad de referencia para la Formación Maraca y la sección tipo para el Miembro La Aguada de la Formación La Luna recogidas por el MSc. Tulio E. Peraza en una misión de campo, S/F). Esta localidad es de gran interés geológico actual contentiva de fósiles del Cretácico Tardío del occidente de Venezuela, lo que la convierte en un lugar clave para investigación y estudio. Karsten no se

quedaría solamente en el descubrimiento, sino que en 1849 su colección de fósiles los enviaría vía Puerto Cabello hasta Berlín en donde serán entregados al paleontólogo Leopold von Buch (1774-1853) que reconoce hasta 7 nuevas especies.

A propósito de la traducción del siglo XXI

Una muy necesaria versión francesa hace Baquero (2022:11) considerando prudente y necesario las razones que él esgrime: (...) *Traducir al castellano una obra en francés del siglo XIX es un trabajo especializado y complejo que requiere un conocimiento del tema (la geología de los actuales países Colombia, Venezuela y Ecuador), el manejo de la terminología geológica francesa y el estilo del francés de esa época. El problema se complica además cuando, como en el caso que nos ocupa, el francés no era la lengua materna del autor (...). Como sucede hoy con el inglés, hasta el siglo XIX el francés fue el lenguaje universal y muchos autores alemanes (Alejandro de Humboldt entre ellos), rusos y de otras nacionalidades, escribieron sus obras en ese idioma.*

El naturalista alemán Hermann Karsten escribió casi todas sus obras en su lengua materna, pero en cuanto a la Geología de la antigua Colombia Bolivariana, decidió escribirla en francés, sin duda con el objetivo de darle una mayor difusión, y en particular en los países que eran tema del estudio. Su texto adolece de ciertos errores, pero no corresponde al traductor [Baquero Espinosa] corregirlos. El autor de esta traducción de Karsten se guió por algunos fundamentos metodológicos (...) que no serán presentados en el presente ensayo.

ENTRE NECESARIAS PREGUNTAS Y OBLIGATORIAS RESPUESTAS

La razón de ser de “*Géologie de l'ancien Colombie bolivarienne: Vénézuéla, Nouvelle-Grenade et Ecuador, 1886*”

El libro más famoso de Hermann Karsten, fundamental para la Geología y Paleontología colombo-venezolana, que incluye descripciones y la referencia a ammonites como el

Ammonites leonhardianus, es su obra cumbre “*Geología de la antigua Colombia bolivariana*” (), (publicado luego de su fallecimiento), siendo la primera síntesis geológica de la región, estableciendo una geocartografía inicial y una fauna fósil que incluyó los ammonites clave para la datar los extensos territorios que estudio, sentando las bases del conocimiento geológico moderno estos países andinos. Fue un texto importante, por constituirse el mismo en la primera descripción sistemática y cartografía geológica de la región noroccidental de Sudamérica Con ellos detalló la fauna fósil de sus exploraciones, incluyendo especies como el *Ammonites leonhardianus*, del Cretácico Superior, decisivo para entender la estratigrafía y paleogeografía de Venezuela y Colombia. En resumen, fue su libro más famoso porque fue la primera gran síntesis geológica que integró sus extensos viajes y descubrimientos, incluyendo importantes fósiles como los ammonites, fundamentales para la paleontología y la geología regional.

Razones de un porqué

En el siglo XIX, la regularidad de los profesionales europeos estudiaban Geología junto a otras asignaturas como la Minería, y la Química) por la búsqueda de recursos -carbón, metales- para la industria y la elaboración de hojas cartográficas, impulsados por la necesidad económica y el avance científico, conectando así la Tierra con la producción y el desarrollo tecnológico, haciendo de la misma una ciencia aplicada y fundamental para el poder económico y militar buscando así impulso Industrial y económico, como por ejemplo la minería para obtener hierro, carbón y otros minerales.

Es así que la Geología permitía identificar yacimientos, optimizando la extracción y ganando dinero, tal como se explica en el trabajo de Abraham Gottlob Werner (1749-1817) quien fuera un científico alemán donde estudió leyes, minería y mineralogía. Nació en Wehrau, ciudad de la Silesia prusiana (actual Alemania). Y Werner se educó en Freiberg y en Leipzig, donde estudió leyes, minería y mineralogía y fue entonces nombrado inspector y

profesor de la pequeña pero influyente Academia de Minería de Freiberg en 1775.

Muchos naturalistas estudiaban Geología porque la Tierra, sus rocas y fósiles eran fundamentales para entender la Historia Natural y la Creación, y la Medicina ofrecían una base práctica en minerales y anatomía; la Geología, aunque no era una “*carrera universitaria*” formal como tal, se desarrollaba a través de la observación de fenómenos como volcanes, fósiles (Paleontología), y la formación de un paisaje, conectando directamente con el estudio de la vida y la edad del mundo, siendo a menudo una *pasión autodidacta* o ligada a la medicina.

¿Cuáles eran las razones claves del interés geológico? La misma fue empleada por los naturalistas quienes estudiaban Geología porque la Tierra, sus rocas y fósiles eran fundamentales para entender la Historia Natural y la Creación, Además de ello, la Medicina ofrecía una base práctica en minerales y anatomía. Ello bien podría considerarse como razón necesaria y suficiente para que en las Actas de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas se afirmase de la existencia de “*numerosos miembros extranjeros*”, pese al esbozo biográfico que se tenía de este insigne naturalista: (...) El alemán Hermann Karsten (1817-1908) fue un profesional preparado en ciencias naturales con inclinación a la **botánica** (...)”²

Al tener formación en ciencias naturales poseía conocimientos en geología y en paleontología, por lo que con el impulso y con el ejemplo de Alexander von Humboldt emprendió viaje hacia Suramérica en 1843. . Ello no sería obstáculo para afirmar que entre Germán Jiménez Ureña (1861-1929) venezolano egresado en ingeniería civil de la Universidad Central de Venezuela, un doctorado en Ciencias Filosóficas y Jurisprudencia, fuese igualmente político y se dedicara al conjunto de minerales metálicos o no-metálicos como el carbón en cuya biografía aparece como conocedor tema mineral. Vale decir que, aunque la Geología, pese a no ser una carrera formal, se ejerciese muy probablemente por la presencia en

Venezuela de profesionales extranjeros venidos en particular de Europa. Como hoy en día, se desarrollaba a través de la observación de fenómenos como volcanes, fósiles (paleontología) y la formación del paisaje, conectando directamente con el estudio de la vida y la edad del mundo, siendo a menudo una pasión *autodidacta* o ligada a la Medicina.

La Geología como ciencia formal es relativamente moderna (siglos XVIII-XIX) desarrollo por lo que antes se estudiaba como parte de la filosofía natural y no como una carrera universitaria separada.

Contribuciones a la Geología y a las Unidades Geológicas

Karsten es reconocido principalmente por sistematizar el conocimiento geológico de una región que hasta entonces solo contaba con observaciones dispersas y su primera obra pionera fue la publicación del primer mapa geológico regional de Colombia y Ecuador. En 1850, había presentado el primer mapa geológico del cuadrante NO de Venezuela. Siendo su obra cumbre en esta área pionera la *Géologie de l'ancienne Colombie bolivarienne: Vénézuéla, Nouvelle-Grenade et Ecuador (1886)*. (Dicho trabajo incluía perfiles geológicos detallados y secciones transversales que mostraban la disposición de las capas de roca (estratigrafía) desde la costa hasta las cordilleras. Karsten fue el primero en acuñar términos formales para unidades geológicas en Venezuela. Por ejemplo, definió la Serie Caribe (nombre con el que se designó al conjunto de rocas metamórficas expuestas en Venezuela nororiental - penínsulas de Araya y Paria- y Trinidad septentrional según Wall y Sawkings (1860), describiendo los esquistos micáceos y gneises de la Cordillera de la Costa. En cuanto a la glaciología, observó y describió procesos de glaciación en la Sierra Nevada de Mérida. Y en honor a sus estudios, uno de lleva su nombre: el *glaciar Karsten*.

La paleontología en Karsten

Recolectó una vasta colección de invertebrados y vertebrados fósiles del Cretáceo y el Cuaternario. Describiendo entre los fósiles recogidos algunas especies clave como el *Ammonites leonhardianus*.

Sus hallazgos no se limitaron a los anteriormente nombrados, sino que incluyeron restos de mastodontes y perezosos gigantes *Megatheriidae*, *Glyptodontidae*, los cuales envió a museos en Berlín para su estudio.

Para la época sostenía teorías sobre el "*calor central terrestre*" como motor del vulcanismo, la sismicidad -nada que pareciera extraño, cuando esa era una de las teorías imperantes sobre los sismos en el siglo XIX, desconociéndose si únicamente era para Venezuela, así como el levantamiento de las montañas, conceptos que, aunque han evolucionado, fueron fundamentales para la discusión geodinámica de su tiempo.

Fuentes geológicas mínimas

Durante toda su trayectoria en Geociencias combinaba sus investigaciones en las áreas que le eran propias y en las que se formó. En este trabajo hemos tratado en forma exclusiva lo relativo a la Geología y los fósiles y el año de publicación de su obra, sin desmerecer los otros temas que manejó en una revisión perteneciente en su mayoría al texto del Dr. Röhl, E. (1891-1959) "*Exploradores famosos de la naturaleza venezolana. Tip."El Compás*", Caracas, 221 pp.". Es de señalar que Röhl era individuo de número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela, sillón XX; Miembro honorario del Colegio de Ingenieros de Venezuela; Doctor *Honoris Causa* por las universidades de Puerto Rico, Central de Venezuela y de Hamburgo (Guerrero Ordáz, 2021).

1947- La situación geognóstica de la Nueva Granada. Conferencia dictada en Viena

1849 - Sobre las rocas del Neocomiano cerca de Trujillo. Berlín 1849.

1849 - Carta desde Puerto Cabello sobre la geología del occidente de Venezuela. Berlín.

1850 - Terciario y Cretácico en Cumaná y Barcelona. Berlín.

1851 - Sobre las condiciones geognósticas del norte de Venezuela.

1853 - Observaciones geognósticas sobre los alrededores de Maracaibo y la costa norte de Nueva Granada. Berlín

1853 - Las condiciones geognósticas de las llanuras de Venezuela.

1858 - La geognóstica de Brunswick.

1858 - Apuntes de viaje sobre la provincia de Cumaná en Venezuela. Berlín.

1858 - Bocetos de viaje de la Nueva Granada. Berlín.

1860 - Contribución al conocimiento de las rocas del norte de Venezuela.

¹La frase entre corchetes y en negrillas es Patarroyo, P. 2021. *Ammonites Leonhardianus* Karsten, 1858 de los depósitos del Cretácico Superior de Venezuela. Boletín de Geología, UIS, Colombia. 43(2):15-28. <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n2-2021001>

²Doctor en Geología de la Universidad de Ginebra, Suiza, profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Quindío y asesor del Servicio Geológico Colombiano, aespinosa@sgc.gov.co

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

BRUNI CELLI, B, 1968 Actas de la Sociedad de Ciencias Físicas y Naturales de Caracas, I:238. Banco Central de Venezuela, Colección histórica-económica venezolana Vol. XI.

GUERRERO O., J. A. 2021. *Eduardo Röhl*, Autobiografías, [Documento en línea], (diciembre 21, 2025) https://www.tayabeixo.org/biografias/eduardo_rohl.htm

PATAROYO, P. 2021. *Ammonites Leonhardianus* Karsten, 1858 de los depósitos del Cretácico Superior de Venezuela. Boletín de Geología, UIS, Colombia. 43(2):15-28. <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n2-2021001>

PERAZA, T. (S/F) *Fósiles en la localidad de La Aguada de los Chivos. unidad de referencia para la Formación Maraca y sección tipo para el Miembro La Luna* (inédito), [Documento en línea], (diciembre 21, 2025) <https://mariantoc.github.io/Resources/FosilesLaAguadaDeLosChivos.pdf>

1862 - Composición geognóstica de las montañas de la provincia de Caracas.

1895 - Flora de Alemania, 1895 33) Sobre la antigüedad geológica de las Cordilleras de Austria alemana y Suiza.

1856 - La situación geognóstica de la Nueva Granada. Conferencia dictada en Viena. Reimpresa en la Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales, 7(27):361- 380.

RODRÍGUEZ ARTEAGA, J. A. 2025. Vida y obra del ingeniero Germán Jiménez Ureña (1861-1929), [Documento en línea], (diciembre 26, 2025) <https://notasgeologiavenezuela.blogspot.com/2025/10/german-jimenez-urena-1861-1929.html>

RÖHL, E. (1891-1959) "Exploradores famosos de la naturaleza venezolana. *Tip."El Compás*", Caracas, 221 pp.

WALL, G. P.& GAY, J. (1869) Report on the Geology of Trinidad: Or, Part I. of the West Indian Survey, Memoirs of the Geological Surveys (Longman, Ed.), London, 211 pp. Documento en línea], (diciembre 21, 2025)

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015067352289&seq=20>

KARSTEN, H., 2022. Geología de la antigua Colombia bolivariana Venezuela, Nueva Granada y Ecuador. (Trad., introd. y notas de Armando Espinosa Baquero, 2022), Serv. Geol. Colombiano Servicio Geológico Colombiano. (Libro original publicado en 1886). <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/98>



Ammonites, tomada y modificada de la edición facsimilar empleada por Baquero (2020).



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

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

rodriguez.arteaga@gmail.com

Descargar el archivo PDF: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/01/MUJERES-PIONERAS-GEOCIENCIAS-2026.pdf>

Download PDF file: <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2026/01/MUJERES-PIONERAS-GEOCIENCIAS-2026.pdf>

Es un gran orgullo y privilegio para la Revista Maya, presentar las historias de "las primeras mujeres geólogas" de varios países del mundo. Gracias a las contribuciones de María Guadalupe Cordero Palacios, Mélida Schliz-Antequera, Victor Ramos, Nimio Tristán, Ramón López Jiménez, José Antonio Rodríguez Arteaga, Marianto Castro, Rafael Tenreiro Pérez, y Gerardo J. Soto, les presentamos ésta importante sección sobre la historia de éxito de varias de nuestras colegas geocientíficas.

América Ana Cuervo Barrena - Cuba

América Ana Cuervo Barrena nació en la ciudad de Remedios, provincia Villa Clara. Era hija del doctor Ricardo Cuervo Cuevas farmacéutico y patriota cubano. Era una gran familia pinareña, relacionada con la medicina, su abuelo fue médico personal de Maximiliano I de México. Siendo ella una niña, se traslada con sus padres a la ciudad de Pinar del Río, donde se graduó de Bachiller en Ciencias y Letras en el Instituto Provincial de Segunda Enseñanza. Alumna preferida del Profesor Carlos de la Torre, se gradúa de doctora en Ciencias Naturales, Farmacia y Ciencias Físico Químicas en la Universidad de la Habana en 1918.¹ Ese mismo año, realizó pruebas de oposición y obtiene la cátedra de Ciencias en la Escuela Normal de Maestros de Pinar del Río. Anteriormente, obtuvo la cátedra titular de Ciencias de la Escuela Normal de Maestros Oriente, pero renunció a la misma, pues solamente realizó dichos ejercicios, para unirlos a su expediente.

En 1940 fue nombrada instructora de la cátedra "N" (Geología y Paleontología) por haber realizado y aprobado los ejercicios de Adscripción. Siete años más tarde, fue nombrada por oposición Profesora Agregada de la Cátedra de Geología y Paleontología de la Universidad de la Habana.² En los años cincuenta, mientras Rene San Martín impartía las asignaturas de Mineralogía y Cristalografía, la Dra. Cuervo fue la profesora de Petrografía y Geología en la Universidad. Siendo presidente de la Directiva, electa el 17 de junio de 1950, de la Sociedad Cubana de Historia Natural "Felipe Poey" el Dr. Carlos G. Aguayo, la Dra. Cuervo fue directora de la Sección de Mineralogía y Geología.³



Además de la labor docente, Dra. Cuervo realizó múltiples investigaciones dentro del campo de la geología, la petrografía y la paleontología. Entre sus publicaciones pueden citarse: "Agricultura"⁴ y "Enseñanza de la Química" para uso de los alumnos secundarios; "Petrografía Cubana, estudios preliminares", "Dos nuevas especies de Ichthyosauria del Jurásico de Viñales"⁵ de 1939, "Estudios de Erizos fósiles de Pinar del Río" y "Repertorio de Rocas ígneas de Cuba"⁶ de 1951. Con posterioridad al mencionado artículo sobre los *Ichthyosauria* de 1939, Ricardo de la Torre y L. Rojas realizan investigaciones adicionales sobre los fósiles de saurios marinos del Oxfordiano de Viñales, estudiando un mayor número de restos fósiles.⁷

Athanasius Kircher y Roger Boscovich: contrapunto sobre la Tierra.

Por: Humberto Álvarez-Sánchez (1).

1-Miramar Mining Corp. República de Panamá. geodoxo@gmail.com

1. Introducción.

Entre los siglos XVII y XVIII la Tierra dejó de ser pensada exclusivamente como un objeto figurado para comenzar a ser concebida como un sistema físico. Este tránsito no fue brusco ni lineal, sino que se produjo mediante superposiciones conceptuales, tensiones metodológicas y cambios profundos en el lenguaje de la ciencia. En este contexto, Athanasius Kircher (1602–1680) y Roger Joseph Boscovich (1711–1787) representan dos momentos contrastantes y complementarios de esa transformación. Kircher ofrece una de las últimas grandes visiones geocosmológicas del mundo: una Tierra animada, orgánica y simbólicamente inteligible. Boscovich, en cambio, no describe la Tierra, sino que la deduce como un caso particular de una ley universal de fuerzas. El contrapunto entre ambos no es una simple oposición entre error y verdad, sino el paso de un régimen de inteligibilidad a otro.

2. Kircher. La Tierra como machina mundi.

En obras como el *Mundus Subterraneus* (1665), Kircher concibe la Tierra como una máquina viva, dotada de una compleja arquitectura interna. El interior terrestre está atravesado por fuegos centrales y subterráneos, canales ígneos e hidráulicos en circuitos de vapores y materiales fundidos. La Tierra funciona, en este esquema, como un organismo, cuyos procesos internos explican volcanes, terremotos, corrientes marinas y fenómenos atmosféricos. La causalidad kircheriana es deliberadamente mixta: combina observación empírica, analogía orgánica, tradición aristotélica y referencias teológicas. La potencia del modelo de Kircher no reside en su exactitud física, sino en su capacidad de figuración. La Tierra es visible en imágenes, diagramas y narraciones. Es un mundo legible, casi anatómico, donde cada fenómeno encuentra un lugar dentro de una totalidad coherente.

3. Boscovich. La Tierra como configuración dinámica.

En la *Theoria Philosophiae Naturalis* (1758; ed. rev. 1763) Boscovich no presenta una teoría de la Tierra en sentido estricto. Su proyecto es más radical: propone una **teoría general de la materia** basada en una única ley de fuerzas de atracción y repulsión que varían con la distancia. Los elementos últimos de la materia no son cuerpos extensos, **sino puntos sin dimensión**, definidos exclusivamente por su comportamiento dinámico. La solidez, la cohesión, la elasticidad y la impenetrabilidad no son propiedades geométricas, sino estados de equilibrio.

Aplicado a la Tierra este marco implica:

- El planeta no es un bloque rígido, sino un sistema estable por equilibrio de fuerzas.
- Su cohesión interna no requiere sustancias especiales ni fuegos centrales.

- Su comportamiento frente a la rotación, la gravitación o las mareas presupone una deformabilidad limitada, no una rigidez absoluta.

La Tierra de Boscovich es conceptualmente poderosa, pero no representable. No hay imágenes del interior terrestre, porque no hay órganos ni estructuras figurables: solo configuraciones dinámicas invisibles

4. El contrapunto: de la imagen a la ley.

El contraste entre Kircher y Boscovich no debe formularse como una refutación directa. Ambos buscan una explicación unitaria de la Tierra y coinciden en rechazar una visión puramente pasiva del planeta. Sin embargo, operan en registros epistemológicos distintos:

Kircher	Boscovich
Tierra figurada	Tierra deducida
Interior orgánico	Interior dinámico
Fuego central	Régimen de fuerzas
Cosmografía simbólica	Ley universal
Visibilidad del mundo	Abstracción matemática

En Kircher predomina la imagen y la analogía orgánica; en Boscovich, la abstracción matemática y la ley universal. Kircher piensa la Tierra como microcosmos; Boscovich la concibe como caso particular de una física universal. En Kircher, la Tierra se muestra; en Boscovich, la Tierra se infiere.

5. Significado histórico.

Este contrapunto señala un cambio profundo en la forma de pensar la naturaleza. Con Kircher se cierra una tradición donde la explicación científica aún necesita de la imagen, del símbolo y de la analogía orgánica. Con Boscovich se inaugura una etapa en la que la Tierra deja de tener un estatuto ontológico propio y pasa a integrarse plenamente en un marco físico general. No es todavía la geología ni la geofísica moderna, pero sí un desplazamiento decisivo: la Tierra deja de ser una entidad excepcional para convertirse en una configuración estable dentro de un universo regido por leyes únicas.

6. Conclusión.

El paso de Kircher a Boscovich no es simplemente el avance de la ciencia sobre la especulación, sino el tránsito de una Tierra que se representa a una Tierra que se conceptualiza. En ese espacio intermedio, aún sin instrumentos ni datos suficientes, se anuncia ya la posibilidad de una ciencia física del planeta. El pequeño contrapunto entre ambos autores permite apreciar que la historia de las geociencias no avanza solo por acumulación de hechos, sino también por transformaciones profundas en los modos de imaginar —y de pensar— la Tierra.

Referencias.

Kircher, A., 1665, *Mundus Subterraneus*. Amsterdam: Joannes Janssonius.
Boscovich, R. J., 1763. *Theoria Philosophiae Naturalis, redacta ad unicam legem virium in natura existentium*. Venetiis.
Hall, A. R., 1962. *The Scientific Revolution 1500–1800*. London: Longman.
Rossi, P., 1989. *La nascita della scienza moderna in Europa*. Roma–Bari: Laterza.

Athanasius Kircher (1602–1680)

Erudito jesuita alemán, una de las figuras más polifacéticas del saber europeo del siglo XVII. Cultivó la teología, la filosofía natural, la filología oriental, la egiptología, la música, la óptica y las ciencias de la Tierra. En su obra *Mundus Subterraneus* (1665) desarrolló una concepción geodinámica global del planeta, basada en redes subterráneas de fuego, agua y aire, anticipando ideas sobre la interconexión de procesos volcánicos, sísmicos e hidrológicos. Aunque inscritas en el marco cosmológico y simbólico de su época, sus propuestas constituyen uno de los primeros intentos sistemáticos de interpretar el funcionamiento interno de la Tierra como un sistema dinámico.

Ruđer Josip Bošković (1711–1787)

Científico, filósofo natural y jesuita dalmata, considerado una de las figuras más originales de la ciencia ilustrada europea. Matemático, astrónomo, geodesta y teórico de la física, es conocido por su *Theoria philosophiae naturalis* (1758), donde propuso una teoría unificadora de la materia basada en fuerzas de atracción y repulsión, anticipando conceptos fundamentales de la física moderna. Realizó aportes relevantes a la geodesia, la astronomía y el estudio de la estructura de la Tierra, incluyendo observaciones sobre deformaciones de la corteza y problemas de estabilidad planetaria. Su pensamiento representa un puente entre la ciencia clásica y las concepciones dinámicas posteriores del mundo físico.



Ing. Humberto Álvarez Sánchez. Geólogo con más de cinco décadas de trayectoria profesional. Cartógrafo en los complejos metamórficos, ofiolíticos y sedimentario-vulcanógenos de Cuba occidental y central. Editor principal cubano del Informe Final de la Expedición Checoslovaquia–Cuba Escambray II. Autor y coautor de unidades del Léxico Estratigráfico de Cuba y miembro de sus subcomisiones del Jurásico, Cretácico y Paleógeno. Descubridor del mayor depósito cubano de fosforitas marinas. Ha dirigido y gestionado proyectos de exploración y evaluación minera en Cuba, Panamá, Perú, Uruguay y Brasil para compañías latinoamericanas, canadienses y estadounidenses, ocupando cargos ejecutivos y técnicos superiores. Fue miembro ad honorem de la Comisión del Plan Maestro de Minería de Panamá, integrante de una Misión Especial del BID y asociado del Consejo Científico de Geology Without Limits (Federación Rusa). Reside en Panamá y es colaborador de la Revista Maya de Geociencias, donde publica artículos científicos sobre geología, historia y epistemología de las ciencias de la Tierra.

Yuri Mijáilovich Pushcharóvsky: 1916-2018

El académico Yuri M. Pushcharóvsky y la geología de Cuba

Rafael Tenreyro Perez y Manuel Iturralde Vinent.

Yuri Mijáilovich Pushcharóvsky (Юрий Михайлович Пушчаровский) (1916 - 2018) fue un geólogo, profesor y miembro de las Academias de Ciencias de la URSS y de Rusia. Destacado experto en geología regional, tectónica teórica y geodinámica. Se especializó en el continente Euroasiático, la cuenca del Caribe y el océano Pacífico. Desde 1946 y durante más de 70 años, trabajó en el Instituto Geológico de la Academia de Ciencias de Moscú (GIN-AN). Fue autor y editor de mapas tectónicos de la URSS, Eurasia, el Ártico, el océano Pacífico, el norte de Eurasia, el Caribe y Cuba. Fue autor de más de quinientos artículos científicos, quince monografías y decenas de mapas. Yuri Mijáilovich continuó trabajando y publicando incluso en edad centenaria.

Nació el 18 de diciembre de 1916 en Petrogrado, pero la familia se trasladó a Tartaria, donde fue bautizado en la Catedral de Kazán. En 1924, la familia se mudó a Moscú donde residió por el resto de su vida. Entre 1936 y 1937 asistió a cursos nocturnos, mientras trabajaba como asistente de laboratorio en el Instituto Lomonósov de Geoquímica, Cristalografía y Mineralogía. En 1941 se gradúa de geólogo en la Universidad Estatal de Moscú "M. Lomonósov". Concluido su cuarto año de estudios estalló la guerra y fue llamado a filas, por cuya valentía fue condecorado y participó en el Desfile de la Victoria en la Plaza Roja de Moscú.

De regreso a la vida civil ingresa en el Instituto Geológico (GIN AN), donde trabajó más de setenta años. En marzo de 1950, defendió su tesis doctoral sobre el tema: "Estratigrafía y tectónica de la zona exterior de los



Cárpatos orientales". Desde 1953 es promovido al cargo de Investigador principal. En 1960 viajó a China para, coordinar el trabajo de compilación de un mapa tectónico de Eurasia (escala 1:5.000.000) y desde 1964 a la República Democrática de Vietnam. Desde 1965, y prácticamente sin interrupción durante casi treinta años, va a trabajar sobre temas de la geología cubana fundamentalmente en cartografía geológica y tectónica.

En 1975 es nombrado jefe del Laboratorio de Tectónica de los Océanos y Zonas Oceánicas en el Instituto de Geología. En esta categoría organizó una veintena de expediciones por los mares del mundo, con varios buques de investigaciones científicas, especialmente el buque "Vityaz", Como consecuencia es designado director científico del Programa Estatal Integrado "Océano Mundial". En 1976 recibió el título de profesor para la formación de estudiantes de posgrado y en 1984 el de Miembro correspondiente de la Academia de Ciencia. Desde 1999 fungió como asesor de la Academia de Ciencias de Rusia. Durante su larga vida creativa resultó condecorado con decenas de órdenes y medallas. Falleció el 3 de mayo de 2018 en Moscú.



Con su hijo Dmitri y su nieto Nikolái el “Día de la Victoria”, 9 de mayo de 2008.

Yuri Pushcharóvsky y Cuba

Desde los años cincuenta, Yuri Pushcharóvsky junto a otros muchos científicos jóvenes en el Instituto de Geología de la URSS, fueron decisivos en la proyección internacional del Instituto Geológico (GIN AN) de Moscú. Como responsable de la colaboración geológica de la academia de ciencias con Cuba, organizó la preparación de mapas geológicos y tectónicos, con la preparación de las academias de Polonia, Hungría, Bulgaria y en menor grado Rumanía. Este trabajo comenzó en 1965 con la generalización de las investigaciones previas sobre geología, tectónica y minerales útiles. En 1967 publicó un mapa tectónico de Cuba a escala 1:1 250 000 basado en la teoría geosinclinal¹ y el libro “Geología de los minerales útiles de Cuba”.^{2 3 4}



En paralelo el grupo de científicos soviéticos encabezados por Pushcharóvsky emprende un trabajo para sintetizar el

conocimiento previo sobre los recursos minerales de Cuba, con un énfasis especial en los yacimientos de cobre. La publicación resultante es un compendio de artículos sobre la tectónica y los recursos minerales especialmente los relacionados con las lateritas y los de cobre.⁵ A continuación, los científicos soviéticos y cubanos emprenden un proyecto conjunto para el estudio de la tectónica en la región del Mar Caribe.^{6 7}

En años sucesivos, la colaboración con la Academia de Ciencias de la URSS incluye la realización estancias estudio y trabajo de investigadores cubanos, incluida la formación de doctores.

Un resultado fundamental es la publicación de varias contribuciones como el “Antropoceno de Cuba” coordinado por I. P. Kartashov.⁸ También sobre la composición, antigüedad y estructura de las secuencias metamórficas de Cuba, por parte de Mark Somin y Guillermo Millán.⁹

Una tarea de extrema importancia, coordinada por Pushcharóvsky, fue la ejecución de la cartografía geológica a escala 1:250 000 de todo el país, por brigadas mixtas Polonia-Cuba Pinar del Río y Matanzas, Bulgaria-Cuba región central, Hungría-Cuba región Oriental, Cuba la provincia de La Habana, y la Isla de la Juventud y los macizos metamórficos URSS Cuba. Para la unificación final del mapa se consultaron representantes de los distintos grupos cartográficos (Borkowska, M., Adamóvich, A., J.F. de Albear, I. Boyánov, K. Breznsiansky, R. Cabrera, V. Chejóvich, B. Echevarría, F. Formell, G. Franco, G. Hámor, I. Haydótov, M.A. Iturralde, I. Kántchev, I. Kartachov, V. Kostadinov, G. Millán, R. Myszynski, E. Nagy, J. Oro, L.L. Peñalver, K. Piotrowska, J. Piotrowski, A. Pszczolkowsky, J. Rádocz, J., Rudnicki, J., Somin, M., Tchounnev, D y Velinov I.).¹⁰ La edición científica estuvo coordinada por Y.M. Pushcharóvsky, A. Mossakóvsky, G. Negrásov, y S. Sokolov. Finalmente en 1988 se publica el mapa geológico a escala 1:250 000 con un total de 24 hojas. La maqueta del mapa se presentó en el XXVII Congreso Mundial de Geología que se celebró en 1984 en Moscú, atrayendo mucha atención.¹¹

Como parte de la cartografía geológica de Cuba se elaboró un nuevo mapa tectónico a escala 1:500 000, bajo la edición de Y.M. Pushcharóvsky.¹² En la preparación de este mapa se aprovecharon los nuevos datos geológicos, geofísicos y de perforación obtenidos por instituciones del actual ministerio de Energía y Minas.¹³

La colaboración desinteresada de las academias de ciencias de la URSS, Bulgaria, Polonia y Hungría con la Academia de Ciencias de Cuba, dio un impulso trascendental a las investigaciones que contribuyeron a mejorar las bases para la prospección de minerales e hidrocarburos.

¹Pushcharóvsky, Y.M. y Puig-Rifá, M., 1966. Mapa tectónico de la República de Cuba, a escala 1: 1 250 000. Redactores principales A. Nunez Jiménez, A. L. Yanshin. Redactor D. I. Zhiv. Moscú. Dirección Estatal de Mapas Geológicos. 1966. Una hoja. Todo color. Comisión Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba, Academia de Ciencias de la URSS. (en español y en ruso)

²Knípper A. L., Korin I. Z., Lavérov N. P. Pushcharóvsky. 1966. Geólogos de la Academia de ciencias de la URSS en Cuba. Izv. AN SSR. Serie Geología. 1966. No 5. Pag 120 – 125 (en ruso)

³Pushcharóvsky, Y. M, Knípper, A. L y Puig-Rifá, M. (1967). Mapa Tectónico de Cuba a escala 1 : 1 250 000. Nota explicativa. Edit. Nauka, Moscú. 191 pag. (en ruso)

⁴Pushcharóvsky, Y. M., Knípper, A. L. y Puig-Rifá, M. 1967, “Mapa Tectónico de Cuba a escala 1:1 250 000. En el libro Geología y Minerales Útiles de Cuba. Ediciones Nauka, Moscú. Pag. 7 – 31 (en ruso); Pushcharóvsky Y. Proyecto 1968, “Mapa Tectónico de Cuba a escala 1: 250 000” Izv. AN SSSR. Serie Geología. 1968 No 7 pag. 138 – 139.; Pushcharóvsky, Y. Knípper, A., y Puig, M., 1967. Estructura tectónica de las montañas de la Sierra de los Órganos en la zona del pueblo de Viñales y situación en ella de los cuerpos de serpentinita. Revista de Geología Academia de Ciencias de Cuba, 1 Pag. 138-146.

⁵Pushcharóvsky Y.M., (Editor) 1967. Geología y recursos minerales de Cuba. Moscú, GIN AN URSS y Acad. Ciencias. Cuba, Editorial Nauka, 190 pp. (en ruso)

⁶Pushcharóvsky Y. M. Tectónica del Mar Caribe. (Mapa) escala 1:7 500 000 en el Atlas Nacional de Cuba. Habana. Ed. Academia de Ciencias de Cuba – Academia de Ciencias de la URSS. 1970 pag. 17.; Pushcharóvsky, Y.M., y de Albear, J.F., 1974. Mapa tectónico de la región del Caribe. En: Contribución a la Geología de Cuba, Publicación Especial Número 2, Instituto de Geología y Paleontología, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, pp. 3-8.

⁷Pushcharóvsky Y. M., Lomitze M.G., Ryabukhin A.G. Problemas de geodinámica de la región del Caribe. Revista “Geotektonika”. 1978 No. 1. Pag. 108 – 110 (en ruso); Pushcharóvsky Yu. M., Lomitze M.G., Ryabukhin A.G. (Eds.). 1979. Tectónica geodinámica de la región del Caribe. (Compendio de artículos). Moscú. Ed. Nauka 147 p.; Pushcharóvsky, Y.M., 1979. Problemas de la tectónica y la geodinámica de la región Caribe. En el libro: Tectónica y geodinámica de la región del Caribe. Moscú. Editorial Nauka. Pag. 7-13; Pushcharóvsky, Y.M., 1979. Evolución tectónica de la corteza terrestre y las fallas. En el libro: Tectónica y geodinámica de la región del Caribe, Editorial Nauka, Moscú, pp. 124-132. (en ruso)

⁸Pushcharóvsky Y. M., Kartashov I. P. Prologo. Sedimentación cuaternaria y la formación del relieve de Cuba. Moscú. Ed. Nauka, 1976. Pag. 3-4 (en ruso)

⁹Pushcharóvsky, Y.M., 1981 Somin M. L., Millán G. Geología de los complejos metamórficos de Cuba. Moscú. Ed. Nauka. 219 pag. (en ruso)

¹⁰Pushcharóvsky Y. M., Mossakóvsky A. A. Mapa geológico de Cuba. Vestn. AN SSR, 1986 No 10. Pag 113 – 119 (en ruso); Pushcharóvsky Y. M., Knípper A. L., Puig-Rifá. Geología de Cuba. Nota explicativa del mapa geológico de Cuba. Escala 1:250 000. Moscú. GIN AN URSS, Instituto de Geología y Paleontología de AC Cuba. 1989. 46 pag. (en ruso); Pushcharóvsky, Y. M., Mossakóvsky, A.A., Negrásov, G.E., Sokolov, S.D., Formell, F., Peñalver, L., 1990. Geología de Cuba. Nota explicativa al Mapa Geológico de Cuba, escala 1:250.000. Instituto Geológico de la Academia de Ciencias de la URSS e Instituto de Geología y Paleontología de la Academia de Ciencias de Cuba. 46 pp.

¹¹Pushcharóvsky, Y.M. (Editor) Borkowska, M., Hámor, G., Suárez, J., Velinov, I., Adamóvich, A., Albear (De), J.F, Boyánov, I., Breznsiansky, K., Cabrera, R., Chejovich, V., Echevarría, B., Formell, F., Franco, G., Haydoto, I., Iturralde, M., Kántchev, I., Kartachov, I., Kostadinov, V., Millán, G., Mossakóvsky, A., Myszynski, R., Nagy, E., Negrásov, G., Oro, J., Peñalver, L., Piotrowska, K., Piotrowski, J., Pszczolkowsky, A., Rádocz, J., Rudnicki, J., Sokolov, S., Somin, M., Tchounnev, D. (1988). Mapa Geológico de Cuba a escala 1: 250 000. Instituto de Geología y Paleontología. Impreso en la Cart Fábrica del Instituto de Investigaciones Geológicas de la URSS “A. P. Karpinski” (VSEGI), Leningrado.

¹²Pushcharóvsky Y, M. Redactor. Mapa tectónico de Cuba Escala 1:500 000/ Moscú. Dirección Estatal de Mapas Tectónicos del Consejo de Ministros de la URSS. 1989. Academia de Ciencias de Cuba y la URSS. 1989. 4 hojas

¹³Pushcharóvsky, Y.M., (Editor) Mossakóvsky A. A. Negrásov, G.E., Sokolov, S.D., Suárez, J., Formell, F., Cabrera, R., Iturralde, M., Flores, R., Oro, J., Morales, A., Pantaleón, G., Pérez. L., Boyánov, I., Haydótov, I., Kostadinov, V., Kántchev, I., Chúnev, D., Pszczolkowski, A. y Breznsnyansky, K., 1988. Nuevo mapa tectónico de Cuba. Boletín MOIP. Sección Geología T. 63, No 2, Pag 142-143; Pushcharóvsky Y.M., Mossakóvsky A.A., Negrásov G.E., Sokolov S.D., Flores R., Formell F., Cabrera R. Problemas de la Geodinámica de Cuba. Geología Geology’89- Primer Congreso Cubano de Geología. Resúmenes. La Habana, 1989, p.108-109.



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



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

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

OBITUARIOS

Sergio A. Trelles Monge



En el ámbito profesional, fue geólogo consultor durante 30 años y además, ocupó los puestos de Director General, Asistente del Director General, Director de operaciones, Staff Manager, Director de Exploración y Socio de diversas empresas mineras. Dentro del sector público, de 1998 a 2005, fue Director de Geología y encargado del despacho de la Dirección General de Minería del gobierno del Estado de Sonora. De 2008 a 2013, se desempeñó como Subdirector de Recursos Minerales del Servicio Geológico Mexicano.

En el ámbito gremial, como socio de la Asociación de Ings. de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, AC., en el Distrito Sonora fue Secretario del Consejo Directivo local, y en el Consejo Directivo Nacional, fue Secretario y Tesorero, llegando a ocupar la Presidencia del CDN en 2010-2012. De 2013-2015, fue Presidente del Consejo Directivo Nacional del Colegio de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, AC.

Fue Geólogo Certificado No. 10304, por la American Institute of Professional Geologists, desde 2005. Fue Miembro Registrado No. 4175671 de SME Society for Mining, Metallurgical And Exploration, desde 2012. Impartió mas de 13 conferencias en varios foros. Fue miembro del comité organizador en mas de 8 seminarios, eventos y diplomados dentro del sector minero. Participó como miembro de Grupo de Trabajo para varias Normas Oficiales Mexicanas.

David Arthur Giles Campbell



El Ingeniero David Arthur Giles Campbell fue un destacado geólogo de origen inglés, que dedicó más de cinco décadas al sector minero mexicano. Desempeñó roles clave en empresas como Fresnillo plc e Industrias Peñoles, liderando equipos de exploración responsables de importantes descubrimientos de yacimientos minerales que hoy son minas en operación, como Noche Buena en Sonora; Saucito, Juanicipio y Madero en Zacatecas; San Julián y Orysivo en Chihuahua; y la reactivación de la exploración de Capela en Guerrero. Su inesperado fallecimiento el pasado 10 de enero de 2025, dejó un profundo pesar en la comunidad minera mexicana, que recuerda su compromiso, liderazgo y pasión por la geología.

A lo largo de su carrera, recibió múltiples reconocimientos, entre ellos: El Premio Nacional de Geología, otorgado por la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México en 2015; El premio Ostotakani otorgado por Mundo Minero en 2014; El “Premio al Explorador Distinguido” de la Asociación de Prospectores y Desarrolladores de Canadá (PDAC) por su liderazgo en los equipos de exploración de Peñoles y Fresnillo plc.

En años recientes, fungió como Vicepresidente de Exploración de Fresnillo plc y, tras la reestructuración organizacional de Industrias Peñoles, asumió el cargo de Director de Exploración de la nueva unidad de servicios Baluarte Minero.

Además de su labor en el sector privado, Giles colaboró con instituciones académicas, como la Universidad Complutense de Madrid, y participó en numerosos eventos de la industria, incluyendo la Convención Geológica Nacional 2019, donde fungió como Vicepresidente del Comité Organizador.

Miscelanea de Imágenes



The Gobi Desert measures 1,600 km (1,000 mi) from southwest to northeast and 800 km (500 mi) from north to south. The desert is widest in the west, along the line joining the Lake Bosten and the Lop Nor (87°–89° east). Its area is approximately 1,295,000 square kilometres (500,000 sq mi). Gobi includes the long stretch of desert extending from the foot of the Pamirs (77° east) to the Greater Khingan Mountains, 116–118° east, on the border of Manchuria; and from the foothills of the Altay, Sayan, and Yablonoi mountain ranges on the north to the Kunlun, Altyn-Tagh, and Qilian mountain ranges, which form the northern edges of the Tibetan Plateau, on the south. A relatively large area on the east side of the Greater Khingan range, between the upper waters of the Songhua (Sungari) and the upper waters of the Liao-ho, is reckoned to belong to the Gobi by conventional usage. Some geographers and ecologists prefer to regard the western area of the Gobi region (as defined above): the basin of the Tarim in Xinjiang and the desert basin of Lop Nor and Hami (Kumul), as forming a separate and independent desert, called the Taklamakan Desert. Much of the Gobi is not sandy, instead resembling exposed bare rock.

https://en.wikipedia.org/wiki/Gobi_Desert



The Arabian Desert (Arabic is a vast desert wilderness in West Asia that occupies almost the entire Arabian Peninsula with an area of 2,330,000 square kilometers (900,000 sq mi). It stretches from Yemen to the Persian Gulf and Oman to Jordan and Iraq. It is the fourth largest desert in the world and the largest in Asia. At its center is Ar-Rub al-Khali (The Empty Quarter), one of the largest continuous bodies of sand in the world. It is an extension of the Sahara Desert. The desert lies mostly in Saudi Arabia and covers most of the country. It extends into neighboring southern Iraq, southern Jordan, central Qatar, most of the Abu Dhabi emirate in the United Arab Emirates, western Oman, and northeastern Yemen. The ecoregion also includes most of the Sinai Peninsula in Egypt and the adjacent Negev desert in southern Israel. The Rub al-Khali desert is a sedimentary basin stretching along a south-west to north-east axis across the Arabian Shelf. At an altitude of 1,000 metres (3,300 ft), rock landscapes yield to the Rub' al-Khali, a vast stretch of sand whose extreme southern point crosses the center of Yemen. The sand overlies gravel or gypsum plains and the dunes reach maximum heights of up to 250 m (820 ft). The sands are predominantly silicates, composed of 80 to 90% quartz and the remainder feldspar, whose iron oxide-coated grains color the sands orange, purple, and red. A corridor of sandy terrain known as the Ad-Dahna desert connects the An-Nafud desert (65,000 km² or 40,389 square miles) in the north of Saudi Arabia to the Rub' al-Khali in the south-east.[citation needed] The Tuwaiq escarpment is an 800 km (500 mi) arc that includes limestone cliffs, plateaus, and canyons. There are brackish salt flats, including the quicksands of Umm al Samim. The Sharqiya Sands, formerly known as Wahiba Sands of Oman are an isolated sand sea bordering the east coast.

https://en.wikipedia.org/wiki/Arabian_Desert



The Atacama Desert is a desert plateau located on the Pacific coast of South America, in the north of Chile. Stretching over a 1,600-kilometre-long (1,000-mile) strip of land west of the Andes Mountains, it covers an area of 105,000 km² (41,000 mi²), which increases to 128,000 km² (49,000 mi²) if the barren lower slopes of the Andes are included. The Atacama Desert is the driest nonpolar desert in the world, and the second driest overall, behind some specific spots within the McMurdo Dry Valleys. It is the only true desert to receive less precipitation than polar deserts, and the largest fog desert in the world. The area has been used as an experimentation site for Mars expedition simulations due to its similarities to the Martian environment. The constant temperature inversion caused by the cool north-flowing Humboldt ocean current and the strong Pacific anticyclone contribute to the extreme aridity of the desert. The most arid region of the Atacama Desert is situated between two mountain chains, the Andes and the Chilean Coast Range, which are high enough to prevent moisture advection from either the Pacific or the Atlantic Ocean, creating a two-sided rain shadow effect. These same geographic conditions moderate airflows to produce consistently mild temperatures throughout the desert, with only a few periods of freezing temperatures in winter or very warm days during summer.

https://en.wikipedia.org/wiki/Atacama_Desert



The Sahara (/sə'hɑːrə/, /sə'hɛrə/) is a desert spanning across North Africa. With an area of 9,200,000 square kilometres (3,600,000 sq mi), it is the largest hot desert in the world and the third-largest desert overall, smaller only than the deserts of Antarctica and the northern Arctic. The name "Sahara" is derived from Arabic: سَاحَرَا, romanized: ṣaḥārā /sˤaħaːraː/, a broken plural form of ṣaḥrā' (سَاحْرَا) /sˤaħraːʔ/, meaning "desert". The desert covers much of North Africa, excluding the fertile region on the Mediterranean Sea coast, the Atlas Mountains of the Maghreb, and the Nile Valley in Egypt and the Sudan. It stretches from the Red Sea in the east and the Mediterranean in the north to the Atlantic Ocean in the west, where the landscape gradually changes from desert to coastal plains. To the south it is bounded by the Sahel, a belt of semi-arid tropical savanna around the Niger River valley and the Sudan region of sub-Saharan Africa. The Sahara can be divided into several regions, including the western Sahara, the central Ahaggar Mountains, the Tibesti Mountains, the Aïr Mountains, the Ténéré desert, and the Libyan Desert. For several hundred thousand years, the Sahara has alternated between desert and savanna grassland in a 20,000-year cycle[9] caused by the precession of Earth's axis (about 26,000 years) as it rotates around the Sun, which changes the location of the North African monsoon. The Sahara covers large parts of Algeria, Chad, Egypt, Libya, Mali, Mauritania, Niger, Western Sahara and Sudan, and parts of southern Morocco and Tunisia. It covers 9 million square kilometres (3,500,000 sq mi), 31% of the African continent.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Sahara>

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Elizabeth Meneses Climent y Godofredo de Jesús Rojas Mata.

Análisis geoespacial de los usos de la tierra y estados de los cultivos mediante Google Earth Engine para el ordenamiento territorial y la sostenibilidad agrícola en la zona norte de Cartago.

Universidad Nacional Costa Rica.

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Geográficas con énfasis en Ordenamiento del Territorio. Julio, 2025.

Sustentantes: **Elizabeth Meneses Climent y Godofredo de Jesús Rojas Mata.**

Director de Tesis: *M.Sc. Marvin Alfaro Sánchez*

Resumen

El acelerado desarrollo de los sectores urbanos en la parte norte de la provincia de Cartago, Costa Rica, está afectando considerablemente las tierras agrarias productivas. La ausencia de una planificación adecuada en el crecimiento urbano ha resultado en la transformación de terrenos fértiles en espacios destinados a residencias y negocios, lo que ha reducido la superficie destinada a la producción alimentaria. Esta situación representa un riesgo no solo para la seguridad alimentaria de la zona, sino también para la sustentabilidad del sector agrícola. Adicionalmente, la escasez de información actualizada respecto a la condición de los cultivos y el manejo del suelo limita la habilidad de los administradores territoriales para hacer elecciones fundamentadas.

El empleo de tecnologías geoespaciales avanzadas, como Google Earth Engine (GEE), ayudará a monitorizar la cobertura del suelo y la salud de los cultivos. Considerando que la agricultura es un aspecto fundamental de la economía de Costa Rica, particularmente, la provincia de Cartago se destaca como una de las principales regiones agrícolas donde es vital preservar los suelos para prevenir su conversión en zonas urbanas. La investigación pone de manifiesto que el uso de herramientas como el NDVI, así como la clasificación supervisada y no supervisada de imágenes satelitales, junto con el análisis a lo largo del tiempo y en múltiples escalas permite identificar con precisión las áreas de conflicto y sugerir enfoques más sostenibles para la gestión del territorio.

La metodología empleada combina el análisis de imágenes satelitales de Sentinel-2 mediante GEE y se complementa con verificaciones en el campo usando un receptor GPS con una precisión de 1,5 metros en tiempo real utilizando su antena integrada. Se crearon algoritmos en JavaScript para evaluar el NDVI y llevar a cabo clasificaciones vinculadas a la cobertura del suelo, lo que permite obtener un análisis exhaustivo y actualizado sobre la cobertura del terreno y las dinámicas agrícolas. La adopción de un método que considera diversas temporalidades y escalas permitió identificar alteraciones prolongadas y fluctuaciones a nivel local. Del mismo modo, se llevó a cabo una recolección de datos de forma ordenada

en el terreno para corroborar los resultados con el fin de garantizar la exactitud de los mapas creados y mejorar la utilidad de la información geoespacial.

El fin de la investigación fue generar insumos técnicos y científicos que apoyen la planificación territorial orientada a la sostenibilidad agrícola. Los resultados evidencian una pérdida progresiva de cobertura agrícola debido a la expansión urbana no planificada, especialmente, en distritos como Tierra Blanca, Pacayas y Cot donde se detectó una marcada fragmentación del paisaje productivo. Las clasificaciones supervisadas y no supervisadas confirmaron patrones de sustitución de la cobertura del suelo y el análisis espacial identificó núcleos urbanos como focos de presión sobre tierras agrícolas clave. Así mismo, el uso de tecnologías geoespaciales, como GEE y el NDVI, proporciona información estratégica tanto para la toma de decisiones como para el fortalecimiento de la gestión territorial sostenible en la región.

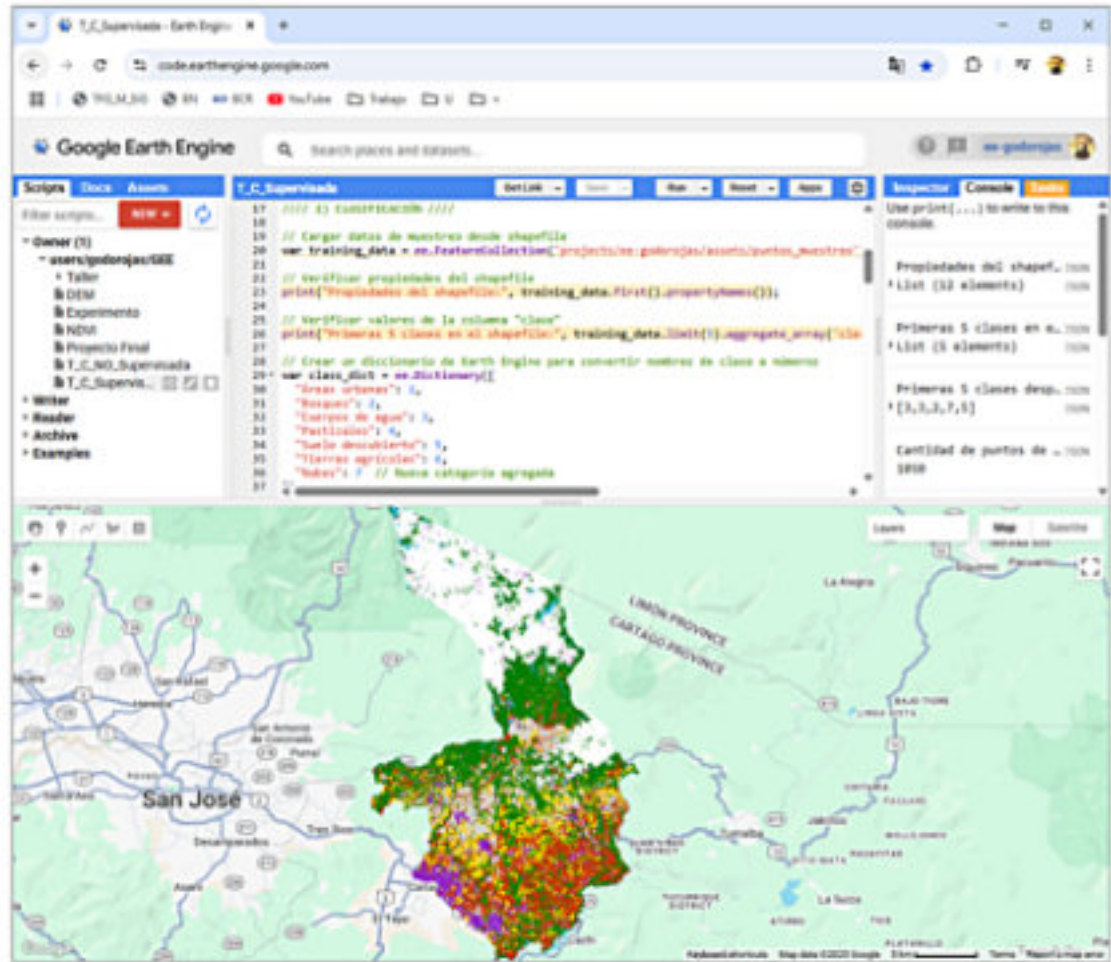


Figura 1.1. Clasificación supervisada para la zona de estudio.

Uso de inteligencia artificial para la caracterización de una secuencia sísmica en la parte sur del Sistema de Fallas San Clemente.

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: **Juan Jose Martinez Ceseña.**

Director de Tesis: Dr. Héctor González Huizar.

Resumen

La sismicidad en el noroeste de México está dominada por la interacción entre la placa Norteamericana y la placa del Pacífico, lo que resulta en una actividad sísmica continua en el estado de Baja California. El 22 de noviembre de 2022, un terremoto de magnitud M_w 6.1 ocurrió en las costas del Pacífico, cerca de la ciudad de San Quintín. Este evento se asoció con la falla de San Isidro, ubicada en la parte sur del Sistema de Fallas de San Clemente. Históricamente, solo se ha registrado un terremoto de magnitud mayor a 6 en esta zona, ocurrido en 1954. El terremoto de 2022 generó una importante secuencia de réplicas, la cual no había sido completamente caracterizada debido a la baja cobertura de estaciones sísmicas en la zona. Para estudiar este problema, se aplicaron técnicas de inteligencia artificial, que han demostrado ser eficaces, e incluso superiores en algunos casos, a los métodos tradicionales para la identificación de fases sísmicas. Este trabajo utilizó técnicas de detección avanzadas para construir un catálogo detallado de la secuencia sísmica ocurrida entre 2022 y 2023, con el objetivo de mejorar la comprensión de las fallas activas y de la sismicidad en la región. Se aplicaron herramientas como Earthquake Transformer y PhaseNet, Seisbench, PyOcto y NonLinLoc para la identificación de fases sísmicas, la asociación de eventos y la relocalización de las fuentes sísmicas. Se emplearon tres modelos de picking basados en aprendizaje profundo (Earthquake Transformer, PhaseNet y PhaseNet-STEAD), cuyos resultados se asociaron con PyOcto y posteriormente localizados con el programa NonLinLoc. A partir de esta metodología se obtuvieron los catálogos EQT y PHN, que registran hasta un 420% más eventos que el catálogo de la RESNOM elaborado con métodos tradicionales. Los nuevos catálogos muestran una reducción clara en la magnitud de completitud y permiten identificar más claramente patrones de réplicas sobre fallas diferentes a la falla principal aparente (réplicas off-fault). Aunque la principal limitación corresponde a la resolución en profundidad, condicionada por el modelo de velocidades 1D y la disposición de la red instrumental, los resultados demuestran que las herramientas de inteligencia artificial son una alternativa eficaz para mejorar la detección, asociación y localización de sismos en regiones con baja densidad de estaciones.

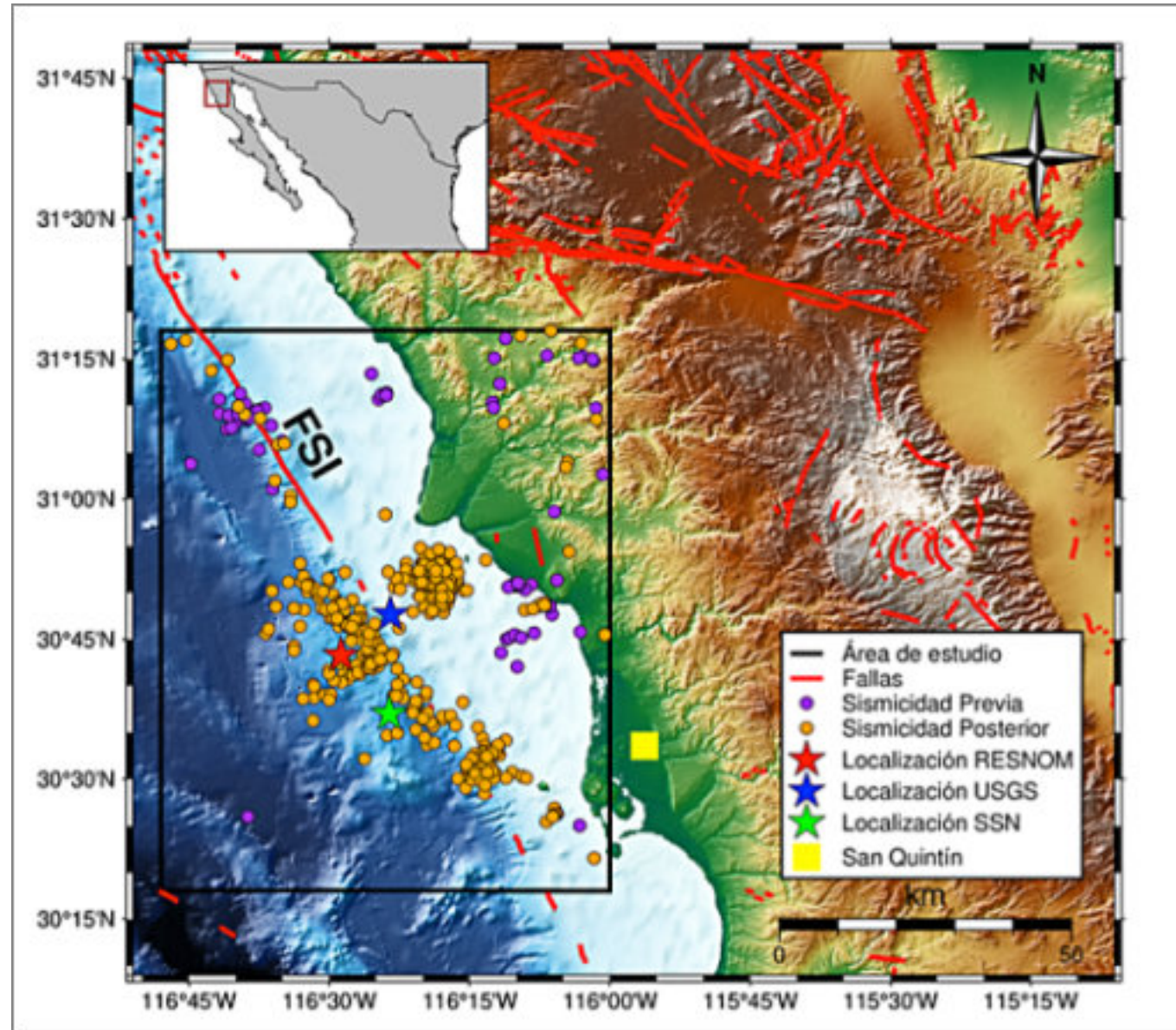


Figura 1.1. Mapa de sismicidad registrada por RESNOM en el área de estudio (rectángulo negro, limitado por las coordenadas: -116.8, 30.3 y -116, 31.3) de 2021 a diciembre de 2023. La sismicidad previa al sismo M_w 6.1 de noviembre de 2022 se representa en círculos color púrpura y la sismicidad posterior en color naranja. Las estrellas de colores representan la localización del epicentro para el sismo principal. El cuadrado amarillo representa la ubicación de la ciudad de San Quintín. Se observa que previo al sismo de noviembre de 2022 hay muy poca actividad sísmica registrada. Las fallas se tomaron de RESNOM así como el catálogo de sismos. Todos los mapas presentados en este trabajo se realizaron con PyGMT (<https://www.pygmt.org/latest/>).

DEFORMACIÓN TECTÓNICA ASOCIADA A GRANDES TERREMOTOS EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC

Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis que para optar por el grado de: Doctor En Ciencias de la Tierra. Septiembre, 2025.

Sustentante: **Diego Armando Aguilar Anaya.**

Director de Tesis: *Carlos A.Q. Mortera Gutiérrez.*

Resumen

La generación de terremotos puede provocar tsunamis al deformar rápidamente el fondo marino o desencadenar fallas de taludes submarinos. El sismo intraplaca ocurrido en el Golfo de Tehuantepec el 8 de septiembre de 2017, generó un tsunami que no coincidió con las alturas y distribuciones de runup de tsunami pronosticadas, lo que indicó una posible falla de talud adicional. Una expedición oceanográfica, TEHUANTEPEC19, se llevó a cabo entre mayo y junio de 2019, a bordo del buque El Puma, durante la cual se recopilaron y analizaron datos batimétricos, magnéticos y sísmicos de alta resolución junto con datos sísmicos multicanal preexistentes. Los resultados documentan una amplia gama de procesos de erosión-deposición en la región, incluidos deslizamientos de tierra submarinos. Sin embargo, los depósitos de deslizamiento cartografiados ya están muy sobreimpresos por la formación de gullies y canales, lo que descarta que el deslizamiento submarino influyera en el reciente tsunami tras el terremoto de Tehuantepec de 2017. También se documentó a través de secciones sísmicas someras, la ocurrencia de contouritas y la migración de fluidos. Otros procesos geológicos, como la subsidencia y extensión de la plataforma continental, el gran número de fallas, la subducción de la dorsal de Tehuantepec y el acoplamiento tectónico entre CO y NA, sugieren que la plataforma de Tehuantepec está dominada por el proceso de erosión por subducción. Este proceso puede haber deformado la plataforma continental de forma más compleja de lo que se supone en el modelo de tsunami derivado de terremotos, lo que explica el desajuste entre los tsunamis modelados y los observados, así como los clusters de sismicidad reportados por el SSN. Estos hallazgos indican 1) que los tsunamis inducidos por fallas de talud pueden desempeñar un papel en las costas de América Central, pero este no fue el caso del terremoto del Golfo de Tehuantepec de 2017.2) La erosión por subducción como agente generadora de deformación cortical y 3) a manera de hipótesis, se sugiere la existencia de un terreno tectonoestraigráfico como parte de la plataforma del GT, delimitado por fallas transformantes inferidas mediante anomalías magnéticas y planos de falla de mecanismos focales.

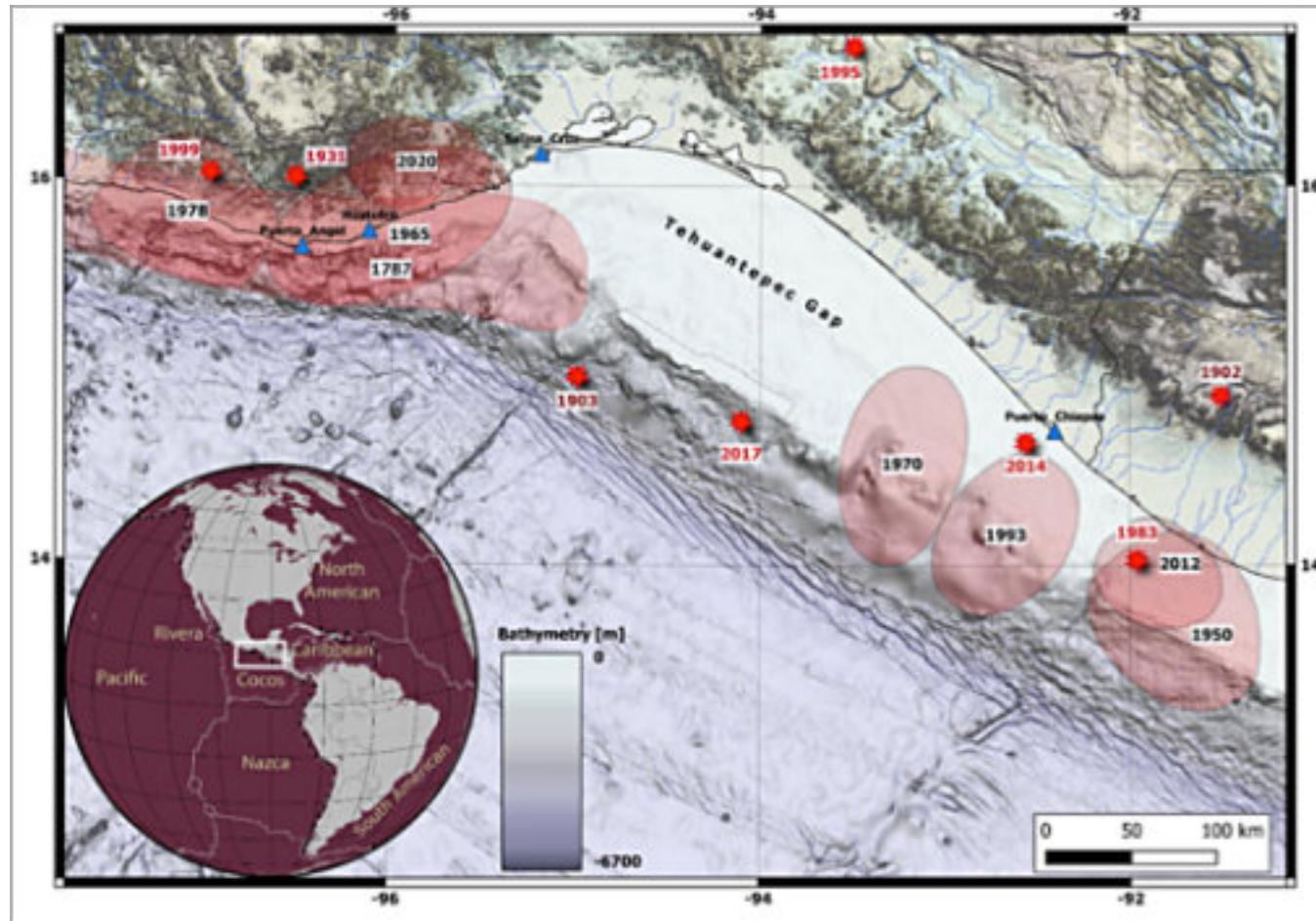


Figura 1.1. Sismicidad en el Golfo de Tehuantepec. El mapa muestra los epicentros de los principales terremotos ocurridos en el GT y el relieve del fondo marino obtenido de las expediciones marinas de batimetría en el sur de México y el margen del Pacífico de Guatemala. Los óvalos en rosa son las zonas históricas de ruptura de los terremotos interplaca. Las estrellas rojas muestran las ubicaciones de los terremotos intraplaca. Los triángulos en azul son las estaciones de mareas de la red SMN mexicana (PTAN: Puerto Ángel; HUAT: Huatulco; SACZ: Salina Cruz; PTCH: Puerto Chiapas). Las líneas azules en la zona del continente marcan el drenaje fluvial en la llanura costera

Inversión 3D de datos magnetotelúricos marinos en la Cuenca de Wagner.

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

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

Sustentante: **Thalia Anaid Avilés Esquivel.**

Director de Tesis: *Dr. José Manuel Romo Jones.*

Resumen

El Rift del Golfo de California (RGC) representa un límite transicional entre las placas de Norteamérica y el Pacífico, conectando la ruptura continental a lo largo del sistema de la Falla de San Andrés con los centros de dispersión oceánica de la dorsal del Pacífico oriental. Este estudio se centra en el norte del RGC, donde las cuencas pull-apart como Wagner y Consag se superponen a un basamento que se sospecha que es una corteza transicional compuesta de material continental adelgazado, sedimentos y cuerpos intrusivos. La rápida sedimentación del río Colorado, combinada con procesos térmicos y magmáticos han influenciado la evolución de la corteza en esta región, retardando potencialmente el inicio de la ruptura continental. Presentamos los primeros modelos de inversión 3-D de datos magnetotelúricos (MT) marinos en México. Analizando 13 sitios de observación a lo largo de dos perfiles, que abarcan un área de 100 x 120 km². Registramos campo electromagnético a periodos de 2 a 5000 s por 18 días. En el modelo de resistividad resultante destacan dos anomalías conductivas prominentes asociadas al proceso de la corteza. Una zona conductora somera (<6 km de profundidad) está probablemente relacionada con la infiltración de agua de mar en fallas y en estructuras sedimentarias. Una anomalía profunda (3-5 Ωm) entre 10 y 20 km de profundidad localizada al sur de la Cuenca Wagner y al noreste de la cuenca Consag. Esta anomalía se relaciona con la presencia de fluidos salinos en la corteza que posiblemente provienen de un proceso de serpentinización en la parte superior del manto. Esta anomalía se suma a otras observaciones geofísicas, incluyendo anomalías en las velocidades sísmicas de la zona, distribución de sismos, así como anomalías de gravedad, y respalda la hipótesis de una modificación continua de la corteza a través del magmatismo y la sedimentación. Aunque nuevos algoritmos de inversión podrían mejorar la resolución a mayores profundidades (> 20 km), las pruebas de sensibilidad comprueban la robustez de los hallazgos. Los resultados de la distribución de la resistividad debajo de 10 km apoyan la hipótesis de una corteza transicional en el norte del RGC.

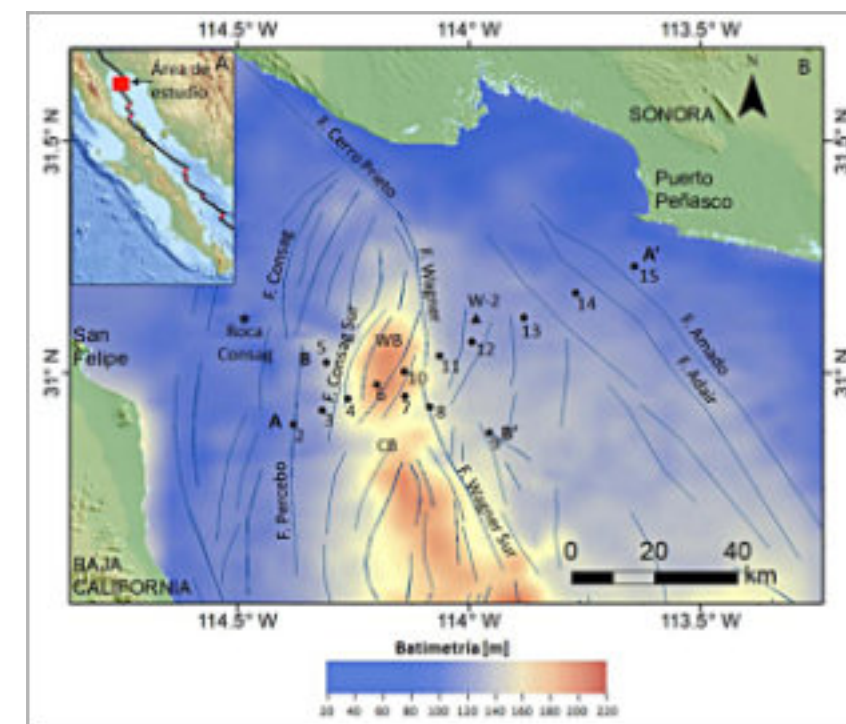


Figura 1.1. A) Configuración tectónica regional del Golfo de California. B) Batimetría del norte del Golfo de California. Líneas azules indican las fallas inferidas por datos sísmica de reflexión (González-Escobar et al. 2009; 2010; 2025; Martín-Barajas et al., 2013). Las fallas principales son Falla Adair, Falla Amado, Falla Cerro Prieto, Falla Wagner, Falla Wagner Sur, Falla Consag, Falla Consag Sur, y Falla Percebo. Los puntos negros indican la localización de los sondeos MT. El triángulo en negro señala el pozo W-2 perforado por PEMEX (Helenes et al., 2009). La batimetría fue tomada de Smith y Sandwell (1997).

Tres tesis de Maestría recomendadas, que contribuyen al conocimiento del subsuelo en cuanto a materia Geológico-Petrolera se refiere. Muy pronto se podrán consultar en:
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/144>



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD TICOMÁN
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
UNIDAD TICOMÁN

**“Evaluación geológica de las rocas con
calidad de yacimiento petrolero, asociadas a
estructuras salinas en el Golfo de México”**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

JORGE CUAUHTÉMOC HERNÁNDEZ SÁNCHEZ
Director: M. en C. Luis Angel Valencia Flores
Codirector: M. en C. José Aurelio España Pinto



Ciudad de México a 27 de octubre del 2025.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD TICOMÁN
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Caracterización geológica de las secuencias
areno-arcillosas con potencial petrolero en el
Golfo de México”.**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOCIENCIAS Y ADMINISTRACIÓN DE LOS
RECURSOS NATURALES

PRESENTA:
ING. SAUL HUMBERTO RICARDEZ MEDINA
DIRECTOR DE TESIS:
M. EN C. LUIS ÁNGEL VALENCIA FLORES



Ciudad de México, México
Noviembre, 2025.



CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL AZUFRE EN UN AMBIENTE KÁRSTICO, SIERRA DE MANANTLÁN, COLIMA, MÉXICO

Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis que para optar por el grado de: Doctor En Ciencias de la Tierra. Septiembre, 2025.

Sustentante: **Ofelia Pérez Arvizu.**

Director de Tesis: *Dr. Juan Pablo Bernal Uruchurtu.*

Resumen

Los isótopos estables de azufre se han utilizado como trazadores de los ciclos biogeoquímicos ya que, en ausencia de procesos de fraccionamiento isotópico significativo, pueden aportar información de las distintas fuentes. En particular, la concentración y composición isotópica de azufre han sido utilizados como indicadores de actividad volcánica pasada registrada en estalagmitas (Wynn, et al., 2012). Sin embargo, con la finalidad de poder interpretar correctamente la posible variabilidad en la composición isotópica del azufre, es necesario tener una comprensión clara del ciclo biogeoquímico del azufre en ambientes kársticos, que permita identificar la contribución de los distintos reservorios al agua de goteo espeleogenética.

El ciclo biogeoquímico del azufre involucra el intercambio de grandes cantidades de este elemento entre sus diferentes reservorios: antropogénico, volcánico, marino y litogénico. Se han identificado tres componentes clave de modificación de la concentración e isotopía del azufre atmosférico al agua de goteo: 1) vegetación y el ciclo del suelo 2) el grado de mezclado hidrológico entre las diferentes fuentes de azufre de diferente composición 3) las condiciones óxido –reductiva de la matriz y el transporte (Wynn, et al., 2012).

La transformación de la concentración y los valores isotópicos del azufre proveniente de la atmósfera depositado en el suelo y posteriormente trasladados al agua de goteo de la cueva depende de la dinámica del ecosistema arriba de la cueva, algunos factores que pueden causar variaciones en la composición química del azufre son: patrones controlados por la temperatura, patrones dominados por el flujo y patrones dominados por la cristalización (Fairchild, 2006^a) (Fairchild & Treble, 2009).

Este trabajo presenta un estudio de los principales factores que pueden modificar la concentración e isotopía del azufre en el agua de goteo en un ambiente kárstico utilizando la cuenca de la Sierra de Manantlán como localidad tipo, y el goteo en la cueva de los monos, dentro de la misma cuenca, como integrador de los diversos procesos en esta zona incluyendo los principales aportes de azufre (biogénicos, antropogénicos y naturales), por lo tanto, abordamos de manera específica el registro de la dinámica del azufre en matrices de suelo, hojas, cenizas, rocas, agua de lluvia y como éste se transforma para incorporarse al agua de goteo de la cueva. El trabajo está dividido en tres etapas principales: 1) el desarrollo de las metodologías analíticas ultrasensibles para la medición de la concentración e isotopía del azufre por espectrometría de masas 2) Caracterización isotópica de los distintos reservorios de S con aportes significativos a la zona de estudio, 3) Comprensión de los procesos del ciclo biogeoquímico en el epikarst sobre la cueva que pueden modificar los valores atmosféricos precursores de la concentración e isotopía del azufre antes de incorporarse al agua de goteo.

LIBRO RECOMENDADO

<https://geomuseu.ist.utl.pt/SEMINAR2012/Livros/EngenhariaGeologica.pdf>

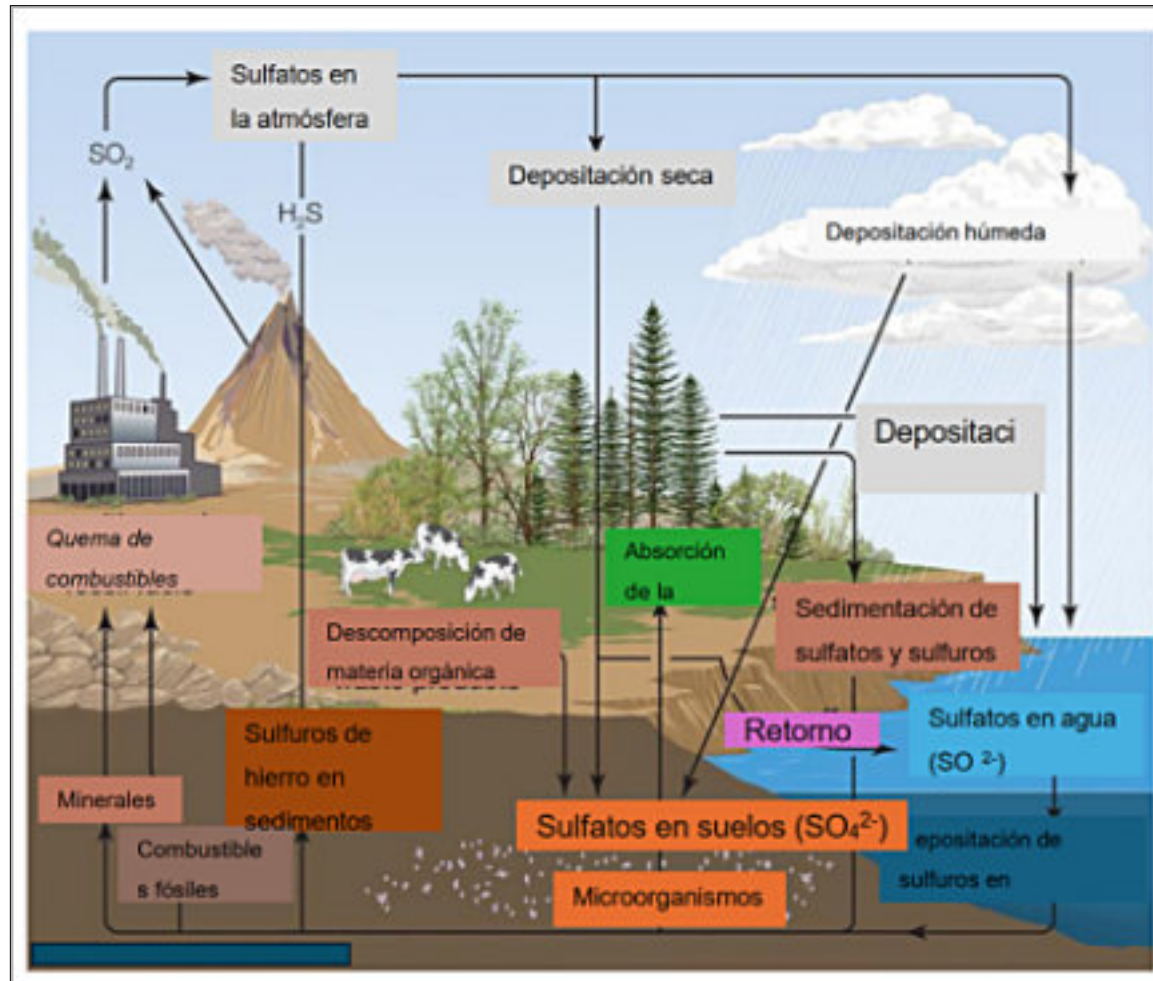


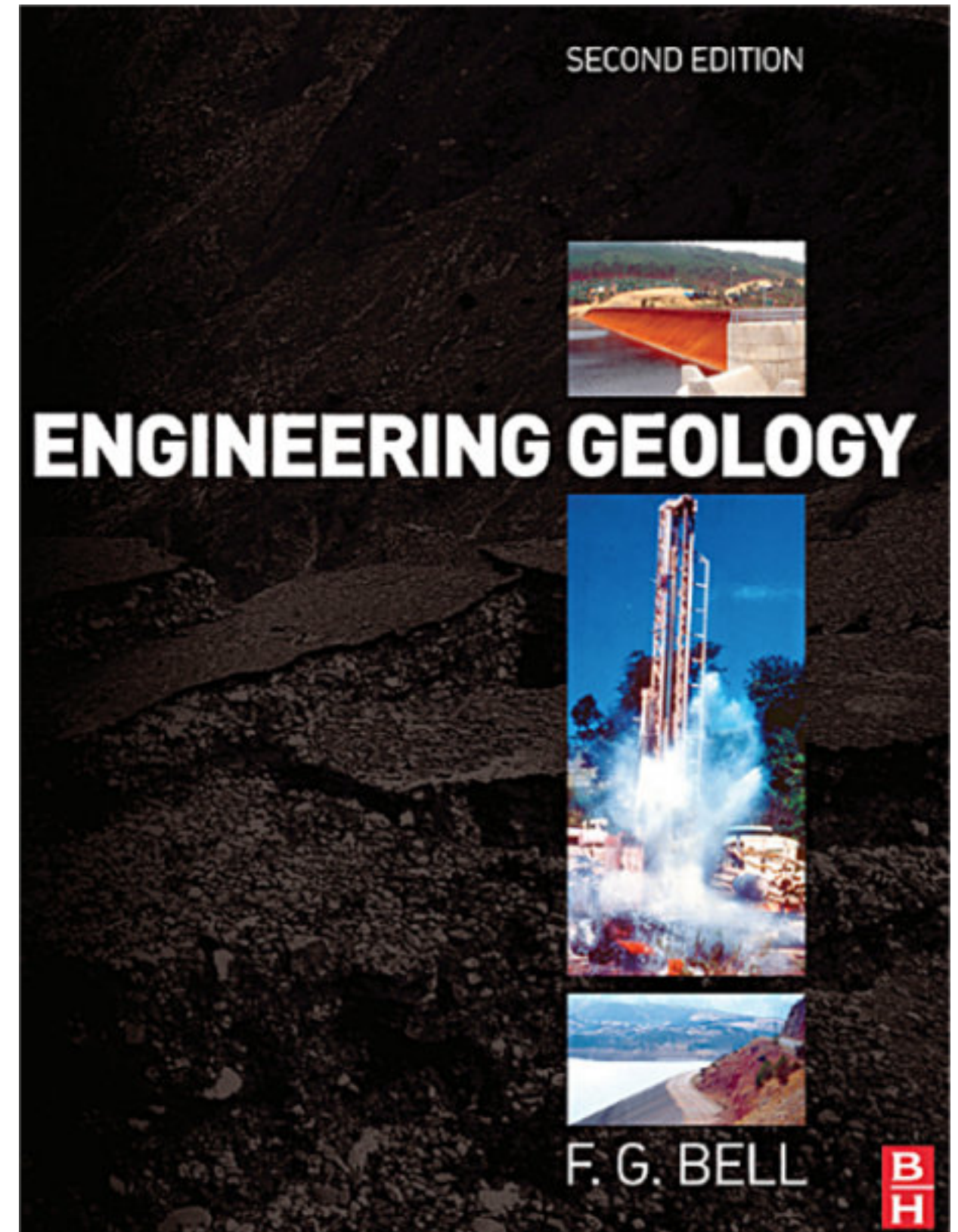
Figura 1.1. Ciclo biogeoquímico del azufre. Principales fuentes de azufre. Modificado de Britannica. The Editors of Encyclopaedia. "sulfur cycle". Encyclopedia Britannica, 3 oct. 2022.



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



El libro recomendado

<https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>



PRACTICAL ROCK ENGINEERING

Evert Hoek



El libro recomendado

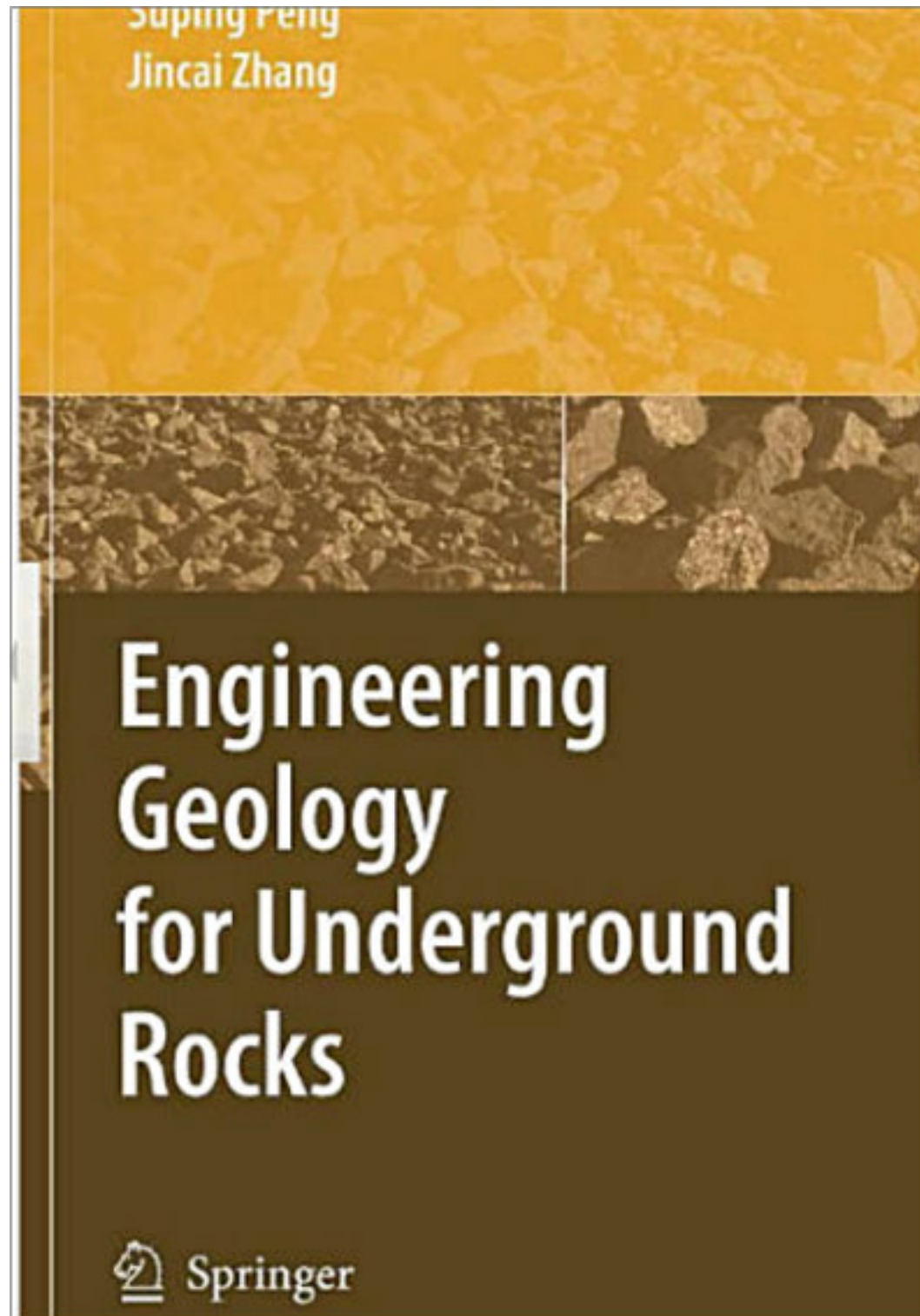
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/19996>

Esperando sea de su interés, compartimos con ustedes un material de gran utilidad en nuestra área. El nuevo libro publicado de la autoría del Dr. Carlos Eduardo Garza González Vélez, titulado "Lecciones de Cristalografía".



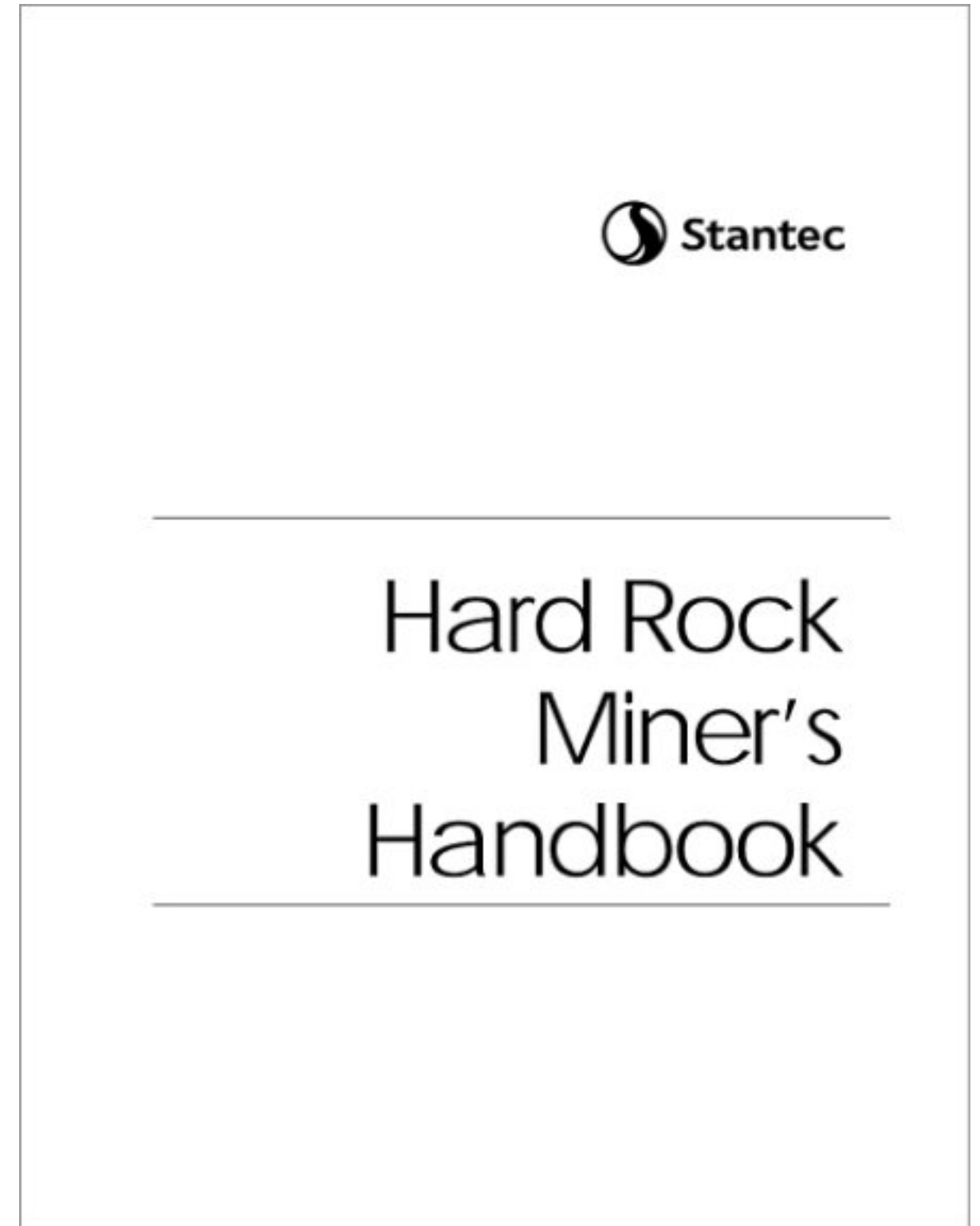
El libro recomendado

<https://kwkhaing.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/12/engineering-geology-for-underground-rocks-s-peng-j-zhang-springer-2007-bbs.pdf>



El libro recomendado

https://www.stantec.com/content/dam/stantec/files/PDFAssets/2014/Hard%20Rock%20Miner%27s%20Handbook%20Edition%205_3.pdf



Sostenibilidad en la transición energética. Retos de la red eléctrica.

Natalia Silva Cruz

Colaboradora de la Revista

Desde hace varios años se hizo evidente que la generación eléctrica sería la industria para la cual sería más rápido, sencillo, y comercialmente viable la descarbonización. Tanto caló ese mensaje, que en algún momento el camino se convirtió en: hacemos la electricidad limpia y luego electrificamos todo. Históricamente, antes de 2020, la generación eléctrica era responsable de cerca del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y los sustitutos de los combustibles fósiles eran múltiples: energía eólica, solar, hidroeléctrica, nuclear; sin embargo, disminuir esas emisiones no era suficiente. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial, estimaba que se deberían reducir las emisiones de CO₂ de manera acelerada desde 2025 hasta 2030 en un 43% relativo a los volúmenes de 2019, seguido de un período de recorte menos agresivo para alcanzar emisiones netas cero alrededor de 2050 y así, limitar el calentamiento global a 1,5 °C según niveles pre-industriales para cumplir los objetivos del Acuerdo de París de 2015.

Sin embargo, nos estamos quedando cortos, ni siquiera hemos descarbonizado la industria de generación eléctrica en su totalidad, mucho menos hemos electrificado los demás sectores clave como el transporte, la agricultura o la generación de calor para procesos industriales. Nos encontramos con un cuello de botella que pocos preveían, nuestras redes eléctricas no estaban listas para manejar picos de potencia ni el tipo de señal que debían transmitir por largas distancias entre la generación y el consumidor final, propias de la arquitectura de generación a partir de fuentes renovables.

Analicemos a continuación algunos de los retos de nuestras redes para la transición energética sostenible.

1. Puntos de generación alejados de urbes: si bien tenemos fuentes renovables que pueden ser aprovechadas casi que en cualquier lugar, como la solar, también existen otras, como la hidroeléctrica y eólica que solo pueden ser implementadas en ubicaciones puntuales que reúnan las condiciones necesarias para conseguir una explotación óptima y que se garantice la generación de los volúmenes que se requieren en áreas industriales y residenciales. No necesariamente dichas localidades están cerca del consumidor, de manera que la red se debe extender considerablemente.

2. Desequilibrio temporal entre la generación y utilización. Energías renovables como la solar y eólica tienen un perfil de producción cuyo pico no coincide por lo general con el de la demanda, además de que varía según la época del año, lo que hace que se deban instalar sistemas de almacenamiento energético o dimensionar plantas pequeñas limitadas por el perfil de demanda. Esto también es responsable de recortes de la producción y variaciones de precios de la electricidad que no son causados por ineficiencias de las energías renovables sino del sistema de transmisión eléctrica. En algunos casos hemos sido testigos de cómo la oferta satura la red y los precios caen hasta valores negativos, esto a veces es preferible puesto que a veces es mejor asumir un cargo extra, que detener una planta, ya que la reactivación puede representar costos asociados mayores (por motivos contractuales, desgaste de equipos, restricciones técnicas, entre otros).

3. Requerimientos minerales. Los elementos protagonistas en la conducción eléctrica son el Cobre y el Aluminio. La utilización de uno en lugar del otro se basa en las necesidades del sistema y en las características propias de cada uno. Teniendo el cobre una conductividad, peso, y costo, mayores que los del aluminio, se prioriza para redes de distribución de corta distancia, mientras que el

aluminio se destina para transmisión de largas distancias. Ahora, ambos tienen sus restricciones de obtención, por un lado, el cobre no se extrae a la tasa que quisiéramos, y por otro, el aluminio no se refina ni se funde a las velocidades que satisfaría el crecimiento de la red, además de que el costo energético es altísimo. Como si no fuera suficiente, no todo el cobre ni el aluminio del que disponemos son destinados a la red eléctrica, sino que tiene que competir con otras industrias, incluyendo a algunas relacionadas con la transición energética, como la manufactura de vehículos eléctricos, estaciones de recarga, aeroturbinas, inversores para sistemas solares, bombas de calor, baterías de almacenamiento energético, entre otras.

4. Vulnerabilidad a la variación climática. Los eventos atmosféricos extremos son una consecuencia del calentamiento global, con ellos, el riesgo de la integridad de red eléctrica aumenta y escenarios antes impensables se convierten en una realidad actual. Muchas líneas de transmisión deben ser adaptadas para el contexto en el que nos encontramos, y no siempre es una climatización sencilla. Por ejemplo, recientemente, debido al huracán Beryl, que impactó la ciudad de Houston en 2024, algunas líneas tuvieron que ser enterradas, lo que implica costos y una complejidad ingenieril altos. No olvidemos que el cambio climático es un caldo de cultivo para huracanes de categorías más altas de los que estamos acostumbrados.



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

5. Implementar redes inteligentes no es suficiente. Aunque son indispensables para el desempeño de la red puesto que son nuestro futuro hacia la optimización de la distribución energética y solución de problemas en tiempo real, ellas no pueden resolver nuestros cuellos de botella actuales, como son la reducida capacidad de transmisión, los excesos de potencia en horas pico de generación, las restricciones técnicas, la obtención de materiales críticos, entre otros.

La transición energética requiere con urgencia una adaptación a nuestro contexto actual, estamos desperdiciando energía, no por falta de estabilidad, sino porque llega al lugar equivocado, en el momento errado. Es indiscutible que existen grandes avances, como la implementación de materiales que sustituyan la alta demanda de materiales, sin embargo, el tiempo está en nuestra contra, mientras desarrollábamos mecanismos de aprovechamiento limpios, nos olvidamos de dimensionar la física de lo que ya teníamos porque “funcionaba”. La red se creó pensando en un flujo predecible de unas características constantes y debe evolucionar para garantizar la seguridad del acceso a la energía integrando proyectos de generación eléctrica limpios en vías de la descarbonización de la electricidad y la sostenibilidad de nuestra especie.

ensilvacruz@gmail.com

LA BIOMASA COMO EJE DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA ECONOMÍA BIOFÍSICA: UN ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL

Luis Ángel Valencia Flores
Editor de la Revista Maya

Resumen

La biomasa representa la fuente de energía más antigua de la humanidad, habiendo sido desplazada por los combustibles fósiles durante la Revolución Industrial debido a su menor densidad energética. No obstante, en el contexto actual de crisis climática y agotamiento de hidrocarburos de alta calidad, la bioenergía resurge como una opción estratégica. Este artículo examina de forma exhaustiva la biomasa, abarcando desde sus fundamentos termodinámicos y poder calorífico hasta sus diversas clasificaciones por generaciones (1ª a 4ª) y rutas de conversión tecnológica (termoquímica, bioquímica y fisicoquímica). Se integra un análisis bajo el prisma de la economía biofísica, evaluando el Retorno Energético sobre la Inversión (EROI) de los biocombustibles y su impacto en la estructura social. Finalmente, se discute el panorama específico de México, donde el potencial

biomásico es vasto pero subutilizado, y cómo nuevas tecnologías como el blockchain y la Industria 5.0 pueden optimizar su implementación. Se concluye que, si bien la biomasa es vital para la sostenibilidad, su expansión debe gestionarse dentro de los límites planetarios para evitar conflictos con la seguridad alimentaria y la preservación de la biodiversidad.

1. Introducción: Evolución histórica de la bioenergía

Históricamente, la biomasa fue la primera fuente de energía no animada utilizada por el hombre, manteniendo su hegemonía hasta el comienzo de la Revolución Industrial. Durante el siglo XIX, el desarrollo de la máquina de vapor y los motores de combustión interna desplazaron parcialmente a la biomasa en favor del carbón y los hidrocarburos, recursos con una densidad energética significativamente mayor.

A finales del siglo XX y principios del XXI, la bioenergía ha vuelto al centro del debate energético global. Este resurgimiento se debe a tres factores críticos: la inseguridad y los altos costos del abastecimiento de petróleo, los riesgos inherentes a la energía nuclear y los impactos ambientales negativos de los combustibles fósiles. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), la biomasa aporta actualmente cerca del 10% de la oferta total de energía final global y el 77% de la energía derivada de fuentes renovables.



2. Definición y fundamentos científicos

Desde una perspectiva técnica, la biomasa se define como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, silvícolas, de la pesca, la acuicultura y la fracción orgánica de los residuos industriales y municipales.

2.1 El Origen Solar de la Biomasa

Toda la energía contenida en la biomasa tiene su origen en el Sol. A través de la fotosíntesis, las plantas capturan la energía de la luz solar para fabricar sus estructuras orgánicas, transformando fotones en enlaces químicos de carbono e hidrógeno. Este proceso es la única tecnología a gran escala para capturar y almacenar energía solar en forma de compuestos energéticamente densos.

2.2 Poder Calorífico: PCS vs. PCI

Para evaluar la eficiencia de la biomasa como combustible, es fundamental distinguir entre el Poder Calorífico Superior (PCS) y el Poder Calorífico Inferior (PCI):

- PCS: Se define suponiendo que todos los elementos de la combustión son tomados a 0°C y los productos (gases) regresan a la misma temperatura, condensando el vapor de agua y aportando calor adicional (aprox. 597 kcal/kg de agua condensada).
- PCI: Considera que el vapor de agua contenido en los gases de combustión no condensa, por lo que no hay ese aporte adicional de calor. En la práctica industrial, este es

el valor que suele considerarse para procesos de oxidación completa de carbono a CO₂.

3. Clasificación de la biomasa y los biocombustibles

La biomasa puede clasificarse según su composición (oleaginosa, alcoholígena, amilácea, lignocelulósica), su origen (natural, residual, cultivo energético) o su estado físico (sólida, líquida, gaseosa). Sin embargo, la clasificación más extendida en la literatura científica actual se basa en las generaciones de biocombustibles:

1. Primera Generación: Producidos directamente de cultivos alimentarios (maíz, caña de azúcar, palma, soya). Aunque es una tecnología madura, genera un intenso debate por la competencia con la seguridad alimentaria.
2. Segunda Generación: Se obtienen de residuos orgánicos urbanos, desechos de la industria maderera y paja. Su ventaja principal es que no compiten con los cultivos alimentarios y fomentan la economía circular.
3. Tercera Generación: Derivados de microalgas y organismos fotosintéticos cultivados en condiciones controladas. Poseen una tasa de crecimiento muy rápida y una alta productividad por unidad de área, aunque su costo de implementación sigue siendo elevado.
4. Cuarta Generación: Tecnologías emergentes que utilizan bacterias y organismos genéticamente modificados (OGM) para capturar CO₂ y convertirlo directamente en combustibles, buscando una huella de carbono negativa.



Los biocombustibles

4. Tecnologías de conversión energética

La transformación de la biomasa en energía útil se realiza a través de tres rutas principales:

4.1 Ruta Termoquímica

- **Combustión Directa:** Quema de biomasa para producir calor y vapor, que puede mover turbinas para generar electricidad.

- **Gasificación:** Convierte la biomasa en un gas de síntesis (syngas) mediante calor y una cantidad limitada de oxígeno.

- **Pirólisis:** Degradación térmica en ausencia de oxígeno, produciendo biochar (sólido), aceite de pirólisis (líquido) y gases.

4.2 Ruta Bioquímica

- **Digestión Anaerobia:** Proceso bacteriano que descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás (principalmente metano y CO₂) y digestato (abono).

- **Fermentación:** Conversión de azúcares en bioetanol.

4.3 Ruta Fisicoquímica

- **Extracción y Transesterificación:** Proceso aplicado a oleaginosas para obtener biodiésel, reduciendo la viscosidad del aceite vegetal mediante una reacción química sencilla.

5. El análisis desde la economía biofísica

La economía biofísica propone que la riqueza no emana de decisiones de mercado aisladas, sino de la aplicación de energía para transformar recursos naturales. En este marco, la biomasa juega un papel crítico.

5.1 El Retorno Energético sobre la Inversión (EROI)

El concepto de EROI es vital para entender la viabilidad de la biomasa. Mientras que la leña convencional puede tener un EROI alto (aprox. 30:1), los biocombustibles líquidos modernos presentan cifras mucho menores: el etanol de maíz oscila entre 0.8:1 y 1.6:1, y el biodiésel cerca de 1.3:1.

Para que una sociedad sea sostenible, necesita fuentes de energía con un EROI que permita no solo extraer la energía, sino también sostener la infraestructura, la salud, la educación y las artes. Un EROI cercano a 1:1, como el de muchos biocombustibles de primera generación, implica que casi toda la energía obtenida se consume en el proceso de producción, dejando poco excedente para el desarrollo social.

5.2 La Paradoja de Jevons y la Eficiencia

Un riesgo inherente a las mejoras técnicas en la biomasa es la Paradoja de Jevons, donde los aumentos en la eficiencia del uso de un recurso a menudo conducen a un mayor consumo total del mismo. Por ello, las políticas de bioenergía deben implementarse dentro de límites de consumo total para ser efectivas frente al cambio climático.

6. Impacto social y ambiental: El concepto de límites planetarios

La expansión de la biomasa interactúa directamente con los límites planetarios identificados por Rockström.

6.1 El Ciclo del Nitrógeno y el Fósforo

La producción de biomasa a gran escala depende del uso de fertilizantes. Actualmente, la humanidad ha rebasado el límite seguro de eliminación de nitrógeno atmosférico (121 millones de toneladas anuales frente a un límite de 35), provocando zonas muertas hipóxicas en los océanos. Además, el fósforo es un recurso finito sin sustituto, cuyo pico de producción se estima para 2030, amenazando la sostenibilidad de la agricultura energética a largo plazo.

6.2 Beneficios Socioeconómicos

Si se aprovecha de manera sustentable, la bioenergía crea sinergias positivas. La producción descentralizada permite el desarrollo de pequeñas empresas rurales, estimando que la biomasa crea 135 puestos de trabajo directos por cada 10,000 usuarios, frente a los 9 que genera el petróleo o el gas natural.

7. El panorama en México

México posee un potencial técnico de bioenergía equivalente a 3,569 PJ/año, lo que representa el 42% de su consumo de energía primaria.

7.1 Consumo Actual

En 2008, el consumo de energía primaria en México fue dominado por el petróleo (47%) y el gas natural (38%), mientras que las renovables representaron solo el 10%. Dentro de este 10%, la biomasa (principalmente leña y bagazo de caña) aporta la mitad.

7.2 Potencial Regional

El país cuenta con áreas estratégicas:

- **Manejo de Bosques y Selvas:** Potencial de 1,515 PJ/año.
- **Residuos Agrícolas y Caña de Azúcar:** Gran potencial en estados como Oaxaca y Veracruz.

- **Biogás:** Importante oportunidad en el tratamiento de residuos del ganado y municipales.

8. Perspectivas futuras: Industria 5.0 y Blockchain

La transición hacia la Industria 5.0 exige sistemas energéticos que sean no solo sostenibles, sino también resilientes y centrados en el ser humano.

8.1 Blockchain en la Bioenergía

La integración de la tecnología blockchain puede revolucionar el sector mediante:

1. **Transacciones P2P:** Permitir que productores locales de biogás o biomasa vendan energía directamente a los consumidores.
2. **Trazabilidad:** Certificar el origen sostenible de la biomasa y las garantías de origen.
3. **Contratos Inteligentes:** Automatizar la gestión de micro-redes de energía distribuida basadas en biomasa.

8.2 Hacia una "Bajada Próspera"

Siguiendo a Howard Odum, el fin de la era de los combustibles fósiles baratos obliga a diseñar una "bajada próspera". La biomasa, con su capacidad de ser almacenable y ubicua, es una herramienta fundamental para este nuevo paradigma de estado estacionario, donde el bienestar no depende del crecimiento infinito del PIB, sino de la eficiencia real y la equidad.

9. Conclusiones

1. La biomasa es la única energía renovable capaz de sustituir a los combustibles fósiles en todas las aplicaciones (calor, electricidad y transporte), lo que la sitúa como un vector indispensable para la descarbonización.



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

2. Desde la economía biofísica, se advierte que los biocombustibles de primera generación tienen un EROI marginalmente positivo, lo que limita su capacidad para sustentar sociedades complejas sin el subsidio indirecto de los combustibles fósiles.

3. México debe transitar de un uso tradicional e ineficiente de la leña hacia sistemas modernos de cogeneración y biocombustibles de segunda y tercera generación para aprovechar su potencial del 42% de la matriz energética.

4. La implementación de biomasa debe ser regulada estrictamente para evitar la deforestación y la degradación de los recursos hídricos, operando siempre dentro de los espacios operativos seguros de la Tierra.

5. El futuro de la bioenergía reside en la descentralización y la digitalización, donde modelos como la Industria 5.0 y el blockchain permitan una distribución más justa de la riqueza y una mayor resiliencia del sistema energético.

Referencias

- Hall, C. A. S., & Klitgaard, K. (2018). Energy and the Wealth of Nations. Springer.
- Santana Hernández, S. Biocombustibles. Biomasa, biogás y biodiesel. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Wang, Q., & Su, M. (2020). Integrating blockchain technology into the energy sector. Computer Science Review.
- Rockström, J., et al. (2009). A Safe Operating Space for Humanity. Nature.
- Secretaría de Energía (SENER). Programa para el Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2021-2035.
- Palacios, A., et al. (2024). Pathways to hydrogen production. Energy Conversion and Management.

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

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

El ciclo de los microplásticos en el medio ambiente

Daniela K. Calvo-Ramos^{1*}, Alejandro Carrillo-Chávez² y Luisa Fernanda Rueda-Garzón²

¹Universidad Tecnológica de Corregidora (UTC). Carr. Santa Bárbara-Coroneo Km. 11.2, Corregidora, Qro. Méx.

²Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México.

* Autor de Correspondencia:
daniela.calvo@utcorregidora.edu.mx

En la actualidad, la contaminación por residuos plásticos es uno de los mayores desafíos ambientales a nivel global. La presencia de microplásticos, tanto en entornos naturales como en organismos vivos, plantea preocupaciones significativas sobre los impactos en la salud humana y la biodiversidad. Estos microplásticos provienen de diversas fuentes, incluidos los desechos industriales, agrícolas y domésticos, y su persistencia en el medio ambiente se ve exacerbada por su resistencia a la degradación (Hossain 2024, Chandra y Walsh 2024, Zhang et al. 2020).

Los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son diseñados intencionalmente y se encuentran en productos como cosméticos y materiales compuestos, mientras que los secundarios son el resultado de la descomposición de objetos plásticos más grandes (Liu et al. 2023, Abbasi et al. 2019, Cledera-Castro et al. 2024). La mala gestión de residuos y el consumo excesivo de plásticos contribuyen a su acumulación en el entorno, representando una amenaza para la vida silvestre y la salud humana (Chubarenko et al. 2023, Li et al. 2024, Wang et al. 2024). La presencia de microplásticos en todos los rincones del planeta, incluidos los océanos, suelos agrícolas y atmósfera, refleja la magnitud del problema (Chubarenko et al. 2023, Liu et al. 2022, Liu et al. 2024, Niu et al. 2024).

Estos contaminantes afectan a la fauna y flora, alteran los ecosistemas y pueden transportar contaminantes químicos que ingresan a la cadena alimentaria (Kelly et al. 2020, Jiang et al. 2024, Andrady 2017).

El crecimiento económico y la urbanización han contribuido al aumento en la producción y consumo de productos plásticos, lo que ha llevado a una acumulación alarmante de desechos plásticos en el medio ambiente (Liu et al. 2022, Kelly et al. 2020, Zhang et al. 2020).

Ciclo de los microplásticos en el medio ambiente

El ciclo de los microplásticos en el medio ambiente es un proceso complejo que implica múltiples etapas desde la producción y uso de productos plásticos hasta su degradación y dispersión. Este ciclo se puede dividir en 5 etapas, las cuáles se describen a continuación y se muestran en la figura 1.

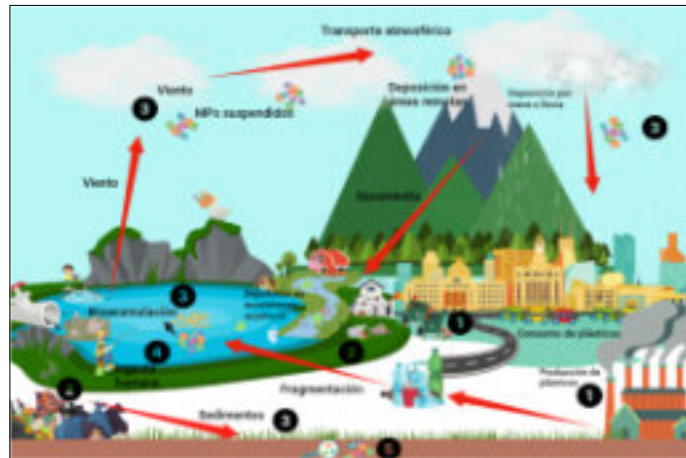


Figura 1. Ciclo de los MPs en el medio ambiente.

1) Producción y uso: Los plásticos se producen a partir de polímeros sintéticos derivados del petróleo y son ampliamente utilizados en la vida cotidiana debido a su durabilidad, ligereza y bajo costo (Öborn et al., 2024, Wang et al., 2024).

2) Descomposición y generación de microplásticos: A medida que los productos plásticos se utilizan y eventualmente se descartan, se degradan a piezas más pequeñas debido a factores físicos, químicos y biológicos

(Marcharla et al., 2024, Liu et al., 2023). También existen algunos productos que contienen microplásticos de forma intencional.

3) Dispersión en el medio ambiente: Los microplásticos son fragmentos pequeños (<5mm) (Huppertsberg & Knepper, 2018, Cledera-Castro et al., 2024, Liu et al., 2022) que su dispersión por aire, agua y suelo permite que estas lleguen a depositarse en diferentes entornos como lo son ríos, lagos, océanos, montañas, nieve, suelo, entre otros (Kelly et al., 2020, Öborn et al., 2024, Chubarenko et al., 2023, Niu et al., 2024, Abbasi et al., 2019).

4) Bioacumulación: Los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos acuáticos y terrestres. Pueden acumularse en la cadena alimentaria, llegando eventualmente a los humanos (Jiang et al., 2024, Marcharla et al., 2024). En humanos, los efectos sobre la salud aún están siendo investigados, pero existe preocupación por posibles impactos tóxicos (Liu et al., 2023, Abbasi et al., 2019).

5) Degradación final: Los microplásticos pueden persistir en el medio ambiente durante décadas o incluso siglos debido a su resistencia a la degradación natural. En ciertas condiciones, algunos tipos de microplásticos pueden ser degradados por microorganismos, aunque este proceso es lento y depende del tipo de plástico y las condiciones ambientales (Cledera-Castro et al., 2024, Wang et al., 2024, Li et al., 2024, Hossain, 2024, Rong et al., 2024).

Conclusión

La problemática de los microplásticos evidencia una de las consecuencias más visibles del modelo actual de producción y consumo de plásticos. Su presencia en prácticamente todos los ambientes del planeta, desde los océanos hasta los suelos agrícolas, la atmósfera e incluso regiones remotas. Esto demuestra que se trata de un contaminante persistente y de alcance global. A lo largo de su ciclo ambiental, los microplásticos no solo se dispersan y acumulan, sino que interactúan con los ecosistemas, los organismos vivos y las cadenas alimentarias, generando

riesgos potenciales para la biodiversidad y la salud humana.

Si bien aún existen incertidumbres sobre los efectos a largo plazo de la exposición a microplásticos, la evidencia disponible subraya la urgencia de atender este problema desde una perspectiva preventiva. La reducción en el uso de plásticos, una gestión adecuada de los residuos, el desarrollo de materiales alternativos y el fortalecimiento de la investigación científica son acciones clave para mitigar su impacto. Comprender el ciclo de los microplásticos en el medio ambiente no solo permite dimensionar la magnitud del problema, sino que también invita a reflexionar sobre la responsabilidad colectiva en la protección de los ecosistemas y en la construcción de un futuro más sostenible.

Referencias

- Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F. J., Dominguez, A. O., & Jaafarzadeh, N. (2019). Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental Pollution*, 244, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.039>
- Chandra, S., & Walsh, K. B. (2024). Microplastics in water: Occurrence, fate and removal. En *Journal of Contaminant Hydrology* (Vol. 264). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104360>
- Chubarenko, I., Bocherikova, I., Esiukova, E., Isachenko, I., Kupriyanova, A., Lobchuk, O., & Fetisov, S. (2023). Microplastics in sea ice: A fingerprint of bubble flotation. *Science of the Total Environment*, 892. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164611>
- Cledera-Castro, M. M., Hueso-Kortekaas, K., Sanchez-Mata, C., Morales-Polo, C., Calzada-Funes, J., Delgado-Mellado, N., & Caro-Carretero, R. (2024). An exploratory study of fibre microplastics pollution in different process stages of salt production by solar evaporation in Spain. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31609>

Hossain, M. S. (2024). People's attitudes regarding plastics and microplastics pollution: Perceptions, behaviors, and policy implications. *Marine Policy*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106219>

Huppertsberg, S., & Knepper, T. P. (2018). Instrumental analysis of microplastics—benefits and challenges. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(25), 6343–6352. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1210-8>

Jiang, W., Yan, X., & Lv, Y. (2024). A critical review on the migration, transformation, sampling, analysis and environmental effects of microplastics in the environment. *Journal of Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.05.018>

Kelly, A., Lannuzel, D., Rodemann, T., Meiners, K. M., & Auman, H. J. (2020). Microplastic contamination in east Antarctic sea ice. *Marine Pollution Bulletin*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111130>

Li, M., Wang, Z., Zhu, L., Zhu, Y., Yi, J., & Fu, X. (2024). Research advances on microplastics contamination in terrestrial geoenvironment: A review. *Science of The Total Environment*, 173259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173259>

Liu, S., Shang, E., Liu, J., Wang, Y., Bolan, N., Kirkham, M. B., & Li, Y. (2022). What have we known so far for fluorescence staining and quantification of microplastics: A tutorial review. En *Frontiers of Environmental Science and Engineering* (Vol. 16, Número 1). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.1007/s11783-021-1442-2>

Liu, Y., Shi, X., Zhang, S., Lu, J., Li, W., Sun, B., Zhao, S., Yao, D., & Huotari, J. (2023). The spatial distribution and abundance of microplastics in lake waters and ice during ice-free and ice-covered periods. *Environmental Pollution*, 323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121268>

Liu, Z., Liang, T., & Liu, X. (2024). Characteristics, distribution patterns and sources of atmospheric microplastics in the Bohai and Yellow Seas, China. *Science*

of the Total Environment, 926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171906>

Marcharla, E., Vinayagam, S., Gnanasekaran, L., Soto-Moscoso, M., Chen, W.-H., Thanigaivel, S., & Ganesan, S. (2024). Microplastics in marine ecosystems: A comprehensive review of biological and ecological implications and its mitigation approach using nanotechnology for the sustainable environment. *Environmental Research*, 256, 119181. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119181>

Niu, X., Wang, X., Dong, H., Ciren, N., Zhang, H., Chen, X., Zhuoga, S., Jia, X., Xu, L., & Zhou, Y. (2024). Microplastics in remote region of the world: Insights from the glacier of Geladandong, China. *Applied Geochemistry*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106026>

Öborn, L., Österlund, H., & Viklander, M. (2024). Microplastics in gully pot sediment in urban areas: Presence, quantities and characteristics. *Environmental Pollution*, 124155. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124155>

Rong, S., Wang, S., Zhao, H., Liu, H., Wang, L., Wang, X., Su, S., Han, B., Wang, M., Zhong, Y., & Liu, W. (2024). Characteristics of microplastics and their effects on phthalates and microbial activity in greenhouse soil after long-term planting. *Emerging Contaminants*, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100368>

Wang, J., Tao, J., Wu, M., Sun, Y., Su, Y., Guo, X., Du, X., Li, J., & Gan, J. (2024). Size-dependent vector effects of microplastics on bioaccumulation of hydrophobic organic contaminants in earthworm: A dual-dosing study. *Environment International*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108625>

Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. En *Earth-Science Reviews* (Vol. 203). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>



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



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 Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inicio dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

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



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

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

Pintando al cosmos: una propuesta interpretativa del arte rupestre

Jocelyn Ramírez Reyes¹

El arte rupestre ha sido catalogado múltiples veces como una manifestación detenida en el tiempo, más específicamente relacionada con el paleolítico y la prehistoria; sin embargo, en México existen diversos sitios de pintura rupestre que fueron creados entre el epiclásico (600-900 dñe) e incluso el siglo XVI.

Para este texto, se hablará del sitio conocido como La Mojonera, el cual está ubicado dentro del municipio de San Joaquín, en el actual Querétaro. La particularidad de este sitio reside en que algunos de sus motivos podrían aludir a elementos celestes. Dentro del panel están pintados diversas figuras geométricas, entre ellas varios puntos, círculos concéntricos, cruces y un antropomorfo en posición horizontal. De igual forma y de manera sobresaltada, está pintado un círculo que tiene una especie de cauda, aludiendo visualmente a la figura de un cometa.

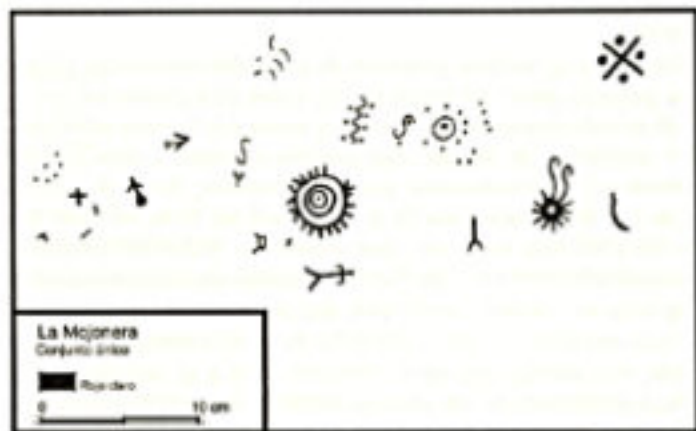


Imagen 1. Panel de La Mojonera, San Joaquín, en El lenguaje de los símbolos. El arte rupestre de las sociedades prehispánicas de Querétaro (p. 380) Viramontes, C. 2005.

La investigación sobre la pintura rupestre y su interpretación ha sido controversial para los académicos

desde su validación como fuente primaria que, no solo acercaba, sino revelaba al investigador datos importantes sobre las sociedades que se dedicaron a plasmar sobre la piedra estos elementos.

Los arqueólogos que se especializan en el arte rupestre catalogan y clasifican los motivos para por interpretarlos de la mejor forma posible². El arqueólogo Carlos Viramontes (2006) propone que esta la clasificación se divida en dos grupos: figurativos y no figurativos³. El primero hace alusión a aquellos aspectos que se pueden identificar de forma más fácil por su parecido claro con elementos reales (de modo que pueden contrastarse como antropomorfos, zoomorfos o fitomorfos), y el segundo se refiere a, por ejemplo, figuras geométricas, líneas y puntos cuyo significado es más subjetivo y abstracto.

En el año 2000, para el 2do Congreso Virtual de Antropología y Arqueología, el investigador Domingo Sánchez P. presentó un artículo titulado *La astronomía en el arte rupestre: una propuesta metodológica*⁵, en donde explica la categoría de astromorfos (del latín “Astrum: astro, estrella, constelación. Con la forma de un cuerpo astronómico.”) y meteomorfos (del griego Meteōron: cualquier fenómeno o apariencia en la atmósfera), para clasificar los motivos rupestres que tienen alusión a elementos celestes. Él explica que:

Esta nueva clasificación, permite identificar en el arte rupestre aquellas representaciones de cuerpos astronómicos, así como de algunos fenómenos meteorológicos importantes, separándoles del concepto general de “abstractos” o “geométricos” donde se les incluye comúnmente. Por otra parte, facilita a los arqueólogos y otros científicos sociales su trabajo, al disponer de una clasificación que abarca, básicamente los diferentes cuerpos estelares y fenómenos meteorológicos que, con seguridad, se hallan en muchas manifestaciones del arte rupestre, y que tal vez, no son tomados en cuenta por considerarlos pertenecientes al género abstracto⁵.

Teniendo en cuenta esta argumentación, es entonces posible concebir que la pintura rupestre de San Joaquín

tenga una clara relación con los elementos celestes, pero ¿cómo se puede comprobar esto? ¿Qué herramientas se pueden utilizar para argumentar la intención cósmica de las pinturas? En 2014, *Vito Technologies*, “una empresa dedicada a ofrecer servicios y soluciones tecnológicas de calidad para la optimización de procesos en Automatización en la cadena de suministros, trazabilidad en producción de inventarios, desarrollo de software y gestión de información en cualquier parte del mundo”⁶, creó una aplicación llamada Star Walk 2, la cual, dentro de sus muchas funciones, permite hacer un viaje en el tiempo (y espacio) para poder hacer una simulación del cielo nocturno en diferentes épocas. De esta manera, retrocediendo lo suficiente hay forma de poder saber cuáles eran las posiciones de las estrellas en el 1000 añe. Considerando estos aspectos, tras una búsqueda observacional, se puede detectar una similitud entre la posición de las estrellas con los puntos dibujados en el Panel de La Mojonera



Imagen 2. Comparación entre el cielo nocturno mostrado en Star Walk 2 y uno de los motivos de La Mojonera.

En esta primera imagen se puede observar una comparativa que por un lado muestra la figura que las estrellas 6 entre ellas Alioth, Mizar y Benetnasch junto con Perros de caza forman junto con los 6 puntos que se pintaron en el panel del sitio arqueológico.

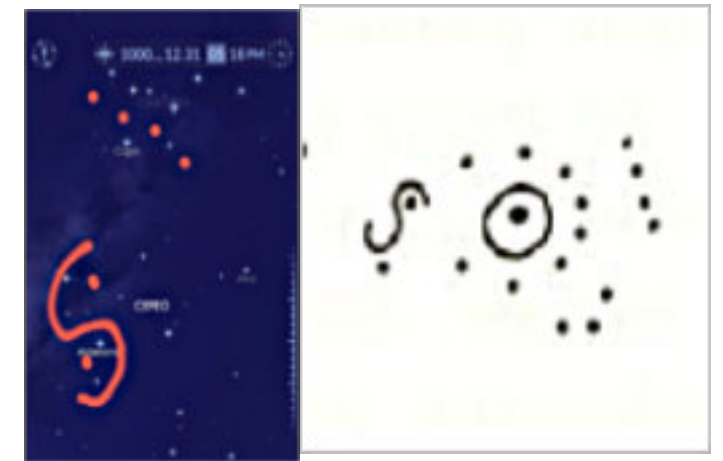


Imagen 3. Comparación entre el cielo nocturno mostrado en Star Walk 2 y uno de los otros de La Mojonera.

Ambas comparaciones son ideas que ejemplifican mayormente la forma en la que es posible realizar un estudio que permita hacer este ejercicio de ubicar la posición de las estrellas en coincidencia de la posición de las figuras de la pintura rupestre.

A pesar de ello, aún queda la incógnita del tiempo: si eso fue hace tantos años ¿que nos asegura que esa misma figura que forman las estrellas aún permanezca? El astrónomo Hannu Karttunen (2017), en *Astronomía fundamental*, explica el largo periodo que transcurre para que sea notable un “cambio de posición” entre las estrellas que conforman una constelación⁷, ejemplificando con la Osa Mayor y la manera en la que su movimiento ha sido imperceptible, por lo que la distancia temporal que hay entre los cielos de esa época y los nuestros es casi inexistente.



Imagen 4. Los movimientos propios de las estrellas cambian lentamente la apariencia de las constelaciones. (a) La Osa Mayor durante la última edad de hielo hace 30.000 años, (b) hoy en día, y (c) después de 30.000 años. Karttunen, Hannu. “Astronomía posicional” en *Astronomía fundamental*. Universidad de Turku, Finlandia, 2017. pagina 30.

Para el caso del cometa, hay que tomar en cuenta varios aspectos, primeramente ¿cómo identificar que no es un meteorito o un asteroide? Bradley Carroll y Dale Ostie en *Introducción a la Astrofísica Moderna* (2014) explican la identificación del cometa de la siguiente manera:

El núcleo está compuesto por hielos y granos de polvo incrustados. A medida que el núcleo se desplaza desde el frío entorno del Sistema Solar externo hacia las regiones más cálidas cerca del Sol, los hielos comienzan a sublimar. El polvo y el gas liberados luego se expanden (...). Posteriormente, el material en la coma interactúa con la luz solar y el viento solar, produciendo las colas muy largas y familiares⁸.

De modo que, en comparación al asteroide, que solo es un cuerpo rocoso que orbita y el meteorito cuya luz suele ser fugaz, la descripción más acertada al motivo rupestre si corresponde al de un cometa.

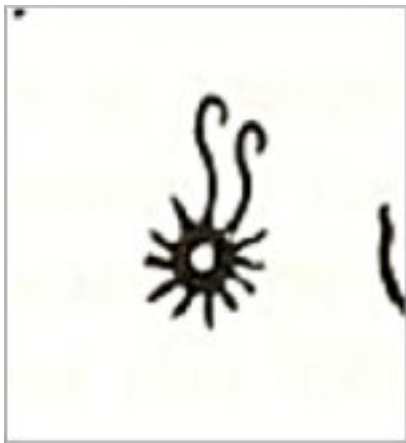


Imagen 5. Panel de La Mojonera, San Joaquín, en *El lenguaje de los símbolos. El arte rupestre de las sociedades prehispánicas de Querétaro* (p. 380) Viramontes, C. 2005

Para la cosmovisión mesoamericana los fenómenos celestes eran trascendentales, y las sociedades de recolectores-cazadores que habitaron en el actual Querétaro integraron diversos aspectos de la naturaleza a su cosmovisión, transformándola colectivamente en paisaje sagrado⁹. Lo que significaría que el grabado fue hecho en ese lugar en específico no por coincidencia o azar, sino por una elección intencionada del sitio debido al espacio natural. Por lo que los sitios de gráfica rupestre

representan física y conceptualmente lugares donde las diversas realidades se conectaron; de acuerdo con esta visión, las pinturas rupestres no son consideradas solo como imágenes sobre la superficie de la roca, sino parte constituyentes de la experiencia que enlaza el mundo simbólico¹⁰.

Finalmente, el caso de La Mojonera no es aislado, anteriormente Carmen Lorenzo Monterrubio, arqueóloga de Hidalgo, hizo investigaciones sobre este tema. En el texto *Un viaje por las pinturas rupestres (Elementos Celestes)* ella menciona que “los observadores del cielo se sentaban y contemplaban el firmamento para entender el comportamiento regular de algunas estrellas, como las pléyades, constelaciones e incluso el planeta Venus. En suma observaban lo que estaba al alcance de sus ojos en una labor paciente de siglos”¹¹. De modo que esta intención de retratar el cosmos en la piedra se ha recreado en varias zonas por otras culturas.

En conclusión, en este estudio se ha explorado la relación implícita entre los motivos rupestres encontrados en el sitio arqueológico de La Mojonera y su posible conexión con elementos astronómicos. A través de un enfoque teórico metodológico que combina la arqueología, la astronomía y la historia cultural, se ha propuesto una interpretación que sugiere una intención cosmogónica y espiritual detrás de aquellas pinturas rupestres. Así mismo, también se demostró cómo los recolectores cazadores de la región integraron los elementos celestes en su cosmovisión, reflejando una profunda conexión con el paisaje natural y el mundo espiritual.

Este análisis no sólo proporciona otro elemento a la perspectiva sobre el arte rupestre prehispánico, sino que también destaca la importancia de la interdisciplina en la investigación arqueológica que en conjunto contribuye a una mejor comprensión de las culturas del pasado. Además, abre la puerta a futuras investigaciones que puedan profundizar en la interpretación de estos motivos rupestres y otros del Estado (*ver imagen del anexo*) y su significado.

En última instancia, este estudio resalta la riqueza y complejidad del patrimonio cultural de Querétaro y subraya la importancia de preservar y estudiar estos sitios arqueológicos para comprender mejor nuestro pasado y nuestra relación con el cosmos.

Referencias

Carroll, Bradley; Ostie D. “Cometas y objetos del cinturón de kuiper” en *Introducción a la Astrofísica Moderna*. Pearson Education Limited, Edimburgo, 2014.

Karttunen, Hannu. “Astronomía posicional” en *Astronomía fundamental*. Universidad de Turku, Finlandia, 2017

Lorenzo Monterrubio, Carmen. *Un viaje por las pinturas rupestres (Elementos Celestes)*. Instituto Hidalguense de la Cultura. Hidalgo, 1992.

Sánchez P, Domingo. *La Astronomía en el arte rupestre: una propuesta metodológica* Congreso virtual de Antropología y Arqueología, 2000

Viramontes, Carlos. *El lenguaje de los símbolos. El arte rupestre de las sociedades prehispánicas de Querétaro*. Archivo Histórico de Querétaro. Querétaro, 2005

Viramontes, Carlos. *Gráfica rupestre y paisaje ritual. La cosmovisión de los recolectores-cazadores de Querétaro*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Querétaro, 2005

¹Historiadora por la Universidad Autónoma de Querétaro
²Considerando siempre que estas manifestaciones fueron plasmadas por sociedades en tiempos diferentes al nuestro.
³Viramontes, Carlos. *El lenguaje de los símbolos. El arte rupestre de las sociedades prehispánicas de Querétaro*. Archivo Histórico de Querétaro. Querétaro, 2005 pag 86-96
⁴Sánchez P, Domingo. *La Astronomía en el arte rupestre: una propuesta metodológica* Congreso virtual de Antropología y Arqueología, 2000
⁵Sánchez P, Domingo. *La Astronomía en el arte rupestre: una propuesta metodológica* Congreso virtual de Antropología y Arqueología, 2000
⁶Vito Technologies. 2022 <https://vitotechnologies.com/index.php>
⁷Karttunen, Hannu. “Astronomía posicional” en *Astronomía fundamental*. Universidad de Turku, Finlandia, 2017. pag 30
⁸Carroll, Bradley; Ostie D. “Cometas y objetos del cinturón de kuiper” en *Introducción a la Astrofísica Moderna*. Pearson Education Limited, Edimburgo, 2014. Pag 895
⁹Viramontes, Carlos. *Gráfica rupestre y paisaje ritual. La cosmovisión de los recolectores-cazadores de Querétaro*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Querétaro, 2005
¹⁰Viramontes, Carlos. *Gráfica rupestre y paisaje ritual. La cosmovisión de los recolectores-cazadores de Querétaro*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Querétaro, 2005 p. 81
¹¹Lorenzo Monterrubio, Carmen. *Un viaje por las pinturas rupestres (Elementos Celestes)*. Instituto Hidalguense de la Cultura. Hidalgo, 1992. pag 8



Jocelyn Ramírez Reyes es historiadora por la Universidad Autónoma de Querétaro, especializada en la investigación del patrimonio y la memoria biocultural, con experiencia en la metodología de la historia oral y el trabajo de campo en comunidades rurales. Mantiene un particular interés en el estudio y la simbología del arte rupestre con buen manejo del uso de herramientas digitales como DStretch. Con experiencia en trabajo de archivo, gestión de eventos y proyectos financiados.

La teoría del observador de Luenberger en el monitoreo de aguas subterráneas en el karst

Leslie F. Molerio León

INVERSIONES GAMMA, S.A.,

Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba;
especialistaprincipal@gmail.com; ORCID 0000-0001-9667-2258

RESUMEN

Se presenta un análisis detallado de la complementación inicial de la aplicación del Observador de Luenberger al caso concreto de optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas en medios heterogéneos y anisotrópicos para el caso particular de reducción de una red existente y en operación. Aparte de su costo e implementación y la complejidad computacional en el caso de mallas muy finas, se ha intentado corregir la propiedad del Luenberger estándar, diseñado para sistemas lineales para refinar su uso en acuíferos cársicos, altamente no lineales, como el Observador de Kalman Extendido - EKF) o no lineales como el Observador de Modo Deslizante (Sliding Mode Observer - SMO) que consiste en una técnica de estimación de estados para sistemas dinámicos. Se incluye un caso real resumido.

Palabras clave: *karst, Luenberger, Modo deslizante, monitoreo*

ABSTRACT

This work paper presents a detailed analysis of the initial integration of the Luenberger Observer for optimizing groundwater-monitoring networks in heterogeneous and anisotropic media, specifically for the downsizing of an existing operational network. Beyond addressing challenges related to cost, implementation, and the computational complexity of very fine meshes, this study attempts to correct a fundamental property of the standard Luenberger Observer. Originally designed for linear systems, its application is refined here for highly-non-linear karst aquifers by exploring advanced alternatives. These include the Extended Kalman Observer (EKF) and non-linear observers such as the Sliding Mode Observer (SMO), a state estimation technique for dynamic systems. A summarized real-world case study is included.

Key words: *karst, Luenberger, monitoring, Sliding Mode*

INTRODUCCIÓN

La Teoría del Observador de Luenberger, un caso particular del Filtrado de Kalman, es una técnica de control aplicable al monitoreo de aguas subterráneas en medios cársicos y, en general, a medios heterogéneos y anisotrópicos notoriamente difíciles de monitorear con métodos tradicionales.

El autor lo aplicó por vez primera a mediados de los años 1990 en que le fue solicitada, en su condición del Jefe de la Oficina Nacional de Hidrogeología del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, reajustar la distribución espacial de la red de monitoreo de las aguas subterráneas de Cuba con el mínimo de estaciones, frecuencia de monitoreo, contenido de muestreo y con la menor pérdida de informatividad posible, solución buscada como respuesta ante un serio período de austeridad financiera que se presentó en aquellos años y que se denominó Período Especial en Tiempos de Paz.

Se diseñó un método de análisis multivariado del régimen hidrodinámico y técnicas de procedimiento no paramétrico de los acuíferos (con preferencia a la modelación numérica) en dos líneas principales; a) la distribución temporo-espacial de los niveles piezométricos y b) la composición química representativa de los entornos geológicos e hidrogeológicos que debía caracterizar.

Para los principales acuíferos del país, cársicos todos los seleccionados, se lograron los objetivos propuestos. La introducción de las técnicas de análisis multivariado contribuyó a identificar sistemas menores de flujo, tanto intermedios como locales (siguiendo la terminología de Tóth) mejorando el conocimiento de las relaciones hidráulicas entre ellos y del sistema regional con los vecinos, la representatividad de los puntos de monitoreo que caracterizaban el comportamiento hidrodinámico del acuífero, su relación con las pérdidas y aportes al sistema de flujo y la reducción de la red, de la frecuencia de muestreo y del contenido, ya que se trataba de un problema clásico de reducción de redes que intentaran mantener la misma informatividad.

El modelo de optimización en el enfoque adoptado, inicialmente descrito por Molerio (1995) y Molerio & Portuondo (1997, 1998) ha sido sistemáticamente mejorado y aplicado desde entonces (Molerio et al., 1997, 1998, 2002a, 2002b;

Molerio y Torres, 2002). En esencia, como señala Nawalany (1983, 1989) la optimización de una red de monitoreo de aguas subterráneas debe ser considerada siempre como un procedimiento de decisión multicriterio.

Un recurso especialmente útil fue la Teoría del Observador propuesta por Luenberger en 1971, y Nawalany (1983). Pueden revisarse los trabajos de Magheir y Singh (2002), Rosas et al. (2009), Morales et al. (2011), Lewis et al. (2012); Reyes (2012) y Erazo (2012). Los desarrollos posteriores de Furman (2008), Lewis (2012), Kurtz et al. (2014), Pacheco (2014), Fischer et al. (2020) aplicados a medios heterogéneos y anisotrópicos han sido especialmente importantes en el perfeccionamiento sistemático de esta línea de trabajo.

La complejidad fundamental del problema del monitoreo hidrogeológico en medios cársicos, típicos ejemplos de heterogeneidad y anisotropía de la estructura del campo de propiedades físicas se centra en los siguientes aspectos conceptuales (Molerio, 1985, 2023, 2024):

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

La red de monitoreo que se sometió a optimización era (y es) sumamente heterogénea en estructura, composición y distribución geográfica, por lo que la necesidad de optimizarla se convirtió en una oportunidad para mejorar el conocimiento de los sistemas acuíferos y ordenar el conocimiento operacional de la red et tanto indicador del régimen de las aguas subterráneas del país. optimización presentaba tres niveles de frecuencia: mensual, trimestral y semestral, compuesta por diferentes estaciones (pozos en su mayoría y no todos uniformemente construidos) ni con la misma información de base (columnas litológicas y propiedades físicas) ni el mismo modo de adquisición de datos.

Esta distribución de frecuencia está basada en apreciaciones cualitativas (en el caso del semestral, un muestreo de fin de período lluvioso y otro al final del periodo seco o menos lluvioso) lo que no está demostrado a partir de análisis más rigurosos y potentes. Muchos sistemas acuíferos se evalúan utilizando un método de procesamiento de niveles cuya robustez y aplicabilidad en el karst cubano sido puesta en duda por varios autores desde aquella época. porque obvia cualquier regionalización interna de los sistemas regionales de flujo que pretende caracterizar y asume condiciones de homogeneidad, isotropía y representatividad que ni han sido evaluados rigurosamente ni tampoco se cumplen en la mayor parte de los casos.

En efecto, March et al. (1992) propusieron una aproximación diferente al encontrar algunas limitaciones matemáticas en el algoritmo propuesto en los trabajos de Armesto (1990) y Barros y López (1994), en tanto Molerio (1992a, 1992b, 1992c) propuso alternativas diferentes para la descomposición de las fluctuaciones del nivel de las aguas subterráneas y optimizar la interpretación del pronóstico de extracciones de los acuíferos tomando en cuenta la naturaleza del karst cubano. Jiménez y Molerio (1994, 1997, 2006) y Jiménez, Aldama y Molerio (1992) aplicaron esta propuesta al acuífero de Ariguanabo y Quintana et al. (2000) aplicaron las técnicas más eficientes de análisis correlatorio y espectral para discriminar el comportamiento hidrodinámico y la identificación de diferentes sistemas de flujo en la llamada Cuenca Ariguanabo.

Otro inconveniente es que la absoluta mayoría de las mediciones son manuales y no obtenidas de sensores en tiempo real. Los datos que se obtienen son, entonces, de diferente naturaleza y conjugan uniformemente niveles piezométricos de puntos de muestreo que representan diferentes características hidrogeológicas e hidrodinámicas del acuífero, desde el área que representan, la estructura del campo de propiedades físicas hasta el tiempo de residencia (“edad”) de las aguas en el punto de muestreo o medición, por lo que también es cuestionable la representatividad de la estación y, obviamente, de los datos que se obtienen.

Una de las salidas de la operación normal de la red de monitoreo de las aguas subterráneas es la confección de mapas de isolíneas del nivel piezométrico. En medios cársicos, este es un método cuyo valor de uso real viene dado por el conocimiento de la estructura del campo de propiedades físicas de manera tal que permita conocer la deriva de la ortogonalidad de las líneas de flujo –que no se cumple- tomando en consideración que la conductividad hidráulica (anisotrópica) del sistema cársico es un tensor simétrico de segundo orden. Otra salida es la aplicación de un método grafoanalítico conocido como el Gráfico de Control de Balance (GCBAS) o de Bindeman, que está basado en la ecuación de flujo radial transitorio y la respuesta lineal al bombeo - que no aplica a oscilaciones causadas por fuerzas externas complejas como los efectos de carga barométrica o acoplamiento hidrogeológico-mareal, comunes en acuíferos costeros. En teoría podría procesar adecuadamente estas oscilaciones si se ajusta a un régimen periódico,

para lo que se requeriría de algunas modificaciones en el registro y procesamiento de niveles piezométricos (h_i) en pozos de observación durante un periodo significativo si: a) ha sido identificada previamente la representatividad de esas oscilaciones para un determinado sistema local de flujo; b) se construye una adecuada descomposición armónica de las oscilaciones en componentes periódicas representativas de la hidrodinámica local (frecuencia diaria o, mensual) habida cuenta que la adecuada resolución temporal es fundamental para reducir la incertidumbre en los pronósticos; c) se ajustan las curvas mediante soluciones analíticas modificadas de la ecuación de flujo para relacionar amplitud/retardo de las oscilaciones con los cambios temporo-espaciales de la transmisividad y el almacenamiento regionalizados representativamente y d) se discrimina adecuadamente la ecuación de flujo no permanente y elipsoidal derivado de la estructura tensorial de campo de conductividad hidráulica en el karst.

Su pertinencia y validez dependen del conocimiento detallado de los sistemas de flujo intermedios y locales de los grandes acuíferos ("cuencas") que pretenden caracterizar. Esto es aún más delicado pues es el instrumento de control y pronóstico de explotación de las aguas subterráneas que fundamenta la política de aprovechamiento de las aguas subterráneas.

Este artículo presenta un análisis detallado de la complementación inicial de la aplicación del Observador de Luenberger al caso concreto de optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas en medios heterogéneos y anisotrópicos para el caso particular de reducción de una red existente y en operación. Aparte de su costo e implementación y la complejidad computacional en el caso de mallas muy finas, se ha intentado corregir la propiedad del Luenberger estándar, diseñado para sistemas lineales para refinar su uso en acuíferos cársicos, altamente no lineales, como el Observador de Kalman Extendido - EKF) o no lineales como el Observador de Modo Deslizante (Sliding Mode Observer - SMO) que consiste en una técnica de estimación de estados para sistemas dinámicos.

RECONOCIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a los colegas que acompañaron estos estudios desde las primeras etapas de la aplicación de los métodos de optimización de la red de monitoreo de las aguas subterráneas en el Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos: Margarita Ampuero, Juan C. Batista, Yamilé Bustamante, Andrés Díaz Arenas, Ernesto Flores, Jorge L. Gelabert, Mario Guerra, Joaquín Gutiérrez, Cecilia March, Flor Jiménez, Irene Jiménez del Sol, Agnia León, Manuel Núñez, Yoemí Portuondo, Ernesto Rocamora, Katia del Rosario, Ana Margarita Sardiñas, Julio C. Torres y Gladis Yera. Un reconocimiento especial a los doctores Ismael Herrera, Susana Gómez y Martín Viera del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIMAS-UNAM) y Alberto Enrique García Rivero (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú).

DEFINICIÓN DEL OBSERVADOR DE LUENBERGER

En esencia, un Observador de Luenberger es un "modelo matemático en tiempo real" que se ejecuta en paralelo al sistema real. Su objetivo es estimar el estado interno completo de un sistema dinámico (en este caso, los niveles piezométricos en todo el acuífero) utilizando: a) un modelo dinámico del sistema (sus ecuaciones de gobierno) y b) Medidas parciales y con ruido (Noisy measures) provenientes de unos pocos sensores en tiempo real (por ejemplo, niveles en unos pocos pozos); estas últimas porque en cada punto de muestreo están afectadas por el ruido propio de los sensores (deriva, precisión limitada, ruido electrónico, ruido ambiental/contextual, efectos de la temperatura, ondulaciones de la superficie del agua, eventual interferencia de la telemetría y hasta la pericia del observador real, en el caso de las dominantes mediciones manuales, pasando por la calibración del equipo).

El observador compara continuamente las salidas medidas del sistema real con las salidas estimadas por su modelo interno. La diferencia (llamada error de innovación) se retroalimenta a través de una matriz de ganancia L para corregir las estimaciones del modelo. Si la matriz L está bien diseñada, el error de estimación converge a cero, incluso en presencia de incertidumbre en el modelo y ruido en las mediciones.

Para ello combina condiciones internas y externas que determinan las mediciones de cualquier proceso hidrogeológico. En las internas, todas las relaciones físicas (procesos, parámetros, condiciones de borde) y en las externas, aquellas que introduce la actividad de monitoreo (instrumentación, frecuencia de muestreo, distribución espacial de los puntos de muestreo, contenido del muestreo, entre otras). En este sentido, se aplica la aproximación basada en el espacio de estados o enfoque en el dominio del tiempo, definiendo las ecuaciones de estado para un sistema de aguas subterráneas conjugado con la ecuación de observación de la red existente o planeada que satisfaga el criterio de observabilidad (Nawalany, 1983). Aquí el estado lo define el nivel piezométrico. El karst responde a las perturbaciones como un sistema dinámico no lineal, por lo que debe tomarse en consideración que ciertos principios, como el de superposición no se cumplen.

En cualquier caso, la dependencia del modelo conceptual es fundamental. Si el modelo interno es conceptualmente erróneo el observador podría dar estimaciones falsamente precisas

ECUACIONES BÁSICAS Y REDUCCIÓN DE LA RED

La Ecuación de Boussinesq puede aplicarse, en tanto es una buena descripción matemática de la dinámica de la carga piezométrica en un sistema arbitrario de aguas subterráneas.

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + S$$

Para $(x, y) \in \Omega, t > 0$

Las condiciones iniciales y de contorno se describen mediante,

$$h(x, y, t) = H_0(x, y) \text{ para } (x, y) \in \Omega$$

$$h(x, y, t) = g(x, y, t), \text{ para } (x, y) \in \Gamma_1, t > 0$$

$$\left(-T_x \frac{\partial h}{\partial x}, -T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = f \text{ para } (x, y) \in \Gamma_2 = \partial \Omega \setminus \Gamma_1, t > 0$$

Donde, h , h_0 , carga piezométrica (m); T_x , T_y , transmisividad (m^2/d); S , término fuente/sumidero ($m^3/m^2/d$); μ , almacenamiento (adimensional); g , carga piezométrica prescrita a lo largo del límite Γ_1 (m); f , flujo prescrito a través del límite Γ_2 ($m^3/m/d$).

Las diferenciales ordinarias tiene la forma de las ecuaciones de estado $\dot{h} + Ah = Bu$, donde h , vector de estado ($n \times 1$); D , A , matrices paramétricas ($n \times n$); un vector de entrada (términos fuente/sumidero y condiciones de contorno; $k \times 1$); B , matriz de distribución de entrada.

La observabilidad se define mediante,

$$y = Hh = H(\bar{h} + h_1) = \bar{y} + Hh_1$$

Donde $\bar{y}$, y , son los vectores de mediciones ($m \times 1$); $\bar{h}$, h , los vectores de estado, H , la matriz observacional ($m \times n$).

En el caso que originalmente debía resolverse, la reducción de la red, el problema se planteaba del modo siguiente: a) cuántos puntos de medición deben ser eliminados; b) cuáles son los puntos que deben ser removidos de la red.

Nawalany (1983) señala que la cuestión a está definida por criterios económicos, técnicos o incluso humanos, más que de consideraciones hidrogeológicas. En est caso, el concepto de observabilidad del sistema define el número de los puntos de medición M que, si en este caso, el sistema sigue siendo observable, en problema se reduce a la cuestión b, donde se precisa conocer la red óptima remanente. Pero en caso que el sistema no resulte observable. A reducción propuesta e inútil y conduce a una sistemática pérdida de informatividad ya que el sistema en su conjunto no puede ser monitoreado con efectividad.

La definición del error de reconstrucción se obtiene a partir de la desviación cuadrática media

Al reconstruir el error δ_{io} en el i -ésimo punto de medición, se obtiene la desviación cuadrática media del valor reconstruido h_{io} de manera que,

$$\delta_{io} = \sqrt{\frac{1}{m_h} \sum_{j=1}^{m_h} [h_{io}(j) - \bar{h}_{io}(j)]^2}$$

Donde, m_h es el número de mediciones históricas y $h_{io}(j)$, $\bar{h}_{io}(j)$ las coordenadas de los valores i -ésimos medidos y reconstruidos del valor del vector de estado h , en el j -ésimo instante de tiempo. De esta manera, el punto de medición de menor error de reconstrucción δ_{io} debe ser removido primero y así sucesivamente en la siguiente red, de ahora N_{i-2} puntos

El Observador actúa como un filtro que corrige las desviaciones del modelo conceptual. Si el modelo subyacente no representa bien la conectividad entre dos zonas, se utilizan los datos reales para compensar este error y dar una estimación correcta, señalando indirectamente dónde falla el modelo conceptual.

El Luenberger estándar es para sistemas lineales y esto es una limitación para el caso de los acuíferos cársicos que son altamente no lineales. Esto requiere el uso de versiones extendidas (como el Observador de Kalman Extendido - EKF) o no lineales, que son más complejas, como el Observador de Modo Deslizante (SMO). Algunas desviaciones importantes y nada triviales se encuentran en las imprecisiones del modelo conceptual que, en el karst, es siempre la primera fuente de incertidumbre.

OBSERVADOR DE MODO DISCONTINUO EN EL KARST

La aplicación de observadores de modo discontinuo (o deslizante) en sistemas como el karst representa un enfoque de vanguardia para manejar las severas no linealidades e incertidumbres que un Observador de Luenberger estándar no puede tratar de forma óptima (Utkin, 1992; Edwards y Spurgeon, 1998; Gutiérrez et al., 2018).

Mientras que el Observador de Luenberger usa una corrección suave y continua del error, el Observador de Modo Discontinuo (SMO) aplica una corrección discontinua, brusca y de alta ganancia con el objetivo es "forzar" la trayectoria

de estimación del estado a "deslizarse" sobre una superficie donde el error de estimación es cero, rechazando activamente las incertidumbres y no linealidades.

El karst es un sistema **No Lineal, Heterogéneo, Anisotrópico e Incierto (NHAI)**. Un SMO está diseñado específicamente para este tipo de entornos debido a las capacidades que se resumen en la Tabla 1.

Las ventajas sobre un Luenberger estándar se resumen del modo: a) la robustez, su principal ventaja, ya que es extremadamente tolerante a errores en el modelo interno; b) la convergencia en tiempo finito, ya que mientras que Luenberger converge asintóticamente (se acerca gradualmente), el SMO puede alcanzar el error cero en un tiempo finito; c) no requiere sintonización f ya que una vez que la ganancia K es lo suficientemente grande, funciona. La sintonía de Luenberger (matriz L) es más delicada.

En el SMO, para la corrección discontinua y de alta ganancia, a diferencia de un Observador de Luenberger (que aplica una corrección suave $L*(y - \hat{y})$), se aplica una corrección del tipo $-K * \text{sign}(y - \hat{y})$, donde $\text{sign}()$ es la *función signo*. Esta ley conmuta o cambia bruscamente de valor (es *discontinua*) entre +K y -K dependiendo del signo del error. La ganancia K se elige lo suficientemente alta para dominar las incertidumbres del sistema.

Tabla 1. Aproximaciones del SMO a la solución de propiedades específicas del karst.

Propiedades específicas del karst	Aproximación SMO
No Linealidad y Heterogeneidad Extrema (Flujo en conductos vs. matriz)	El SMO no necesita un modelo lineal preciso del sistema. Solo necesita conocer los límites superiores de la incertidumbre del modelo. La ley de conmutación discontinua cancela activamente el error del modelo, sea cual sea su forma interna.
Alta Incertidumbre Paramétrica (No se sabe la conductividad hidráulica exacta)	El SMO es robusto. Mientras la incertidumbre esté acotada (ej., "K varía entre 10^{-5} y 10^{-2} m/s"), el observador seguirá funcionando correctamente. Es inherentemente tolerante a los fallos.
Comportamiento Discontinuo y de Umbral (Activación de sifones, flujo turbulento/laminar)	La naturaleza discontinua de la ley de control del SMO es ideal para seguir comportamientos que cambian bruscamente, forzando la estimación a converger incluso ante estos eventos.
Datos Ruidosos y Escasos	Una vez que la estimación "se desliza" en la superficie, el SMO se vuelve insensible a perturbaciones que satisfacen la condición de matching. Esto filtra el ruido de manera muy efectiva

En este método, la superficie de Deslizamiento (Sliding Surface) es una superficie o hipersuperficie en el espacio de estados donde el error de estimación es cero ($s = y - \hat{y} = 0$), lo cual es, precisamente, el objetivo a alcanzar. Pero, se insiste en que su beneficio principal es la Robustez e Insensibilidad del método, ya que una vez que las trayectorias de error "alcanzan" la superficie de deslizamiento, el sistema entra en "modo deslizante". En este régimen, la estimación se vuelve insensible a un amplio conjunto de incertidumbres y perturbaciones que afecten al sistema, siempre que éstas estén acotadas. El observador cancela activamente estos efectos no modelados.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SMO

El procedimiento de implementación es el siguiente:

1. En cualquier caso, el ajuste del modelo conceptual es fundamental; sí como el mayor detalle en la identificación de los sistemas locales e intermedios de flujo. La metodología de Molerio y Torres (2002) es válida tanto para el diseño de redes nuevas como de optimización de las existentes.
2. Creación de un modelo de ecuaciones diferenciales parciales (EDP) simplificado del acuífero. Este modelo es imperfecto: no captura todos los conductos y subestima la heterogeneidad. La incertidumbre se agrupa en un término $\Delta(x,t)$.
3. Se define una superficie de deslizamiento (s) en el espacio de error. Por ejemplo: $s = h_{\text{estimado}} - h_{\text{medido}} = 0$ con el objetivo de llevar s a cero y mantenerlo allí.
4. El Observador se diseña con una ley de corrección discontinua que conmuta bruscamente: $u_{\text{obs}} = -K * \text{sign}(s)$, donde: u_{obs} es la fuerza de corrección aplicada al modelo del observador, K es una ganancia suficientemente alta para superar la incertidumbre $\Delta(x,t)$, $\text{sign}(s)$ es la función signo, que vale +1 si $s > 0$ y -1 si $s < 0$.
5. El funcionamiento en tiempo real se produce mediante: a) El modelo nominal predice h_{estimado} ; b) Se mide el nivel piezométrico, h_{medido} en los pozos; c) Se calcula el error s; d) Se aplica la corrección u_{obs} . Esta

corrección no es suave sino que, siendo constante, desplaza el error hacia la superficie $s=0$; e) Una vez en $s=0$, la estimación "se desliza" de manera ideal hacia el estado verdadero, rechazando la incertidumbre $\Delta(x,t)$.

La conjugación integral con modelos conceptuales robustos y una definición de la estructura interna de los sistemas acuíferos cársticos aprovechando la definición de sus propiedades autocorrelatorias y espectrales robustece el modelo conceptual notablemente.

CASO REAL DE REDUCCIÓN DE UNA RED DE MONITOREO

En la Franja de Crudos del Norte de Cuba (Habana-Matanzas; Figura 1) se hizo necesario reducir una red de monitoreo del régimen y la calidad de las aguas subterráneas de las instalaciones de tierra (onshore) con la menor pérdida de informatividad.

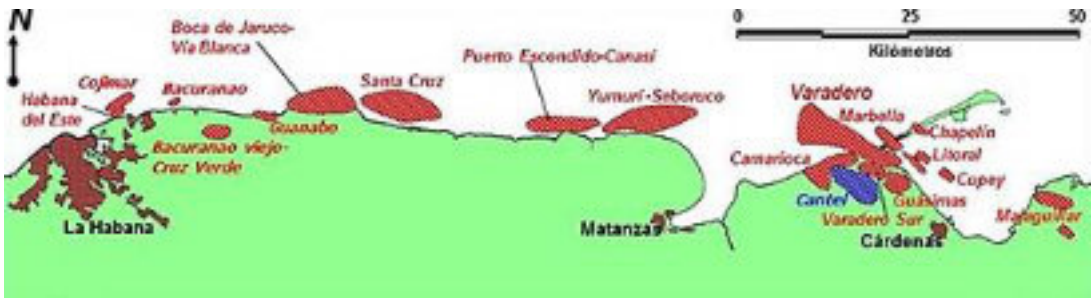


Figura 1. Franja de Crudos del Norte de Cuba (Fuente: Archivo del autor)

El modelo conceptual, la principal fuente eventual de incertidumbre de los sistemas acuíferos involucrados, se precisó sobre la base de la geología regional, particularmente de su estructura tectonofacial a definir la estructura interna de los dominios particulares de flujo. En particular, la inercia de los sistemas (Figura 2) y la capacidad de filtrado de las señales de entrada; en suma, las propiedades de autorregulación (Figura 3).

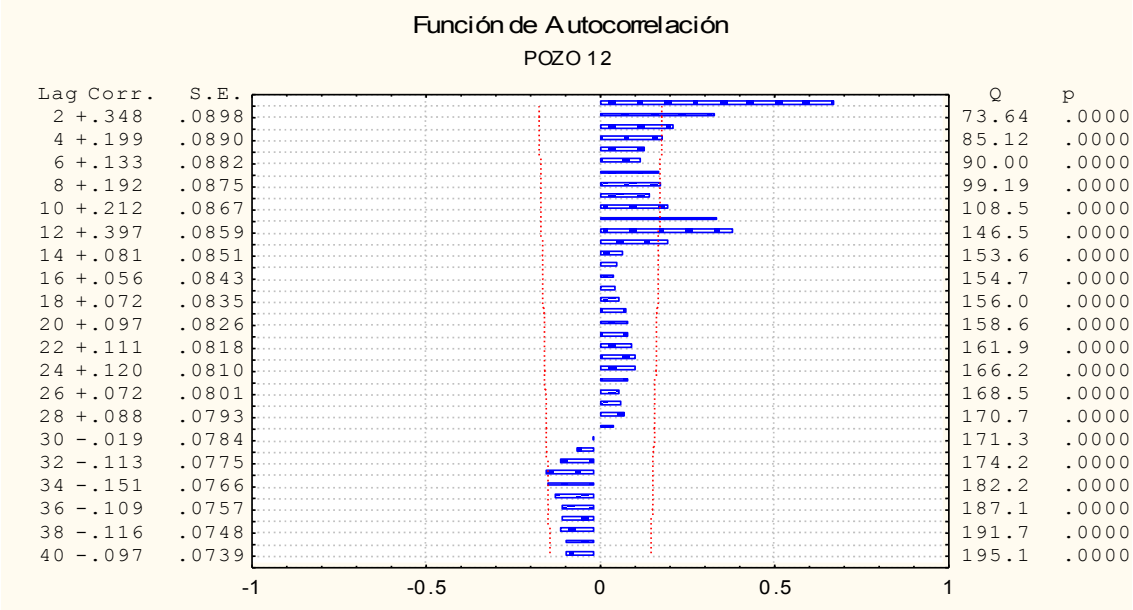


Figura 2. Función de autocorrelación de uno de los pozos de observación de la red de monitoreo que muestra las componentes inerciales y periódicas del sistema acuífero Fuente: Elaboración propia)

Los factores de control fueron definidos sobre la base del Análisis en Componentes Principales que, para dos factores, explicaron una varianza de poco más del 86%. Las Desviaciones Lineales Estandarizadas (SLD) de mayor relevancia fueron, para el primer factor, la Cota Piezométrica media, la cota del terreno y la distancia a la costa y, para el segundo factor, la distancia a la divisoria subterránea (Figura 4). Las funcionales de discriminación permiten el ajuste cómodo de la red optimizada (Figura 5).

La red original de 43 pozos, se redujo a 17 estaciones con un aceptable 4% de pérdida total de informatividad ($N=0,27$ a $N=0,23$), lo que representó una reducción de gastos de operación de \$144 180.50 a \$43 064.00 USD.

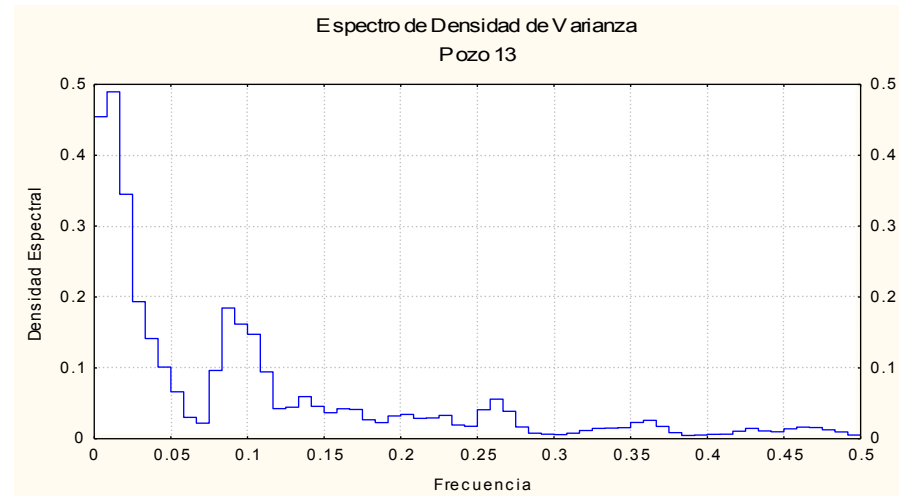


Figura 3. Espectro de varianza de los niveles piezométricos de uno de los pozos de la red de monitoreo que muestra el tiempo de filtrado de la señal de entrada (Fuente: Elaboración propia)

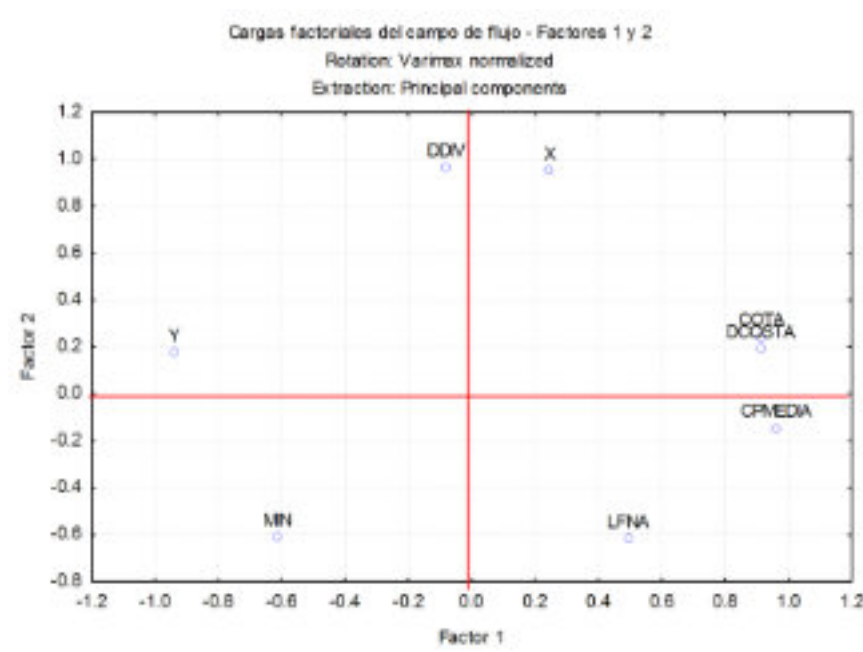


Figura 4. Plano factorial cartesiano del primer factor (Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

La teoría del Observador de Luenberger y sus derivados (como el Filtro de Kalman) ofrecen un marco poderoso y elegante para transformar el monitoreo de acuíferos cársicos de una práctica reactiva y fragmentaria a una proactiva e integradora. Al cerrar el ciclo entre el modelo y la medición, permiten "ver" lo que los sensores no captan directamente, lo que es invaluable para la gestión sostenible y la protección de estos recursos vitales y extremadamente vulnerables.

El Observador de Modo Discontinuo no es solo una alternativa al Luenberger; es la herramienta teórica correcta para la clase de problemas que presenta el karst. Su inherente robustez frente a la incertidumbre lo convierte en un candidato ideal para transformar datos escasos y ruidosos en una estimación confiable del estado de un sistema que, de otro modo, sería imposible de monitorear con precisión.

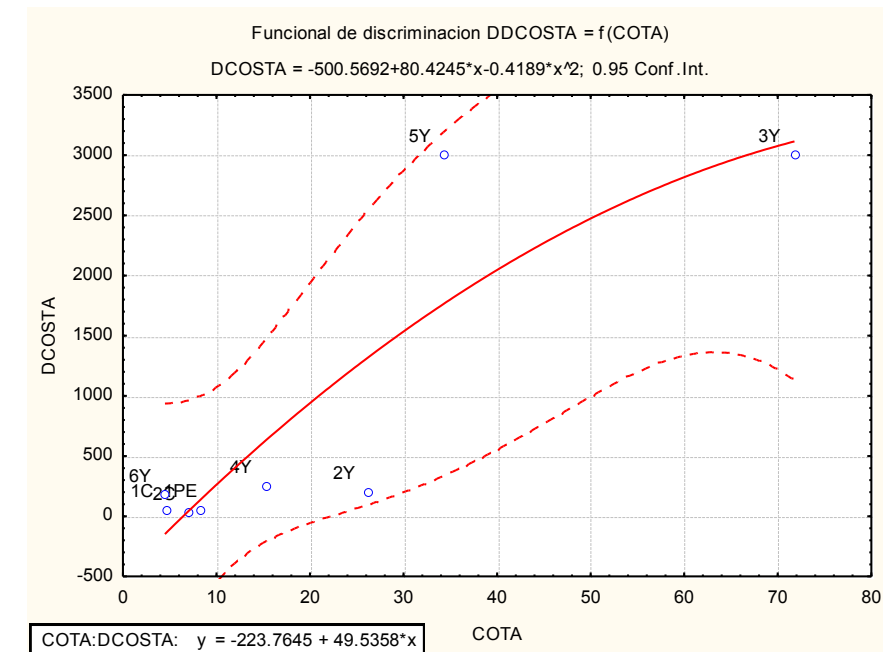


Figura 5. Funcional de discriminación de dos de los factores de control del régimen de las aguas subterráneas y sus intervalos de confianza 95% (Fuente: Elaboración propia)

BIBLIOGRAFÍA

- Armesto, A. (1990). *Análisis de distintos métodos para la evaluación de los recursos de las aguas subterráneas: Aspectos técnicos metodológicos de la hidrogeología* (Informe inédito No. 45). Departamento de Hidrogeología, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
- Barros, O., & López, D. (1994). *Metodología y automatización del gráfico de control de balance de las aguas subterráneas* [Ponencia inédita]. IX Forum de Ciencia y Técnica, La Habana, Cuba.
- Edwards, C., & Spurgeon, S. K. (1998). *Sliding mode control: Theory and applications*. Taylor & Francis.
- Erazo Ordo, C. C. (2012). *Nuevas aplicaciones de observadores de estado, diseño y prueba de estabilidad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia].
- Fischer, P., Rinder, T., & Birk, S. (2020). Data assimilation in karst hydrology: A review. *Hydrogeology Journal*, 28(8), 2961-2987. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02225-8>
- Furman, A. (2008). Coupled double-diffusive flow in a porous medium: Modeling and analysis. *Water Resources Research*, 44(6). <https://doi.org/10.1029/2007WR006530>
- Gelhar, L. W. (1993). *Stochastic subsurface hydrology*. Prentice Hall.
- Gutiérrez, O. A., Homayoun, H., & Ahmed, Q. (2018). Sliding mode observers for nonlinear systems: A survey. *International Journal of Systems Science*, 49(12), 2539-2556. <https://doi.org/10.1080/00207721.2018.1503359>
- Jiménez Hechevarría, S., & Molerio León, L. (1994). *Estudio de la variabilidad temporal de la carga hidráulica en los acuíferos cársicos cubanos* [Ponencia]. Segundo Congreso Cubano de Geología y Minería, Santiago de Cuba.
- Jiménez Hechevarría, S., & Molerio León, L. F. (1997). Variabilidad de la carga hidráulica en un acuífero con anisotropía homogénea. En D. M. Arellano, M. A. Gómez-Martín & I. Antigüedad (Eds.), *Investigaciones hidrogeológicas en Cuba* (pp. 61-70). Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Jiménez Echevarría, S., & Molerio León, L. F. (2006). Variabilidad de la carga hidráulica en un acuífero con anisotropía homogénea. *Espejunc@digital*, 4(1), 15-25.
- Jiménez Echevarría, S., Varona Aldama, B. R., & Molerio León, L. F. (1992). *Análisis estadístico de variables hidrogeológicas en la costera sur de La Habana* [Ponencia]. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, La Habana.
- Kurtz, W., He, G., Kollet, S. J., Maxwell, R. M., Vereecken, H., & Hendricks Franssen, H.-J. (2014). A joint data assimilation and model coupling environment for heterogeneous subsurface systems. *Computational Geosciences*, 18(4), 459-476. <https://doi.org/10.1007/s10596-014-9406-2>

Lewis, F. L., Vrabie, D., & Syrmos, V. L. (2012). *Optimal control* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Luenberger, D. (1971). An introduction to observers. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 16(6), 596-602. <https://doi.org/10.1109/TAC.1971.1099826>

March Delgado, C., Ampuero, M. A., Molerio León, L. F., & Ascanio Regalado, O. (1992). *Estructura del sistema automatizado de niveles de agua subterránea (SAN) del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos* [Ponencia]. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, La Habana.

Mogheir, Y., & Singh, V. P. (2002). Application of information theory to groundwater quality monitoring networks. *Water Resources Management*, 16(1), 37-49. <https://doi.org/10.1023/A:1015503810481>

Molerio León, L. F. (1985). *Dominios de flujo y jerarquización del espacio en acuíferos cársicos* [Ponencia]. Simposio XLV Aniversario de la Sociedad Espeleológica de Cuba, La Habana.

Molerio León, L. F. (1992a). *Técnicas estadísticas y de la teoría de la información en el diseño y control de las redes de monitoreo de las aguas subterráneas en el carso* [Ponencia]. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, La Habana.

Molerio León, L. F. (1992b). *Modelo de transporte de masa en la zona no saturada de los acuíferos cársicos. 1/Algoritmo ADRIANA (versión 2.91)* [Ponencia]. 1er Taller Iberoamericano de Informática y Geociencias, La Habana.

Molerio León, L. F. (1992c). *Procesos de transporte de masa en la zona no saturada de los acuíferos cársicos tropicales* [Ponencia]. GTICEK Taller Internacional sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas.

Molerio León, L. F. (1995). *Metodología geomatemática para la reducción de los costos de prospección hidrogeológica, monitoreo de las aguas subterráneas y disminución del riesgo de perforación no efectiva de pozos de abasto de agua* [Informe inédito]. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Molerio-León, L. F. (2019). *Sistemas de monitoreo de las aguas terrestres en yacimientos gasopetrolíferos onshore del trópico húmedo: diseño, operación y optimización* [Ponencia]. IX Congreso de Gestión Ambiental, XII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana.

Molerio-León, L. F. (2023). Hidrogeología de las regiones cársicas de Cuba: Marco conceptual. *Gota a Gota*, 28, 35-54. <https://www.researchgate.net/publication/369089226>

Molerio León, L. F. (2024). Resumen conceptual del modelo termodinámico de desarrollo del karst (MTDK). *Argentina Subterránea*, 24(56), 41-64. <https://www.researchgate.net/publication/387498415>

Molerio León, L. F., Guerra Oliva, M. G., Flores Valdés, E., Rocamora Álvarez, E., Núñez Laffitte, M., Portuondo López, Y., & Batista, J. C. (1997). Técnicas geomatemáticas en hidrogeología: Aplicaciones en Cuba. En D. M. Arellano, M. A. Gómez-Martín & I. Antigüedad (Eds.), *Investigaciones hidrogeológicas en Cuba* (pp. 25-42). Editorial de la Universidad del País Vasco.

Molerio León, L. F., & Portuondo López, Y. (1997). *Técnicas geomatemáticas aplicadas a hidrogeología: Notas de clase*. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Molerio León, L. F., & Portuondo López, Y. (1998). *Redes de monitoreo de las aguas subterráneas: Métodos geomatemáticos de diseño, optimización de la distribución espacial y selección de la frecuencia mínima de observaciones* [Manual inédito]. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.

Molerio León, L. F., Portuondo López, Y., & Torres Rodríguez, J. C. (1998). *Métodos geomatemáticos de diseño y optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas* [Ponencia]. XII Seminario Internacional del CIRA, La Habana.

Molerio León, L. F., & Torres Rodríguez, J. C. (2002). Métodos geomatemáticos de diseño y optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 23(2), 38-45.

Molerio León, L. F., Torres Rodríguez, J. C., Rocamora Álvarez, E., Guerra Oliva, M. G., & del Rosario, K. (2002a). Optimización de la red de monitoreo del régimen de las aguas subterráneas en la Cuenca Sur de Matanzas, Cuba. I. Dominio espacial. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 23(2), 10-22.

Molerio León, L. F., Torres Rodríguez, J. C., Rocamora Álvarez, E., Guerra Oliva, M. G., & del Rosario, K. (2002b). Optimización de la red de monitoreo del régimen de las aguas subterráneas en la Cuenca Sur de Matanzas, Cuba. II. Dominio frecuencial. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 23(2), 23-37.

Morales, C., Adam, M., Cervantes, I., Vela, L. G., & Rodríguez, J. (2011). *Observador para un sistema lineal por pedazos en tiempo discreto con modos desconocidos* [Ponencia]. AMCA, Saltillo, Coahuila.

Nawalany, M. (1983). Application of the observer theory in optimization of groundwater monitoring network. En *Methods and instrumentation for the investigation of groundwater systems* (pp. 73-85). UNESCO.

Nawalany, M. (1989). Are reconstructors useful in groundwater protection decision-making? En *Groundwater contamination: Use of models in decision-making* (pp. 201-208). International Ground Water Modeling Center.

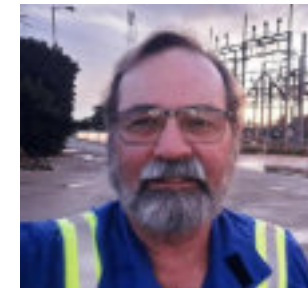
PachecoOñate, C. A. (2014). *Análisis de observadores fraccionarios de estado en sistemas dinámicos lineales* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].

Reyes Yépez, M. P. (2012). *Síntesis de observadores para sistemas lineales de parámetros variables (LPV): Estudio orientado hacia la detección y localización de fallas en procesos de tratamiento de aguas residuales* [Tesis de maestría, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico].

Rosas, D. J., Álvarez, P. R., & Silva, A. (2009). *Observación de estado y estimación de perturbaciones en sistemas no lineales en forma normal* [Ponencia]. Memorias AMCA, México.

Utkin, V. I. (1992). *Sliding modes in control and optimization*. Springer-Verlag.

Zhou, Q., Gómez-Hernández, J. J., & Hendricks Franssen, H.-J. (2014). Data assimilation methods in hydrogeology: A review. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4), 1285-1303. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1285-2014>



LESLIE F. MOLERIO LEÓN. Geólogo de Yacimientos Minerales e Hidrogeólogo-Hidrotécnico, cubano, MSc. en Hidrología Isotópica con pre, posgrados y docencia en universidades y centros de Investigación europeos y latinoamericanos. Ex-Director del Servicio Hidrogeológico de la República de Cuba y del Centro de Hidrología y Calidad de las Aguas (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos), Consultor Ambiental, Especialista Principal en Proyectos e Ingeniería (INVERSIONES GAMMA, S.A.), Especialista en Obras Subterráneas y Auditor Ambiental titulado. Experto para agencias de Naciones Unidas, del sistema interamericano y consultoras internacionales de varios países. Con 59 años de vida laboral activa, ha participado en unos 490 proyectos de su especialidad en 50 países. Autor o coautor de unos 370 artículos científicos y de 19 libros de su especialidad. Es Miembro de la Academia de Ciencias de Nueva York científicas internacionales, cubanas y extranjeras, así como de varias comisiones de instituciones internacionales.

Sismicidad, redes sismológicas, sistemas de alarma e instituciones.

Compilación sucinta por Claudio Bartolini - Editor de la Revista

Instituto de Geofísica, UNAM
<https://www.geofisica.unam.mx/>

Esta sede está ubicada en el Circuito de la investigación científica, entre el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático y el Instituto de Geología.

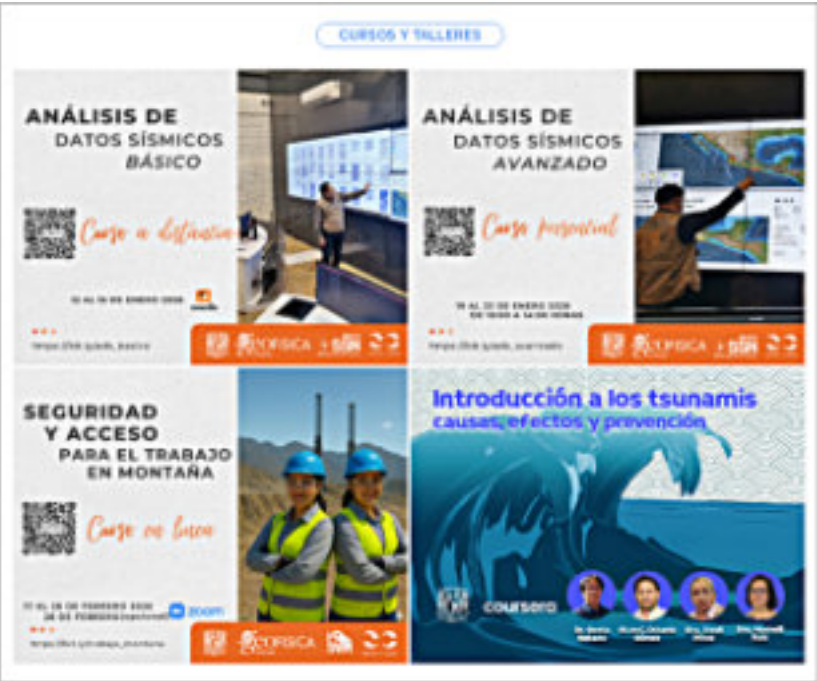
El personal académico de esta sede está organizado en cinco Unidades de investigación: Ciencias espaciales, Geomagnetismo y exploración geofísica, Recursos naturales, Sismología y Vulcanología; así como las secciones de Radiación solar y de Riesgos espaciales.

Misión

Realizar investigación científica y tecnológica de punta en Geofísica y en disciplinas afines. Operar servicios que proporcionan información confiable y oportuna para la toma de decisiones sobre fenómenos naturales que puedan implicar riesgos a la seguridad de la sociedad. Beneficiar a la sociedad en general con actividades de docencia, formación de recursos humanos, divulgación y difusión de los resultados y los conocimientos del área de las Ciencias de la Tierra

Visión

Ser un referente de investigación, enseñanza y difusión de nuestros conocimientos en Ciencias de la Tierra. Desarrollar investigación multidisciplinaria en beneficio de la sociedad y que aporte soluciones a problemas de seguridad nacional.



<https://www.geofisica.unam.mx/sismologia/>

Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM

Nuestro departamento es uno de los centros de investigación sismológica más importantes de México.

Trabajamos en líneas clásicas y diversas de investigación, como son la propagación de ondas en el territorio mexicano, la determinación de la estructura y anisotropía litosféricas, el estudio de la sismicidad cortical y en la zona de subducción, la tomografía de la cinemática, la dinámica de la fuente sísmica, entre otras.

La sismología es una ciencia muy estimulante. Nos permite entender dónde, por qué y cómo se producen los sismos, así como la evolución tectónica de la región donde éstos se producen. Para estudiar la sismología es preciso tomar una perspectiva tanto geográfica como histórica.

Por otra parte, la sismología realiza contribuciones importantes a la sociedad, ya que nos ayuda a cuantificar la amenaza sísmica que afecta a nuestras poblaciones.

DISCIPLINAS

SISMICIDAD Y SISMOTECTÓNICA	▼
FUENTE SÍSMICA	▼
MOVIMIENTOS FUERTES	▼
SISMOLOGÍA COMPUTACIONAL	▼
ESTRUCTURA Y ANISOTROPIA TERRESTRE	▼
GEODESIA Y TECTONOFÍSICA	▼
SISMOLOGÍA VOLCÁNICA	▼
PELIGRO SÍSMICO, VOLCÁNICO Y GESTIÓN DE RIESGOS POR FENOMENOS NATURALES	▼
SISMICIDAD HISTÓRICA	▼
GEOFÍSICA MARINA	▼

Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la UNAM

PERSONAL

<https://www.geofisica.unam.mx/sismologia/personal/>



PROYECTOS



<https://areas.geofisica.unam.mx/sismologia/satreps/>



<http://sisper.unam.mx/>

Servicio Sismológico Nacional

<http://www.ssn.unam.mx/>



MISIÓN

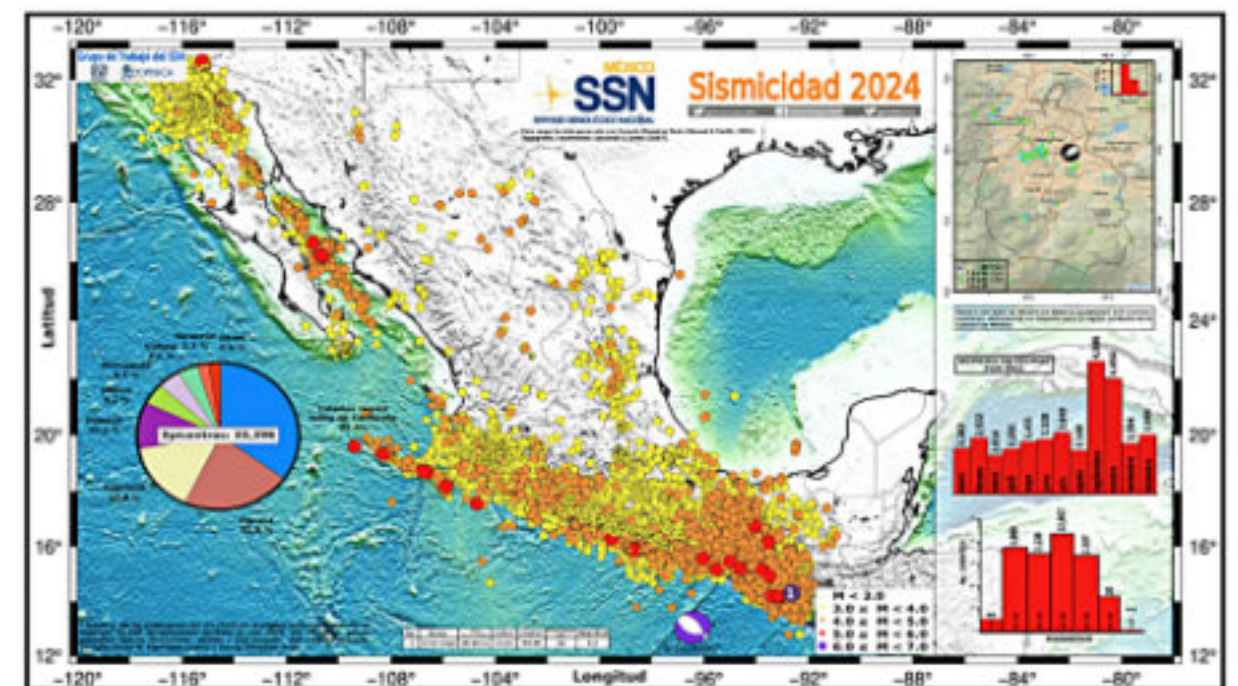
Registrar, almacenar y distribuir datos del movimiento del terreno para informar sobre la sismicidad del país a las autoridades y a la población en general, promover el intercambio de datos y cooperar con otras instituciones de monitoreo e investigación a nivel nacional e internacional.

VISIÓN

Ser un referente nacional e internacional del registro de la actividad sísmica, así como de la difusión y divulgación de la información sismológica.

HISTORIA

El primero de abril de 1904 se reunieron en Francia, dieciocho países, entre ellos México, con el fin de crear la Asociación Sismológica Internacional y mejorar la instrumentación sísmica a nivel mundial. Para cumplir con los compromisos adquiridos en esa reunión, el gobierno mexicano inició la instalación de una red sismológica en el territorio nacional. El 5 de septiembre de 1910 se inauguró la primera estación sismológica de la red, en Tacubaya, Distrito Federal, ahora Ciudad de México. En ese momento, la red sismológica quedó a cargo del Instituto Geológico Nacional dependiente de la Secretaría de Minería y Fomento.



Catálogo de sismos

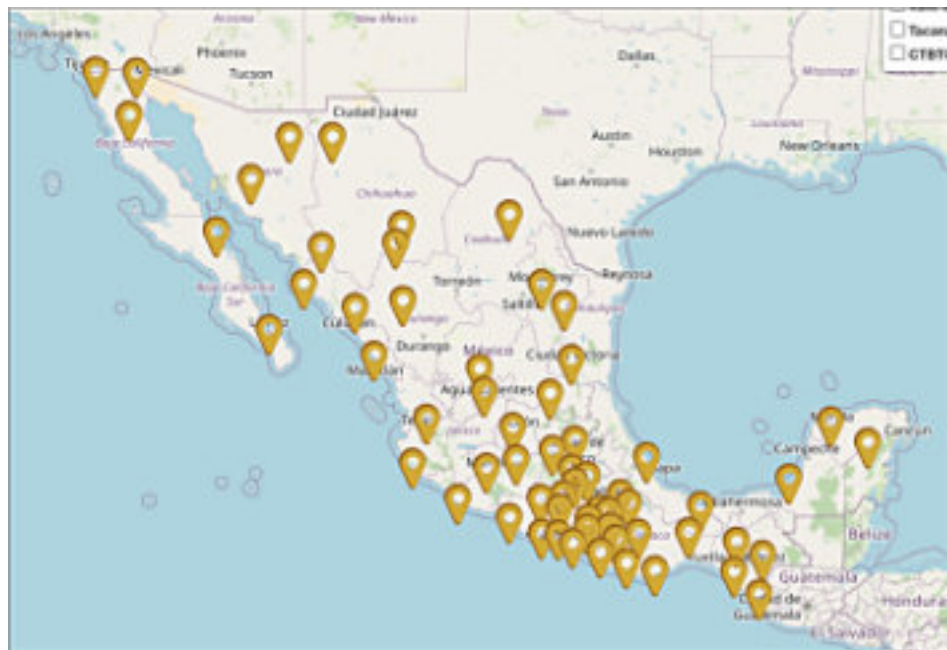
<http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>

FECHA Y HORA	LOCALIZACION	LATITUD*	LONGITUD*	PROFUNDIDAD (KM)	MAGNITUD	FECHA Y HORA UTC
2026-01-01 00:06:31	4 km al SUROESTE de SAN JOSE DEL CARO, BCS	23.042	-109.741	10.5	1.4	2026-01-01 06:06:31
2026-01-01 00:06:56	18 km al NORESTE de OMETEPEC, GRO	16.814	-98.307	12.2	2.8	2026-01-01 06:06:56
2026-01-01 00:09:27	22 km al SURESTE de TLAPA, GRO	17.398	-98.444	58.5	3.6	2026-01-01 06:09:27
2026-01-01 00:40:15	17 km al NORESTE de OMETEPEC, GRO	16.81	-98.312	10.3	3	2026-01-01 06:40:15
2026-01-01 01:11:25	64 km al NOROESTE de TEHUANTEPEC, OAX	16.524	-95.804	62.9	3.5	2026-01-01 07:11:25
2026-01-01 01:12:50	124 km al SUROESTE de GUASAVE, SIN	24.643	-109.161	12.1	3.6	2026-01-01 07:12:50
2026-01-01 01:13:42	126 km al SUROESTE de GUASAVE, SIN	24.606	-109.119	12.7	4	2026-01-01 07:13:42
2026-01-01 02:02:18	82 km al NOROESTE de SAN FELIPE, BC	31.407	-115.578	20.7	3.1	2026-01-01 08:02:18
2026-01-01 02:05:36	125 km al SUROESTE de GUASAVE, SIN	24.61	-109.109	15.8	4	2026-01-01 08:05:36
2026-01-01 02:24:02	56 km al OESTE de SAN FELIPE, BC	31.017	-115.422	5.7	2.9	2026-01-01 08:24:02

La Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional está distribuida en toda la República Mexicana para el monitoreo continuo de los fenómenos sísmicos. Está integrada por 62 Observatorios Sismológicos Estándar que cuentan, cada uno, con un sismómetro de tres componentes con respuesta plana de 120 ó 240 seg. hasta 50 Hz y un acelerómetro de tres componentes; además de un digitalizador de 24 o 26 bits que permite almacenar de manera local la información generada, así como enviarla a través de los distintos medios de comunicación utilizados. De igual forma, cuenta con 43 sistemas GNSS para el monitoreo del desplazamiento. Los observatorios se localizan primordialmente en las costas del océano Pacífico, golfo de México y eje neovolcánico.

Los observatorios utilizan los siguientes instrumentos: Sismómetro, sensor de velocidad: estos sensores triaxiales permiten registrar ondas sísmicas en una amplia banda de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 0.01 a 30 Hz, y capacidad de registrar sismos en una amplia gama de magnitudes, desde sismos locales, regionales, hasta lejanos sin saturar el instrumento.

Redes sismológicas: <http://www.ssn.unam.mx/acerca-de/estaciones/>



REDES SISMOLÓGICAS LOCALES Y REGIONALES EN MÉXICO

El Servicio Sismológico Nacional se encuentra en constante colaboración con instituciones locales y regionales de nuestro país. En conjunto, se logra extender la cobertura nacional de estaciones sismológicas y maximizar los recursos que permiten alcanzar altos estándares de calidad en la operación de las redes de monitoreo sísmico.

El Proyecto "Red Sísmica Mexicana" (RSM) dio inicio en el año 2000 con el fin de modernizar la infraestructura de monitoreo sísmico en el territorio nacional a fin de generar productos basados en datos de alta calidad e información precisa y oportuna que faciliten principalmente la toma de decisiones a los sistemas de protección civil en caso de una crisis sísmica.

En la actualidad el Proyecto RSM se encuentra en su segunda etapa denominada "Reforzamiento y actualización de la Red Sísmica Mexicana", entre cuyos objetivos prioritarios destacan: Contar con una red de Observatorios Sismológicos Estándar (OSE) y estaciones sismológicas y acelerográficas complementarias que aseguren una cobertura que permita registrar de manera homogénea y confiable a nivel nacional sismos con magnitud igual o superior a 3.8 Mw, así como la elaboración de mapas de intensidad del movimiento sísmico para eventos importantes.

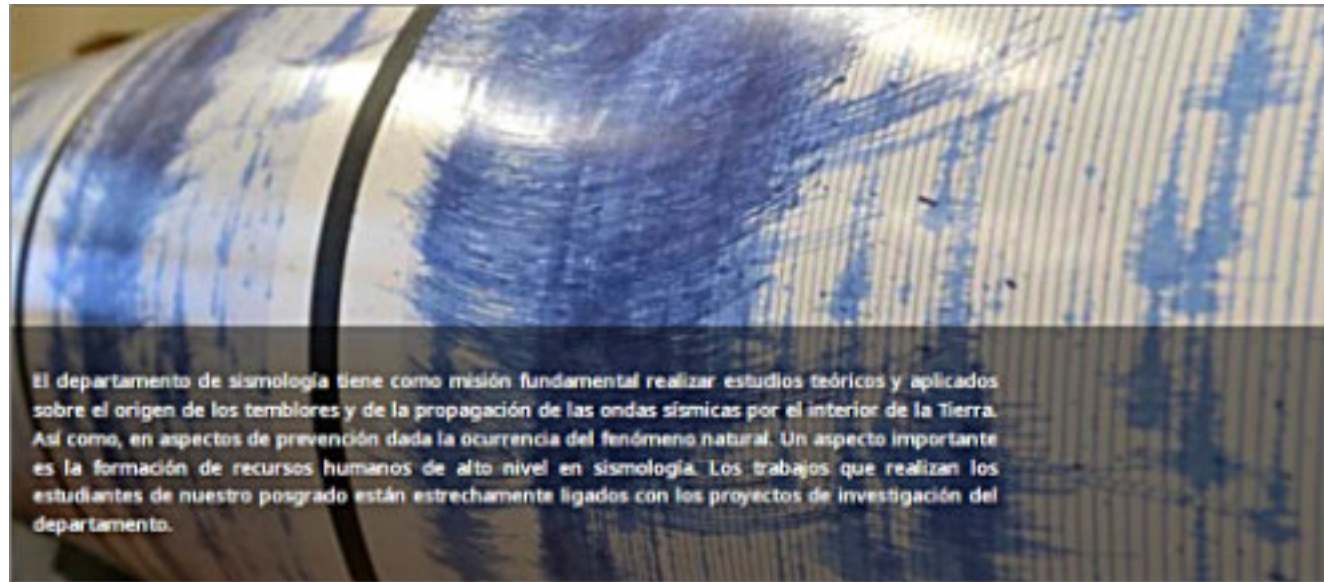
Garantizar la operación continua del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y de la Red Acelerográfica a cargo del Instituto de Ingeniería (IINGEN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para la emisión oportuna de los reportes de sismicidad a nivel nacional y la generación de mapas de intensidad -aún bajo condiciones altamente desfavorables y/o de emergencia- que puedan presentarse en el país.

Dar continuidad a la modificación y mejoramiento de las herramientas computacionales e instrumentales existentes para la determinación de los parámetros hipocentrales significativos que ayuden al análisis sísmico de nuestro país; además del cálculo de los mapas de intensidades, tanto a nivel nacional como regional y local para sismos importantes.

<http://www.ssn.unam.mx/acerca-de/redes-locales-y-regionales/>



<https://www.cicese.edu.mx/investigacion/sismologia/1>



El CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada) es una institución clave en México para la sismología, con una extensa Red Sismológica (RSC) que incluye subredes como la del Noroeste (RESN) y del Golfo de California, enfocándose en peligros naturales y geología de la Tierra; trabajan en conjunto con otras entidades como el SSN (Servicio Sismológico Nacional) (UNAM) y CENAPRED, que también monitorean y difunden información sísmica en el país para investigación y protección civil.

Instituciones Sismológicas Relevantes en México:

CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada):

Actividades: Estudios de peligro sísmico, deformación cortical, fuentes sísmicas, y mantenimiento de redes sismológicas (RESN, RESAN, REGN).

Red Sismológica: Opera la Red Sismológica del Noroeste (RESN) y la del Golfo de California (RESAN).

Servicio Sismológico Nacional (SSN) - UNAM:

Rol: Institución oficial de monitoreo sísmico en tiempo real, adscrito al Instituto de Geofísica de la UNAM.

Cobertura: Tiene estaciones en todo el país, como San Pedro Mártir y Tijuana, y colabora con redes como la del CICESE.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres):

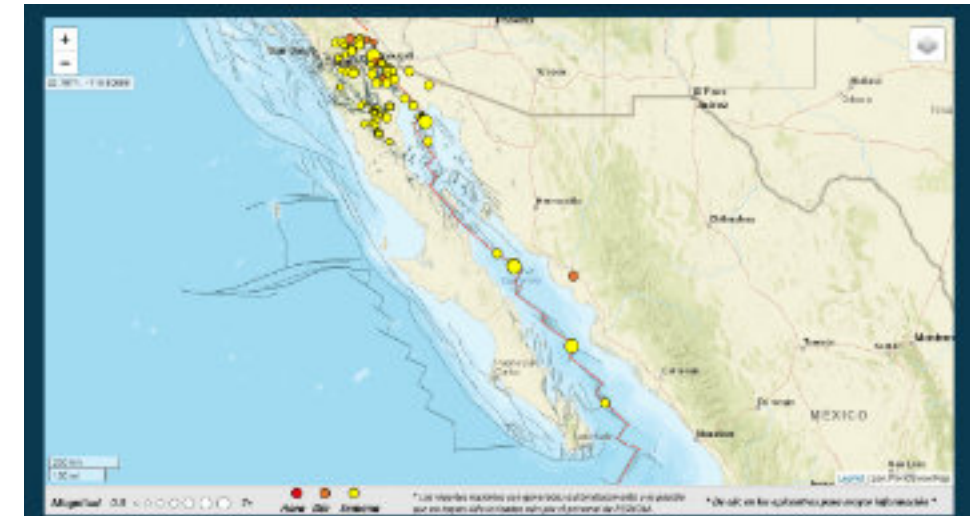
Función: Recibe información del SSN y la difunde a instancias de protección civil para la alerta y gestión de riesgos.

Cómo se Relacionan:

El CICESE y el SSN (UNAM) son instituciones académicas y de investigación fundamentales que generan datos y conocimiento.

El SSN es la entidad oficial para el monitoreo, y el CENAPRED se encarga de la difusión para protección civil, colaborando con datos de instituciones como el CICESE.

<https://resnom.cicese.mx/sitio/>



ACERCA DE LA RED SÍSMICA DEL CICESE

El CICESE ha operado diversas redes sísmicas durante más de tres décadas y estas redes forman parte importante de la infraestructura del Departamento de Sismología del CICESE. En el año 2015, la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANM), la Red Sismológica de Banda Ancha del Golfo de California (RESBAN), la Red Urbana de Baja California (RAUBC) y la Red Sismológica de La Paz (RSLP), se unen para conformar una sola red denominada Red Sísmica del CICESE.

Esta red detecta y registra en forma continua la actividad sísmica que ocurre en el noroeste de México, principalmente: en el norte de Baja California, el noroeste de Sonora, el Golfo de California, y en la región de Baja California Sur. Con el fin facilitar y mejorar la operación de la Red Sísmica del CICESE (RSC), en diciembre de 2016 se conformó el Consejo Consultivo de Redes Sísmicas.

Actualmente La RSC cuenta con 32 estaciones de aceleración y velocidad (banda ancha), con 10 estaciones de banda ancha, y con 46 estaciones solo de aceleración. De las 88 estaciones que se tienen, 45 transmiten datos en tiempo real, a través de Internet satelital o servicio de Internet convencional y 3 más transmiten datos por medio de enlaces de radio, al Centro de Procesamiento de Datos ubicado en el CICESE. Con el fin de complementar la instrumentación de las estaciones sismológicas, entre el año 2015 y 2017 se han instalado 8 equipos GPS. Por tanto, en estas 8 estaciones sismológicas se cuenta con sensores de aceleración, velocidad y desplazamiento.

OBJETIVOS

Los objetivos fundamentales de la Red Sísmica del CICESE son:

Detectar, registrar, catalogar e intercambiar información sobre la sismicidad que ocurre en el noroeste de México.

Ser una fuente de datos confiable, que permita estudiar y entender las características de la sismicidad de la región. Estos datos están disponibles para la comunidad académica (investigadores y estudiantes) que lo soliciten.

Proporcionar un servicio de información veraz y oportuna a la sociedad, medios de comunicación y a autoridades relacionadas con protección civil. La información proporcionada es sobre la actividad sísmica (localizaciones, magnitudes y mapas de intensidades) que ocurre en la región noroeste de México.

Servicio Geológico Mexicano

<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>

Sismología de México

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta.

La alta sismicidad en el país, es debido principalmente a la interacción entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como a fallas locales que corren a lo largo de varios estados aunque estas últimas menos peligrosas. La Placa Norteamericana se separa de la del Pacífico pero roza con la del Caribe y choca contra las de Rivera y Cocos, de aquí la incidencia de sismos.

Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana debido a la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico frente a estos estados, también por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y el Distrito Federal.

Aunque las zonas epicentrales se localizan en diversos puntos del Pacífico, la Ciudad de México, aunque no se encuentre sobre la costa, se ha convertido en el receptor sísmico de todos ellos debido a que se encuentra lo suficientemente cercana para experimentar sus efectos y, la causa de que estos sean más dañinos en esta zona que en otros lugares, radica entre otras cosas en la naturaleza de su terreno ya que fue fincada en lo que fuera un lago, generando gran preocupación.

REGIONES SISMICAS EN MÉXICO.

Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo.

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

<https://www.uv.mx/cienciauv/blog/hablemosunpocosobreamenazasismic/>



Los países en el mundo se ven amenazados por la actividad sísmica de la Tierra, dado que puede afectar gravemente su población e infraestructura. La actividad sísmica en la Tierra se debe al movimiento de las placas tectónicas que conforman la corteza terrestre o litósfera. Dichas placas, al estar en contacto, generan fuerzas de fricción que llevan a un estado de equilibrio precario, es decir, a un movimiento relativo nulo entre placas, en el cual se acumula gran cantidad de energía mecánica, que es liberada de manera súbita cuando se vencen las fuerzas de fricción que impedían el movimiento. La manera en que se propaga la energía liberada es a través de ondas sísmicas que viajan por la corteza y el manto (así es, una onda también puede propagarse a través de un medio líquido o viscoso) a miles de kilómetros a su alrededor.

Es evidente que la mayoría de los países en el mundo se ve amenazada por la actividad sísmica del planeta, dado que ésta puede afectar gravemente su población e infraestructura. Es sabido que eventos sísmicos de gran magnitud pueden generar elevadas intensidades de movimiento del suelo y provocar daños significativos o el colapso, ya sea total o parcial, de edificaciones. Por ello es necesario poner énfasis y cuidado en el diseño de los distintos tipos de obras civiles (casas, edificios, puentes, carreteras, presas, etc.), con el fin de evitar, en la medida de lo posible, pérdidas de vidas humanas y materiales ante la presencia de un evento sísmico.

Instituto de Ingeniería, UNAM - Ingeniería Sismológica

<http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Coordinacion/IngenieriaSismologica/Paginas/default.aspx>



La Coordinación de Ingeniería Sismológica fue creada el 31 de mayo de 1994. Esta Coordinación, reúne a investigadores y técnicos especializados tanto en la observación, análisis y modelado de terremotos, como en la evaluación del riesgo sísmico para reducir el peligro sísmico en lugares donde hay asentamientos humanos. Está formada por ocho investigadores, veinte técnicos académicos y 53 becarios. Siete de los investigadores tienen grado de doctor y uno de maestro en ciencias. De los técnicos, dos tienen el grado de maestría y uno de doctorado. Siete de los miembros de la coordinación pertenecen al SNI, tres de ellos con nivel III. Las principales líneas de investigación que se cultivan son: 1) Registro y análisis de sismos fuertes, réplicas de sismos grandes, o sismicidad inducida, 2) Monitoreo sísmico para la generación de mapas de aceleración máxima, evaluación de fallas locales, efectos de sitio y estudios geotérmicos, 3) Espectros de diseño y microzonificación sísmica, 4) Desarrollo de métodos para estudiar la respuesta sísmica de valles aluviales, medios heterogéneos, medios fracturados, y evaluación de efectos de sitio, 5) Análisis y modelado de los fenómenos dinámicos asociados a las fuentes sísmicas, 6) Estudios de vibración ambiental para su aplicación en la ingeniería sísmica y exploración geotécnica, 7) Pérdidas esperadas por sismo en edificios e infraestructura urbana e industrial.

En años recientes la Coordinación agrupó a lo que antes fue la Coordinación de Sismología e Instrumentación Sísmica. Parte de esa Coordinación es actualmente la Unidad de Instrumentación Sísmica. Otra parte constituye el Grupo de Procesamiento. Ambos grupos tienen principalmente la tarea de mantener, reforzar y modernizar la red acelerográfica de nuestro instituto a fin de dar cumplimiento al convenio de colaboración celebrado con la Secretaría de Gobernación en materia de Protección Civil enmarcado en el proyecto de la Red Sísmica Mexicana. Cuenta con un Puesto Central de Recepción donde se recibe información de varias estaciones acelerográficas instaladas en diversos estados de la República Mexicana. Contar con esta infraestructura de comunicación en tiempo real, ha permitido tener, después de ocurrido un sismo, mapas de la distribución de la severidad del movimiento sísmico tanto a nivel nacional como en el valle de México, con el propósito de coadyuvar con las autoridades de protección civil para la atención de la emergencia. Además de las estaciones en campo libre se atiende a estructuras instrumentadas, como edificios, puentes, monumentos históricos, rellenos sanitarios, pirámides y viaductos. Lo que ha permitido contar con información valiosa para el estudio de los efectos de sitio en suelos, así como el estudio del comportamiento de las estructuras. Para realizar su labor experimental, esta Coordinación dispone de equipo e instalaciones especializadas como: laboratorios electrónicos, donde se da mantenimiento y se adecúan para los muy diversos experimentos; acelerógrafos y sismógrafos usados para redes temporales, además de un sismógrafo de exploración con 24 geófonos.

México es uno de los países con mayor actividad sísmica en el mundo. Datos estadísticos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) indican que se registran cerca de 200 sismos por año (promedio de las últimas dos décadas) con magnitud superior a 4 en la escala sismológica de magnitud de momento (M_w).

¿Cómo evaluamos la amenaza sísmica?

Hasta el día de hoy no es posible predecir cuándo y en dónde ocurrirá un sismo. Lo anterior se debe a que las incertidumbres (ubicación, tiempo, magnitud, intensidad, etc.) para predecirlo son muy elevadas, como lo son también las demandas sísmicas que inducen a una estructura o edificación. Sin embargo, podemos hacer uso del análisis probabilístico de peligro sísmico (de ahora en adelante APPS) para tomar en cuenta dichas incertidumbres a través de modelos probabilísticos sobre la actividad sísmica de la fuente (regiones en donde se generan los sismos) y de modelos de atenuación que permiten estimar la intensidad de un sismo en un determinado sitio, a partir de su magnitud en la fuente que lo generó y la distancia entre la fuente y el sitio de interés.

El objetivo del APPS es evaluar la frecuencia anual de excedencia de la intensidad media del nivel de movimiento del suelo en un determinado sitio. Los resultados se expresan a través de una curva de peligro (frecuencia anual de excedencia versus intensidad media del movimiento del suelo) o mediante un espectro de peligro uniforme (intensidad espectral versus periodo estructural, para una tasa anual de excedencia o periodo de retorno fijo). La manera de representar los resultados del APPS dependerá del parámetro que representa la intensidad del movimiento del suelo, de la extensión del área de estudio y de la aplicación a la cual vayan a estar dirigidos.

Para fines de diseño sísmico, los resultados deben ser expresados en parámetros útiles que permitan estimar la demanda sísmica (fuerza de diseño), a la cual puede estar sujeta una estructura durante su vida útil ante la presencia de un evento sísmico. El parámetro comúnmente usado para ello es: aceleración máxima del suelo, que presenta cierta correlación con el daño causado a una estructura.



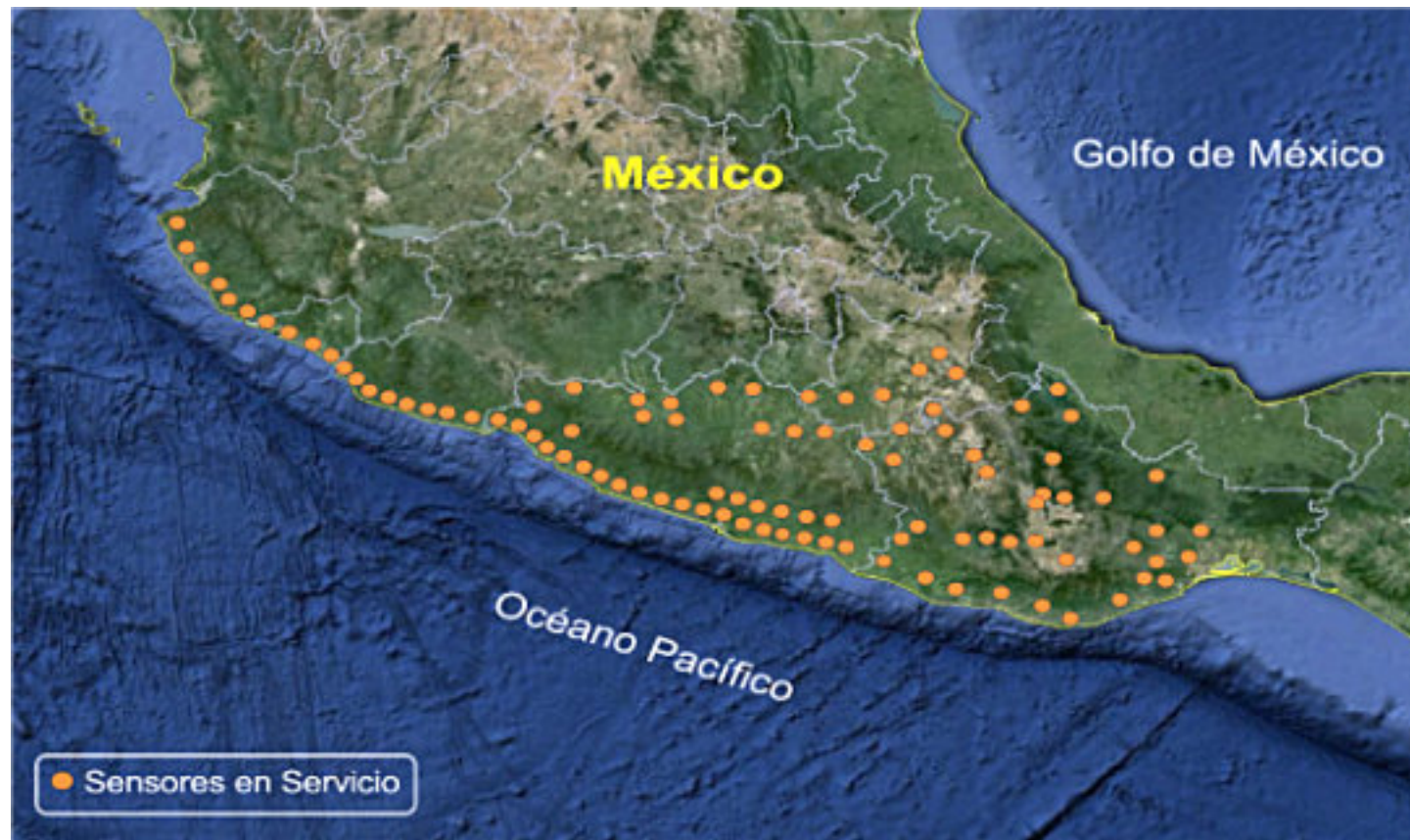
Geos	GEOS	 ugm unión geofísica mexicana a.c.
Geos Volumen 15	Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana, A.C. (ISSN 0186-1891) GEOS, boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales y de divulgación, así como notas cortas sobre aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra y noticias de interés para los miembros de la UGM. Las instrucciones para los autores se encuentran en instrucciones	
Geos Volumen 17		
Geos Volumen 18		
Geos Volumen 19		
Geos Volumen 20		
Geos Volumen 21		
Geos Volumen 22		
Geos Volumen 23		
Geos Volumen 24		
Geos Volumen 25	Editores Principales Luis A. Delgado Argote delgado@cicse.mx CICSE Ligia Pérez Cruz periczuz@geofisica.unam.mx UGM	
Geos Volumen 26		
Geos Volumen 27		
Geos Volumen 28		
Geos Volumen 29		
Geos Volumen 30		

Shallow earthquakes, 1976-2005.

https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Padilla-Velazco/publication/354931493_Estudio_de_deformaciones_en_la_corteza_terrestre_utilizando_estaciones_permanentes_de_redes_GPS_en_Mexico_para_el_periodo_2014-2018/links/6154a958fd7b3d1215631e90/Estudio-de-deformaciones-en-la-corteza-terrestre-utilizando-estaciones-permanentes-de-redes-GPS-en-Mexico-para-el-periodo-2014-2018.pdf?origin=publication_detail&tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6Ii9kaXJlY3QiLCJwYXNjaXVibGJlYXRpb25Eb3dubG9hZCIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6InB1Ym91bn19

Sistema de Alerta Sísmica Mexicano

http://www.cires.org.mx/sasmex_n.php



SISTEMA DE ALERTA SÍSMICA MEXICANO

El Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX®), es un sistema de alerta temprana para sismos, que avisa a la población con decenas de segundos antes de la llegada de un sismo, con el fin de que la sociedad realice acciones que protejan la vida y reduzcan la pérdida de bienes materiales.

Cumple con los cuatro elementos que precisa la Organización de las Naciones Unidas (ONU), para conformar un sistema de alerta temprana para sismos (conocimiento del riesgo, sistema de monitoreo y alerta; difusión y comunicación; y capacidad de respuesta), es una herramienta tecnológica de prevención con fundamentos científicos en sus subsistemas, algoritmos de detección y alertamiento (publicados y arbitrados en revistas científicas). Es reconocida como la primera alerta sísmica en el mundo y pionera en el desarrollo de alertamiento sísmico de vanguardia. Los avisos de alerta de SASMEX® son de difusión pública y gratuita en las ciudades en riesgo dentro de su cobertura geográfica. Además, SASMEX® es avalado y reconocido por las autoridades tanto a nivel federal como local, como el sistema oficial de alertamiento sísmico en el país.

Ciudades que Difunden la Alerta Sísmica

Los avisos de alerta sísmica del SASMEX® son recibidos por la población de: Ciudad de México, Puebla, Acapulco, Chilpancingo, Morelia, Oaxaca, Toluca, Cuernavaca (que redifunde el aviso de la Ciudad de México) y Colima. Avisos que benefician a más de 25 millones de personas en zonas de riesgo sísmico.



SASMEX (Sistema de Alerta Sísmica Mexicano) is Mexico's pioneering earthquake early warning system, designed to provide seconds to over a minute of warning for major quakes in central and southern Mexico, especially for Mexico City, by detecting fast-moving P-waves and alerting the public via sirens, radio, TV, and text before destructive S-waves arrive. It uses a network of monitoring stations and communication systems to broadcast alerts for potential shaking, allowing people and facilities to take protective measures.

How it works

Detection: Seismic sensors along the Pacific coast detect the initial, less damaging P-waves from an earthquake.

Analysis: Algorithms quickly calculate the earthquake's magnitude and potential impact.

Alerting: If the earthquake meets certain criteria, SASMEX sends alerts via sirens, radios (like NOAA Weather Radio), TV, and cell phones.

Warning Time: Offers up to 60 seconds or more warning for Mexico City, with less time for closer areas like Oaxaca, depending on distance from the epicenter.

Key features

Pioneer System: In operation since the early 1990s, it's one of the world's most effective systems.

Coverage: Covers central and southern Mexico, including Mexico City, Oaxaca, Acapulco, and others.

Distribution: Uses dedicated receivers, public address systems, and various media for alerts.

What to do when you hear the alert

Evacuate (for certain buildings): In schools and low-rise buildings, the traditional response is to evacuate.

Seek Protection (for high-rises): In tall buildings, finding a safe spot away from windows (like under a sturdy desk) and not attempting to evacuate is often recommended.

<https://www.gob.mx/cenapred>



La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred), impulsan alianza estratégica para explorar mecanismos de colaboración que fortalezcan las capacidades nacionales en prevención de fenómenos naturales, monitoreo, alerta temprana y análisis de riesgos.

En reunión de trabajo encabezada por la secretaria Rosaura Ruiz Gutiérrez y el director Enrique Guevara Ortiz, las autoridades acordaron establecer un convenio de colaboración que permita definir proyectos conjuntos, fortalecer infraestructura tecnológica, compartir capacidades institucionales y promover ciencia aplicada a la protección civil.

Intensidades sísmicas en México. Se concluyó el análisis de intensidades por sismos de septiembre y octubre de 1995 y enero de 1997 en algunos estados.

Este acuerdo, enmarcado en los trabajos de la Red Ecos Nacional de Gestión de riesgo sísmico, busca impulsar herramientas, como simuladores científicos, actualización del Atlas de Riesgos, mejora de redes de monitoreo y desarrollo de tecnologías para la predicción de huracanes y otros fenómenos.

<https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/147.pdf>

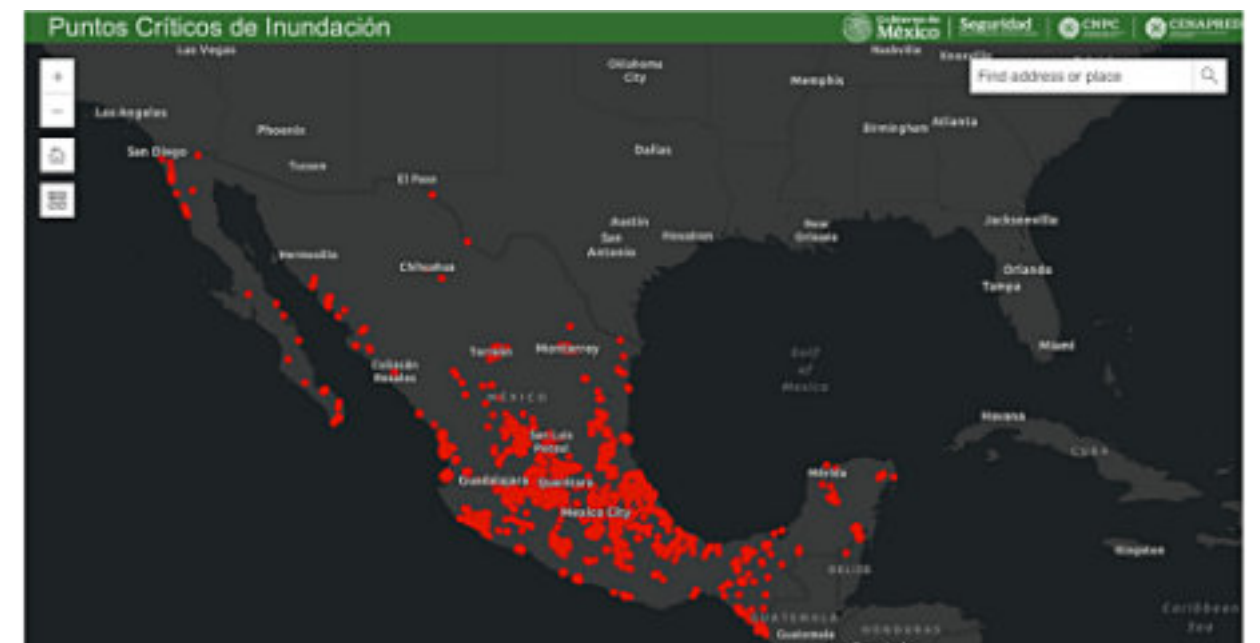
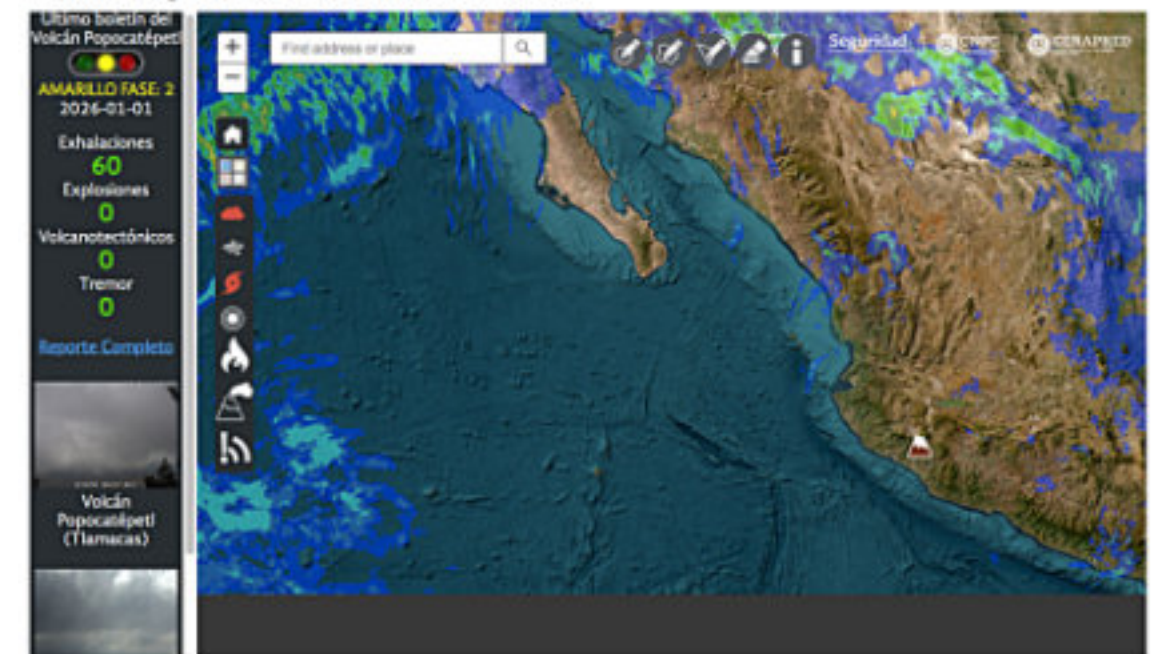
<https://www.youtube.com/watch?v=ZaB6Rz5n6r8>

Centro Nacional de prevención de desastres.

<http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>

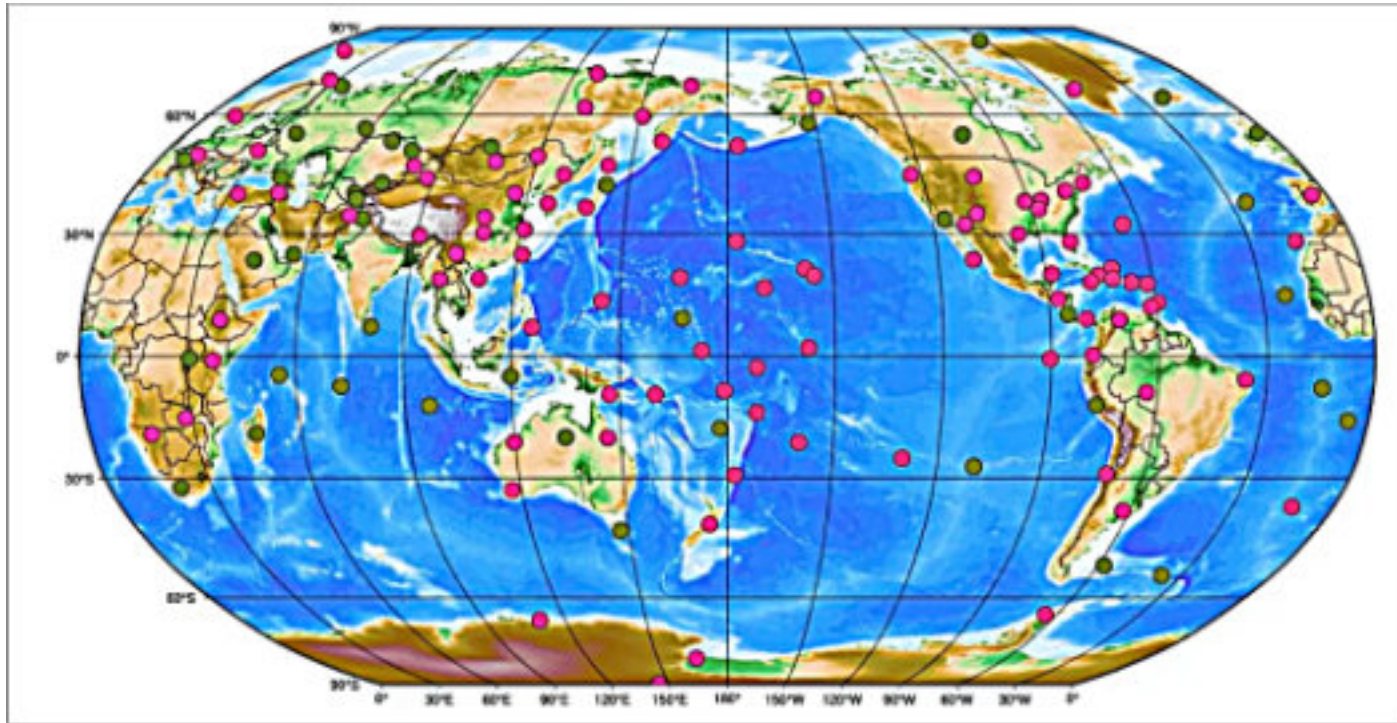


Monitoreo y Avisos de Fenómenos Naturales



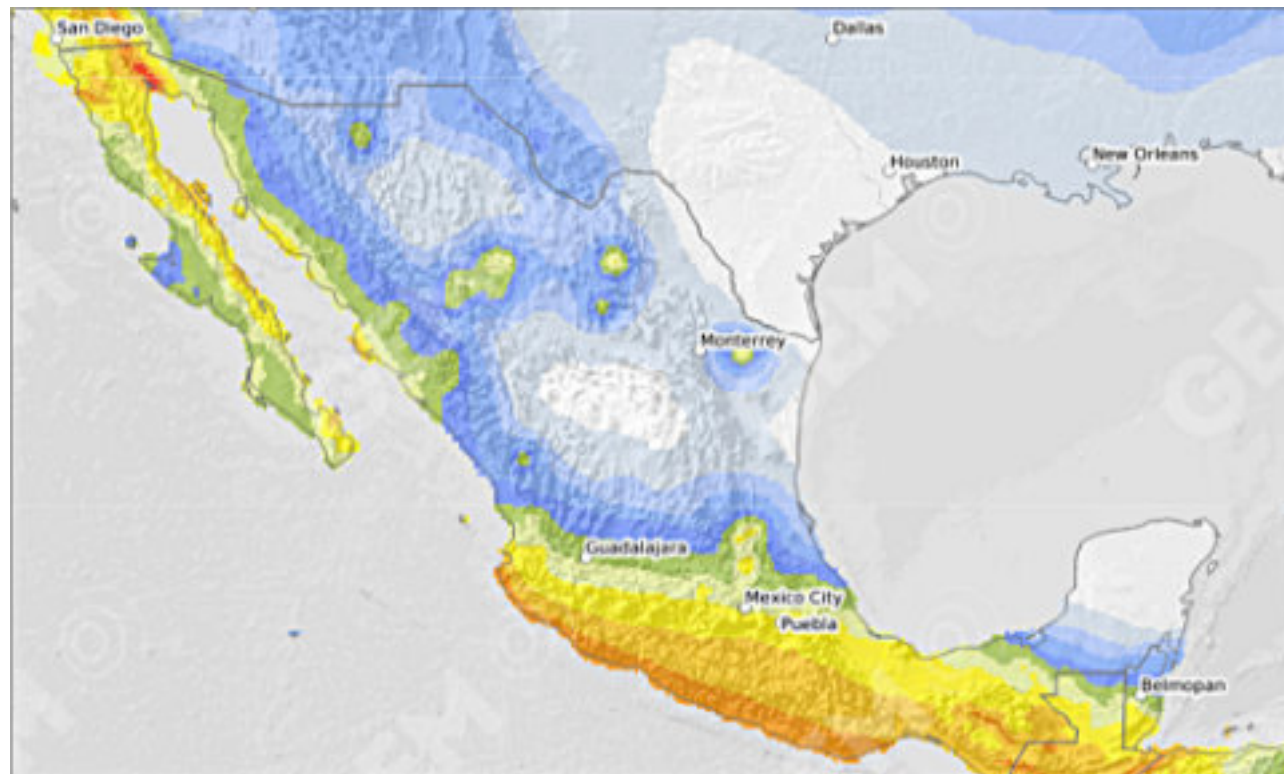
Global Seismographic Network

<https://www.earthscope.org/gsn/>



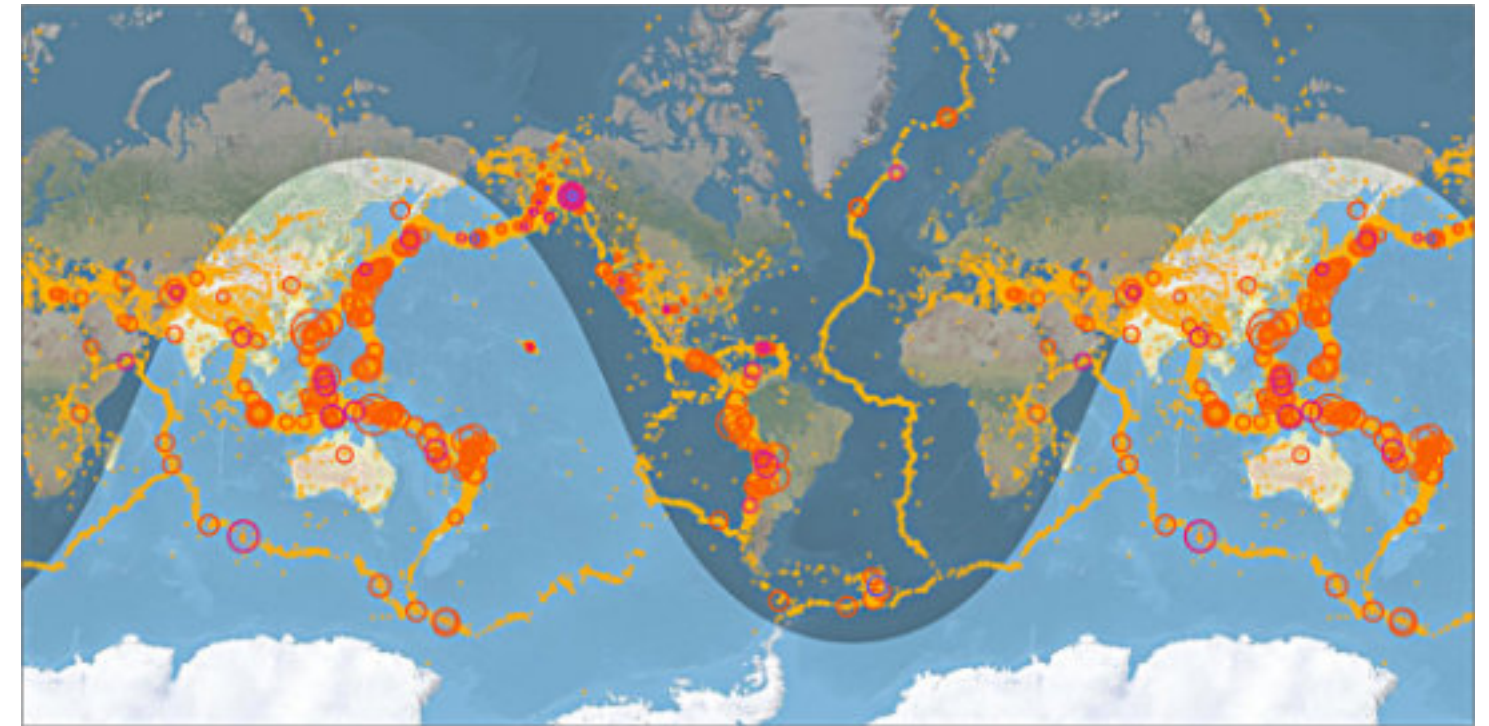
Global Seismic Hazard Map

<https://maps.openquake.org/map/global-seismic-hazard-map/#5/27.811/-96.175>



SEISMIC MONITOR

<https://iris.edu/app/seismic-monitor/map?lat=16.4657&lng=-67.5192&zoom=2>



SELECTED PUBLICATIONS

<https://www.sismoshistoricos.org/>

<https://smis.mx/index.php/RIS>

<https://www.cicese.edu.mx/investigacion/publicaciones/sismologia/7>

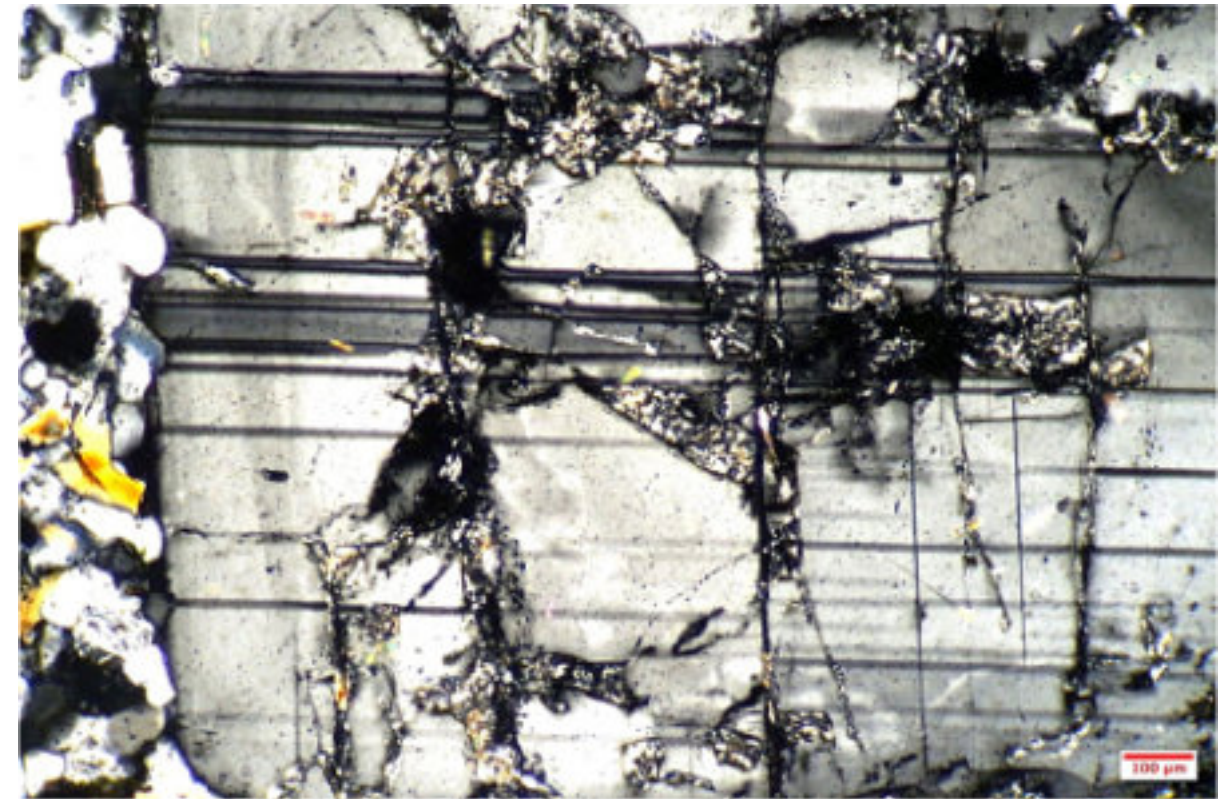
<https://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/libro%3A738>

http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/descargas/Gu_a_RRS-Final.pdf

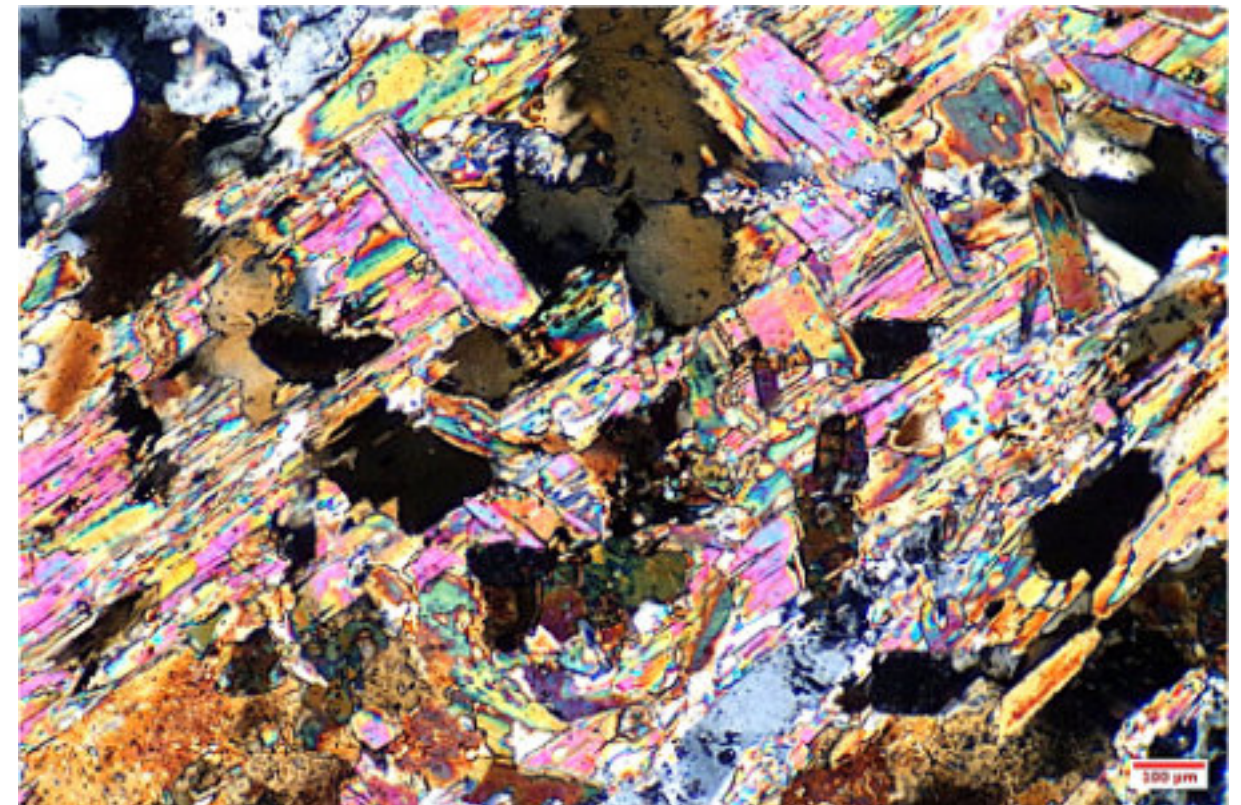
https://cultura.buap.mx/observatoriocultural/sites/default/files/Archivos_Ensayos/Macrosismos.pdf



Fluvial channel basal lag, showing different mud clasts size and shapes. Core 6-17-72-9W6. Depth 1724.7 meters (Spirit River Formation – Falher D unit), Alberta, Canada. Photo by **Jhonny E. Casas**.



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





This railroad cut in **Salent, Spain**, exposes the Guix backthrust, seen here. This view to the northwest is only a few meters north of the main thrust, also beautifully exposed. Why is it important? This thrust cuts up through the El Guix salt-cored anticline that is the southernmost manifestation and latest phase of the Pyrenean fold-thrust belt in Catalonia. It is also a magnificently displayed thrust that you can walk up to and touch. The El Guix Anticline is located at the southern pinch-out of the Eocene Cardona Salt, one of the main decollements in the fold-thrust belt. This photo, along with many others, is part of the Pyrenees geo-tour described in **Prost, G.L.**, 2025, *Western Europe's Natural Wonders*, CRC Press (<https://www.routledge.com/Western-Europes-Natural-Wonders-Iceland-Pyrenees-and-Western-Alps/Prost/p/book/9781032564517>).



FIG 1. Tafoni-like cavities within the Apón Formation, filled with allochthonous dark rocks, at Isla de Toas (western Venezuela). The host rock corresponds to limestones of the Apón Formation (Cretaceous), whereas the infilling material consists of dark, petroliferous limestones, presumably belonging to the La Luna Formation.

Cavidades tipo tafoni desarrolladas en la Formación Apón, rellenas por rocas oscuras alóctonas, en la isla de Toas (occidente de Venezuela). La roca hospedante corresponde a calizas de la Formación Apón (Cretácico), mientras que el material de relleno consiste en calizas oscuras petrolíferas, presumiblemente pertenecientes a la Formación La Luna. **(Foto J. Porras)**.



FIG 2. Steeply tilted and intensely fractured limestones—affected by both natural deformation and blasting—and gently folded strata of the Lower Apón Formation (Cogollo Group), exposed at the Catatumbo Quarry, Perijá Range, western Venezuela.

Calizas fuertemente inclinadas, intensamente fracturadas —tanto por procesos naturales como por voladuras— y con muy suave plegamiento, correspondientes a la Formación Apón Inferior (Grupo Cogollo), expuestas en la cantera de Catatumbo, Sierra de Perijá, occidente de Venezuela. **(Foto J. Porras)**.

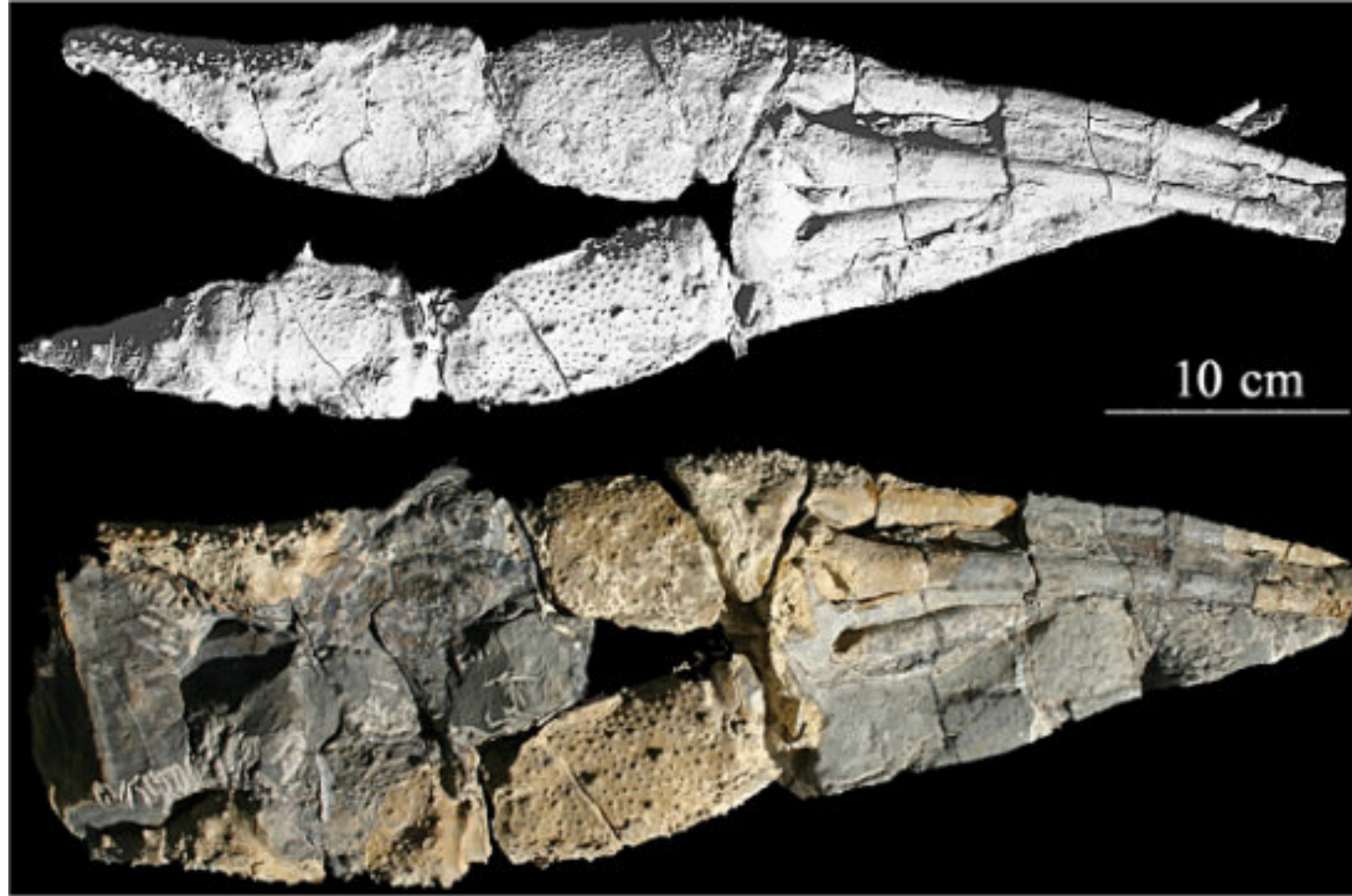


Imagen de un par de quelas (pinzas) de una langosta del Paleoceno medio de Coahuila, se trata de *Enoploclytia gardnerae*, una especie que vivió en el Maastrichtiano y Paleoceno del NE de México y SE de Texas. Este ejemplar proviene de la Formación Rancho Nuevo (Cuenca de Parras) y es uno de los fósiles de langosta más grandes que se ha reportado, ya que estimamos que la longitud total con el cuerpo y abdomen pudo ser de 1.5 m. Fotografía del **Dr. Francisco Vega**. Vega, F.J. et al., 2007. Paleocene decapod Crustacea from the Rancho Nuevo Formation (Parras Basin y Difunta Group), Northeastern Mexico. J. Paleontology 81, 1432-1451.



Stirling Castle, Scotland is located on Castle Hill, a hard, resistant quartz dolerite sill that intruded into softer sedimentary rocks about 300 million years ago, creating a prominent "crag and tail" landform as the result of glacial erosion wearing away the softer layers and leaving the tough igneous rock exposed, ideal for a fortress. Photo by **Joshua Rosenfeld**.

White Sands National Park, New Mexico, USA. Photo by Gilda Muñoz Rivera - 2014.





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

Comunícate con

Bernardo García-Amador

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu

quien está a cargo de organizar esta información.

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

Los MTDs: grandes deslizamientos submarinos que remodelan el fondo oceánico

Ramón López Jiménez

Colaborador de la Revista

Cuando pensamos en deslizamientos de tierra, solemos imaginar laderas de montaña que colapsan tras lluvias intensas o terremotos. Sin embargo, fenómenos muy similares, y a menudo mucho más grandes, ocurren bajo el mar, en los márgenes continentales y en el fondo de los océanos. Los geólogos llaman a los depósitos generados por estos colapsos depósitos de transporte en masa o Mass Transport Deposits, siendo sus siglas las más utilizadas en textos: MTD; a veces llamados también MTCs para referirse a mass transport complexes cuando son unidades que pueden constar de varios MTDs.

Lejos de ser raros o excepcionales, los MTDs son elementos fundamentales del paisaje submarino y desempeñan un papel clave en la evolución de los océanos, en los riesgos geológicos y, en algunos casos, incluso en la exploración de recursos naturales.

¿Qué son exactamente los MTDs?

Un MTD es el resultado final de un gran movimiento de sedimentos ladera abajo en el fondo marino. Es importante subrayar esto: el término no describe el proceso, sino el depósito que queda después. El proceso se denomina 'submarine landslide' o deslizamiento submarino normalmente. Para entenderlo mejor, pensemos en un desprendimiento de un talud sobre una carretera de montaña. A veces el material cae como un bloque relativamente compacto, otras se fragmenta en grandes bloques y cantos, y en ocasiones se deshace en una mezcla caótica de tierra, arena y barro que invade toda la calzada. En el fondo del mar ocurre algo muy parecido, pero con arena, fango y fragmentos de roca o incluso de barreras coralinas, y a escalas que pueden alcanzar decenas o cientos de kilómetros. Un mismo MTD puede incluir bloques relativamente intactos que se han

deslizado, zonas caóticas donde el sedimento se ha mezclado y deformado, y partes donde el material ha fluido casi como un barro espeso. Por eso, los MTDs suelen tener una estructura interna muy desordenada, algo que los geólogos detectan fácilmente en imágenes sísmicas (ver ejemplos en la figura 1).

¿Dónde ocurren los MTDs?

Los MTDs pueden encontrarse en una amplia variedad de entornos submarinos, aunque son especialmente frecuentes en aquellos donde se combinan grandes volúmenes de sedimento y condiciones de inestabilidad. Son habituales en los márgenes continentales, donde el fondo marino desciende bruscamente hacia las grandes profundidades oceánicas, y también en cañones submarinos, que pueden considerarse el equivalente bajo el mar de grandes valles excavados en tierra firme.

Otro entorno muy común son los canales submarinos y sus bordes, conocidos como *levees*, donde se acumulan enormes cantidades de sedimento fino transportado por corrientes submarinas. También aparecen con frecuencia en zonas tectónicamente activas, donde la presencia de fallas, pliegues o estructuras de sal y barro debilita el fondo marino, y en regiones glaciomarinas, que durante las glaciaciones recibieron aportes sedimentarios masivos. Un aspecto especialmente llamativo es que algunos MTDs se desarrollan incluso en pendientes muy suaves, inferiores a un grado. Esto demuestra que no es necesaria una gran inclinación del fondo marino para que se produzca un deslizamiento: basta con que el sedimento esté lo suficientemente debilitado.

¿Qué procesos y fenómenos los causan?

Para que se produzca un MTD suelen combinarse dos tipos de factores: condiciones que debilitan el fondo marino y un evento que actúa como desencadenante. Muchos fondos marinos están formados por capas alternantes de: arenas depositadas por corrientes submarinas y finos lodos que se acumulan lentamente. Esta alternancia es comparable a un pastel mal preparado: capas demasiado líquidas y blandas entre capas más rígidas que favorecen el deslizamiento. Si además el sedimento se acumula muy rápido, no tiene tiempo de compactarse, y retiene agua en

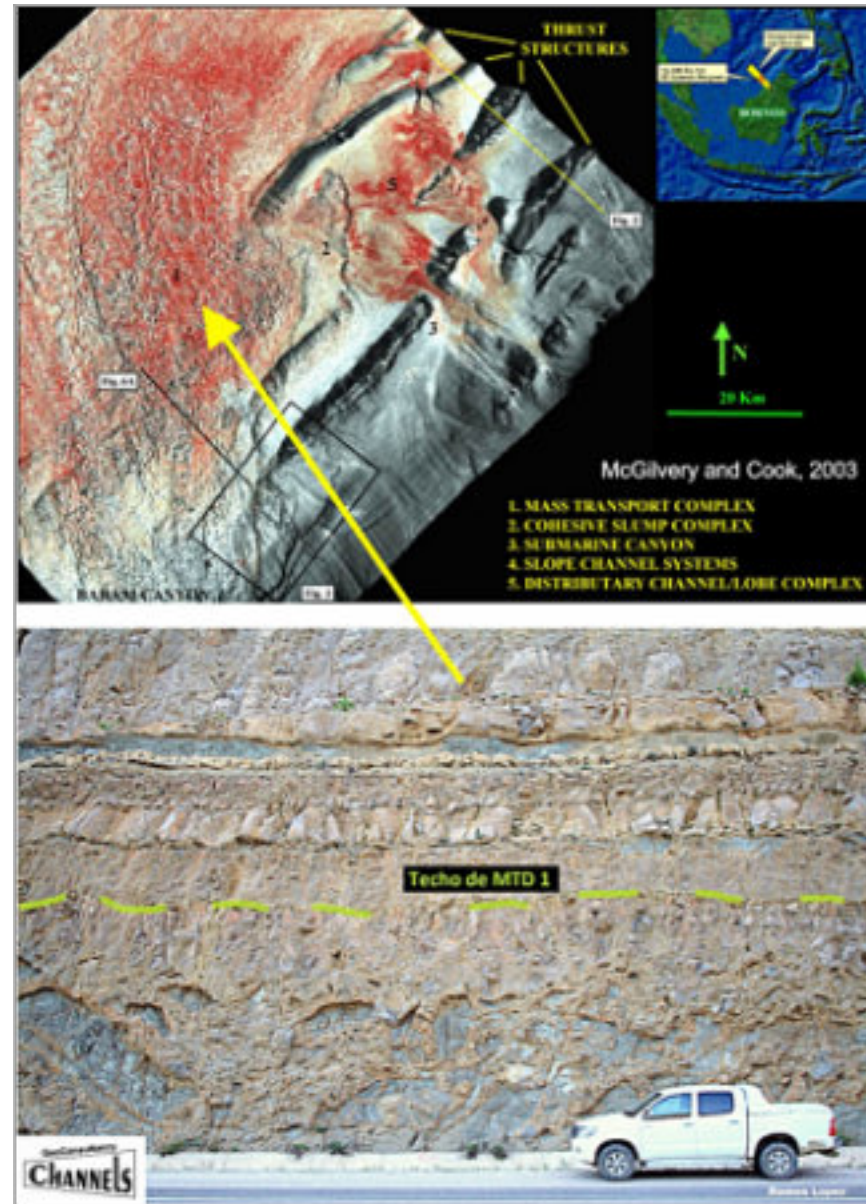


Figura 1. Arriba, una vista cenital de los MTDs que hay en una zona en el fondo marino offshore Brunéi (Este de Asia). En esta zona, tectónicamente muy compleja, hay relieves en forma de cadenas montañosas que colapsan regularmente dando lugar a MTDs. Abajo, un afloramiento en el sur de Turquía muestra bloques de estratigrafías diferentes al material que las rodea. Estos afloramientos se encuentran en zonas que se han interpretado como equivalentes a las mostradas en el caso arriba mostrado de offshore Brunéi.

su interior, el conjunto se vuelve extremadamente débil desde un punto de vista mecánico. En sistemas submarinos con canales y cañones submarinos las paredes que los definen pueden ser demasiado empinadas dando lugar a colapsos, tal y como ocurre en valles terrestres.

Aunque el sistema esté debilitado, suele hacer falta un detonante (aunque no necesariamente). Entre los sospechosos habituales están terremotos, acumulación

rápida de sedimento por efecto de corrientes inusuales, cambios bruscos en la presión de los fluidos internos del sedimento, desestabilización por gases, o el llamado rebote isostático por la usencia del peso de grandes glaciares que una vez existieron en algunos lugares.

Un ejemplo bien documentado de terremoto como causa de un deslizamiento y su consecuente MTD es el gran deslizamiento del Laurentian Fan, frente a la costa este de

Canadá. Allí, un evento sísmico desencadenó el colapso de un enorme paquete de sedimentos que se desplazó más de 100 km por el fondo oceánico, cubriendo un área comparable a pequeños países. Para el caso de rebote isostático, es digno de mención el MTD de Storegga frente a la costa oeste de Noruega (Bryn et al., 2005).

Tras la retirada de los casquetes glaciares en Escandinavia se reactivó la sismicidad del margen noruego, modificando el estado de esfuerzos en sedimentos glaciomarineros poco consolidados que habían sido acumulados durante

millones de años. Las altas presiones de poro y posibles cambios en hidratos de gas crearon las condiciones para un colapso gigantesco, probablemente desencadenado por un terremoto asociado al reajuste isostático. Este MTD está bien cartografiado en el fondo marino, de forma que se sabe que el deslizamiento movilizó un volumen del orden de $\sim 3.000-3.500 \text{ km}^3$, recorriendo más de 800 km por el fondo oceánico y generando un tsunami que afectó a Noruega, Escocia y otras costas del Atlántico Norte (ver figura 2).

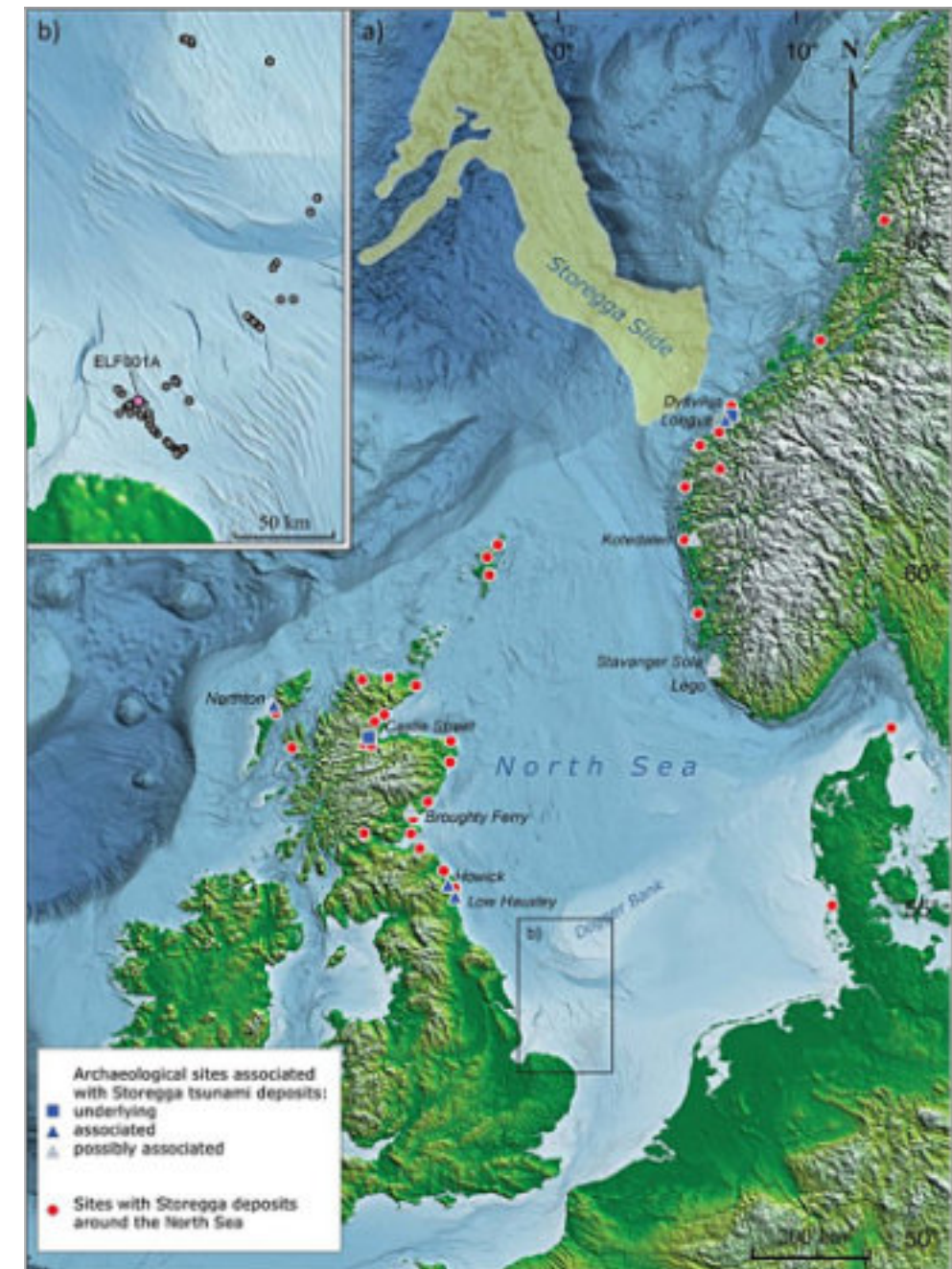


Figura 2. Map showing the extent of the Storegga Slide (Walker et al., 2020).

¿Qué diferencian los deslizamientos bajo el mar de los terrestres?

Desde luego una primera gran diferencia es la dimensión que pueden alcanzar. Esto se ve claramente con el caso, aunque algo excepcional, del MTD de Storegga. Pero también, a diferencia de muchos deslizamientos terrestres, que suelen ser rápidos y concentrados en un único episodio, los deslizamientos submarinos asociados a MTDs suelen ser complejos y progresivos. No se trata de un único colapso instantáneo, sino de una secuencia de procesos que pueden desarrollarse a lo largo de un mismo evento. En el caso del Laurentian Fan, frente a la costa de Canadá, los investigadores observaron que el colapso no se produjo de manera uniforme. El deslizamiento comenzó en una zona concreta del fondo marino y, a partir de ahí, el escarpe principal fue retrocediendo gradualmente hacia arriba, de forma parecida a cómo una grieta avanza por una pared. A medida que el proceso progresaba, el material que inicialmente se desplazaba como un bloque relativamente coherente fue rompiéndose, deformándose y transformándose en un flujo cada vez más caótico. Este tipo de comportamiento muestra que no todo ocurre de golpe. Un mismo episodio puede combinar fases en las que grandes masas de sedimento se deslizan como bloques, otras en las que el material se deforma internamente, y finalmente etapas en las que el sedimento fluye de manera más libre, con un comportamiento similar al de un alud de barro (Piper, D.J.W. and Aksu, A.E. 1987).

Reflexión final: los riesgos naturales asociados

Los MTDs nos recuerdan que el fondo del océano no es un lugar tranquilo ni estático. Aunque invisible para nosotros,

allí ocurren algunos de los mayores movimientos de masa del planeta, capaces de trasladar cientos de kilómetros cúbicos de sedimento y de remodelar el paisaje submarino en cuestión de horas o días. Estos procesos no son solo espectaculares desde el punto de vista geológico: también representan riesgos reales, ya que pueden romper cables submarinos de telecomunicaciones y energía, dañar oleoductos y gasoductos, y generar inestabilidad persistente del fondo marino. En determinados casos, especialmente cuando el colapso es rápido y de gran volumen, los deslizamientos submarinos pueden además contribuir a la generación de tsunamis, como se ha documentado en varios márgenes continentales del planeta. Por todo ello, entender los MTDs no es solo una cuestión académica: es esencial para evaluar riesgos geológicos, interpretar la historia geológica de la Tierra y comprender cómo funcionan los sistemas sedimentarios a gran escala.

Referencias

Bryn, P., Berg, K., Forsberg, C. F., Solheim, A., and Kvalstad, T. J., 2005. Explaining the Storegga slide. *Marine and Petroleum Geology*, 22(1-2), 11-19.
McGilvery, T. M., and Cook, D. L., 2013. The influence of local gradients on accommodation space and linked depositional elements across a stepped slope profile, offshore Brunei.
Piper, D.J.W. and Aksu, A.E., 1987. The source and origin of the 1929 Grand Banks turbidity current inferred from sediment budgets. *Geo-Marine Letters*, 7, 177–182.
Walker, J., Gaffney, V., Fitch, S., Muru, M., Fraser, A., Bates, M., & Bates, R. (2020). A great wave: the Storegga tsunami and the end of Doggerland?. *Antiquity*, 94(378), 1409-1425.

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



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

Los yacimientos de separación ácida o tipo Greisen.: Importancia económica

Eduardo González-Partida^{1*}, Emilio Torres Jurado⁶, Néstor Alfredo Cano Hernández², Antoni Camprubi², Alejandro Carrillo-Chávez¹, Lozano Niño Paola⁶, Sanjeet K. Verma⁶, Luis Fernando Camacho Ortigón⁵, Juan Josué Enciso-Cárdenas⁵, Sumit Mishra¹, Joseph Madondo⁴, Arun Kumar³, Genaro de la Rosa⁵, David Yáñez Dávila²

¹Instituto de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, CP 76230, Qro. Qro.

²Instituto de Geología UNAM, CU, 04510 Coyoacán, CdMx, México; Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM-UNAM).

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

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

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

⁶Posgrado de la División Científica y Tecnológica de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación, Ciencia y Tecnología (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, San Luis Potosí, C.P. 78216.

*Autor de Correspondencia: egp@geociencias.unam.mx

Definición

El término greisen se refiere al conjunto mineralógico entre el cuarzo + muscovita y otras cantidades de minerales como la fluorita, topacio y turmalina (Pirajno, 2009). Su proceso de formación es conocido como greisenización, el cual fue definido por Shcherba (1970) como una alteración post-magmática, de alta temperatura (500° a 300 °C), con alta concentración de fluidos volátiles (ricos en F, B, Li y con concentraciones y actividad de Na, K y H) asociados con el enfriamiento de cuerpos intrusivos graníticos. Los yacimientos de tipo greisen se agrupan como un sistema de depósito asociado a mineralización de Sn, W, U, Mo, Be, Bi, Li y F. Que se generan a partir de magmas ricos en agua, que cristalizan a profundidades someras, en general no se encuentran expuestos en la superficie y en algunos casos los magmas interactúan con agua connata o agua metamórfica (Pirajno, 2009). El proceso de formación del greisen o greisenización es hidrotermal, en un sistema cerrado en el cual los fluidos se generan y movilizan únicamente dentro del cuerpo de un magma en proceso de enfriamiento, en otras palabras, este proceso es conocido como auto metasomatismo (Pirajno, 2009). Al descender las variables de presión y temperatura los fluidos comienzan a escapar a través de la roca encajonante formando los sistemas mineralizados en forma de mantos, brechas y vetas.

Ocurrencia

La greisenización ocurre en magmas altamente fraccionados, en granitoides peraluminosos tipo S y tipo A, a profundidades entre los 3 y los 5 km, el proceso afecta los domos o crestones en la cima de los cuerpos intrusivos (Elliott et al., 1995; Pirajno y Sch. gl, 1987; Pirajno 2009). Este proceso se encuentra enriquecido en componentes volátiles como; F, Cl y B, y en elementos metálicos mencionados anteriormente, y debido a ello se considera que los magmas mineralizantes son geoquímicamente especializados. El origen de esa especialización se debate entre dos corrientes. La primera, propuesta por Lehmann (1982) y Groves & McCarthy (1978), establece que la especialización de estos magmas es debida a la diferenciación magmática y la cristalización fraccionada. Debido a que la cristalización

fraccionada ocurre in situ, existe una gran concentración de volátiles y elementos traza en los líquidos residuales, esto propiciaría la acumulación de dichos elementos en la cima de los cuerpos graníticos.

La segunda es propuesta por Pollard et al., (1983) y Eugster (1984), se conoce como “geoquímica heredada” y produce un fuerte enriquecimiento de volátiles, álcalis y elementos traza. Las razones del enriquecimiento son varias, algunas de ellas son: los elementos son heredados o adquiridos de una región donde ocurre fusión parcial (debido a la fusión de una corteza con contenidos anómalos de Sn, W y U), o son enriquecidos al contacto con una secuencia evaporítica rica en B.

El proceso de greisenización ocurre como una secuencia, que comienza con un estado alcalino temprano (granito en proceso de enfriamiento rico en feldespato potásico con fundido con alto contenido en Na y F), un estado de greisenización (albitización y microclinización del granito con una fase acuosa rica en F) y un estado de formación de vetas (greisen cuarzo-muscovita) (Shcherba, 1970 ;y Pollard 1983). Smirnov (1976) subdivide la secuencia de transformaciones mineralógicas que ocurren en el endogreisen en un estado progresivo y un estado regresivo. El estado inicial de formación del endogreisen se caracteriza por un proceso metasomático alcalino, en el cual la albitización tiene un rol fundamental. En general la evolución de un sistema greisen consiste en la reducción de álcalis, esto desestabiliza a los feldespatos potásicos, plagioclasas y micas y reemplaza a dichos minerales con cuarzo y muscovita (Pirajno, 2009). Algunas micas que se pueden formar también por el proceso de greisenización son siderofilita, protolith ionita, zinwaldita y lepidolita (Kinnaird, 1985 en Pirajno, 2009). El proceso de silicificación ocurre en etapas posteriores a la greisenización y se evidencia por el intenso relleno y reemplazamiento del cuarzo (Pirajno, 2009).

Alteración y Menas

Según Shcherba (1970) hay tres etapas de mineralización: pre-depósito, depósito y post-depósito. Posterior al estadio alcalino temprano y a la formación de pegmatitas, ocurre la greisenización intensiva en la cual se forman diferentes facies del greisen como lo son vetas de: cuarzo, cuarzo-muscovita, feldespato-cuarzo, fluorita-cuarzo, turmalina-cuarzo, biotita-cuarzo, calcita-fluorita, mica-fluorita, entre otras; que suelen ir acompañadas por cantidades de wolframita, molibdenita, casiterita, topacio, bismuto, etc. La segunda fase del proceso de greisenización es definida por un proceso de metasomatismo sódico y potásico en el cual se reemplazan minerales del greisen (topacio, muscovita) por albita y feldespato-K. El ácido fluorhídrico tiene un papel fundamental en el proceso de formación de los conjuntos mineralógicos del greisen, ya que es el encargado de la destrucción de los minerales graníticos (Pirajno, 2009). Otra de las alteraciones importantes que se presentan en este tipo de yacimientos es la turmalinización (Elliot, et al.,1995). La alteración post-greisenización debida a la actividad hidrotermal genera alteración cuarzo-sericítica y argílica (illita y caolinita; Pirajno,2009). Las vetas de cuarzo, con piritita, calcopirita, esfalerita, galena y tennantita se forman al finalizar el proceso de greisenización, en los bordes del halo del depósito. Shcherba (1970) también menciona que los minerales como plagioclasa y micas son los principales portadores de metales raros (Sn, W, Mo y Nb), que han sido lixiviados de sus zonas originales y se acumulan en los planos de clivaje y micro fracturas de los minerales mencionados, contienen 1000 ppm de Sn, 100 ppm de Mo, 60 ppm de W y 1000 ppm de Nb; y en biotita 1000ppm de Sn, 10 ppm de W, 60 ppm de Mo y 100 ppm de Nb. Por esta razón, Eugster (1984) considera a la muscovita y la biotita como excelentes contenedores de elementos como el W, Sn y Mo. La relación estructural entre el greisen y la roca encajonante determina el tipo de sistema endo-exogreisen que se formará; esto se observa en la figura 1. Los conjuntos de alteración de los sistemas greisen en muchos casos se caracterizan por la nucleación de muscovita, albita y turmalina (Pirajno, 2009). La alteración de cuarzo-sericita, albita y adularia ocurre a lo largo de las fracturas, y suele ser asociada a vetas de cuarzo con sulfuros y óxidos (pirita, scheelita, casiterita, wolframita, molibdenita, etc.).

Pollard et al. (1987) han dividido los modelos de greisenización en dos sistemas, según el fluido complejo con el que se genera: el primero es el sistema enriquecido en flúor (fluorita y topacio) y el segundo es el sistema enriquecido en boro (turmalina y axinita); Una de las diferencias más importantes entre los sistemas ricos en F o ricos en B, es que los magmas ricos en boro son más ricos en agua, esto propicia una mayor energía mecánica, la cual permite desarrollar estructuras mineralizadas de tipo breccias pipes; a diferencia de los magmas ricos en F donde la energía mecánica es relativamente baja. Pollard (1987) también menciona que el cloro tiene un papel crucial en el transporte y depósito de metales como el estaño. Los minerales de mena principales son; wolframita, casiterita, tetraedrita-tenantita, esfalerita, galena y piritita (común en zonas fuertemente greisenizadas); los minerales de mena secundarios son calcopirita, fluorita, molibdenita, bornita, scheelita, arsenopirita, zinnwaldita, topacio, tungstita, enargita, berilio y stolzita. Los minerales de ganga más comunes son cuarzo, fluorita, sericita y carbonatos. (Elliot et al., 1995; Landis y Rye,1974; Shcherba, 1970).

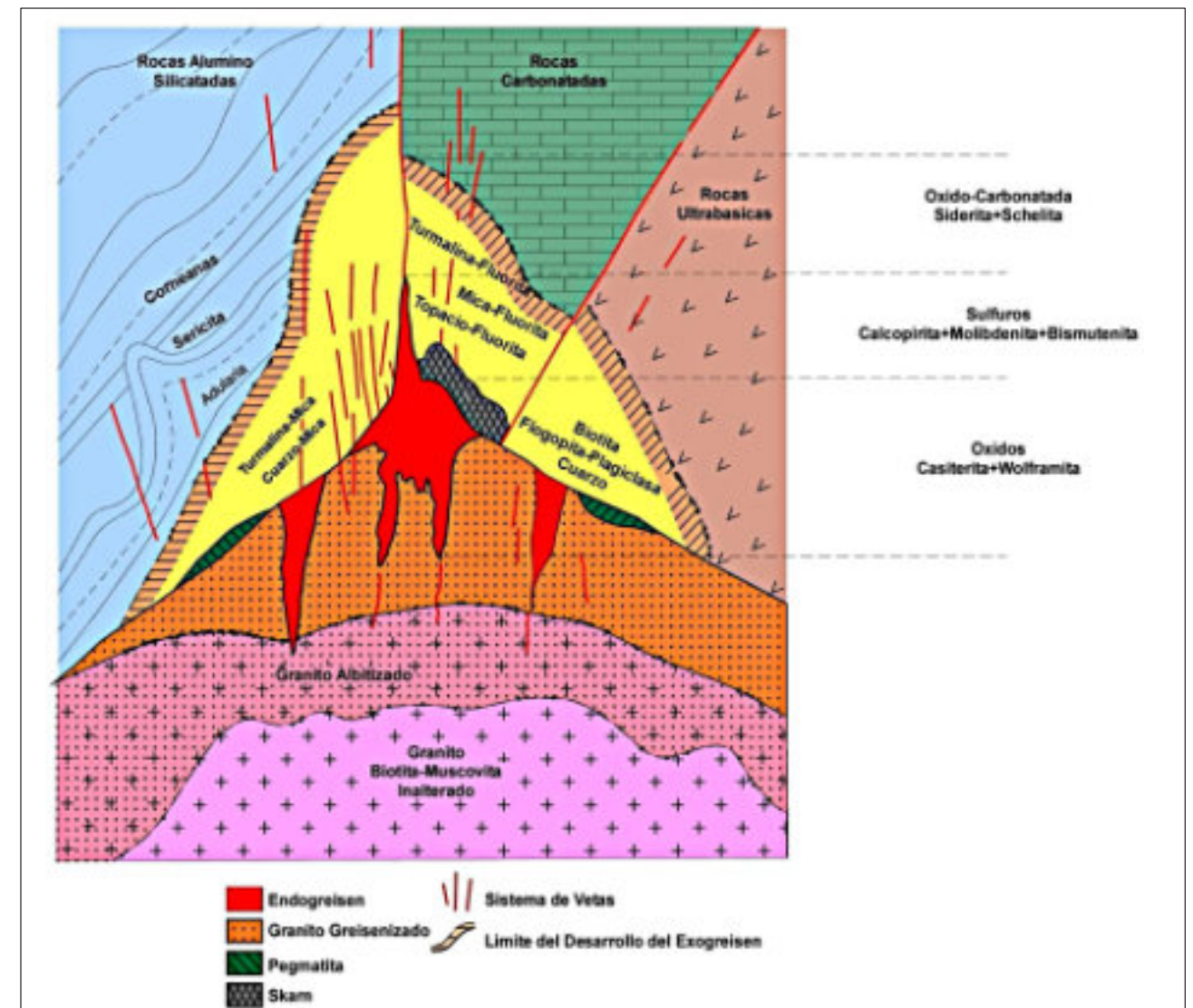


Figura 1. Modelo de yacimiento del greisen propuesto después de Shcherba (1970), donde se observan los arreglos minerales en el endo y exogreisen para encajonantes; aluminosilicatadas, carbonatos y rocas ultramáficas.

Menzie, et al (1992) mencionan que los depósitos con tungsteno tienen rangos de 0.1 a 10 millones de toneladas métricas donde se concentra el mineral y contienen entre 0.4% y 1.6 % de wolframita. Por su parte, Menize y Reed (1986) definen que los depósitos con estaño tienen un tamaño que va de los 0.01 a los 10 millones de toneladas métricas, y contienen valores de entre 0.5% y 2.5 % de estaño. Los sistemas mineralizados de sistemas alcalinos ocurren en complejos saturados a sobresaturados y subsaturados. Los complejos saturados-sobresaturados se encuentran enriquecidos en Sn, W, U, Mo, Bi, As, Y, Li, Ta, Zr, La, Ce y Nb (pirocloro); y los complejos subsaturados se enriquecen en Sr, Ba, Th, Nb, Ti, Fe y P (Pirajno, 2009). En Namibia el granito de Brandberg cuenta con gran cantidad de recursos de tipo REE, Zr, Nb e Y. Por su parte, el complejo volcánico de Erongo contiene mineralización de W, Sn y U asociada a un sistema anular de diques graníticos ricos en B (Depósito de Krantzberg; Pirajno y Schlágl, 1987 y Pirajno, 2009). Los complejos sobresaturados se caracterizan por tener estilos de mineralización como:

1. Pegmatitas (Be, U, Topacio).
2. Metasomatismo en la cima de las intrusiones subvolcánicas (Ta, Nb, Th, REE).
3. Stockworks hidrotermales y vetas (Sn, W, Mo, Pb-Zn).
4. Depósitos de greisen (Sn, W, Bi).

En síntesis, los sistemas de greisen varían entre endogreisen (fluidos confinados en la cúpula granítica) y exogreisen (fluidos canalizados a rocas encajonantes por fracturas), con formas transicionales comunes (Figura 1). Las cúpulas greisenizadas en secuencias sedimentarias pelíticas generan aureolas de metamorfismo de contacto con biotita porfiroblástica y cordierita cerca de los contactos. La greisenización sobreimprime ensamblajes térmicos, nucleando moscovita, albita y turmalina, junto con cuarzo-sericita, adularia y vetas de cuarzo con sulfuros y óxidos (pirita, calcopirita, casiterita, wolframita, scheelita, arsenopirita, molibdenita).

Fluidos Relacionados

Los estudios de inclusiones fluidas confirman el origen magmático de los fluidos, con casos de mezcla con aguas meteóricas (en Pirajno 2009). Las condiciones varían de alta temperatura (600 a 400°C, y >40 Wt% NaCl Eq.) en endogreisen a baja temperatura (150-300°C, 10-15 Wt% NaCl Eq.) en exogreisen y vetas. Las especies disueltas incluyen NaCl, KCl, CO₂, anhidrita y bórax (ver figura 2) . La separación líquido-vapor concentra sales pesadas (KCl, NaCl) en la fase líquida y volátiles ácidos (HCl, HF) en la fase de vapor, siendo esta última la principal causa de greisenización (Burt, 1981). La interacción con aguas meteóricas introduce minerales arcillosos, como en los depósitos de Cornualles. La actividad de HF controla la estabilidad de scheelita (baja mHF) frente a wolframita (alta mHF), según reacciones como: $H_2WO_4 + Ca^{2+} \rightarrow CaWO_4 + 2H^+$, y $CaWO_4 + FeO + 2HF \rightarrow FeWO_4 + CaF_2 + H_2O$ (scheelita $\rightarrow$ wolframita + fluorita). El aumento de F desestabiliza plagioclasas y fases cálcicas (e.g., esfena), liberando Ca para formar fluorita, como en el depósito Sn-W del Batolito de Karamea, Nueva Zelanda.

En griessen de vetas, los procesos hidrotermales ocurren a temperaturas más bajas sin evidencia de ebullición, formando micas fluoradas y topacio a alta actividad de HF. En condiciones extremas de F, la moscovita se descompone, formando greisen de topacio, como en Mount Bischoff, Tasmania: $K_2Al_4(Si_6Al_2O_{20})(OH)_4 + 6HF \rightarrow 3Al_2(SiO_4)(OH,F)_2 + 3SiO_2 + 2K^+ + 4H^+$. El aumento de H₂O durante el enfriamiento descompone topacio y feldespato, liberando HF y formando moscovita y cuarzo, lo que facilita la lixiviación y transporte de metales complejados con F. En entornos subvolcánicos, la separación de fases acuosas de magmas ricos en F genera greisenización de baja presión, con topacio y fluorita en cavidades de rocas riolíticas (Burt, 1981).

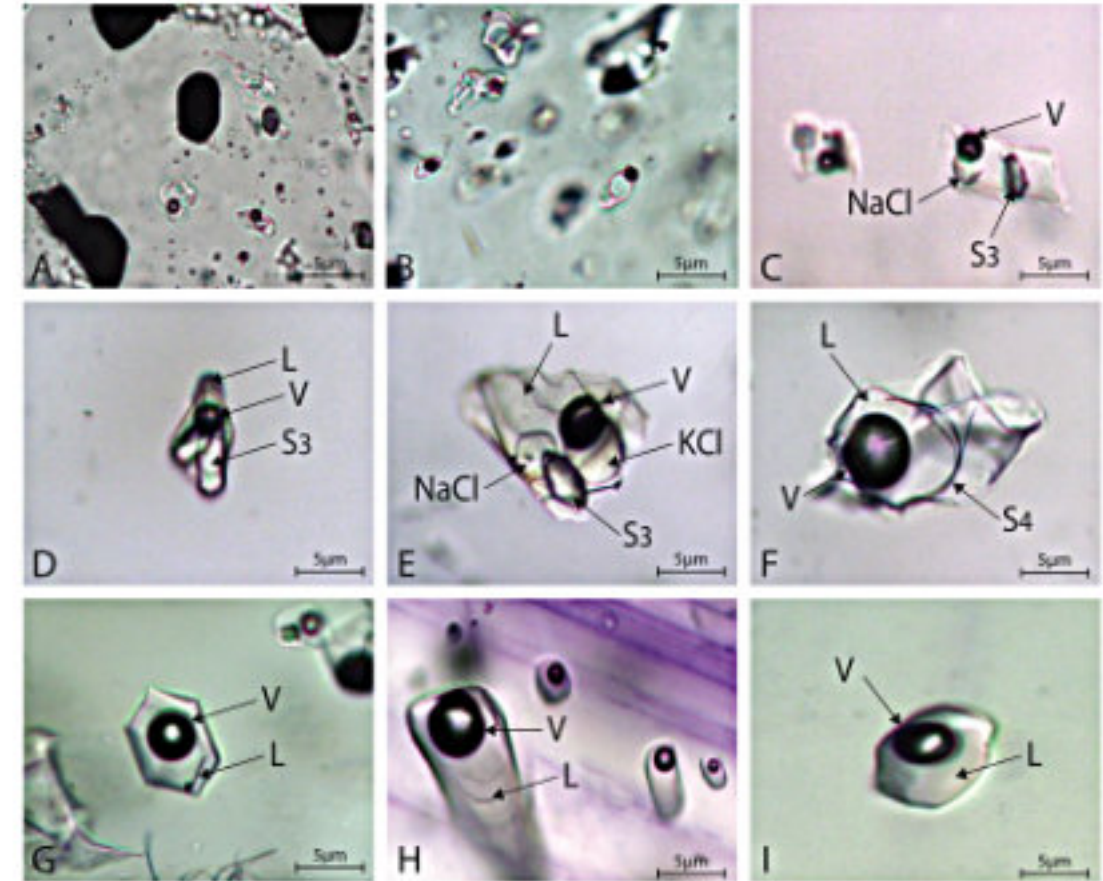


Figura 2.- Ejemplo de fluidos relacionados a yacimientos tipo greisen, de la localidad de Guadalcázar SLP, México. Donde : V=vapor, L= líquido, S3=anhidrita, S4=platinoide.

Conclusiones.

- 1.- El término greisen se designa a un conjunto de minerales a cuarzo y moscovita, con fluorita, topacio y turmalina en proporciones variables, pero la greisenización se define como una alteración post-magmática de alta temperatura por soluciones ricas en volátiles asociadas al enfriamiento de intrusivos graníticos. Estos procesos metasomáticos tardíos, aún no completamente comprendidos, concentran F, B, Li y iones Na⁺, K⁺, H⁺ en el cuerpo granítico, promoviendo mineralizaciones del tipo Sn, W, U, Mo, Be, Bi, Li y F.
- 2.- La greisenización se asocia a magmas altamente fraccionados, emplazados a profundidades corticales de 3-5 km, en las cúpulas de plutones graníticos emanados de batolitos profundos. Los sistemas de greisen están asociados a magmas ricos en H₂O (>8 peso %), como granitoides con moscovita, que cristalizan a profundidades de 3 a 10 km, sin alcanzar generalmente la superficie, aunque pueden interactuar con rocas corticales con aguas connatas o metamórficas. Son sistemas cerrados, donde los fluidos hidrotermales derivan exclusivamente del magma en enfriamiento.
- 3.- Los volátiles (H₂O, F, B, Cl) desempeñan un papel crítico en los fundidos graníticos, influenciando dos aspectos fundamentales: (1) las propiedades físico-químicas del magma y sus productos de cristalización, y (2) transporte de elementos metálicos en fases fluidas residuales, esenciales para la génesis de yacimientos minerales.
- 4.- Los procesos de fraccionamiento magmático concentran volátiles y elementos incompatibles (Sn, W, Mo, Th, U, Zr, Ta, Nb, Hf, y ocasionalmente Cu, Zn, Pb).

5.- Los estudios de inclusiones fluidas de depósitos de greisen generalmente confirman el origen magmático de los fluidos hidrotermales, aunque hay casos que han sido interpretados por la mezcla de aguas magmáticas con meteóricas. Según el tipo de depósito relacionado con greisen (por ejemplo, endogreisen a exogreisen y vetas de cuarzo), la naturaleza de los fluidos de greisenización varía de alta (600° a 400°C y >40 Peso% NaCl Equivalente) a baja (+ 200°C y 10 a 15 Peso % NaCl Equivalente) temperaturas y salinidades, respectivamente. Las especies disueltas incluyen principalmente NaCl, KCl y CO₂, pero también se han identificado fases como anhidrita y bórax. La separación de una fase líquida de una fase de vapor (ebullición) resulta en la concentración de especies salinas más pesadas (KCl, NaCl, etc.) en la primera, y especies más ligeras (HCl, HF, etc.) en la última.

Agradecimientos

Actualmente un grupo de investigadores de la UNAM, con el proyecto SECITHI # CBF22023-2024-10068 y UNAM-DGAPA-PAPIIT # **IN100225**, se está investigando sobre estos temas, para apoyar a la industria productiva del país.

Referencias

- Burt, D. M., 1981, Acidity-Salinity Diagrams-Application to greisen and porphyry Deposits: Economic geology. 76: p. 832-843.
- Burt, D. M., Sheridan, M., 1987, Types of mineralization related to fluorine-rich silicic lava flows. Economic geology. 76: p. 832-843.
- Elliott, J. R., Kamilli, R. J., Miller, W. R., Eric Livo, K., 1995, Veins and greisen Sn and W deposits: Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit model, U. S Geological Survey. Report 95-831, p. 62-69.
- Eugster, H. P., 1984, Granites and hydrothermal ore deposits: a geochemical framework. Mineral Magazine 49: p. 7-23.
- Groves DJ, McCarthy TS, 1978, Fractional crystallization and the origin of tin deposits in granitoids. Mineralium Dep 13:11-26.
- Kinnaid, J. A., 1985, Hydrothermal alteration and mineralization of the alkaline anorogenic ring complexes of Nigeria. J Afr Earth Sci 3:229-252.
- Landis, G.P., and Rye, R.O., 1974, Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the Pasto Bueno tungsten-base metal ore deposit, northern Peru: Economic Geology, v. 69, p. 1025-1059.
- Lehmann, B., 1982, Metallogeny of tin: magmatic differentiation versus geochemical heritage. Economic Geology 77: p. 50-59.
- Menzie W.D., and Reed, B.L., 1986, Grade and tonnage model of Sn veins, in Cox, D.P., and Singer, D.A., eds., Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 67-69.
- Menzie, W.D., Jones, G.M., and Elliott, J.E., 1992, Tungsten- grades and tonnages of some deposits, in DeYoung, J.H., Jr., and Hammarstrom, J.M., eds., Contributions to commodity geology research.
- Pirajno, F., 2009, Hydrothermal processes and mineral systems, Springer, p. 218-258 y p. 535- 577.
- Pirajno, F., Schlögl, H. U., 1987, The alteration-mineralization of Kranstzberg tungsten deposit, South west Africa/ Namibia: South Africa Journal of Geology, 90: p. 499-508.
- Pollard, P. J., Taylor, R. G., Cuff, C., 1983, Metallogeny of tin: magmatic differentiation versus geochemical heritage – a discussion. Economic Geology 78: p. 543-545.
- Pollard P. J., Pichavant, M., Charoy, B., 1987, Contrasting evolution of fluorine- and boron-rich tinsystems. Mineral Deposita, Springer 22: p.15-32.
- Shcherba GN, 1970, Greisens. Int Geol Rev 12:114-255.
- Smirnov VI, 1976, Geology of mineral deposits. MIR, Moscow, p. 520.

THE LAST AMMONITES!!!

JHONNY E. CASAS

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



<https://sites.broward.edu/science-wellness-central/physical-sciences/paleo/ammonite>

INTRODUCTION

The extinction of ammonites, a highly successful group of marine cephalopods, is fundamentally linked to the Chicxulub asteroid impact 66 million years ago. The impact of the Chicxulub asteroid, which triggered severe environmental disruptions, including atmospheric darkening due to suspended particles, led to a sharp drop in temperatures and a collapse of marine food chains, severely affecting ocean biodiversity. This event, which also wiped out non-avian dinosaurs, caused a rapid and severe ecological collapse, with the impact, not a slow decline, acting as the primary cause for their extinction.

Ammonites were iconic marine invertebrates of the Mesozoic Era and served as a textbook example of victims of the end-Cretaceous mass extinction. While long thought to have vanished exactly at the K-Pg boundary, data from Denmark, the Netherlands and the USA (New Jersey) suggest some populations may have briefly survived into the earliest Paleogene (Danian). However, this "survival hypothesis" remains controversial, as many scientists argue these fossils are simply older Cretaceous specimens that were washed into younger sediment, a process known as redeposition or reworking.

THE DISCOVERY

In 1999, Surlyk & Jasper studied a record of ammonites from the lowermost Danian at the famous K-Pg boundary locality, Stevns Klint, in eastern Denmark (Fig. 1a). The boundary strata comprise uppermost Maastrichtian mounded bryozoan wackestone, overlain by the dark-grey to black basal Danian Fish Clay, about 5– 10 cm thick, which passes gradually up into the nodular termed Cerithium Limestone, up to 0.5 cm thick. This is truncated by a prominent erosion surface which is overlain by Lower Danian bryozoan floatstone and rudstone deposited in large asymmetric mounds.

Layers of flint nodules are prominent in both the Maastrichtian bryozoan wackestone, the Cerithium Limestone, and the Danian bryozoan floatstone and rudstone. Maastrichtian flint is normally uniform dark-grey to black with a thin white rind. Lighter grey varieties occur but are uncommon, and brownish or reddish colors are very rare. Danian flint, in contrast, is much more variable both in color and degree of silicification. The color varies from light grey, over dark grey and black, to red-brown and orange.

Surlyk & Jasper (1999) found in a beach at Skeldervig (Fig. 1b) immediately south of the sea-side entrance to the Boesdal quarry in the southern part of Stevns Klint (Fig. 1b). It consists of a fragment of red-brown flint with imprints of two ammonite aptychi (calcitic parts of the ammonite jaw apparatus). One of the aptychus imprints is remarkably well preserved, whereas the other is partly embedded in the flint. The two aptychi are of the same original size, are mirror images of each other, and clearly represent one individual. This shows that they have not been reworked subsequent to their original burial. The two aptychi are remarkably well-preserved, mirror images of one another, and of identical size, which confirms they belonged to a single individual. Based on their morphology, specifically a characteristic fold and delicate concentric ribs, they are referred to the genus *Hoploscaphites*, likely *Hoploscaphites constrictus*.

The flint with aptychi was found loose on the beach, but the K-Pg boundary is situated close to sea level at the locality, and the adjacent Boesdal quarry (Kornaeb Fig. 1b) exposes only Lower Danian bryozoan floatstone and rudstone. It is thus extremely unlikely that the flint fragment originates from nearby Maastrichtian strata.

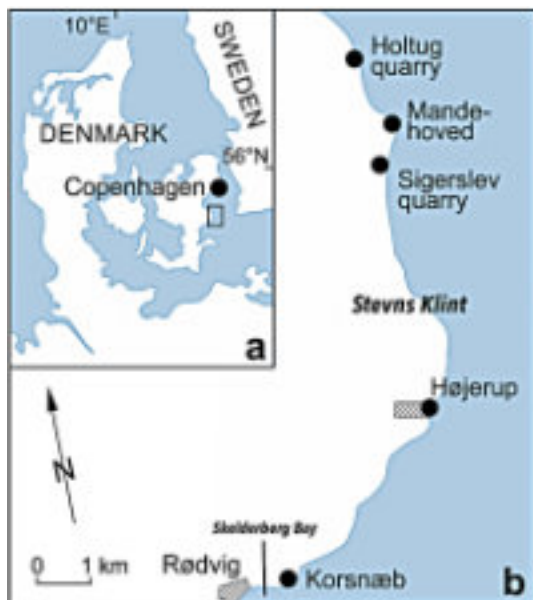


Figure 1. (a) Location of study area within Denmark (rectangle). (b) Southern portion of Stevns Klint cliff section with main sites having yielded Danian ammonite fossils.

FLINT CHARACTERISTICS AS CHRONOLOGICAL MARKERS

A primary method used by the authors for dating the finding, involved the physical properties of the flint itself. Which can be separated in two different kinds.

Maastrichtian Flint: Typically, uniform dark-grey to black with a thin white rind; brownish or reddish colors are extremely rare in these older layers.

Danian Flint: Characterized by high variability in color and silicification, with red-brown and orange varieties being common. The red-brown color of the founded flint fragment strongly suggests it originated from the Early Danian (Tertiary) rather than the Cretaceous.

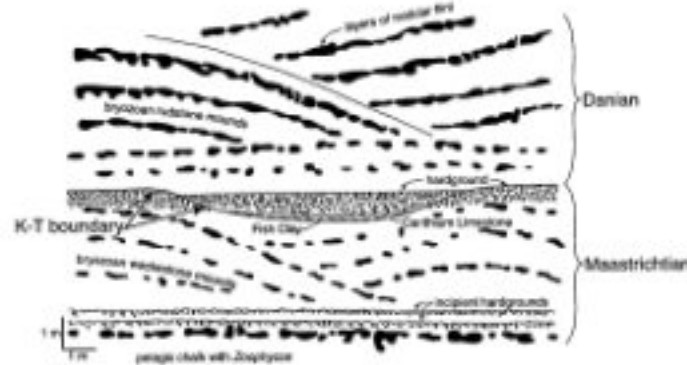


Figure 2. Schematic stratigraphic section of the Maastrichtian-Danian boundary (= K-T boundary) at Stevns Klint. At the base pelagic coccolith chalk with *Zoophycos* and a sparse benthic fauna, topped by two incipient hardgrounds representing a major sea-level fall. The upper hardground is overlain by low mounds composed of bryozoa-rich chalk wackestone. Then follows the basal Danian Fish Clay which passes gradually upward into the lowermost Danian Cerithium Limestone. The top of the Cerithium Limestone and the intervening crests of the Maastrichtian mounds are truncated by an erosion surface which forms a complex hardground. The hardground is overlain by impressive Lower Danian mounds of bryozoa and echinoderm floatstone and rudstone. Source: Surlyk & Jasper (1999)

TESTING THE "REWORKING" VS. "SURVIVAL" HYPOTHESES

The Reworking Argument

Historically, ammonite fossils found in Danian-age rocks like the Cerithium Limestone were dismissed as "reworked", meaning they were Cretaceous fossils eroded from older mounds and redeposited into younger sediment.

Evidence Against Reworking

Surlyk & Jasper (1999) presented several arguments that challenge the reworking theory for this specific specimen:

n-Situ Silicification: The fact that both aptychi from a single individual remained together in one piece of flint indicates they were silicified *in situ*. If they had been reworked from older Cretaceous mounds, they likely

would have been separated or damaged during transport.

Lithification Constraints: The Maastrichtian chalk beneath the Fish Clay remains unlithified (soft) even today. Only the crests of the mounds were hardened after the Cerithium Limestone was deposited. Reworking of ammonite casts could only have happened *before* the aragonite shells dissolved; however, the authors argue such reworking was unlikely during the actual deposition of the Cerithium Limestone.

Geographic Origin: The Boesdal quarry where the find occurred exposes only Lower Danian limestone. The nearest Cretaceous (Maastrichtian) strata are 400 meters away, making it highly improbable that a Cretaceous flint fragment washed to the site.

CONFIRMATION OF SURVIVAL

The postulated evidence, primarily the Danian-typical red-brown flint and the lack of taphonomic damage, strongly suggests an earliest Danian age for the aptychi. This finding supports the radical idea that at least two ammonite genera, *Hoploscaphites* and *Baculites*, did not go extinct exactly at the K-Pg boundary but survived as "aliens" in the earliest Paleogene seas.

The authors point to similar evidence from the Meerssen Member in the Netherlands and Belgium, which is likely a correlative to the Cerithium Limestone and has also yielded well-preserved baculitid ammonites. These collective findings suggest that the extinction of the Ammonoidea, while globally catastrophic, may have had a very brief "hangover" period where a few hardy lineages persisted into the dawn of the Paleogene.

SURLYK & JASPER'S CONCLUSIONS

The finding site and, more importantly, the red-brown colour of the flint strongly suggest an Early Danian age of the finding. The aptychi were clearly silicified *in situ* as shown by the co-occurrence of two aptychi from one individual in one piece of flint. This excludes reworking of the aptychi from the topmost Maastrichtian and subsequent redeposition into the lower Cerithium Limestone. Flint formation is a rather late diagenetic phenomenon and reworked flint nodules are not known from the Maastrichtian-Danian of Denmark.

The sum of evidence thus strongly suggests an earliest Danian age of the two aptychi. The specimens of *Hoploscaphites constrictus* and *Baculites vertebralis* found in the Cerithium Limestone have hitherto been

considered reworked. This interpretation should perhaps be reconsidered in the light of the new findings. Well preserved specimens of baculitid ammonites have been recorded from the upper part of the Meerssen Member (Maastrichtian type area) which is probably a correlative to the Cerithium Limestone (Jagt 1999). There is thus increasing evidence for short-term survival of two ammonite genera into the earliest Danian.

THE EXTINCTION DEBATE CONTINUED NOW IN AMERICA

While the evidence from Europe suggests brief survival into the Danian, these claims require rigorous documentation to ensure the fossils were not simply "reworked" older Cretaceous fossils washed into younger sediment.

Landman et al. (2012) investigated outcrops in the Manasquan River Basin, Monmouth County, New Jersey (Fig. 3), that contain ammonites and dinoflagellates associated with an iridium anomaly. These fossils are traditionally assigned to the uppermost Maastrichtian, but appear above the iridium anomaly, suggesting that they may actually be Danian. The fossils occur in two layers: the lower layer, known as the Pinna Layer, is very fossiliferous. The upper layer, known as the Burrowed Unit, contains a depauperate assemblage of ammonites and dinoflagellates, and has received much less attention. Landman et al. (2012) focused on the ammonites in this unit to determine if they were fossilized at the time of deposition of the surrounding sediment, having lived and/or died during this time interval, or if they were reworked from older deposits

GEOLOGICAL SETTING

Sediments spanning the Cretaceous/Paleogene boundary in New Jersey (USA), crop out in a belt extending from the Sandy Hook embayment in the northeast to the Delaware embayment in the southwest. These sections have been extensively investigated in both surface exposures and cores. The study area of this report is in the upper Manasquan River Basin, Monmouth County, and occupies approximately 6.5 km² (Fig. 3). The section consists of approximately 2 m of the Tinton Formation overlain by 2 m of the Hornerstown Formation (Fig. 4).



Figure 3. Map of part of New Jersey showing localities mentioned by Landman et al (2013): 1, Manasquan River Basin; 2, Buck's Pit; 3, Ivanhoe Creek

The key stratigraphic units (Fig. 4) examined by Landman et al. (2012) included:

The Pinna Layer (Tinton Formation): A 20-cm-thick, laterally extensive, richly fossiliferous unit. It contains a diverse assemblage of approximately 110 species, including bivalves in life position and clusters of ammonites, gastropods, cephalopods, echinoids, sponges, serpulids, bryozoans, crustaceans, and dinoflagellates. It consists of 62% mud and 38% coarser sediments. It is finely bioturbated without any evidence of bedding. Although it is homogeneous, it tends to break along horizontal planes. All of the fossils are internal and external molds, without any calcareous shell preserved. In general, the internal molds are composed of glauconitic minerals and weather orange-brown.

The Burrowed Unit (Tinton Formation): A 15-20 cm thick layer conformably overlying the Pinna Layer. It is characterized by large *Thalassinoides* burrows that "pipe down" material from the layer above. The matrix of the Burrowed Unit is similar to that of the Pinna Layer, and consists of glauconitic pellets and non-glauconitized clay. The most distinctive feature of the Burrowed Unit is the presence of large *Thalassinoides* burrows that pipe down material from the overlying Hornerstown Formation. The Burrowed Unit is much less fossiliferous than the Pinna Layer (Fig. 4a). The fossils are internal and external molds without any calcareous shell. In general, the internal molds are

composed of glauconitic pellets and weather orange-brown

The Hornerstown Formation: The overlying unit, initially thought to contain the base of the Paleogene, but now understood to be separated from the Burrowed Unit by a sharp contact. Hornerstown Formation. The contact between the matrix of the Burrowed Unit and the overlying Hornerstown Formation is sharp. However, the contact between the burrows of the Burrowed Unit and the overlying Hornerstown Formation is difficult to pinpoint, which is part of the reason why Landman et al (2012) initially assigned the Burrowed Unit to the base of the Hornerstown Formation (Fig. 4a). The Hornerstown Formation consists of 38% mud and 62% coarser sediments. It is dark grayish green in fresh exposures and dark green to black in weathered exposures.

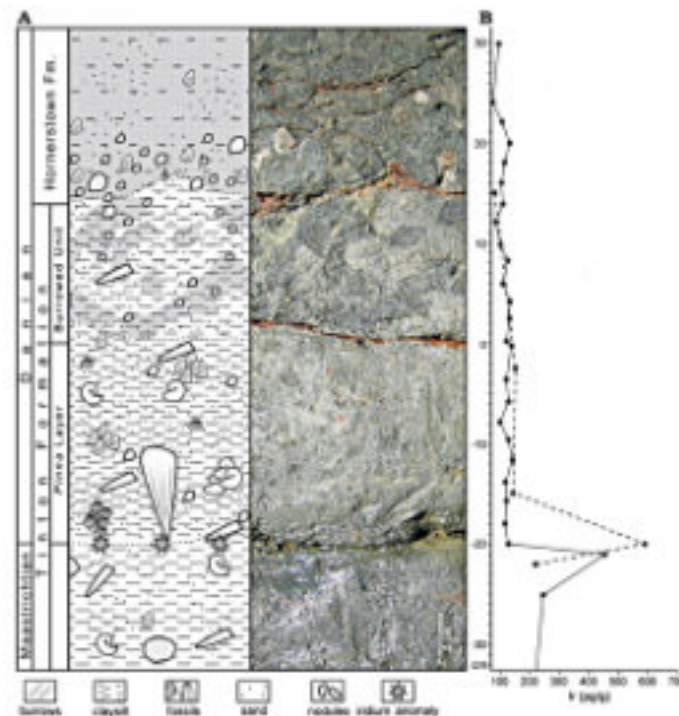


Figure 4. (a) Stratigraphic section in the Manasquan River Basin, Monmouth County, New Jersey. A. The top of the Tinton Formation consists of the Pinna Layer overlain by the Burrowed Unit, which is overlain, in turn, by the Hornerstown Formation. An enriched concentration of iridium occurs at the base of the Pinna Layer (indicated by the stars). The position of the Cretaceous/Paleogene boundary in this figure is based on the assumption that the enriched concentration of iridium is in place. (b) Iridium profile from two sites (represented by the solid and dashed lines) in the Manasquan River Basin. Source: Landman et al. (2012).

THE IRIIDIUM ANOMALY

A critical piece of evidence for Landman and his team was a weak iridium anomaly (500–600 pg/g) discovered at the base of the Pinna Layer (Fig. 4b). Correlation with the iridium layer at the Global Stratotype Section and Point at El Kef, Tunisia, would, therefore, imply that these assemblages are actually Danian, provided that the iridium anomaly is in place and the ammonites and dinoflagellates are not reworked. The iridium was originally deposited at the base of the Pinna Layer, because the lack of any trace of iridium in the rest of the Pinna Layer which is consistent with this hypothesis.

If this iridium represents the fallout from the bolide impact, it implies that both the Pinna Layer and the overlying Burrowed Unit are actually Danian in age. This would mean the ammonite assemblages found within these layers survived the initial impact. Landman et al. (2012) analyzed 37 samples of sediment for iridium across the outcrop in the Manasquan River Basin). The base of the Pinna Layer was marked by an enriched concentration of iridium, which may correlate with the iridium anomaly first reported by Alvarez et al. (1980). The maximum concentration of iridium at two sites in the basin, as reported in Landman et al. (2012), was 457 and 589 pg/g. The iridium profile is asymmetric with an abrupt drop off above the contact and a more gradual decline below the contact.

AMMONITE ASSEMBLAGES

The Pinna Layer contains a characteristic uppermost Maastrichtian ammonite zone (*Discoscaphites iris* Zone). Species identified included:

Pachydiscus (Neodesmoceras) mokotibensis

Sphenodiscus lobatus

Eubaculites carinatus and *E. latecarinatus*

Four species of *Discoscaphites*: *D. iris*, *D. sphaeroidalis*, *D. minardi*, and *D. jerseyensis* (Fig. 5).

EVIDENCE AGAINST REDEPOSITION

A major part of the study by Landman et al. (2012), involved determining if these ammonites lived during the deposition of the sediment or were reworked. The authors conclude they were autochthonous (formed in place) based on several factors like:

Life Positions: Bivalves like *Pinna laqueata* are found in vertical life positions.

Delicate Preservation: Ammonite jaws (aptychi) are found preserved inside body chambers, a condition that would likely not survive the physical stress of redeposition.

Taphonomy in the Burrowed Unit: Even in the higher Burrowed Unit, the researchers found isolated ammonite jaws and fragments that match the surrounding matrix rather than showing signs of being washed in from older, harder deposits.

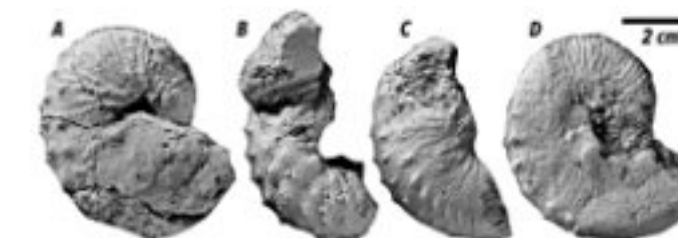


Figure 5. Fossils from the Pinna layer. A, B. *Discoscaphites sphaeroidalis*, adult macro-conch in right lateral view. B., adult micro-conch in right lateral view. C. *Discoscaphites jerseyensis*, adult macroconch in right lateral view. D. *Discoscaphites minardi* adult macro-conch in right lateral view. Source: Landman et al. (2012).

DURATION OF THE SURVIVAL

The researchers estimate that the Pinna Layer represents a very short interval of geological time, likely lasting only tens to hundreds of years. If the iridium anomaly marks the moment of impact, the ammonites in both the Pinna Layer and the Burrowed Unit persisted for this brief window before their final extinction.

Landman et al, (2012) concluded that the traditional view of an instantaneous mass extinction of ammonites at the K-Pg boundary is incomplete. Instead, the New Jersey record confirmed that several lineages of ammonites survived the initial environmental shock of the asteroid impact. They remained as "rare elements" in the earliest Paleogene seas for a brief period, ranging from a few days to several centuries, before ultimately succumbing to the long-term ecological changes triggered by the event. This discovery aligns New Jersey's geological record with previous findings in Denmark, reinforcing a global pattern of short-term ammonite survival.

THE MORE RECENT RESEARCH

Finally, Machalski et al (2025) provided a reassessment of the hypothesis of ammonite survival across the Cretaceous–Paleogene or (Maastrichtian–Danian) boundary, based on new data from the lower Danian Cerithium Limestone Member at Stevns Klint, eastern Denmark (Fig. 1a).

The study area by Machalski et al (2025) was located south of Copenhagen, north-eastern Denmark (Fig. 1b). A belt of outcrops is located along the coastal cliff called Stevns Klint. The coastal profile is 14.5 km long and up to 41 m in height. During the Cretaceous to Paleogene transition, the Stevns Klint area was located in a cool-water carbonate ramp setting with facies shifts controlled by sea level oscillations.

The study focused on the world-famous K-Pg boundary at Stevns Klint, a UNESCO World Heritage site. The researchers examined the Cerithium Limestone Member (Fig. 6), the first carbonate unit of the Paleogene period in this region. This unit fills shallow basins located between the eroded crests of underlying Maastrichtian (Cretaceous) bryozoan mounds.

To determine if ammonites survived, the researchers compared several distinct layers (Figure 6, 7):

Højerup Member: Uppermost Cretaceous chalk mounds rich in bryozoans.

Fiskeler Member (Fish Clay): A 5–10 cm thick marly clay marking the impact of the Chicxulub asteroid.

Cerithium Limestone Member: The focus of the study, containing the earliest evidence of biotic recovery.

Korsnæb Member: Overlying Danian limestones separated from the Cerithium Limestone by an erosional hardground.

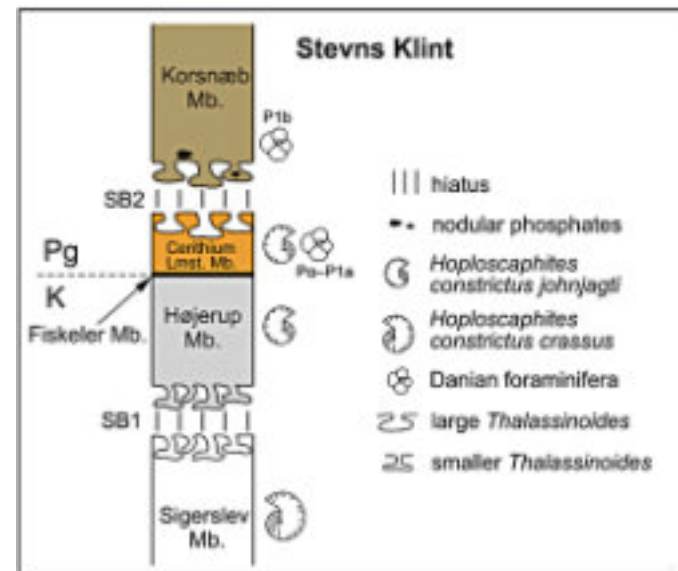


Figure 6. Stratigraphical column of the Stevns Klint succession, Source: Machalski et al (2025).

IDENTIFIED SPECIMENS

Machalski et al (2025) studied ten ammonite specimens from the Cerithium Limestone Member exposures at

Sigerslev and Rødvig (Fig. 1). They identified a single scaphitid, *Hoploscaphites* cf. *constrictus johnjagti*, and four baculitid taxa: *Baculites vertebralis*, *Baculites* cf. *vertebralis*, *Baculites* sp. and *Fresvillia* sp. Specimens of *H. constrictus* and *B. vertebralis* (Fig. 8), are well known from the uppermost Maastrichtian and Danian strata of Stevns Klint (Machalski et al 2025).

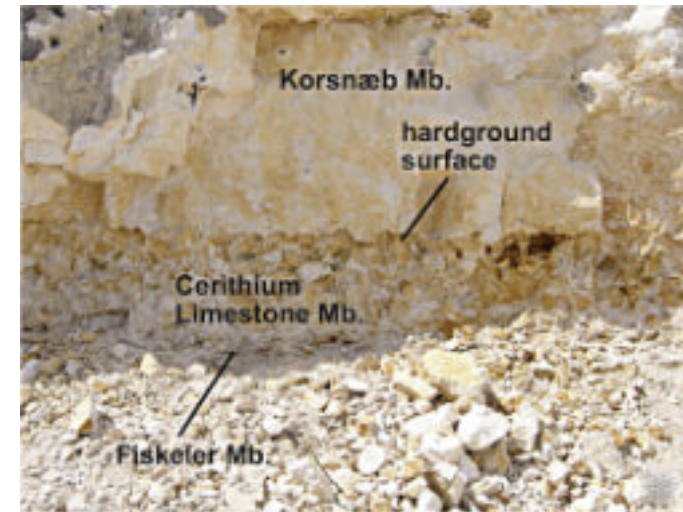


Figure 7. Close up view of Fiskeler Member, Cerithium Limestone member, and Korsnæb member at Sigerslev quarry. Source: Machalski et al (2025).

None of the ammonite moulds from Sigerslev (Fig. 1b) show taphonomic signatures which would indicate their reworking and/or redeposition. Such features are present, for example, on a specimen of *Hoploscaphites constrictus johnjagti*, preserved in a worn, glauconite-coated clast of Maastrichtian chalk, from the base of the Korsnæb Member. There are also no traces of epizoans on the specimens studied, which would have indicated prolonged exposure periods of empty conchs, either on the sea-floor or when floating in the water column. The presence of a void after dissolution of the aragonite shell in one of the baculitid moulds indicates that the shell was still present at the final burial stage of the fossil, having dissolved only after lithification of the carbonate mud during hardground formation.

The study by Machalski et al (2025) described specimens representing three genera:

***Hoploscaphites* cf. *constrictus johnjagti*:** A scaphitid common in the late Cretaceous.

***Baculites vertebralis*:** Straight-shelled ammonites (Fig. 8).

***Fresvillia* sp.:** Notably, this record is new for Denmark and represents the first time this genus has been reported in Danian-age rocks worldwide.

PRESERVATION STATE

All specimens were found as internal or external moulds because their original aragonite shells dissolved long ago. Crucially, one baculitid mould showed a "void" where the shell used to be, proving the shell was still physically present when it was buried in the Danian sediment and only dissolved after the rock had hardened. This supports the idea that the animal lived and died during the Danian.

DIFFERENTIATING "SURVIVORS" FROM "REWORKED" FOSSILS

The researchers identified clear differences between the Cretaceous chalk and the Danian limestone:

Cretaceous Matrix: Rich in large calcitic bryozoans and bivalves.

Danian (Cerithium) Matrix: Almost entirely lacks these large calcitic fossils; instead, it contains unique "large" sponge spicules (up to 1,000 µm) and abundant calcareous dinoflagellate cysts.

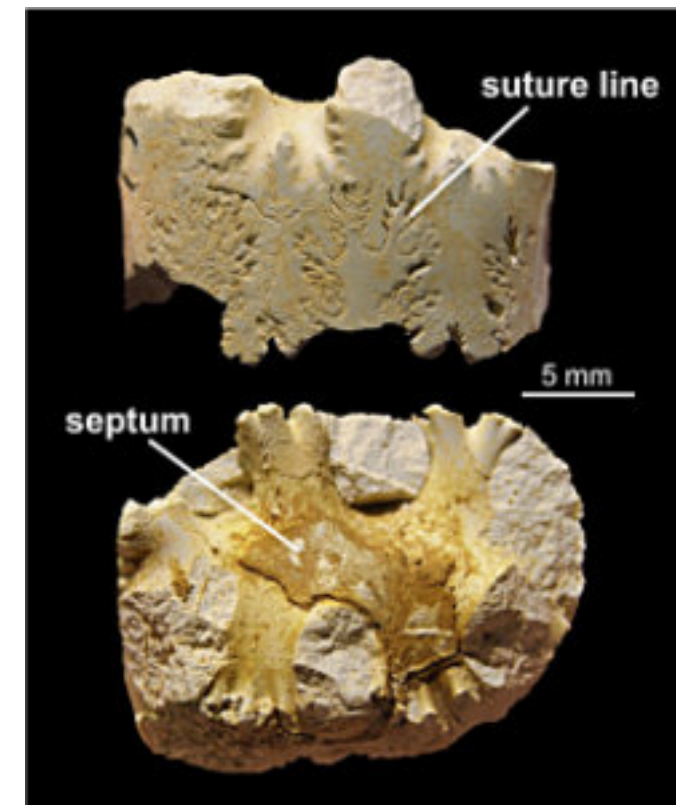


Figure 8. Ammonite specimens from the main part of the Cerithium Limestone Member at Stevns Klint. *Baculites vertebralis* at top of unit.

THE SURVIVORS

For the main part of the Cerithium Limestone, the ammonite fossils were found in a matrix that perfectly matches the surrounding Danian sediment. These

specimens showed no signs of physical wear or redeposition, leading the authors to conclude they are autochthonous, and represent true Danian survivors. But there is one exception: only a single specimen found at the very base of the unit in Rødvig was identified as reworked. This specific fossil was found in a layer containing large bryozoan fragments typical of the Cretaceous, suggesting it was washed into the younger layer.

MACHALSKI'S CONCLUSIONS

Machalski et al (2025) results for the main part of the Cerithium Limestone Member pointed to the autochthonous nature of the enclosed ammonites, which means that they are early Danian survivors, as suggested previously by Surlyk & Nielsen (1999).

Ammonites did not make it higher up into the Danian, because there are no remains known from above the lower Danian Cerithium Limestone Member, except for the clearly allochthonous specimen from the base of the Korsnæb Member mentioned above. Therefore, early Danian ammonite survivors provide a particularly short-term case of the "Survival without recovery". The Danish Danian ammonites clearly survived the end-Cretaceous crisis triggered by the Chicxulub impact.

The study effectively refutes the idea that all Paleogene ammonite fossils are redeposited Cretaceous remains. By proving that the bulk of the Cerithium Limestone fauna is autochthonous, the authors confirm ammonite survival into the Danian. This discovery shifts the focus of future research from when ammonites went extinct to *why* these last hardy populations finally disappeared if they were able to survive the initial impact.

The presence of *Hoploscaphites*, *Baculites*, and particularly the new record of *Fresvillia* confirms that ammonites did not vanish instantly. They persisted for a short time (within the P0 to P1a planktic foraminifer zones) following the asteroid impact. While the global disappearance of the ammonites remains an open question, their populations were geographically restricted after the catastrophic events at the K-Pg boundary, rendering them particularly vulnerable to extinction.

REFERENCES

- JAGT, J.W.M. 1999. Late Cretaceous-Early Palaeogene echinoderms and the K/T boundary in southeast Netherlands and northeast Belgium. *Scripta Geologica* 116, 657 pp.
- LANDMAN, N.H., GARB, M.P., ROVELLI, R., EBEL, D.S., AND EDWARDS, L.E. 2012. Short-term survival of ammonites in New Jersey after the end-Cretaceous bolide impact. *Acta Palaeontologica Polonica* 57(4): 703–715. <https://www.app.pan.pl/archive/published/app57/app20110068.pdf>
- MACHALSKI, M., OLSZEWSKA-NEJBERT, D., LANDMAN, N., JAGT, J., GARB, M. AND 5 & MILÀN, J. 2025. Ammonite survival across the Cretaceous–Paleogene boundary confirmed by new data from Denmark. *Scientific Reports* 15:45802 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-34479-1>
- SURLYK, F. & NIELSEN, J. M. 1999. The last ammonite? *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 46: 115–119. <https://2dggf.dk/xpdf/bull46-1-115-119.pdf>



jcasas@geologist.com

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

Autor/Co-autor en 63 publicaciones para diferentes boletines y revistas técnicas, como: Bulletin of Canadian Petroleum Geology, Geophysics, The Leading Edge, Asociación Paleontológica Argentina, Paleontology, Journal of Petroleum Geology, Academia de Ciencias, Academia de Ingeniería y Caribbean Journal of Earth Sciences; incluyendo presentaciones en eventos técnicos: AAPG, SPE, CSPG-SEPM y Congresos Geológicos en Venezuela y Colombia, así como artículos históricos en el boletín AAPG Explorer. Autor de mas de 58 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).

LAS PIEDRAS VERDES DE GUAYAQUIL, ECUADOR: GEOLOGÍA, USOS CONSTRUCTIVOS Y VALOR PATRIMONIAL

Jesús S. PORRAS MORENO

Consultor Independiente (porrasjs@yahoo.com)

RESUMEN

El uso de piedras naturales ha sido clave en el desarrollo de muchas ciudades a lo largo de la historia. Guayaquil, principal puerto del Ecuador, es un buen ejemplo de esta relación entre la geología y la vida urbana. Su crecimiento estuvo marcado por las características del terreno y por la disponibilidad de piedras locales, especialmente calizas y las conocidas piedras verdes, que influyeron en su construcción y en su identidad urbana.

Estas últimas, asociadas principalmente a unidades cretácicas de la Formación Cayo y a cuerpos serpentinizados de la Cordillera Costera, han sido utilizadas desde la época colonial como material constructivo, ornamental y paisajístico. Su coloración característica, resistencia mecánica y disponibilidad local les otorgaron un valor funcional y simbólico dentro del paisaje urbano de Guayaquil. Representan un vínculo directo entre la geología regional de la Costa ecuatoriana y el desarrollo histórico de la ciudad.

El presente artículo aborda la caracterización geológica de las principales piedras naturales empleadas en la ciudad, con énfasis en las piedras verdes, analizando su origen, propiedades petrográficas, usos históricos y contemporáneos en arquitectura e infraestructura urbana, y su valor patrimonial como expresión de la geodiversidad urbana.

INTRODUCCIÓN

Guayaquil se desarrolló históricamente en un entorno donde los materiales pétreos disponibles condicionaron de manera directa las técnicas constructivas, la morfología urbana y la imagen arquitectónica de la ciudad. Desde la época colonial, la naturaleza del suelo y la roca fueron reconocidos empíricamente como factores críticos para la estabilidad de edificaciones, la construcción de infraestructuras y la salubridad urbana.

Documentos conservados en el Archivo General de Indias (AGI) registran referencias tempranas a la inestabilidad del terreno, la presencia de zonas inundables y la necesidad de recurrir a piedra firme, proveniente de los cerros

circundantes, para obras públicas y defensivas. Estas fuentes evidencian el desarrollo temprano de una conciencia territorial basada en la geología del sitio, aun en ausencia de una disciplina científica formal.

El uso de la piedra se vio probablemente acelerado por los repetidos incendios que afectaron a una ciudad edificada, en su mayoría, con casas de madera. Como respuesta, las autoridades de la época dictaron ordenanzas que promovieron el reemplazo de estas construcciones por viviendas de adobe, ladrillo y quinchá (caña recubierta con barro), y fomentaron el empleo de materiales más durables y resistentes al fuego, como la cal y la piedra (Núñez Sánchez, 2017)

Entre los materiales pétreos utilizados, además de las calizas, las denominadas piedras verdes destacan por su resistencia, coloración distintiva y amplia presencia en empedrados, muros, basamentos y elementos ornamentales. A pesar de su relevancia histórica y simbólica, estas rocas han recibido escasa atención desde la geología urbana y el patrimonio geológico.

Wolf (1892) las catalogó como uno de los tres grandes grupos en que fueron divididas las rocas plutónicas y volcánicas ecuatorianas. El mismo autor señala que las rocas verdes, y las porfídicas, en general, son de edad cretácea, o en su mayor parte, de origen mesozoico.

En este trabajo se analizan y destaca la ocurrencia de las piedras verdes de Guayaquil desde una perspectiva integrada, combinando su caracterización geológica con su dimensión histórica, urbana y patrimonial.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

La ciudad de Guayaquil se localiza en la cuenca del río Guayas, una amplia región de la costa ecuatoriana drenada por el río del mismo nombre y su extensa red de afluentes. Los ríos Daule y Babahoyo, los más importantes del sistema, confluyen al norte de la ciudad y forman la ría Guayas, que desemboca en el Golfo de Guayaquil. Este golfo constituye el accidente geográfico más extenso de la vertiente del Pacífico suramericano y ha sido clave en el desarrollo histórico, económico y portuario de la ciudad.

Desde el punto de vista del relieve, Guayaquil se asienta en una planicie aluvial atravesada de este a oeste por prolongaciones del sistema montañoso Chongón-Colonche. En este contexto destacan elevaciones como los cerros Santa Ana y del Carmen, en el sector histórico, así como los cerros Azul, Paraíso y Blanco en el límite occidental de la ciudad. Estos relieves rocosos han condicionado la expansión urbana y han sido, históricamente, una fuente cercana de materiales pétreos para la construcción.

Las piedras verdes utilizadas en Guayaquil se asocian principalmente a unidades geológicas de edad cretácica expuestas en la región costera del Ecuador. A escala regional, estas rocas incluyen:

- Rocas detríticas de la Formación Cayo, formadas sobre todo por grauvacas de grano medio a grueso, muy compactas y bien cementadas. En algunos sectores, las areniscas finas de color verde oscuro son tan duras y recrystalizadas que pueden confundirse con rocas ígneas como dioritas o diabasas (Wolf, 1892). La formación también incluye lutitas y tobas de grano fino a medio, de tonos crema, marrón y verde, que suelen presentar un brillo metálico en las superficies de fractura debido a la presencia de óxidos de hierro y manganeso (Morante, 2004). Labrousse (1986) señala que en el contacto entre las formaciones Calentura y Cayo afloran bancos de grauvacas, típicas de la Formación Cayo, caracterizadas por areniscas verdes de grano grueso.
- Cuerpos ofiolíticos y serpentinitas, derivados de peridotitas del manto oceánico, que afloran en cerros periféricos de Guayaquil y que podrían estar asociados a la Formación Piñón (Labrousse, 1986).

Las rocas sedimentarias de la Formación Cayo fueron depositadas por corrientes turbidíticas; la litología es

variable, y es posible encontrar lutitas, arcillolitas, limolitas, grauvacas e hialoclastitas. Las rocas se caracterizan por su color verde oscuro a gris verdoso, texturas clásticas o masivas, alta cohesión y baja alterabilidad en ambientes tropicales húmedos.



Figura 1. Muestra de mano de “piedra verde”, recuperada de un afloramiento de la Formación Cayo en el Cerro Santa (Foto: J. Porras).

La Formación Cayo en la zona muestra predominio de grandes capas de areniscas turbidíticas, muy espesas, de color gris verdoso y gran dureza cuando están frescas. Al alterarse, estas rocas cambian a tonos amarillo-café. Estos afloramientos pueden observarse claramente en la Vía Perimetral, a la altura del Campus Politécnico, así como en el cerro Mapasingue, Lomas de Urdesa y Kennedy Norte. Entre estas capas se intercalan lutitas y areniscas finas, algunas de origen volcánico. La coloración verdosa característica de estas rocas se debe a la presencia de minerales cloríticos, producto de procesos de alteración mineral que afectan a sus componentes originales (Geoestudios, 2011).

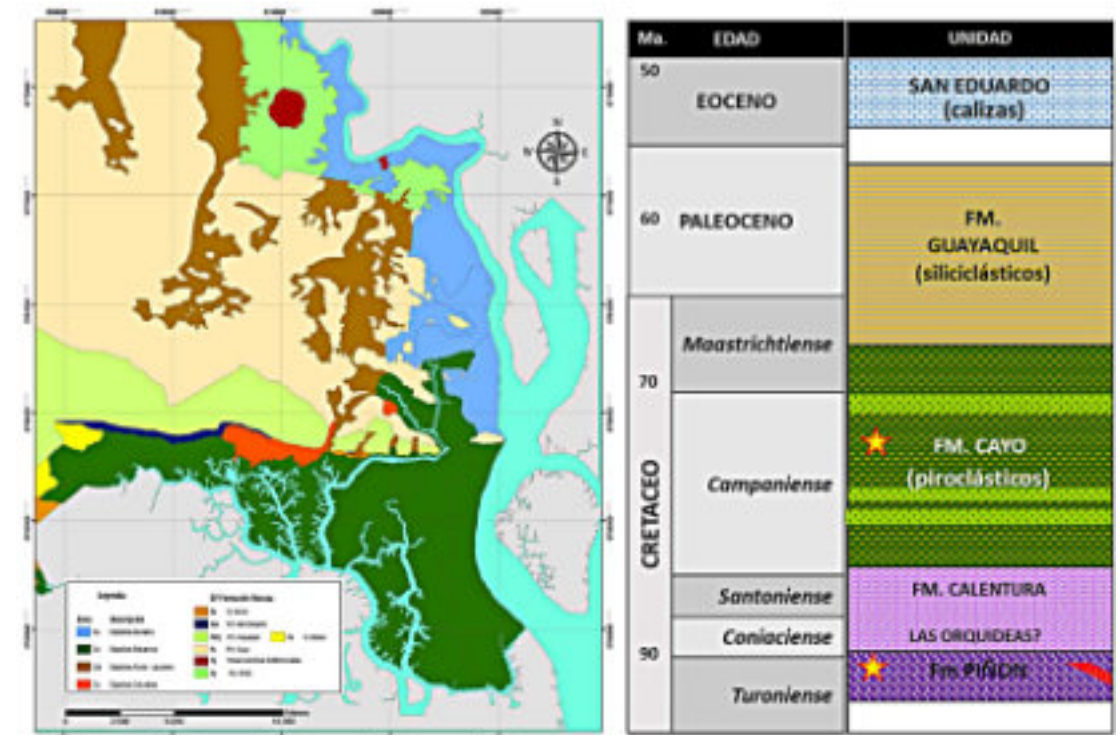


Figura 2. Mapa Geológico del Área de Guayaquil (GeoEstudios S.A., 2011) y Columna Estratigráfica simplificada para el Eoceno-Cretácico Superior (modificado de Machiels et al., 2008).

Definida por Landes (1946), la Formación Cayo corresponde a una potente secuencia de hasta 3.000 m de sedimentos marinos y volcanoclásticos del Cretácico Superior. Incluye brechas volcánicas basales, areniscas tobáceas y grauvacas, y una sección superior menos volcánica dominada por argilitas silicificadas de color verdoso, que gradan al Miembro Guayaquil, compuesto por argilitas, limonitas y cherts de silicificación principalmente secundaria.

Aflora ampliamente en los cerros Chongón-Colonche y hacia el norte hasta Jama. La abundante fauna de radiolarios y foraminíferos indica una edad Senoniense-Maastrichtiense, con posible extensión al Paleoceno temprano.

Según Luzieux (2007), la unidad se caracteriza por secuencias repetidas de flujos volcanoclásticos y turbiditas silicificadas de tonalidad verde oliva, con estructuras de

meteorización concéntrica y rasgos sedimentarios típicos de ambientes de alta energía.

Baldock (1982) indica que la Formación Cayo está compuesta por una potente secuencia de sedimentos marinos y volcanoclásticos. En su base predominan brechas volcánicas, seguidas por brechas y conglomerados de grano fino, areniscas tobáceas y grauvacas. Hacia la parte superior, el carácter volcánico disminuye y dominan argilitas pizarrosas silicificadas de color verdoso, que gradan hacia los cherts del Miembro Guayaquil, formados por argilitas muy silicificadas, limonitas y cherts. Sánchez et al. (2017) manifiestan que su litología corresponde a limolitas de color verde, areniscas color amarillento, grauvacas cloritizadas, tobas y aglomerados que se presentan como una secuencia sedimentaria de origen volcánico, estratificada en capas delgadas a gruesas y con buzamiento hacia el sur.



Figura 3. Afloramiento de rocas volcano-clásticas de la Formación Cayo, Vía Perimetral (Foto: J. Porras).

La Formación Cayo, antes interpretada como producto de la erosión de un arco volcánico inactivo, se reconoce hoy como el resultado de un arco volcánico activo. Está formada principalmente por depósitos piroclásticos submarinos generados por erupciones explosivas, organizados en ciclos de caída de cenizas, flujos piroclásticos y depósitos retrabajados. La alteración posterior dio a estas rocas un aspecto detrítico. La presencia de pómez, fragmentos vítreos y clastos basálticos-andesíticos indica un estratovolcán calcoalcalino asociado a un margen convergente cretácico.

La Formación Piñón, más antigua, aflora al norte de Guayaquil, está compuesta por rocas ígneas máficas de origen oceánico, principalmente basaltos, diabasas, lavas andesíticas y almohadilladas, gabros y serpentinitas.

Baldock (1982) señala que la Formación Piñón consiste en lavas basálticas y brechas de origen submarino, piroclásticos turbidíticos pobremente estratificados y delgadas capas de sedimentos intercalados (pelágicos). Las lavas van de masivas a porfiríticas, algunas exhiben estructuras almohadilladas. Por análisis químicos muestra que pueden ser toleitas de una cresta oceánica o del sector toleítico primitivo de los volcánicos de un arco de isla. Según Jaillard et al. (1995) estas rocas representan fragmentos de corteza y manto oceánico acrecionados al continente durante el Cretácico inferior, en un contexto de margen convergente.



Figura 4. Afloramiento de rocas volcánicas de la Formación Piñón en sector La Aurora, Guayaquil Norte (Foto: J. Porras).

Caracterización General y Propiedades

Desde el punto de vista petrográfico, las piedras verdes comprenden varios grandes grupos litológicos: a) Areniscas líticas (grauvacas) de matriz arcillosa-clorítica, con fragmentos volcánicos máficos y feldespato, cuarzo y óxidos de hierro como minerales accesorios b) Serpentinitas, de textura masiva a brechada, con serpentina, magnetita y relictos de olivino como minerales dominantes y de una alta capacidad de pulido y brillo superficial c) Lutitas, tobas y lutitas tobáceas de lustre

metálico d) Volcánicas (sin diferenciar). Abarcan básicamente dos unidades litoestratigráficas: Formación Cayo y Formación Piñón, ambas del Cretácico.

Machiels et al. (2008) señalan que la Formación Cayo comprende rocas muy variadas, tradicionalmente descritas mediante una terminología local poco precisa como aglomerados, lutitas y lutitas tobáceas, que alude principalmente a la granulometría, sin especificar su origen, bien sea piroclástico de grano fino, epiclástico o sedimentario. Esta distinción es relevante debido a las diferencias en tipo y contenido de zeolitas.

Por otro lado, la Formación Piñón, forma cerros resistentes y ha sido una fuente histórica de piedra dura en la región, asociada a las tradicionales piedras verdes usadas en la construcción.

Las características de ambas rocas le confieren buena durabilidad frente a ambientes húmedos y salinos, comportamiento favorable como roca de construcción, estabilidad como elemento estructural y paisajístico.



Figura 5. Las piedras verdes comprenden rocas muy variadas, entre las que se incluye areniscas finas, limolitas, grauvacas, aglomerados, lutitas y lutitas tobáceas, serpentinitas y otras rocas volcánicas, principalmente de las formaciones Cayo y Piñón (Cretácico) (Foto: J. Porras).

USOS HISTÓRICOS DE LAS PIEDRAS VERDES EN GUAYAQUIL

La piedra verde de Guayaquil, tuvo un rol notable, aunque poco documentado, en la arquitectura y cultura material pétreo de la ciudad durante la primera mitad del siglo XX. Su tonalidad verde oscuro, su capacidad de pulido y la

disponibilidad local la convirtieron en un material distintivo dentro del paisaje urbano guayaquileño.

Periodo colonial y siglo XIX

Durante la época colonial (siglos XVII y XVIII), el conocimiento del suelo y de las rocas en Guayaquil fue principalmente práctico. Maestros de obra y constructores aprendieron, por experiencia, a distinguir arenas, limos y arcillas del estuario del Guayas, eligiendo los materiales según su resistencia a la humedad. En contraste con los terrenos blandos de la planicie aluvial, los cerros cercanos como San Eduardo, Santa Ana y El Carmen, fueron reconocidos tempranamente como fuentes de piedra más firme.

Tras la Independencia, en el siglo XIX, Guayaquil se consolidó como un puerto abierto a nuevas ideas técnicas procedentes de Europa. Ingenieros, naturalistas y viajeros comenzaron a describir de manera más sistemática el entorno físico de la ciudad. En esta etapa se identificó el origen reciente y sedimentario del valle del Guayas, la presencia de rocas “verdes” y “duras” en los cerros periféricos, y la relación entre el tipo de suelo, la estabilidad de las construcciones y la salud urbana.

Este período marca el paso de un conocimiento artesanal a una comprensión más científica del territorio, si bien la madera, por su alta calidad, siguió siendo utilizada en la época republicana adoptando los criterios y elementos de construcción desarrollados por los carpinteros navales, o de ribera, en sus embarcaciones, tales como los estantes (columnas), varengas (vigas), crucetas (tirantes) y chazas (celosías) entre otras (Peralta y Donoso, 2024).

Hacia finales del siglo XIX, se documenta la existencia de pequeñas canteras en los cerros San Eduardo y Paraíso, donde afloraban rocas verdes resistentes. Su cercanía al núcleo urbano facilitó su extracción y uso como material accesible, duradero y con valor estético (Sinclair y Berkey, 1924). Estas piedras comenzaron a emplearse de forma consciente en empedrados, muros, cimientos, basamentos de edificios y, de manera destacada, en elementos funerarios.

Modernismo Siglos XX-XXI

Durante la primera mitad del siglo XX, especialmente tras los grandes incendios que marcaron la historia de Guayaquil y en medio de un proceso de modernización urbana, la piedra verde tuvo un uso destacado en la ciudad. Fue empleada con frecuencia en zócalos y

basamentos de viviendas, en revestimientos exteriores de edificios comerciales, y en peldaños, umbrales y otros elementos de circulación, aprovechando su resistencia y su color característico.

A partir de la década de 1950, la situación cambió con la llegada masiva de materiales importados, como granitos y mármoles brasileños, travertinos italianos y rocas ornamentales chilenas y peruanas. Estos materiales, asociados a ideas de modernidad y prestigio, fueron desplazando progresivamente el uso de la piedra verde local, que quedó limitada a aplicaciones ocasionales.

Aunque nunca alcanzó la difusión de las rocas importadas, la piedra verde dejó una huella reconocible en el centro histórico y en barrios tradicionales de Guayaquil. Su presencia en edificaciones y espacios urbanos históricos sigue siendo un testimonio de una etapa en la que la ciudad valoró y aprovechó de manera consciente un recurso geológico propio, integrándolo a su identidad urbana.



Figura 6. Faenas de extracción y acopio de piedra verde (o “piedra azul base”) en canteras del área de Guayaquil. A la izquierda, bloques recién extraídos y fragmentados listos para su transporte (www.instagram.com/canterasexpress); a la derecha, frente de cantera ubicada en la zona de La Aurora, en Daule, con afloramientos de rocas verdosas de alta competencia utilizadas como material base para obras civiles, infraestructura vial y, en menor medida, como piedra ornamental (<https://www.expreso.ec/guayaquil/daule-malestar-canteras-crece-tregua-aurora-171854.html>)

La piedra verde se emplea principalmente en acabados y revestimientos de paredes y muros, tanto en bloques rústicos semilabrados (sillares) como en baldosas y losas pulidas. También se utiliza en bloques de formas irregulares, de distintos tamaños, en proyectos de jardinería, paisajismo y como elementos ornamentales.

Uno de los usos más significativos se dio en el Cementerio General de Guayaquil (1920–1950), donde la piedra verde fue ampliamente utilizada en: lápidas y placas grabadas, marcos y moldura y en pequeñas esculturas y ornamentos. Su color oscuro y brillo pulido reforzaron asociaciones simbólicas con la permanencia y la solemnidad. Este vínculo con el arte funerario constituye uno de los principales testimonios patrimoniales del material en la ciudad.

La llamada piedra verde, también conocida como piedra azul base, es el material pétreo más común que se extrae y comercializa en las canteras del sector de la Vía a la Costa, en Guayaquil. Tradicionalmente se ha utilizado en rellenos, cimientos, bases de muros, infraestructura vial y diversas obras civiles, debido a su resistencia y disponibilidad local. Según Machiels et al. (2008), en la actualidad se explotan capas delgadas de tobas verdes de la Formación Cayo, conocidas de manera informal como lutitas azul-verdes para el aprovechamiento de zeolitas.



Figura 7. Fragmentos de piedra verde (“azul base”) provenientes de canteras de Guayaquil, mostrando la variabilidad de tamaños tras los procesos de extracción y trituración. La escala gráfica ilustra la granulometría típica de los fragmentos, utilizados principalmente como material de base, relleno y en obras de infraestructura y construcción urbana (Foto: J. Porras)

LAS PIEDRAS VERDES EN EL PAISAJE URBANO CONTEMPORÁNEO

Las piedras verdes siguen presentes en el paisaje urbano de Guayaquil como vestigios de su historia constructiva. Aunque su uso disminuyó con la llegada de materiales importados, aún se observan en muros, zócalos, escalinatas, cementerios y espacios públicos. Por su durabilidad, fácil mantenimiento, sostenibilidad y estética única, y a pesar de que hoy tienen un valor principalmente patrimonial e identitario, muchas construcciones modernas aun utilizan la piedra verde en sus diseños arquitectónicos, combinando tradición con innovación.

Algunos ejemplos donde es evidente el uso local y la presencia de las piedras verdes guayaquileñas se muestran a continuación:

a) En sectores como La Atarazana, un barrio que se encuentra al norte de la ciudad de Guayaquil, estas rocas persisten como elementos integrados al diseño urbano y reconocidos por la comunidad como hitos del paisaje. La denominada Piedra Verde constituye un ejemplo emblemático de roca natural preservada in situ, con valor geológico, histórico y simbólico. Es un gran bloque rocoso, de unos 300 kg de peso, ubicado desde hace unos 50 años en la manzana H-3, sobre la avenida Nicasio Safadi. Además de esta roca emblemática, existen al menos otras once de menor tamaño distribuidas en distintos puntos del barrio. Todas pertenecen a la Formación Cayo y corresponden a rocas detríticas tipo grauvaca, de

tonalidades verde oscuro a gris verdoso, muy resistentes a la erosión y típicas de la costa ecuatoriana (<https://atarazanago.com/2020/09/15/la-piedra-verde-es-el-monumento-natural-y-emblematico-de-la-atarazana/>)



Figura 8. Piedras verdes en el paisaje urbano del barrio La Atarazana (Guayaquil). Bloques de roca natural integrados al espacio público, reconocidos por la comunidad como hitos del paisaje urbano. Destaca la denominada Piedra Verde, un gran bloque de aproximadamente 300 kg, ubicado desde hace más de cinco décadas en el popular barrio. Estas rocas de tonalidades verde oscuro a gris verdoso pertenecen a la Formación Cayo y constituyen un valioso testimonio geológico, histórico y simbólico de la ciudad (<https://atarazanago.com/2020/09/15/la-piedra-verde-es-el-monumento-natural-y-emblematico-de-la-atarazana/>)

b) Barrio Las Peñas: es el sector más antiguo de Guayaquil, con más de 400 años de historia. Su nombre proviene de su ubicación, al pie de los peñascos y rocas que forman las estribaciones finales del cerro Santa Ana, conocido antiguamente como Cerrito Verde. Esta denominación hacía referencia tanto a la abundante vegetación como a la presencia de piedras verdes y rocas calcáreas en el lugar. Cuando los españoles se asentaron en la zona, en el siglo XVI, el cerro estaba cubierto de grandes pedregones y afloramientos rocosos, rasgo que dio identidad al barrio y marcó su desarrollo temprano.

Tras el Gran Incendio de 1896, Las Peñas fue reconstruido, manteniendo su carácter histórico.

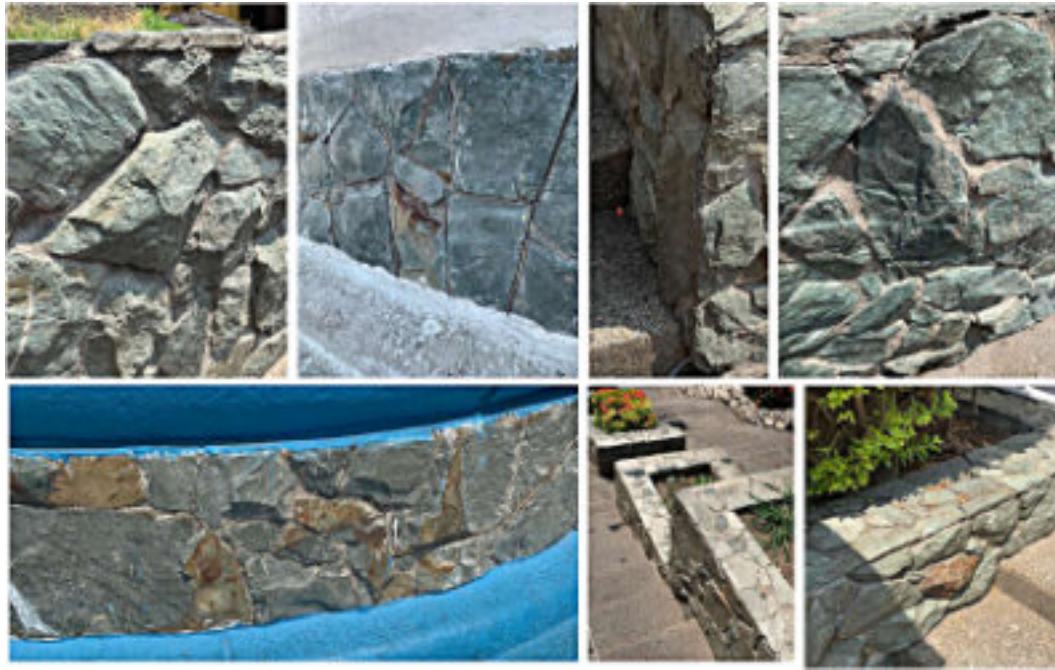


Figura 9. Ejemplos del uso extensivo de las piedras verde en el sector histórico y turístico de Las Peñas (Foto: J. Porras)

Wolf (1892) describió en el sector de Las Peñas, al norte de Guayaquil, la presencia de capas de areniscas de grano fino que alternan con rocas calcáreas y síliceas. Estas areniscas presentan colores oscuros, generalmente verdosos o pardos, debido a la abundancia de glauconita, lo que les da tonalidades verdes cuando está fresco y tonos pardos o rojizos cuando se alteran. Aunque la arenisca es regularmente de grano fino, se logran identificar granos de cuarzo de tamaños mayores, transformando la roca en un conglomerado cementado por sílice.

c) El Monumento al Sagrado Corazón de Jesús, ubicado en el mirador del Cerro del Carmen es una escultura en honor a Jesús de Nazaret. La estatua, inaugurada en 1973, mide 15.6 metros de altura y reposa sobre un pedestal de 11.6 metros de altura, revestido por calizas y piedras verdes, el material pétreo característico del paisaje urbano de la ciudad (Foto: J. Porras)



Figura 10. Monumento al Sagrado Corazón de Jesús, ubicado en el mirador del Cerro del Carmen (Guayaquil). El pedestal que sostiene la estatua está revestido con calizas y con las distintivas piedras verdes, el material pétreo característico del paisaje urbano de la ciudad (Foto: J. Porras)

d) En Zamborondón se conservan remanentes erosivos de rocas verdes, visibles en un cerro de aproximadamente 30 m de altura, ubicado en el distribuidor de las avenidas Perimetral Zamborondón-Febres Cordero y El Salitre, en el sector La Aurora. Los mapas geológicos regionales indican que este afloramiento corresponde a la Formación Piñón. Wolf (1892) ya señalaba que en la planicie de Guayaquil afloran algunos cerros de rocas verdes, como Petrillo,

Yolan y Zamborondón, así como otros de rocas cretácicas, entre ellos La Caba.



Figura 11. Afloramiento de rocas volcánicas verdes de la Formación Piñón expuesto en pequeño cerro ubicado en el distribuidor vial de La Aurora, Zamborondón (Guayaquil). El relieve residual destaca en el paisaje urbano y permite observar directamente rocas máficas muy compactas, características de esta unidad geológica cretácica de la costa ecuatoriana (Fotos: J. Porras; Mapa: Google maps)

e) En Guayaquil, la piedra verde se ha utilizado ampliamente en viviendas de barrios residenciales como un recurso tanto decorativo como funcional. Su uso es común en el recubrimiento de jardineras, zócalos, cerramientos y fachadas, en interiores y exteriores.

Se presenta principalmente en su forma comercial conocida como escapato, compuesta por pequeñas piezas de piedra cortadas de manera irregular, generalmente con cizalla, que se disponen como mosaico y aportan una textura rústica, rugosa y de fuerte carácter visual.



Figura 12. Uso comercial de las piedras verdes como elemento decorativo en jardineras y como revestimiento en paredes, muros y fachada de construcciones residenciales (Foto: J. Porras)

CONCLUSIONES

El uso de las piedras verdes en Guayaquil refleja una relación temprana entre la geología local y el desarrollo urbano. Desde la época colonial hasta inicios del siglo XX, el conocimiento del subsuelo influyó en las técnicas constructivas y dejó una huella visible en la arquitectura y el paisaje de la ciudad.

Estas rocas fueron un recurso constructivo clave y se convirtieron en un elemento distintivo de la identidad urbana, con especial presencia en obras civiles.

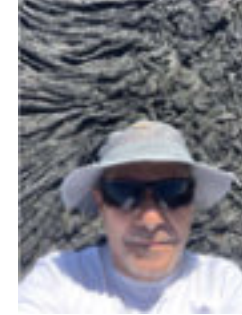
Hoy, las piedras verdes representan un valioso patrimonio geológico, histórico y cultural, cuya conservación es fundamental para reconocer la geodiversidad urbana y fortalecer el vínculo entre la ciudad y su territorio. Su preservación es clave para proteger un componente poco valorado del patrimonio urbano.

REFERENCIAS y CONSULTAS BIBLIOGRAFICAS

- Archivo General de Indias (AGI), Audiencia de Quito, Legajos sobre Guayaquil (siglos XVI–XVIII).
- Archivo General de Indias (AGI), Contratación, legajos relacionados con Guayaquil y obras públicas, siglos XVII–XVIII.
- Baldock J. W. (1982). Geología del Ecuador, Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador Escala 1:1000000, Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos Dirección General de Geología y Minas Ecuador/ Instituto de Ciencias Geológicas Consejo de Investigación del Medio Ambiente Natural Londres, Reino Unido, 77 p.
- Carrillo Bravo J.A. y Domínguez-Cuesta M.J. (2021). Aplicación de Técnicas SIG y A-DinSAR al análisis de movimientos del terreno en Guayaquil (Ecuador). Tierra y Tecnología nº 57 Universidad de Oviedo, Departamento de Geología, Área de Geodinámica Externa | DOI <http://dx.doi.org/10.21028/jacb.2021.04.26>
- Geoestudios S.A (2011). Elaboración del Documento de la Microzonificación Sísmica y Geotécnica de la Ciudad de Guayaquil según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Tomo 1.0: Actualización del Mapa Geológico de la Ciudad de Guayaquil, Informe para la Secretaría de Gestión de Riesgos, 58 p.
- Jaillard E., M. Ordoñez M., S. Benítez, G. Berrones, N. Jiménez, G. Montenegro, and I. Zambrano I. (1995) Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: Southern coastal Ecuador during Late

- Cretaceous-Late Eocene time, in A.J. Tankard, R. Suarez S., and H.J. Welsink, Petroleum Basins of South America, AAPG Memoir 62, p. 615-631.
- Labrousse B. (1986). Relaciones entre la formación Cayo y la formación Piñón en el sector de Guayaquil. Implicaciones geodinámicas, Banco Central del Ecuador, Revista Cultura Vol. VIII, N 24a, ene-abr, 1986, p 151-160.
- Luzieux, Léonard (2007) Origin and late Cretaceous-Tertiary evolution of the Ecuadorian forearc. Thesis Doctoral ETH ZURICH, 196 p. (<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005348206>)
- Machiels L., Morante F., Snellings R., Calvo B., Canoira L., Paredes C., Elsen J. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador, Applied Clay Science, vol. 42, #1-2, diciembre 2008
- Martínez A. N. (1934). Breves anotaciones sobre la geología de Guayaquil (Joseph H. Sinclair and Charles P. Berkey: Geology Of Guayaquil, 1921, Ecuador, South America), Anales Universidad Nacional de Quito Vol. 53 Núm. 289, Julio -Setiembre 1934, 199-251.
- Morante F.E. (2004) Las Zeolitas de la Costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización Y Aplicaciones. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 383 p.
- Núñez Sánchez J. (2017) Guayaquil: una ciudad colonial del trópico. Archivo Histórico del Guayas. Voz y Memoria de la Ciudad, Segunda Edición Ampliada, 303 p.
- Peralta C. y Donoso T. (2024). Arquitectura doméstica tradicional de Guayaquil 1896-1920. Revista Científica y Arbitrada del Observatorio Territorial, Artes y Arquitectura: FINIBUS, Vol.7, Núm.13 (ene-jun 2024) ISSN: 2737-6451
- Sánchez C., Rivadeneira J., Lucas N. (2017) Levantamiento Geológico en el Campus Gustavo Galindo - Espol, Guayaquil-Ecuador. Informe Técnico ESPOL, 43 p.
- Sheppard G. (1930). Geology of Southwest Ecuador, Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Volume 14 Number, 3 march 1930
- Sinclair J.H. y Berkey Ch. P. (1924). Geología de Guayaquil, Ecuador, Sudamérica, American Journal of Science June 1924, s5-7 (42) 491-497, ART. XXXIX (Traducción al español por Stalyn Paucar)
- Wolf Teodoro (1892). Geografía y Geología del Ecuador. Leipzig, Tipografía de F. A. Brockhaus, 671 p. (más 12 Láminas Autotípicas, 47 Ilustraciones y 2 Cartas).

SOBRE EL AUTOR:



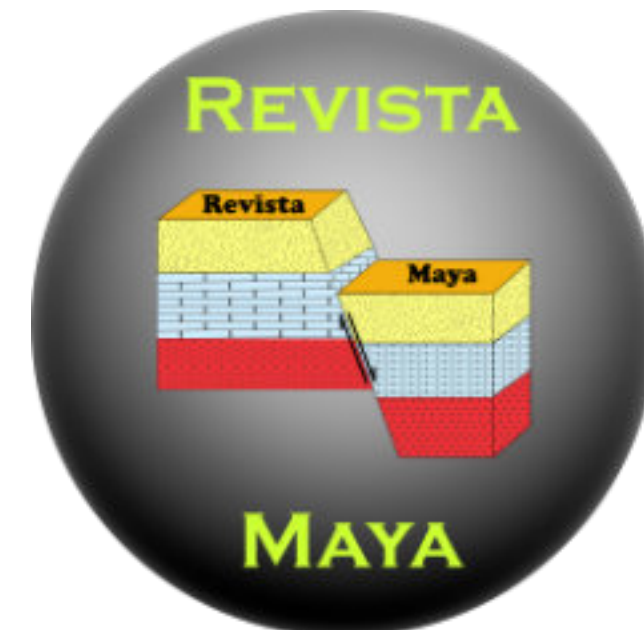
Jesús S. PORRAS M. es Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela.

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.



El éxito no es un destino, es un viaje, disfrútalo.

Arthur Ashe

THE DANGEROUS EXPLORATION OF THE RIO LORA BASIN, WESTERN VENEZUELA (1919-1926)

FRANCO URBANI PATAT¹ & JHONNY E. CASAS²

¹ Escuela de Geología, Minas y Geofísica, ² Escuela de Petróleo (Universidad Central de Venezuela)



PEBIY-1 Well Crane – Buena Esperanza (1926), Zulia, Venezuela

The exploration of the Lora River basin, Zulia State, which took place between 1917 and 1926, is an important part of Venezuela's oil history. Not because it was an unsuccessful chapter in the search for oil, but because it demonstrated the supreme effort of geologists, engineers, technicians, and workers, facing the challenges of the geographic environment, diseases, and indigenous resistance.

THE RIO LORA BASIN

Between 1914 and 1926, a great deal of oil exploration activity took place in the western-southwestern region of Lake Maracaibo. Oil interest began with the discovery of the Río de Oro Field in 1915, in the Colon District concession of the General Asphalt Company (GAC), bordering Colombia, and the following year the Tarra Field, which later passed to the Royal-Dutch Shell Group. After Río de Oro, the Maracaibo Oil Exploration Corporation (MOEC) acquired the concession of the adjacent area to the north of the former block, which included part of the Lora and Aricuaisá river basins.

In their explorations and right on the southern limit of this concession, they found the continuation of the producing structure of the Río de Oro Anticline until reaching the Río Lora basin. They also found another

anticline structure with oil seeps in a channel called Buena Esperanza (today called Caño Las Piedras). With this promising discovery, MOEC offered to transfer part of its concession to companies like Standard Oil, Shell, and Gulf.

By December 1919, the Perijá Exploration Company (PEC), a subsidiary of MOEC, extended its studies and chose a site for the first exploratory drilling in the area: PERITO-1 (1921-1923). This well would be located at the northern end of the Río de Oro Anticline. The well did not find oil but intersected an artesian aquifer with temperatures of 48°C. Later, Standard Oil Company of Venezuela (SOV), a subsidiary of Standard Oil Company of New Jersey (SONJ), acquired the rights of PEBIY plot, north of the Lora River, where several seeps occur. They would drill the second exploratory well in the area: PEBIY-1 (1925-1926), the protagonist of our history.

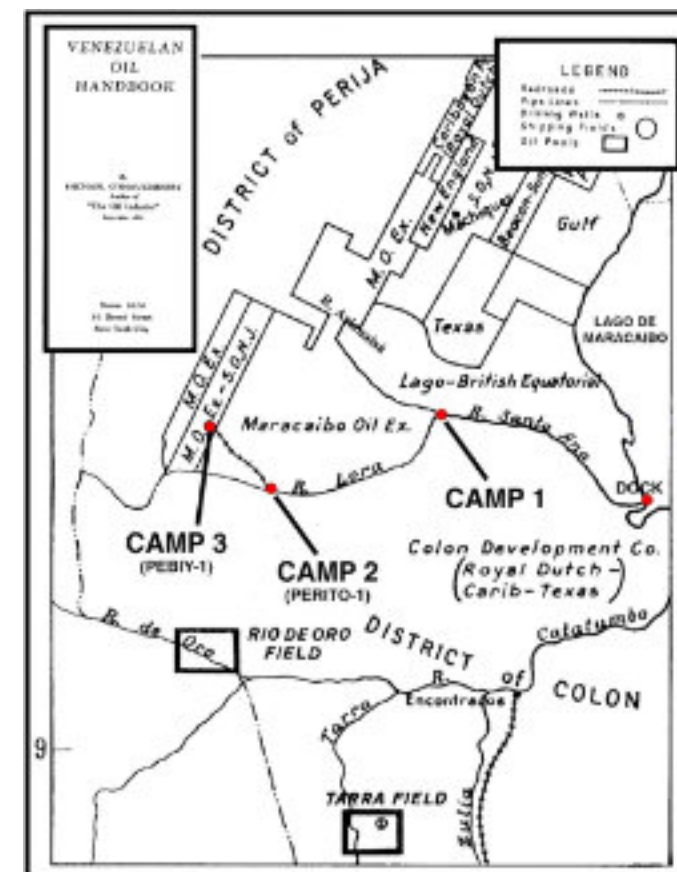
THE PROSPECTIVITY OF BUENA ESPERANZA

In early 1921, the SONJ announced an agreement whereby, in exchange for a controlling interest in MOEC, it would develop a considerable part of the latter's properties. Between February 14 and March 15, 1921, L. G. Donnelly, Henry S. Lyne (MOEC's chief geologist), and C. F. Bowen (SONJ's chief geologist),

studied the Río Lora Anticline and the Buena Esperanza asymmetric anticline. In a memorandum from late March, Bowen gave a favorable perspective of the Buena Esperanza structure. In that area, the company established a camp called Camp 1 in the northern side of the river and opened a network of shafts to the future Camp 2 (The Colon Development Company or TCDC previously established camps on exactly both locations for exploring the Colon Concession, but in the opposite bank of the river). Sometime between June and November 1921, SONJ geologist Lewis C. Chapman (1890-1987) recommended drilling an exploratory well at Buena Esperanza (known as the "Chapman Location"), to a depth of 2,500'.

In October 1922, Dr. Bela Hubbard (1890-1959), as the new chief geologist of the SOV, visited the Lora River for the first time, where he met Henry S. Lyne. After studying the Buena Esperanza area, on November 1, 1922, Hubbard recommended a new location for the exploratory well called PEBIY-1, which would be known as the "Hubbard Location", located about 800 meters north of the "Chapman Location". Between the end of 1922 and the beginning of 1923, the SOV decided to drill the PEBIY-1 in the location recommended by Hubbard. The construction of 17 km railway from Camp 2 to Caño Buena Esperanza, where Camp 3 would be located, began immediately. Heavy equipment was transported from Maracaibo during that rainy season.

In a new report signed on March 31, 1923, Dr. Bela Hubbard changed his mind and recommended not continuing with the construction of the railroad. Among the geological reasons, he said that formations of the Río de Oro Field were expected. But after new explorations, they corresponded instead to Mito Juan shales (Cretaceous). For this reason, he recommended continuing work in Buena Esperanza but in a restricted way, building only a mule trail and drilling with portable equipment. Eight months after that, Hubbard, on his second visit to the Lora River, together with William G. Argabrite (1885-1963) and engineer Briggs, went by boat to Camp 2; and while sailing on the Santa Ana River, they were attacked with arrows by the Bari-Motilonos. Days later they arrived at Camp 2 and studied the Buena Esperanza and Caño Norte area. On November 22 they signed another report where they recommended continuing with the PEBIY-1, but with the new target of testing "Lower Mito Juan Shales for possible deeper sands".



Map of 1924 concessions in the southwest of Zulia state (O'Shaughnessy, 1924). From the city of Maracaibo, supplies and personnel were transported to the mouth of the Santa Ana River by steamer boat. Camp 1 was an intermediate supply point located at the intersection of the Aricuaisá and Lora rivers. Camp 2 was used for drilling the PERITO-1 well.

From Camp 2 to Camp 3 in Buena Esperanza, where the PEBIY-1 well was drilled, a small 17 km long railroad was built

At this point, a confrontation with the Bari-Motilonos occurred: "Having completed his maps and reports at Camp 3, he sent an armed peon back to Camp 2, but a few hundred meters from arriving, the peon was wounded in the abdomen by an arrow. The camp group set up a palisade of logs and branches around them as the natives surrounded them. For three hours they were besieged, until they heard shots nearby the river. A rescue party of 16 peons led by an American brought them to safety." At the end of 1923, the SOV carried out the transfer of equipment and heavy machinery required for the drilling of PEBIY-1. The boat convoy left Maracaibo to the mouth of the Santa Ana River and from there, upstream, to Camp 1, which functioned as a supply center run by the Swede Chris Christiansen. The group was made up of a dozen North American technicians and professionals and more than 200

Venezuelans. It was at Camp 2 where the base of the project was established.

Early in the morning of February 15, 1924, the bongo (a type of canoe, made of wood) named Musa left Camp 2 to transport back some sick people. At 3 p.m. a canoe in charge of Marco Peraso and three men also left for Camp 1, carrying the payroll and mail. At 4 p.m. the canoe overtakes the slow bongo and when they got close to the confluence with the Caño Norte, they were attacked by natives stationed on the left bank. The canoe decided to return to Camp 2, but at night when they met the bongo Musa again, they changed their minds and decided to continue downstream together cautiously. At dawn on the 16, they managed to cross Caño Norte, but shortly after breakfast, when they thought they were safe, they were attacked again and the crew member Juan Mosa received an arrow through his leg. The crews ran the boats ashore on the south bank and returned on foot to Camp 2, but with four people missing.

On the morning of the 17, Ralph Pembroke and a rescue group of armed men left with two bongos and before the intersection with the Caño Norte, they found the Musa bongo robbed. The next day they continued and after the North Channel they found the remains of the canoe and part of the payroll money. On the morning of the 18, they sent one bongo to Camp 1 with the pay of the personnel, returning to Camp 2 in the second bongo.



Camp 2 on the Lora River, October 1922. Staff members with shaved heads due to lice infestation. From left to right: Birdseys, Bela Hubbard (SOV chief geologist), Vegas, Barnhill, McGarvey, Cronyn, and Henry S. Lyne (PEC chief geologist).

DRILLING PEBIY-1 (1925-1926)

In February 1925, the construction of 17 km railway between Camps 2 and 3 was completed. After the first round trip with the small locomotive, the heavy drilling

equipment was transported. On March 6, the drilling of PEBIY-1 began, with an imported wooden derrick and cable percussion equipment. The chief driller was William G. Smith. During this time the natives continually harassed them with their arrows, but there were only a few minor injuries. The attacks were mainly directed to the locomotive.



Railroad near Camp 2 in 1926. The locomotive and freight car had been "armored" to protect against Indian arrows. Edward Edwards, the head of security, is in the center along with some of his "militiamen" carrying shotguns and revolvers.

On March 18, the motorboat Caimancito and the bongos Mina and Musa were attacked as they were heading from Camp 1 to Camp 2 with provisions and fuel. A crew member was wounded and all the passengers boarded the motorboat, abandoning the bongos. The next day, the camp chief, R. Chenault, Bill Knight, C. C. Jansen, Dr. Johnny Walker, and several armed workers, went out in search of the bongos, which they found but without the supplies. Chenault urgently requested that Maracaibo send more arms and ammunition.

That same month, an epidemic similar to Beriberi (thiamine deficiency) broke out in Camps 2 and 3, where Walker treated about a hundred people. On April 6, Chenault sent a letter to the manager, Arthur A. Eberly, explaining the seriousness of the situation. Six men had already died, one from malaria and another five from the Beriberi-like disease. Three others died on the way to Maracaibo. Crews were sent out to buy vegetables in the towns south of the lake, which were taken to the Rio de Oro Camp and from there by mule to Camp 2. This reduced the pace of activities, with very few men to keep the railroad track clear.

According to the existing PEBIY-1 well file, on July 1, 1925, the 20" casing was lowered down to a depth of

475', and the 12-1/2" to 1,065' on year-end. The 10" casing went to a depth of 1,723' on February 3, 1926, and the 8-1/4" casing was downed to a depth of 2,692' on March 6. By May 1, drilling had reached a depth of 2,900'.

Chief driller William G. Smith was writing a report when an unexpected arrow pierced his chest. Because the telephones were broken, another driller, Mack McMurtrie, sent four armed men to Camp 2 to fetch the train and the doctor. They arrived around midnight and took Smith to the camp. A messenger was sent to TCDC's Rio de Oro Camp, and Dr. Greenwood came to Camp 2 to provide support. The arrow's barbs were so rough that it was difficult to remove it, so galvanized metal sheets had to be inserted into the wound to do so. Despite all medical efforts, Smith died on May 6. On May 14, the Indians attacked the motorboat Melba, upriver from Camp 1. It was a skirmish that lasted almost half an hour, with the crew firing about 100 shots. The men ran ashore on a sandbar on the right bank and returned to Camp 1 on foot. Shortly afterward, the camp leader, Christiansen, and several armed men went by canoe to help, but the boat had already been looted and destroyed.

Following these incidents, the SOV board temporarily suspended operations. Work was restarted after managers Arthur A. Eberly, E. J. Sadler and, F. A. Dalburg hired Edward Edwards (a sergeant from the WWI) to manage the security of the personnel and facilities. He hired a group of Venezuelans and trained them in the use of shotguns and revolvers during the trip from Maracaibo. These were called the "militiamen" and among them, he made special mention of Pedro Torres, a native of the city of Coro. On June 19, 1926, from Camp 2, Edwards sent a memorandum to manager Eberly, requesting more weapons and ammunition, as well as more laborers to continue the work. On July 9, from Caracas, Eberly informed him they would send 30 shotguns. Deputy chief driller Mack McMurtrie was replaced by Rocky Rothwell, who set the 6-1/4" casing down to 2,865'. On September 11, Rothwell reported that he had drilled further than geologists had indicated, resulting in a dry hole.

On September 15, 1926, W. G. Argabrite and G. D. Hawkins wrote to their chief, A. L. Owens, telling him that PEBIY-1 had reached 3,400' and was apparently at or below the base of the black shales of Mito Juan, possibly in La Luna Formation. They indicated that since

commercial production was not expected below Mito Juan, they recommended that the well should be abandoned. That same day, Owens sent a memorandum to the general manager of SOV in Maracaibo, Arthur A. Eberly, enclosing the communication from Argabrite and Hawkins, and supporting the recommendation that the well should be abandoned. On September 20, 1926, the PEBIY-1 was finally plugged and abandoned. It had reached a total depth of 3,402'. Dismantling of Camp 3 and the railroad began immediately.

HELPING OTHER COLLEAGUES

By mid-October, while Camp 2 was in the process of withdrawal, ten men from TCDC arrived from the neighboring Rio de Oro Field. The group was a team of geologists and engineers that had orders to demarcate the concessions in the lands located to the northwest, controlled by their company. It was headed by two Swiss, a geologist named Franz Kuhn (?-1926) and a geodesist named Albert Oeuvray (1896-1960). Kuhn and Oeuvray reported that for about eight days they would go to the headwaters of the Lora River to carry out topographical work to demarcate the Colon Concession. Edwards advised them not to continue, due to the great hostility of the natives and their lack of preparation.

After ten days without news, Edwards organized a search party, led by Eugene Moriarty, Pedro Torres, and nine other Venezuelans. During the second night, they located Oeuvray, who reported that Kuhn had been shot dead with arrows on the morning of October 26. The next day, the group continued upriver, finding all the others. In the afternoon, they located Kuhn's decapitated body; the head was next to the body, but the natives had taken the heart and the right hand. They buried him on the riverbank. The next day, as the group was preparing to return, the Indians attacked again. This time, one member was shot by an arrow but was able to escape alive. On October 30, the group arrived at Camp 2, receiving medical attention. After two days of resting, engineer Oeuvray and his crew were escorted back to Rio de Oro Camp. On November 1, 1926, Heinz Buess (1889-1955), head of TCDC's Rio de Oro Camp, sent Edwards a memorandum, thanking for his heroic help.



The 10 men standing in white shirts are probably workers from The Colon Development Company (TCDC) and the 11 men in dark shirts, both standing and crouching, are Standard Oil Company of Venezuela (SOV) "Militians" Seated from left to right: E. Moriarty, A. Oeuvray, E. Edwards, and probably P. Torres.

EPILOGUE

The failure of PEIBY-1 at Buena Esperanza was a hard blow for SOV, which, in addition to the many human losses, represented a total cost of US\$1,070,764. The PEBY-1 file closes as follows: "Due to its extremely isolated location, this has been one of the most expensive exploratory (wildcat) wells ever drilled."

The exploration in the Lora River basin was the biggest oil failure of the 1920s. In addition to the cost to SOV of just over a million USD for the PEBY-1, the cost of the PERITO-1 dry well, drilled by PEC must be added, which was \$225,000. Despite the negative results, exploration in the Lora River basin is an extraordinary example at a world level, both of the great effort and tenacity of the people, as well as the capital that the companies were willing to invest in the search for the precious oil, even in the most remote places on the planet. This story of the beginnings of the Venezuelan oil exploration also deserves to be remembered, in memory of the dozens of people, oil workers and indigenous people, who lost their lives in less than a decade of activities, some trying to find oil and others in defense of their territory, against the overwhelming advance of the former. Drilling has never been carried out in this region again.

REFERENCES

- Urbani Patat, F. (2020) El Petróleo de la Cuenca del Río Lora, Sierra De Perijá. 1917-1926. *Boletín de la Academia Nacional de la Historia*. Academia Nacional de la Historia (Venezuela), 49: 524-602.
[https://www.researchgate.net/publication/347441621_The_Petroleum_of_the_Lora_River_Basin_Perija_Range_1917-1926 -- EL PETROLEO DE LA CUENCA DEL RIO LORA SIERRA DE PERIJA 1917-1926](https://www.researchgate.net/publication/347441621_The_Petroleum_of_the_Lora_River_Basin_Perija_Range_1917-1926_-_EL_PETROLEO_DE_LA_CUENCA_DEL_RIO_LORA_SIERRA_DE_PERIJA_1917-1926)
 Urbani Patat, F. (2022) Tres Episodios de la Historia Petrolera Venezolana: Pedernales, Escuque y Perijá. *Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat y Fundación Geos* – UCV. xi + 404 pp.



Abandoned remains close to the PEBY-1 location, which still existed in 1991. To the left: Barrels containing oil. To the right: Kitchen located a few dozen meters from the drilling site, where the American camp may have been located (photo courtesy of R. Falcón).



Abandoned remains of a locomotive chassis (above) that operated between camps 2 and 3. The gasoline locomotive corresponds to the W-20 model (below) with 20 horsepower, which was the smallest and most economical model of that time.



urbanifranco@gmail.com

Franco Urbani Patat, natural de Friuli, Italia. Graduado de geólogo (Universidad Central de Venezuela, 1968) y postgrado (M.S. y Ph.D.) en la Universidad de Kentucky, USA, en petrología y geoquímica de rocas ígneas y metamórficas. Postdoctorado en la Universidad de Basilea, Suiza. Investigador visitante en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, NM, y las universidades de Illinois en Urbana – Champaign y Georgia (Athens), USA. Su carrera ha transcurrido en docencia e investigación en el Dept. de Geología de la Universidad Central de Venezuela, con 54 años de servicio. Profesor de pre- y postgrado en petrología, geoquímica, mineralogía y geología de campo. Profesor guía de 155 tesis de pregrado y 23 de postgrado. La principal línea de trabajo desde 1968 ha sido la geología regional – petrología y geoquímica de las regiones ígneo-metamórficas del norte de Venezuela. También coordinó el inventario de recursos geotérmicos de Venezuela.

Es autor de cerca de 350 ponencias en eventos científicos y, autor-coautor de unos 600 escritos científicos o divulgativos, reseñas y capítulos de libros. Fue electo Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (Sillón XXVIII) y de la Academia Nacional Ingeniería y el Hábitat (Sillón XXVI). Otro interés que viene desde su época estudiantil es la espeleología, siendo uno de los fundadores de la Sociedad Venezolana de Espeleología, y de la Federación Espeleológica de América Latina y el Caribe.



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).

Palinología Forense

Marianto Castro Mora

notasgeologiavenezuela@gmail.com



Todos conocemos que la palinología es la ciencia que estudia los palinomorfos, en general microfósiles de pared orgánica. Entre estos microfósiles podemos mencionar el polen y las esporas tanto actuales como fósiles. Su estudio y análisis ha sido utilizado para obtener información sobre ecología, evolución, clima pasado, datación de rocas, analizando sus características microscópicas para reconstruir ambientes antiguos y aplicaciones forenses o medicinales, y entender procesos biológicos actuales. La palinología ha sido muy importante en la industria petrolera, especialmente para la exploración y datación de yacimientos al estudiar polen y esporas fósiles en rocas sedimentarias, ayudando a determinar la edad de las secuencias, el potencial generador de hidrocarburos, la reconstrucción paleoambiental y la correlación de estratos (continental vs. marina).

La aplicación de la palinología también incluye la palinología forense. Esta es una ciencia que utiliza el estudio de esporas y granos de polen microscópicos como evidencia para conectar personas, objetos y lugares en investigaciones criminales o civiles, ayudando a resolver casos policiales (asesinatos, secuestros, robos, desapariciones y otros delitos). Al revelar la presencia de palinomorfos asociados a tipos específicos de vegetación

u origen geográfico, proporcionando evidencia de su posible vínculo con un sitio relacionado con el crimen investigado. Su primera aplicación se realizó en Austria, en el año 1959 (Bryant et al. 1996)

Si bien la palinología puede ser una herramienta poderosa en las investigaciones forenses, no se utiliza de forma rutinaria. Una de las razones es que muchas autoridades policiales desconocen sus posibles usos, aparte de una amplia posibilidad de contaminación de muestras durante la manipulación de la evidencia a lo largo de la investigación si no se sigue un riguroso proceso de recolección y preservación de las muestras, y la necesidad de analistas altamente calificados para delinear el protocolo de muestreo y preservación de la evidencia, realizar pruebas y la interpretación palinológica. En muchos casos los resultados no son concluyentes. Estas desventajas, sumadas a la creciente disponibilidad de pruebas de ADN (ácido desoxirribonucleico) para muestras de evidencia, convierten a la palinología en una herramienta de último recurso en la ciencia forense.

Para utilizar esta herramienta se debe: recolectar muestras de polen de prendas, zapatos, vehículos o escenas del crimen. Obviamente se identifican los tipos de polen y esporas, que son como huellas dactilares botánicas, únicas de ciertas plantas y regiones. El análisis por expertos puede relacionar a los géneros y especies de polen y esporas con mapas de vegetación locales (usando drones, imágenes satelitales o GPS) para determinar el origen geográfico de la muestra y si el polen en un sospechoso coincide con el polen de una zona específica donde ocurrió un crimen o donde se escondió un cuerpo, y si se puede establecer una conexión. La razón detrás de la utilidad del polen y las esporas en el campo forense se debe a su naturaleza duradera, abundancia y pequeño tamaño, lo que hace que el grano de polen sea tan útil como cualquier otra evidencia encontrada en la escena de un crimen.

PRINCIPALES USOS

La gran mayoría de las aplicaciones de la palinología forense busca rastrear el origen y los movimientos de personas y objetos asociados con delitos. El polen y

esporas en el cabello o la ropa de una víctima de homicidio o de personas acusadas de este delito. Por ejemplo, puede ayudar a determinar el lugar del delito. La presencia del mismo espectro de tipos de polen encontrado en la ropa de un sospechoso y la víctima proporciona una buena evidencia circunstancial de la posible conexión entre ambas personas. Los crímenes, violaciones, robos y otras agresiones cometidas en torno a la vegetación dejan rastros de polen coincidentes en las víctimas y los perpetradores. El polen atrapado en el filtro de aire de un automóvil proporciona un historial de los lugares por los que se ha conducido, lo que puede ser útil para corroborar o refutar la presencia del propietario del vehículo cerca de la escena del crimen, siempre y cuando las especies de polen y esporas sean específicas y de distribución geográfica restringida.

La palinología puede ser muy útil para rastrear el contrabando, incluyendo drogas ilícitas, bienes robados, lavado de dinero e importaciones ilegales. Los artículos recogen polen en su punto de origen y en cualquier punto donde se almacenen o re-empaquen. La marihuana es una prolífica productora de polen. Pequeñas cantidades de polen de cannabis no son diagnósticas, pero grandes cantidades en una muestra aérea pueden ayudar a las autoridades policiales a localizar operaciones de cultivo. Los edificios que se han utilizado para el cultivo de marihuana, incluso si se limpian a fondo, suelen albergar grandes cantidades de polen. Además, los investigadores pueden determinar los países y regiones de origen de los cargamentos de marihuana examinando los cargamentos en busca de polen de otras especies de plantas. Un análisis detallado puede incluso determinar la época del año en que pudo haber ocurrido el delito. Si bien el polen y las esporas actúan como evidencia, se utilizan para probar o refutar una coartada.

EJEMPLOS:

Austria:

- El primer caso documentado en el que se usó la palinología para la resolución de un crimen fue en Austria en 1959. El reporte de la desaparición de un hombre cerca

del río Danubio movilizó a las autoridades en su búsqueda. Sin cuerpo o indicios de su paradero se comenzó a investigar a personas cercanas al desaparecido; los agentes se enfocaron en un hombre con motivos para cometer el homicidio. Como parte de la investigación se revisaron sus movimientos el día de la desaparición, se inspeccionó su casa, vehículo sin encontrar ningún indicio. Por último, se solicitó su ropa y en los zapatos los investigadores hallaron un tipo de barro, que fue enviado al palinólogo Wilhelm Klaus, de la Universidad de Viena, para su análisis. El resultado mostró que había unos granos de polen de pino, sauce y aliso, así como unos granos fósiles de polen nogal de unos 20 millones de años de antigüedad (Mioceno). La investigación reveló que había un área ubicada a unos 20 kilómetros al norte de Viena, sobre el Valle del Danubio, donde es posible encontrar este conjunto de granos de polen. Cuando se confrontó al sospechoso con dicha evidencia, el imputado confesó el crimen y dio a las autoridades el lugar exacto donde había enterrado el cuerpo.

Inglaterra:

- Hace 17 años, la policía de Hertfordshire, en Inglaterra, encontró un cuerpo parcialmente quemado y abandonado en una cuneta. Durante la investigación, las autoridades querían establecer si un determinado coche había estado en ese lugar. Para ello contactaron con los jardines botánicos de Kew Gardens, en Londres, cuyos responsables les pusieron en contacto con la doctora Patricia Wiltshire, una experta en botánica y ecología. Gracias a rastros de polen encontrados en la escena del crimen y en el coche se probó que el vehículo había estado involucrado en el crimen, lo que aseguró una sentencia.

- Otro caso en el cual la pericia de la doctora Wiltshire fue determinante se registró en 1993 en un caso de asesinato en el que el cuerpo fue depositado sobre un terreno que conservaba polen. Wiltshire encontró entonces rastros de polen de nogal en la tierra y en los zapatos del sospechoso; sin embargo, el polen hallado era inusual, ya que no había ninguna zona cercana donde este tipo de polen fuese abundante. No obstante, posteriormente se descubrió que un nogal había sido talado treinta años antes y que el polen de nogal permanecía allí. El polen fue analizado y

vinculado al sospechoso en la escena del crimen. Por lo tanto, el polen de nogal jugó un papel importante en la resolución del caso. Ahora, gracias a esas experiencias y después de años colaborando con la policía, la doctora Wiltshire es considerada como una de las mejores palinólogas forenses de Inglaterra.

Nueva Zelandia:

- Este país es uno de los líderes en la utilización de la palinología forense (Bryant et al. 1990, 1996, 1998). Tras un robo violento a una vivienda en el año 2005, dos ladrones rozaron un arbusto de hipérico en el exterior de la casa. Uno de los ladrones fue presentado como sospechoso, pero todas las pruebas eran circunstanciales y el hombre no confesó. El análisis de su ropa reveló la presencia de polen de hipérico. La presencia de polen es omnipresente, pero en este caso, este se encontraba agrupado en la ropa (en lugar de espolvoreado) y no parecía ser simplemente el resultado de la dispersión aérea. Finalmente, se concluyó que la ropa tenía tanto polen de hipérico que debió haber estado en contacto directo con un arbusto en flor.

- En otro caso, un hombre fue encontrado asesinado a tiros en el Monte Holdsworth, parte de las Montañas Tararua, cerca de Wellington. Un individuo fue identificado como sospechoso, pero su coartada era que nunca había estado en esa área montañosa; dijo que su chaqueta había sido comprada en los Países Bajos y nunca había salido de la ciudad. Se encontró polen de *Nothofagus menziesii* (haya de montaña) en la ropa del sospechoso. Como *Nothofagus menziesii* es una planta de montaña que crece en las proximidades de Mount Holdsworth (o en áreas montañosas similares), el polen demostró que la ropa, y por extensión el sospechoso, había estado en las montañas, invalidando su coartada. Este caso ilustra cómo los granos de polen, al ser transportados y adherirse a la ropa, vehículos o personas, pueden actuar como "huellas digitales vegetales" para vincular a un individuo con una ubicación específica, incluso a grandes distancias, contradiciendo sus propias declaraciones.

Estados Unidos:

- El 2 de Diciembre de 1989, un pequeño avión de pasajeros se estrelló mientras viajaba entre San Diego, California y el aeropuerto de Sierra Blanca en Ruidoso, Nuevo México. El caso de palinología forense del accidente aéreo de Ruidoso involucró una demanda en la que los demandantes afirmaron que restos de plantas, específicamente polen de flores polinizadas por insectos como el eucalipto y el trébol, obstruyeron las líneas de combustible, causando un accidente. Es decir, sugerían que el combustible estaba contaminado. Sin embargo, el análisis forense demostró que la masa de polen era una acumulación posterior al accidente, encontrada en los tubos del motor después de que el avión se estrelló y estuvo al aire libre. El análisis mostró mayormente polen altamente polinizado por insectos y ningún polen de pino polinizado por el viento tal cual se esperaría durante el vuelo, o el lugar donde se suministró el combustible, lo que finalmente condujo a un veredicto que favoreció a la defensa. El jurado falló a favor de los acusados, concluyendo que no existió la obstrucción como causa del accidente. Este caso es un ejemplo clásico de cómo la palinología forense, en casos legales, utiliza las propiedades únicas del polen (distribución específica de la especie, estacional y espacial) para reconstruir eventos, demostrando que los restos fueron el resultado de eventos posteriores al accidente y no la causa del mismo.

- En el año 2015, en la ciudad de Boston, Massachusetts, se produjo una aplicación moderna de la palinología forense. Las fuerzas del orden descubrieron el cadáver de una niña pequeña en el puerto de Boston, pero no se encontraron rasgos que permitieran su identificación, ya que se encontraba en fase avanzada de descomposición. Los investigadores presentaron muestras tomadas de la ropa de la víctima, una manta hallada junto al cuerpo y una pequeña cantidad de cabello. El material fue tratado en el laboratorio de la Dirección de Aduanas y Protección Fronteriza de Estados Unidos en Houston, Texas, para su análisis de polen. El informe de las muestras presentadas proporcionó a los investigadores información que pudieron utilizar para identificar a la víctima desconocida.

El conjunto de polen creado a partir de las muestras presentadas indicó que la víctima se encontraba en el noreste de los Estados Unidos antes de su muerte. Los taxones individuales de especies vegetales observados en el conjunto también indicaron que la víctima vivía o pasaba gran parte de su tiempo en un entorno urbano desarrollado. El conjunto también capturó polen del cedro libanés (*Cedrus libani*), originario de la región mediterránea oriental de Europa. Los investigadores consideraron que la especie de cedro observada en el conjunto probablemente provenía de una pieza ornamental de un parque u otra área de conservación. Fue entonces cuando descubrieron ejemplares de cedro libanés en el Arboreto Arnold, un parque público que forma parte de la Universidad de Harvard. Los investigadores indagaron entonces en los barrios aledaños al arboreto. Una pista los condujo a una residente que, tras ser interrogada, admitió que su entonces novio había abusado de la niña, lo que resultó en su muerte. El hombre que asesinó a la niña fue condenado a un mínimo de 20 años por asesinato en segundo grado. No se ha informado de la participación de la madre en el crimen, aunque cumplió dos años de libertad condicional por complicidad tras un acuerdo con la fiscalía por proporcionar información sobre su entonces novio, quien había cometido el acto delictivo.

Argentina:

- En el año 2023, un hombre fue reportado como desaparecido ante la policía local en Buenos Aires, Argentina. La familia denunció a un posible sospechoso debido a que la persona desaparecida y el sospechoso tuvieron una intensa discusión poco antes de su desaparición. La policía registró la casa del sospechoso y encontró manchas de sangre en la ropa debajo de la cama. Posteriormente, tomaron prendas del sospechoso para analizarlas como evidencia y muestras de suelo del jardín de su casa. Veinticinco días después, la policía encontró el cuerpo del desaparecido a 1000 metros de la costa. Se aplicaron técnicas de micología y palinología forense para analizar los palinomorfos y las especies de hongos, así como muestras de suelo del lugar donde se encontró el

cadáver. Las muestras se adquirieron primero raspando la superficie y luego se realizó filtración y acetólisis para aislar las muestras de polen. El análisis de la ropa del sospechoso se comparó con el análisis del cadáver y el área circundante. Los resultados indicaron que el cadáver tenía una composición de especies marinas, cuya cantidad y especies exactas fueron documentadas. El suelo de la casa del sospechoso tenía una composición de palinomorfos de tipo continental, la cual también fue documentada y registrada en detalle. La ropa ensangrentada del sospechoso tenía la misma composición de palinomorfos marinos que el cuerpo y el área circundante. Las muestras de suelo en el auto del sospechoso y bajo las suelas de sus zapatos también contenían la misma composición de palinomorfos que la zona costera donde se encontró el cuerpo. Junto con otras pruebas forenses, el sospechoso fue declarado culpable y se utilizó la palinología forense para ayudar a cerrar el caso.

- Otro ejemplo es el caso es reportado por la doctora Leticia Povilauskas. Se trata de un homicidio ocurrido en el Departamento de Junín, provincia de Mendoza, Argentina y su nexa con áreas cercanas de cultivos de vid (variedad Malbec y Torrontés). Se analizó una muestra obtenida del calzado del sospechoso del crimen. Se dan a conocer los resultados obtenidos a partir del análisis de granos de polen recuperados de las muestras de cultivos de vid y la escena del crimen, en la que se obtuvo una asociación palinológica dominada principalmente por polen perteneciente a la especie *Vitis vinifera*, y en forma subordinada por distintas especies pertenecientes a otros cultivos y malezas, entre ellas se citan, *Plantago psyllium*, *Prosopis flexuosa*, *Vicia villosa*, *Senecio vulgaris*, *Trifolium repens*, *Diplotaxis tenuifolia*, *Carduus thoermeri*, *Salix alba*, *Opuntia sulphurea*, *Opuntia colubrina*, *Medicago sativa*, *Anthemis arvensis*, *Brassica campestris*, *Malva sylvestris*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Sisymbrium irio*. En esta investigación se reconoció la especie de vid en forma predominante (*Vitis vinifera*) en la escena del crimen y en la suela del calzado perteneciente al sospechoso, otorgando un resultado satisfactorio junto a otros indicios en los alcances periciales y judiciales para acusar al

indiciado.

- Durante la última dictadura militar Argentina (1976-1983), en la provincia de Tucumán el “Ex Arsenal Miguel de Azcuénaga” funcionó como Centro Clandestino de Detención, Tortura y Exterminio. Allí se encontraron cinco fosas de inhumación clandestina donde tres de ellas exhiben marcas de remoción con retroexcavadora, sugiriendo intentos de eliminación de evidencias de prisioneros allí enterrados. Por otra parte, se localizó una fosa clandestina conocida como Pozo de Vargas, en la que se hallaron restos óseos humanos de 149 personas, víctimas de desapariciones forzadas, entre las cuales 22 de esas víctimas fueron vistas por última vez en el Ex Arsenal. Mediante un análisis palinológico forense, se determinó la huella polínica de cada sitio y se recuperaron palinomorfos de prendas de vestir y restos textiles asociados a las víctimas. Los resultados muestran patrones de similitud entre los conjuntos de datos, establecidos por aportes de polen y esporas de plantas locales (*Anadenanthera*, *Podocarpus*, *Salix*, *Celtis*, *Eupatorium-Baccharis*, *Boehmeria*, *Piperaceae*, *Serpocaulon* y *Pleopeltis - Campyloneurum*) de la Selva Piedemontana de Yungas que reviste el predio militar. Esto permite postular que se produjo un contacto entre el ambiente vegetal del predio militar y los restos textiles de las víctimas debido al entierro en las fosas del ex Arsenal.

VENTAJAS DEL USO DE PALINOLOGIA FORENSE

El polen y las esporas generalmente tienen un diámetro inferior a 50 micras, lo que facilita su transporte imperceptible. Los granos de polen presentan diversas formas, tamaños, colores, estructuras y números, y existen claves de identificación como referencia. Las colecciones a gran escala de especímenes de polen que se encuentran en museos y herbarios universitarios también sirven como recurso para que los palinólogos forenses identifiquen y clasifiquen las muestras que recolectan.

Una muestra de polen de la escena de un crimen puede ayudar a identificar una especie vegetal específica que pudo haber tenido contacto con una víctima, o indicar evidencia que no pertenece ecológicamente a la zona. Un conjunto polínico es una muestra de polen con diversas

especies de plantas representadas. La identificación de dichas especies y su frecuencia relativa puede indicar una zona o época del año específica. Esto podría ayudar a determinar si la escena donde se encontró el polen fue la principal o la secundaria. El polen se produce en grandes cantidades por una gran variedad de plantas y está diseñado para dispersarse (ya sea por el viento, los insectos u otros métodos) por el entorno inmediato. También se puede encontrar en el suelo, la ropa, el cabello, los medicamentos, el contenido estomacal, las cuerdas y las rocas, lugares de los que sería difícil para el sospechoso extraerlo debido a sus propiedades adhesivas.

Como ya se mencionó, la recolección y preservación de la evidencia palinológica debe asegurar un preciso y detallado protocolo que no permita la contaminación de la muestra. También se debe tener en cuenta que el procesamiento de muestras de polen y esporas recientes se basa en acetólisis. Este tipo de procesamiento destruye el resto de la muestra (ropa, calzado, etc.), por lo que se sugiere que se realicen otras pruebas forenses antes del procesamiento para extraer los palinomorfos.

DESVENTAJAS DEL USO DE PALINOLOGIA FORENSE

Una de las principales desventajas en este campo es la falta de especialistas capacitados. Esto es crucial debido a la experiencia necesaria para identificar palinomorfos y aplicar los datos a la información de geolocalización. Muchos factores podrían fallar e invalidar las muestras recolectadas, especialmente, si el personal que las manipula no tiene experiencia. En cuanto a la experiencia, la contaminación es otro problema importante que puede invalidar el uso de una muestra como evidencia; por lo tanto, es importante que las muestras se recolecten en una etapa temprana, identificando los sitios de recolección según el caso.

El acceso limitado a bases de datos internacionales también puede ser un problema cuando llega el momento de que el analista identifique evidencia de polen de una familia o género específico de plantas. Actualmente, existe una base de datos en Austria llamada PalDat que es accesible internacionalmente y se han publicado datos de

todo el mundo. El uso de inteligencia tecnológica podría incrementar la recopilación de gran cantidad de información.

Otra desventaja reside en su falta de historia y, por consiguiente, de aceptación en el ámbito forense y en los tribunales. La palinología forense no se utiliza en muchos países, y su aplicación y metodologías no se han revisado exhaustivamente en los tribunales, ya que esta metodología solo existe desde hace 66 años y solo en algunos países. Esto significa que las pruebas de palinología forense rara vez se presentan debido a la falta de historia en los tribunales y a su falta de aplicación en la mayoría de los países.

REFERENCIAS

AGUILAR ALEJANDREZ, B. 2020. **Palinología como técnica forense.** <https://cnxnoticias.mx/polen-y-crimen/>

BBC Mundo 2011. **Palinología forense: las pistas del crimen están en el polen.** https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/07/110712_biologia_forense_il

BRYANT, V. M.; JONES, J. G.: MILDENHALL, D. C. (1990). **Forensic palynology in the United States of America**, Palynology (4), 193–208.

BRYANT, V. M.; JONES, J. G.: MILDENHALL, D. C. (1996). **23G-Forensic studies in palynology**, 957–959, in: Jansonius, J./ McGregor, D. C. (eds.). Palynology: principles and applications, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.

BRYANT, V. M.; MILDENHALL, D. C. (1998). **Forensic palynology: a new way to catch crooks**, 145–155, in: Bryant, V. M./Wrenn, J. W. (eds.). New developments in palynomorph sampling, extraction, and analysis, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, contribution series (33).

EZEBOGU. M. O. 2024. **Identifying the Scene of a Crime Through Pollen Analysis.** Science & Justice, Vol. 61, No. 3, May 2021, p. 205–213.

GREEN, E. 2015. **How Pollen Solves Crimes.** The Atlantic. Retrieved 4 March 2022. <https://www.theatlantic.com/science/archive/2015/11/fighting-crime-with-pollen/416259/>

LAURENCE, A. R.; VAUGHN, M. B. 2019. **Forensic palynology and the search for geolocation: Factors for analysis and the Baby Doe case.** Forensic Science International, Volume 302, September 2019.

MAHATO, A. 2022. **Forensic Palynology- An Emerging Field In Forensics.** International Association of Scientists and Researchers. <https://www.linkedin.com/pulse/article-44-forensic-palynology-emerging-field-forensics-iasrorg/>

MILDENHALL, D. 2006. **Hypericum pollen determines the presence of burglars at the scene of a crime: An example of forensic palynology**, Forensic Science International, 163 (3): 231–235.

MILDENHALL, D. 2008. **Civil and criminal investigations. The use of spores and pollen.** SIAK-Journal – Zeitschrift für Polizeiwissenschaft und polizeiliche Praxis (4): 35–52.

Palinología forense: cómo el estudio del polen está ayudando a resolver crímenes. <https://www.teledoce.com/telemundo/ciencia-y-tecnologia/palinologia-forense-como-el-estudio-del-polen-esta-ayudando-a-resolver-crimenes/>

POVILAUŠKAS, L. 2022. **Palinología Forense: Identificación de Polen en Cultivos y la Escena del Crimen.** Revista Skopein, Número 23, 2022. <https://skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/162>

RAMOS, C.; DE OLIVEIRA, P.E. 2019. **Palinologia Forense.** I Simposio da Post-Graduacao do Instituto de Geociencias (USP).

TRAVAGLINI, A. 2009. **Un caso di omicidio per la Palinologia Forense.** GEA, Giornale Europeo di Aerobiologia.

VAUGHAN M., B.; JONES, J. G.; MILDENHALL, D. C. 1990. **Forensic Palynology in the United States of America**. Palynology 14.1 (1990): 193–208.

VAUGHAN M. B.; JONES, J. G.; MILDENHALL, D. C. 1996. **Forensic Studies in Palynology**. Palynology: Principles and Applications. Ed. by Jan Jansonius and D. C. McGregor. Salt Lake City: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 1996.

VAZQUEZ, S.M.; TORES, G. R.; ROMANO, A. S. 2025. **Palinología forense como herramienta para investigar prácticas postmortem durante la última dictadura cívico-militar en Tucumán, Argentina**. Fundación Miguel Lillo. <https://www.lillo.org.ar/journals/index.php/lilloa/article/view/2204>



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

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

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

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

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

notasgeologiavenezuela@gmail.com

Las ciencias de la tierra en las Escuelas Pías cubanas

Rafael Tenreyro Pérez
Colaborador de la Revista

Introducción

Las Escuelas Pías se establecieron en Cuba en el año 1857, momento en que se crearon dos instituciones docentes para la preparación de maestros primarios: una en Guanabacoa¹ y otra en Camagüey.² Mas tarde, se fundaron institutos de primera y segunda enseñanzas en varias ciudades. Para desarrollar su labor, viajaron a Cuba decenas de religiosos piaristas, muchos de los cuales alcanzaron notoriedad no solo por su actividad docente sino, además, por sus investigaciones científicas.

Cuatro sacerdotes calasancios descollaron, entre otros, en el estudio de la naturaleza geológica de Cuba. Fueron ellos los padres: Francisco Clerch Margall (1828 - 1900), Pio Galtés Llibre (1844-1911), Modesto Roca Masdeu (1885-1946) y Modesto Galofré Jané (1896-1978). Clerch llegó a Cuba en 1857; Galtés, en 1873; Roca, en 1919 y Galofré, en 1925. Dos temas geológicos, entre varios, fueron especialmente desarrollados por los padres escolapios. Estos fueron: la naturaleza de las rocas que afloran en las colinas de Guanabacoa y las maderas fósiles de Cuba.

Francisco de Paula Clerch Margall (1828 - 1900).

El padre Clerch nació en Sabadell en el 1828. Padre escolapio, profesor de ciencias naturales, destacado pedagogo y hombre de ciencia, del que se dice que no le eran desconocidas ninguna de las ramas del saber. Permaneció en Cuba entre 1857 y 1886.

Desde sus estudios en el noviciado de Sabadell se destacó en las ciencias naturales. Después de graduado, tras una breve estancia en el colegio de San Antonio de Barcelona, es enviado a Cuba para fundar la primera escuela normal elemental en las Escuelas Pías de Guanabacoa. Se va a desempeñar como profesor de aritmética, química, de la

enseñanza de lectura, geografía e historia de España y de Cuba. Fue el principal organizador de los Museos de Historia Natural y los laboratorios de Física, Matemática y Química. Con la creación de estos gabinetes y museos, se dotaron los colegios con muestras de la naturaleza y el instrumental para las prácticas de física, química, matemáticas y astronomía. Los museos llegaron a tener amplias colecciones mineralógicas, plantas, fósiles, especímenes animales, como mamíferos, peces, moluscos (conchas), insectos, esponjas. Clerch, un verdadero naturalista, mostró preferencia por los moluscos y minerales, clasificando muchos ejemplares. Nuevas especies de moluscos cubanos llevan su nombre: *Macroceramus clerchi* y *Tetrentodon clerchi* (originalmente *Cylindrella clerchi*).

Francisco Clerch dio a conocer los raros cristales de “cuarzo cuboide” en la Loma La Jata, en Guanabacoa, que aparece en sus notas inéditas como la “Loma de los Cristales”.³ El nuevo mineral fue consignado por el doctor Miguel Antonio Herrera y Orúe en su tesis para el doctorado en Ciencias Naturales, el 29 de mayo de 1891 y en otros artículos científicos como los del profesor Vidal Careta de la Universidad de La Habana.⁴ Sin embargo, la existencia de este mineral fue rechazado por el Instituto Smithsonian y, poco después, por el profesor Lucas Fernández Navarro, catedrático de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid⁵ pues aparentemente es un pseudomorfo sobre fluorita.

A partir de 1859, como prefecto de los normalistas, Clerch se encargó, además, de un curso superior de química, física e historia natural. Profesor de ciencias naturales y verdadero científico puso al servicio de la ciencia los gabinetes existentes. Ejemplo de ello es su publicación en 1864 de un artículo sobre la composición de las aguas minerales de Isla de Pinos,⁶ a la que se agrega importante tarea de divulgación sobre el accionar de las Escuelas.⁷ Envío a la Exposición de París de 1867, 482 ejemplares de la naturaleza cubana, colección que va a merecer en colectivo la medalla de oro. En especial fue celebrada una

muestra de calcita hallada en las cuevas de Bellamar, en Matanzas.⁸

Remitió en 1876 a la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de La Habana “una preciosa colección de rocas de Guanabacoa, formando un grupo de granitos y feldespatos,⁹ recogidos y clasificados por él”.¹⁰ Se le nombró rector del colegio de Guanabacoa para los periodos 1879-1882, y 1884-1887 y de Camagüey entre 1882 y 1884.¹¹ A su regreso de Camagüey va a traer para el museo varios ejemplares de madera fosilizada del yacimiento en el Chorrillo. En 1888 gran parte de sus colecciones, obtenidas en diversas regiones de Cuba, fueron remitidas a la Exposición Universal de Barcelona, en la que obtuvo medalla de oro.¹² Va a regresar a España en 1887, primero en Sevilla y luego Barcelona, al colegio de San Antonio, donde va a fallecer en 1900.

Pio de Jesús Galtés Llibre (1844-1911).



El padre Galtés nació en Barcelona, España, el 8 de junio del año de 1844. A los diez y seis años, fue novicio en Sabadell y estudiante en Moyá. Más tarde nombrado Ayudante de Maestro de novicios. Se le confió luego el cargo de Maestro de juniones. Se ordenó en Lérida en 1868. Siendo profesor de la Escuelas Pías de Cataluña, pasa a Cuba a los veintiocho años de edad. Fue profesor en las escuelas de Guanabacoa y Camagüey en varias estancias hasta su regreso definitivo a España en 1902. Fue director de Colegio de los Escolapios de Guanabacoa y se especializó en estudios físico químicos y antropología.

A partir de 1873, se encarga del internado (1873-1885). En 1877, ocupó la dirección de la “Academia Calasancia” una asociación de alumnos y exalumnos que pretendía ampliar su formación intelectual a partir de la elaboración y difusión de trabajos que discutían en sesiones abiertas. Uno de sus primeros trabajos filosóficos es un ensayo sobre la relación entre ciencia y fe del inglés J. W. Draper publicado en España en 1879. El artículo de Galtés analiza la publicación a la luz de las enseñanzas de San José Calazans.¹³

Junto al padre Clerch, mantuvo la condición prestigiosa del Museo de Ciencias Naturales de Guanabacoa y de sus interesantes colecciones, así como vínculos de trabajo con naturalistas como Felipe Poey Aloy, Carlos de la Torre y Juan Cristóbal Gundlach. Pio Galtés fue muy activo también en la divulgación científica, realizó frecuentes colaboraciones para la revista La Enciclopedia, órgano divulgativo que dirigió el naturalista cubano Carlos de la Torre Huerta.

En marzo de 1986 realiza una expedición a la Sierra de Cubitas y publica un reporte que es el primer estudio geológico de las cuevas de esta región.¹⁴ Al próximo año, en 1987, realizó una expedición a El Chorrillo (al sur del municipio de Najasa), de donde años atrás el padre Clerch había colectado algunas maderas fósiles. El padre Galtés estudió en detalle las maderas fosilizadas y publicó una memoria de 19 páginas, en la Imprenta El Fanal.¹⁵ Hasta aquel momento habían sido relativamente escasos los reportes de fósiles vegetales en Cuba. Le antecedieron Policarpo Cía y Francés y Manuel Fernández de Castro.¹⁶ Su Memoria es notable por el procedimiento para clasificar las muestras, correlacionándolas con especies que viven hoy sobre la base de la comparación morfológica y su densidad.¹⁷ Sus descubrimientos de especies tropicales fosilizadas en «El Chorrillo» le merecieron Medalla de Oro en la Exposición Universal de Barcelona de 1888.¹⁸

El sitio del bosque petrificado se declaró en 2001 área protegida Elemento Natural Destacado Bosque Fósil de Najasa¹⁹ y en su declaración posterior como Monumento Nacional, por la Resolución 197 de 2005 de la Comisión Nacional de Monumentos de la República de Cuba.



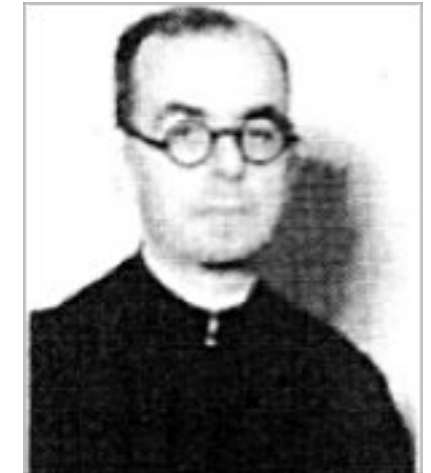
En 1888 regresa a Barcelona donde va a impartir matemática, física y química. En el próximo año 1889 publica un ensayo sobre la vida en la materia,²⁰ una memoria escolar Guanabacoa,²¹ la nomenclatura química²² y sobre la vida y obra de Juan Luis Armando de Quatrafages.²³

El 19 de septiembre de 1892 es nuevamente nombrado director de la Escuela Pía de Guanabacoa, continuando su labor intelectual en el campo de la antropología.²⁴ Regresa a España donde es nombrado superior de la Escuela de Morella hasta 1897. En esta posición publica su ensayo “El Camagüey” que es considerado su obra de carácter histórico más importante. A partir de 1897 y hasta 1900 es destinado como superior a la escuela de Valls.

En 1900 regresa a Cuba y va a ocupar la posición de rector de las escuelas pías de Guanabacoa hasta 1902. Publica en 1901 el libro de texto Geografía estadística y comercial²⁵ y Memoria escolar Guanabacoa²⁶ en 1902. En 1902 de nuevo en Barcelona se encargó de los pupilos de San Antón y enseñó filosofía e historia de la literatura. Hombre de gran cultura, escribió numerosas obras, principalmente de apologética y paleontología. Fueron muy frecuentes sus publicaciones en la Revista Calasancia donde publicó más de 30 comunicaciones y artículos principalmente de paleontología y antropología.²⁷ Publica en 1906 el libro de

texto sobre ciencias físico naturales.²⁸ Falleció en Sabadell el 14 de enero de 1911 a los 77 años.

Modesto Roca Masdeu (1885-1946).



El padre Roca nació en Mataró (Barcelona) el 2 de enero de 1885, fue naturalista y profesor de las Escuelas Pías de Guanabacoa, rector de dicho centro entre 1928 y 1930. Miembro de la Sociedad Cubana de Historia Natural Felipe Poey. En 1908 pasó a Lovaina, graduándose en la licenciatura en filosofía. Enseña en Tarrasa (1912-1916) y es director del Pupilage. Rector de Guanabacoa (1925-1928); impartía sus clases en forma de anfiteatro.

En 1919 – 1923, fue director de la escuela de Cárdenas. En 1818, realiza un estudio sobre el yacimiento de vegetales fósiles en I Yumurí y en algunos lugares de Cuba central en compañía del Hermano Leon (Joseph Sylvestre Sauget (1871-1955), director y profesor del Colegio de La Salle en La Habana).²⁹ Las primeras muestras habían sido colectadas en 1911 por el Padre Álvarez del Colegio del Sagrado Corazón de los Padres Paúles de Matanzas y el bibliotecario Augusto Escoto. Las muestras fueron enviadas al Jardín Botánico de Nueva York cuyas determinaciones fueron posteriormente publicadas en 1922.³⁰

Fue rector del colegio de Guanabacoa entre 1925 y 1929. Restauró y modernizó el Museo de Historia Natural valiéndose de la generosidad de cultos donantes. Enriqueció, sobre todo la sección de Malacología y mejoró la biblioteca. En sus días surgió la asociación de antiguos alumnos de las Escuelas Pías de Cuba. En 1928-1929 fue a

la vez Rector y Vicario de Cuba. Vicario en el trienio 1929-1931, surgieron entonces los dos colegios-sucursales de La Víbora y del Vedado. Más que sus dotes de gobierno, sobresale por su dominio de las ciencias. Los naturalistas cubanos le dedicaron varias especies y sub especies que llevan su nombre como: *Blaessospira echinus rocai*, *Eutudorops rocai*, *Troschelinidex rocai* y *Paspalum rocanum*. Es a su vez el descubridor de varias especies nuevas. Conocía la Isla palmo a palmo.

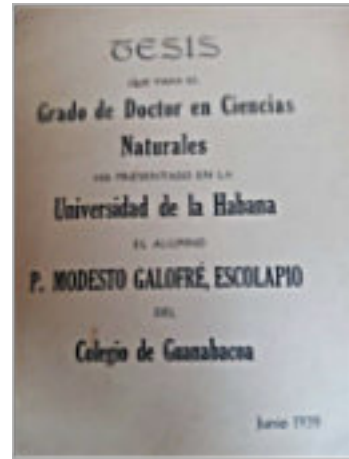
Regresó a España, enseñando en Sarriá (1931), Irache (1933) y San Antón (1935). La Guerra Civil de 1936 le halló en Inglaterra perfeccionando el inglés. En noviembre del mismo año embarcó para Cuba. En 1941 se le jubiló a causa de sus achaques. Falleció en La Habana (Cuba) 16 de octubre 1946.

Modesto Galofré Jané (1896-1978).



El padre Galofré nació en Tarragona, en 1896. Vistió el hábito escolapio en Moya en 1912 y emitió los votos en 1913, realizando luego los estudios en Irache (1913-1916) y Alella (1916-1918). Su primer destino fue Sarriá, recibiendo el sacerdocio en Lérida en 1919. En 1925 es enviado a Cuba a las Escuelas Pías de Guanabacoa, rector de 1934-1939. Tras un breve regreso a Cataluña, vuelve a Cuba en 1941, de nuevo rector de 1949-1955 y de 1958-1960. Y en 1941 se abre noviciado, al que se dotó de edificio propio años después. Desempeña diversos cargos de responsabilidad, como el de Vicario Provincial de Cuba y México (1955-58). Pasa luego como Delegado General y Visitador Provincial (1960-1961) a México y California. Regresa a España donde es rector de Sarria (1961-1965). En enero de 1965 parte para Miami (Florida) donde fallece en 1978.

El padre Galofré fue un consecuente seguidor de los estudios sobre los árboles fósiles cubanos que comenzaron Francisco Clerch, Pio Galtés y Modesto Roca.



Presentó en julio de 1939 su Tesis de Doctor en Ciencias Naturales en la Universidad de la Habana, denominada “Estudio de los árboles fósiles cubanos, tratando de comprobar la clasificación establecida por el P. Pío Galtés, escolapio, con los encontrados en El Chorrillo.” Estuvo asistido en estos estudios por el padre Antoni Bargalló (1891-1974).³¹



Con fósiles en el Chorrillo en 1939. P. Galofré, Dr. A. Martínez, dos obreros, y el Padre Bargalló.

El padre Galofré ratificó la principal conclusión de Galtés: las plantas petrificadas se correspondían con representantes del bosque moderno. Esto quiere decir que no son muy antiguas, cuanto más algunos cientos o miles de años. Esta es la cuestión que más ha preocupado a la ciencia, en relación con las maderas fósiles: su

origen.³² En su tesis rectificó algunas de las determinaciones de Galtés. Para corregir las identificaciones se basó en las características morfológicas de la madera, descartando la comparación por peso relativo.

- ¹Bau Prades, C. (1957). Historia de las Escuelas Pías en Cuba durante el primer siglo de su establecimiento 1857-1957. La Habana, Burgay y Cía.
- ²Escuelas Pías de Camagüey. (1958). Escuelas Pías de Camagüey; centenario de su fundación, 3 de mayo de 1858 3 de mayo de 1958. Camagüey, s.n.
- ³Padrón Sardinias, Armando. 1944. Guanabacoa. Diamante de Cuba. 1943.
- ⁴Herrera y Orúe. M. A. 1891 Tesis para aspirar al grado de Doctor en Ciencias. Habana. Imprenta del Avisador Comercial. 1891. En 4º M, 30 ps, y 5 láminas.; Vidal y Careta, F. La Guanabaquita. Habana Imprenta La Universal. 1893. En 4º M, 8 ps.
- ⁵Fernández Navarro. L. Sobre la Guanabaquita. Madrid. 1893.
- ⁶Clerch, Francisco. Análisis de las aguas minero-medicinales de Isla de Pinos. 1864.
- ⁷Clerch Francisco. Discurso pronunciado por el P., profesor de la Escuela Normal de Guanabacoa, al inaugurarse los exámenes, Habana, Imprenta Militar, 1866; Clerch Francisco. Catálogo de los minerales de la Isla de Cuba. (manuscrito inédito).1866.; Clerch Francisco. Discurso de apertura de curso en 1877, Habana, El Iris, 1878; Clerch Francisco, Discurso de apertura de curso en 1878 en Guanabacoa, Habana, El Iris, 1878.
- ⁸Exposición Universal de 1867 : catálogo general de la sección española / publicado por la Comisión Regia de España. IMPRENTA GENERAL DE CH. LAHURE Calle de Fleurs , 9, Paris .
- ⁹Es probable que haya confundido el granito con alguna roca leucocrática, no se han descrito granitos en La Habana.
- ¹⁰Gutiérrez, N. J. (1876), “Discurso pronunciado en la sesión solemne del 19 de mayo de 1876”, en Anales de la Real Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de la Habana, 13 págs. 8-13
- ¹¹Escuelas Pías de Camagüey. (1958). Escuelas Pías de Camagüey; centenario de su fundación, 3 de mayo de 1858 3 de mayo de 1958. Camagüey, s.n.
- ¹²Exposición Universal de Barcelona. (1888). Catálogo Oficial Especial de España. Barcelona, Imprenta de los Sucesores de N. Ramírez y C.
- ¹³Galtés, P. 1879. La Historia de los Conflictos entre la Religión y la Ciencia de J. G. Draper ante la recta razón. Habana. Imprenta El Iris-1879. En 8º M, V-486 ps
- ¹⁴Galtés, P. (1886). Breve memoria de los trabajos y estudios hechos en una expedición a Cubitas en los días 1,2,3,4 y 5 de marzo de 1886. Puerto Príncipe, Imprenta El Fanal. En 8º M, 29 ps.; Galtés, P. 1886 Breve memoria de los trabajos y estudios hechos en una expedición Cubitas. Puerto Príncipe. "La Enciclopedia".
- ¹⁵Isidro Eduardo Méndez Santos, Celio Emilio Moya López, Eduard Puigventós López, Joan Florensa I Parés La memoria del Padre Pío Galtés sobre los fósiles vegetales de El Chorrillo; nueva mirada 136 años después. Revista Monteverdia Vol. 17 No. 1, 2024. ISSN 2077-2890
- ¹⁶Cía y Francés, P. (1854). Observaciones geológicas de una gran parte de la isla de Cuba. Imprenta de la viuda de D. Antonio Yenes, 47 pp.; Fernández de Castro. M. (1876) Fósiles cubanos (Catálogo de los fósiles de la Isla de Cuba) Anales de la Real Academia de Ciencias de La Habana No.13: ps. 319 - 330, 1876.
- ¹⁷Galtés, P. 1887. Memoria sobre unos fósiles vegetales encontrados en Chorrillos (Puerto Príncipe) Puerto Príncipe. Imprenta El Fanal. 1887. En 4º, 20 ps.; Galtés, P. (1887). Memorias sobre unos fósiles vegetales encontrados en El Chorrillo, Puerto Príncipe. La Enciclopedia, 1, 3(7), 321-351; 2, 3(8): 400-417; 3(11), 560-566; 3, 3(12), 625-628.; Galtés, P. (1911). Memoria sobre unos fósiles vegetales encontrados en El Chorrillo (Puerto Príncipe). En Revista Facultad de Letras y Ciencias 12(2):189-209. Universidad de La Habana.
- ¹⁸Exposición Universal de Barcelona. (1888). Catálogo Oficial Especial de España. Barcelona, Imprenta de los Sucesores de N. Ramírez y C.
- ¹⁹Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de la República de Cuba. (2001). Acuerdo 4262/2001. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Año XCIX, No. 88, edición ordinaria, martes 18 de diciembre, página 1769, la Habana.
- ²⁰Galtés, Pio. 1889. Disquisiciones sobre la vida en la materia. Madrid 1889
- ²¹Galtés Pio. Memoria sobre el estado y trabajos de la Academia Calasancia de Guanabacoa durante el curso académico 1888-1889. 1889, pp. 15-23, 35-45
- ²²Galtés, P. 1891 Apuntes sobre la nomenclatura química. Habana. 1891.
- ²³Galtés, Pio. Necrología de Juan Luis Armando de Quatrafages. Madrid 1892
- ²⁴Galtés, Pio. 1893. Pueblos autóctonos. Cuál de los actuales pueblos puede considerarse más antiguo: Revista Contemporánea 1893; Galtés Pio, 1894. Diccionario Etnográfico y antropológico. Barcelona en 1894.
- ²⁵Galtés Pio. Geografía estadística y comercial. La Habana 1901.
- ²⁶Galtés Pio. Discurso para la entrega del premio: Memoria escolar Guanabacoa 1902, pp. 5-17
- ²⁷Galtés, P. (1889). Descripción de los fósiles vegetales de Cuba. Revista Calasancia, 1: 203-215 y 312-322.
- ²⁸Galtés Pio. Elementos de ciencias físico-naturales. Curso primero. Barcelona, Elzev 1906
- ²⁹Roca, M., 1919. Nota acerca de un yacimiento de fósiles vegetales del Abra del Yumurí, Matanzas, Cuba. Memorias de la Sociedad Cubana de Historia Natural Felipe Poey 4:120-124.
- ³⁰Hollick A. A Review of the fossil flora of the West Indies, with description of new species. Bulletin of The New York Botanical Garden Vol. 12. No. 45. 1924
- ³¹Galofré, Modest P. (1939). Estudio de los árboles fósiles cubanos, tratando de comprobar la clasificación establecida por el P. Pío Galtés, escolapio, con los encontrados en El Chorrillo. Tesis para el Grado de Doctor en Ciencias Naturales, Universidad de la Habana, junio.
- ³²Iturralde Vinent Manuel A. 2007 Sal Si Puedes y otras lecturas. Editorial Gente Nueva, 2007

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.**

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.

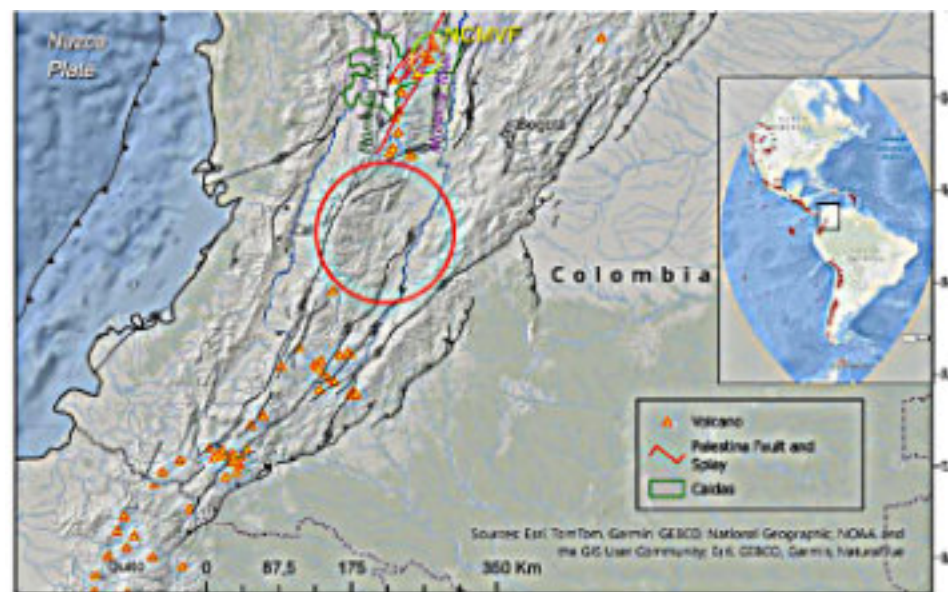


Figure 2. Location of the problem, question, or uncertainty raised. Modified from **Monsalve-Bustamante et al 2022**. Study area: Red Circle.

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.



a.



b.

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 km² (greater than 100 km²). 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.

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 km² 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 148 Ma Bayona et al 2020.)

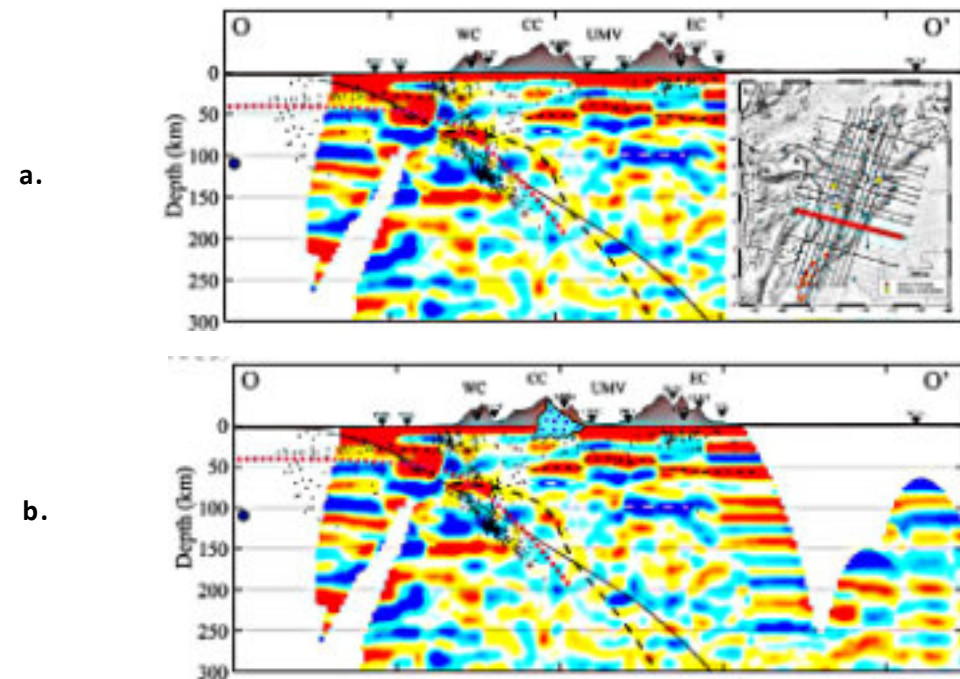


Figura 4. a. O-O' section of the R function, processed from seismological station data of the Region, Modified from **Mojica Boada, et al 2022**. Without Ibagué Batholith. You can see low seismicity, **b.** With Ibagué Batholith. Middle section between Machín Volcano and Nevado del Huila.

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 $1,360 \pm 270$ Ma (Barrero and Vesga, 1976); that is, of Precambrian age.

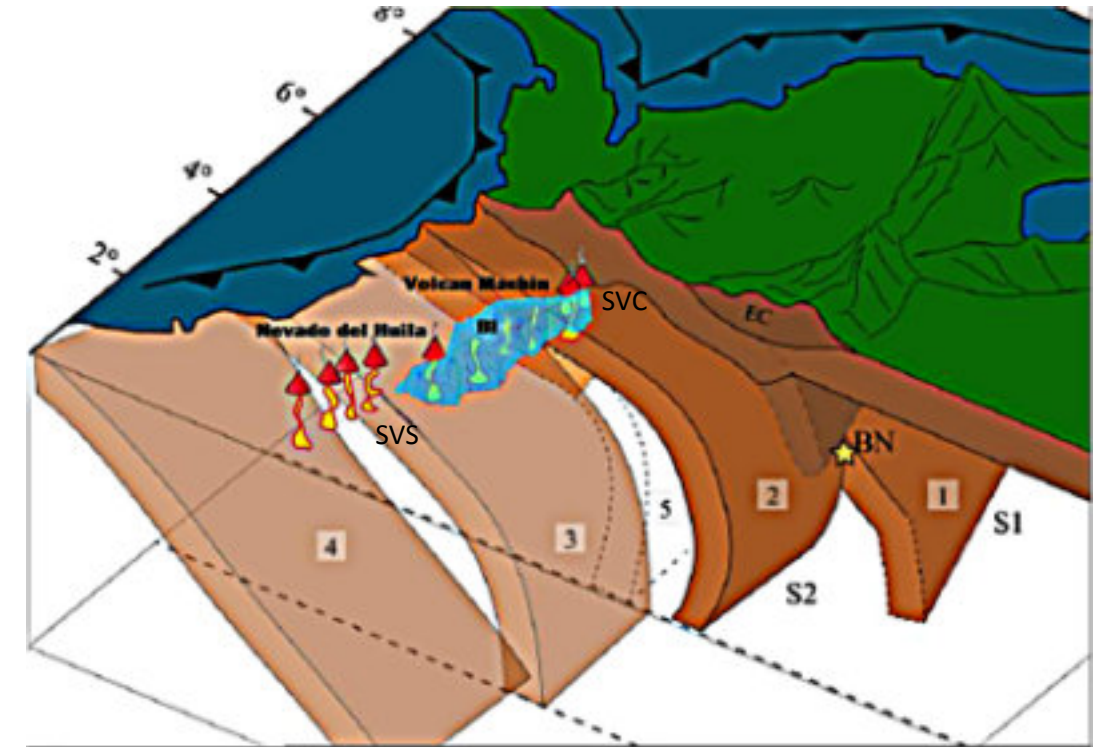


Figure 5. Schematic diagram showing the **Ibagué-BI Batholith**, obstructing the flow of magmatic plumes between the Machín Volcano (**Central Volcanic System-SVC**) to the North and Nevado del Huila to the South (**South Volcanic System-SVS**) (Approximately 250 km), in the proposed subduction zone 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. ⁴⁰Ar-³⁹Ar dating yielded plateau ages of 146.5 ± 1.1 Ma and 157.8 ± 0.6 Ma, and 157.5 ± 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 Permian 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. Upper Triassic- Lower Jurassic 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 11,700 km², 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).

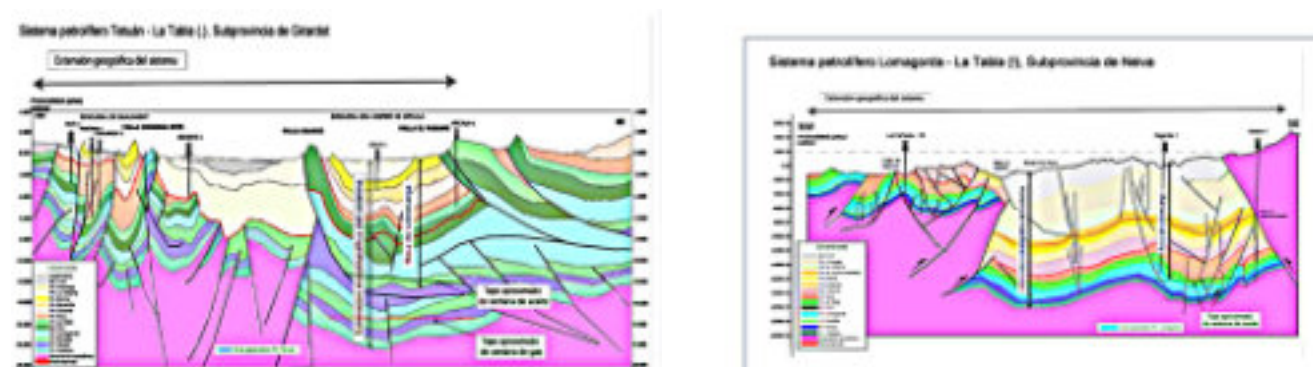


Figure 7. Inverted horst configuration and tectonic, stratigraphic, and structural complexity characterize the Upper Magdalena Valley basin. The pink crystalline basement to the west corresponds to the **Ibagué Batholith**. Taken from **ANH-Unal 2020**.

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).

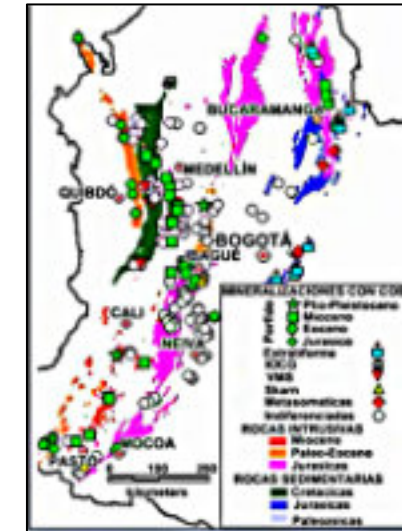


Figure 8. Gold and copper deposits, and mineralizations associated with magmatic-hydrothermal activity and the skarn of the **Ibagué batholith**. Modified from **Timoleón Garzón 2021**.

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**.

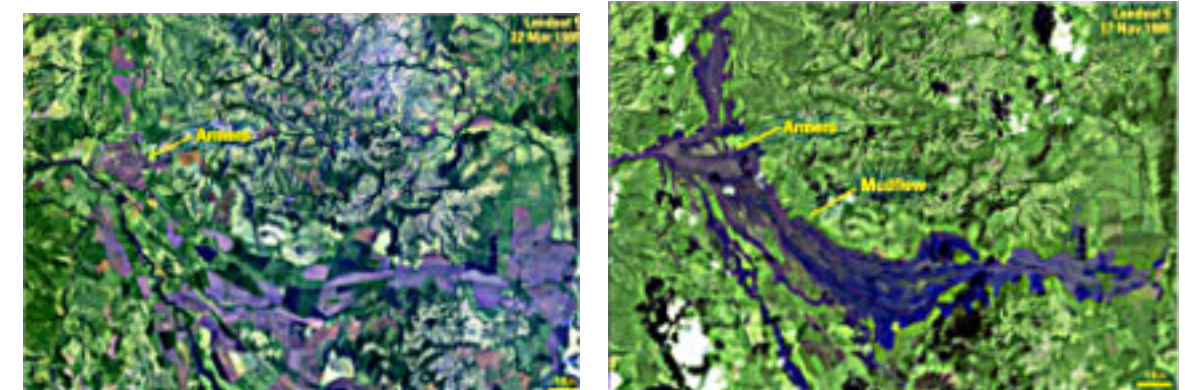




Figure 9. Ibagué Batholith, has prevented the formation of numerous new volcanic bodies in the Tolima Department, thus avoiding the associated risks of eruptions, avalanches, glacial melt, and seismic activity, with serious repercussions for society. Images taken from <https://Infobae.com> , and <https://laotraverdad.co>

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 km². 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/



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 20 Constitución Nal Col.- 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. 850 p. <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
- 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
- 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

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, Cayosbasin, Colombia basin.

“De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

Ing. Rogelio Ramos Aracén

ramosrogelio51@gmail.com



De mis libretas de Campo en la S.M.O.

Mis principales trabajos de Geología de campo, siempre fueron para Pemex Exploración, así me inicié como ayudante midiendo estratigráficamente a la Formación Chicontepec, y registrando las estructuras sedimentarias desde las principales hasta los asombrosos Icnofósiles que fueron clave para interpretar que estas turbiditas se depositaron a más de 3,800 m de profundidad. Posteriormente hice semidetalle estructural y más mediciones estratigráficas en la Plataforma Valles S.L.P., y uno grandioso de Reconocimiento Regional de la Sierra Madre Oriental, cubriendo los estados de Nuevo León y Tamaulipas, donde los paisajes, los sobre esfuerzos a veces inhumanos, me sellaron mi pasión por esas majestuosas montañas, recuerdo cuando subimos el Cerro del Viejo en la región de Zaragoza N.L. donde iniciamos los trabajos como a las 8 am y llegamos a la cima a las 21 pm casi desmayándome, después supe que esa cima fue referencia del navegante español Cabeza de Vaca en su travesía marinas. Y fui jefe de Brigada a partir de 1981 con mi primer proyecto, (del cual pongo aquí mi primer dibujo) y a partir de aquí, continuo haciendo expediciones a la SMO con colegas y a veces solo en las sinuosas áreas de la Sierra Madre Oriental, en la regiones de Tamazunchale, Xilitla, Cd. Valles SLP, en la Sierra de Huizachal Peregrina, y en casi gran parte de la SMO desde Monterrey N.L. hasta Huachinango, Puebla, y también hago expediciones por mi cuenta de las cuales he realizado 3 excursiones para profesionistas y jóvenes pasantes, 2 en la Fm. Chicontepec y otra en las rocas cretácicas y jurásicas de tipo Shales donde tuve gran participación de profesionistas de la U.N.A.M. Y el IPN, Ingenieros Petroleros, Ingenieros Geólogos y pasantes de geociencias y dos doctores uno en Geoquímica y otro en Geofísica.



Afloramiento en la Fm. Tamaulipas Superior.

Localidad, Area de Altas Cumbres. Tamaulipas.

Título, Capas de la Formación Tamaulipas Superior.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos a los afloramientos en la región de Cd. Victoria, Tam., en este afloramiento observamos a aries de capas de calizas tipo mudstones y mudstones arcillosos de color gris oscuro en capas delgadas de 5 a 30 y 40 cm., con intercalaciones de láminas de lutitas.

Descripción del Dibujo. En las cercanías al área de Altas Cumbres sobre el camino a la Joya Verde se aprecian estas capas de edad Cretácico Medio.



Contacto entre la Formación La Joya y la Formación Zuloaga.

Localidad, Area de Huizachal. Tamaulipas.

Título, Contacto entre la Formación La Joya y la Formación Zuloaga.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos de Geología Regional, en la región ya dentro de la Sierra Madre Oriental, se recorrieron varias localidades con interesantes afloramientos, en este caso se muestra el contacto discordante entre las capas de areniscas y lutitas de la Formación La Joya de edad Jurásico Medio, con series de calizas y calizas dolomíticas en capas gruesas.

Descripción del Dibujo. En este dibujo se presenta un buen afloramiento donde se percibe el contacto en discordancia semi angular entre estas dos formaciones marcando la gran transgresión de capas someras marinas de edad Jurásico Oxfordiano sobre capas rojas delgadas de tipo continental.



Rogelio Ramos Aracena, es geólogo petrolero egresado del IPN, con experiencia en geología de campo en superficie en la SMO y como geólogo de pozos de exploración y explotación.

En su primer proyecto en 1981 denominado El Limón, del área de Ciudad Mante Tamaulipas. Cambio drásticamente las interpretaciones estructurales de pliegues en abanico, modificándolos por fallas de Cabalgamientos y de desgarre o laterales, trabajo muy polémico en ese entonces, pero años después y ahora ya son conceptos triviales.

Efectuó trabajos de Geología Regional tanto de la Plataforma Valles, como de las regiones de los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla.

Una Invitación inesperada primeramente del Dr. Eduardo Aguayo, me involucra con geólogos internacionales de la SGA y de la AAPG, para excursiones en la región frontal de la SMO, en las sierras de El Abra, Xilitla, Ahuacatlan, Qro., y paso de invitado a protagonista y guía colaborador con los Drs. Paul Enos y Charles Minero con los cuales se convirtió en coautor del Libro *Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico*

Participó en el Symposium sobre Yacimientos Naturalmente Fracturados en Tampico al lado del Dr. Ronald Nelson. y en recorrido de campo a la SMO y curso de sedimentología de siliciclastos con el Dr. Paul Edwin Potter y en secciones regionales de la Cuenca Tampico Misantla con el Dr. A. W. Bally.

Ha impartido conferencias en congresos nacionales y fue invitado y embajador mexicano en el Pabellón Internacional celebrado en el congreso de la AAPG en Dallas Txs. en 1997

Fue Premio Nacional en el 3er Symposium de Exploración de Plays y Habitats de Hidrocarburos en Tampico Tam. en 2007.

Fue presidente de las delegaciones de Tampico y CDMX de la AMGP, en los bienios 1998-1999 y 2018-2020 respectivamente, y recientemente ex candidato a la presidencia nacional de la AMGP

Laboro en Pemex exploración, en el IMP como asesor y consultor con Ingeniería de Perforación de Pozos en las regiones del SE y N., y como analista sedimentológico del Jurásico Superior, recientemente ha efectuado trabajos como asesor con algunas empresas del sector energético en algunos de sus proyectos o adjudicaciones.

Co Autor del Libro

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Aracena. *"Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico"*, AAPG GUIDE BOOK FIELD TRIP AAPG DALLAS ANUAL CONVENTION 1997

Principales Conferencias Impartidas.

EN CONVENCIONES NACIONALES DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA, en los años:

1984 "LOS CABALGAMIENTOS EN LA REGIÓN DE CD. MANTE TAM." VI CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL HOTEL MA. ISABEL SHERATON EN MÉXICO, D.F.

1986 "EL ORIGEN DE LAS CONCRECIONES EN LA FM. LA CASITA" VII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL IMP EN MÉXICO, DF.

1988 "LOS OLISTOLITOS DE LA FM. EL DOCTOR EN EL ÁREA DE ZIMAPAN, HGO". VIII CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN LA CFE EN MÉXICO, DF.

1990 "DEFORMACION ESTRUCTURAL EN EL FRENTE DE LA SMO ÁREA, XILITLA, TAMAZUNCHALE, SLP". IX CONGRESO SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA EN EL AUDITORIO BRUNO MASCANZONI DEL IMP EN MÉXICO, DF.

1992 "EXPLORACION DE PETROLEO ASOCIADO A EL FRACTURAMIENTO REGIONAL EN LA PLANICIE COSTERA" X CONGRESO SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA EN EL CENTRO DE CONVENCIONES "EXPOVER" EN EL PUERTO DE VERACRUZ, VERACRUZ.

2021 "LA INVASIÓN MARINA SOBRE LOS BORDES CONTINENTALES DESDE EL CALLOVIANO AL KIMMERIDGIANO EN EL ORIENTE Y SURESTE DE MÉXICO. CDMX VIA ZOOM.

2021 "PRINCIPALES OROGENIAS EN MÉXICO CON CATACTERISTICAS GEOLOGICAS. ESTILOS ESTRUCTURALES, CRONÓLOGIAS". CDMX. VIA ZOOM

Foro de discusión Discussion Forum

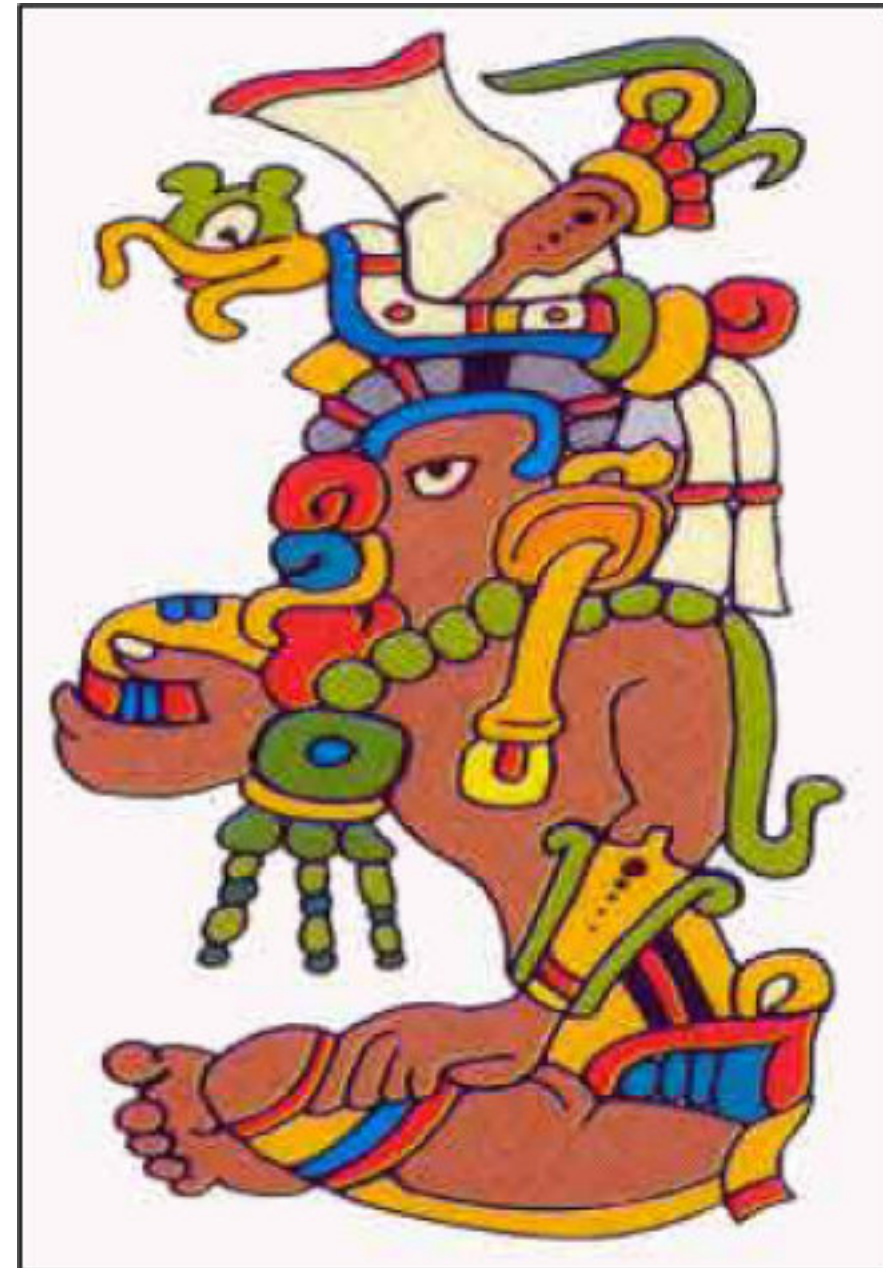
A sugerencia de uno de nuestros lectores, a partir de ahora, estaremos incluyendo las opiniones y discusiones de nuestros lectores en relación a las Notas Geológicas publicadas, lo que permitirá la participación activa de los interesados. En definitiva, este foro de discusión será de gran valor para mantener el interés en una gran variedad de temas geológicos, y creará un ambiente de colaboración cordial entre nuestras comunidades de Geociencias.

Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

At the suggestion of one of our readers, beginning with this August issue we will be including opinions and discussions from our readers relating to the published geological notes. This will permit active participation by interested parties. This discussion forum will certainly have great value for maintaining interest in a wide variety of geological themes, and will create a cordial, collaborative atmosphere among our geoscience community.

Please send your observations, comments and suggestions to any of the Editors of the Revista Maya de Geosciencias.

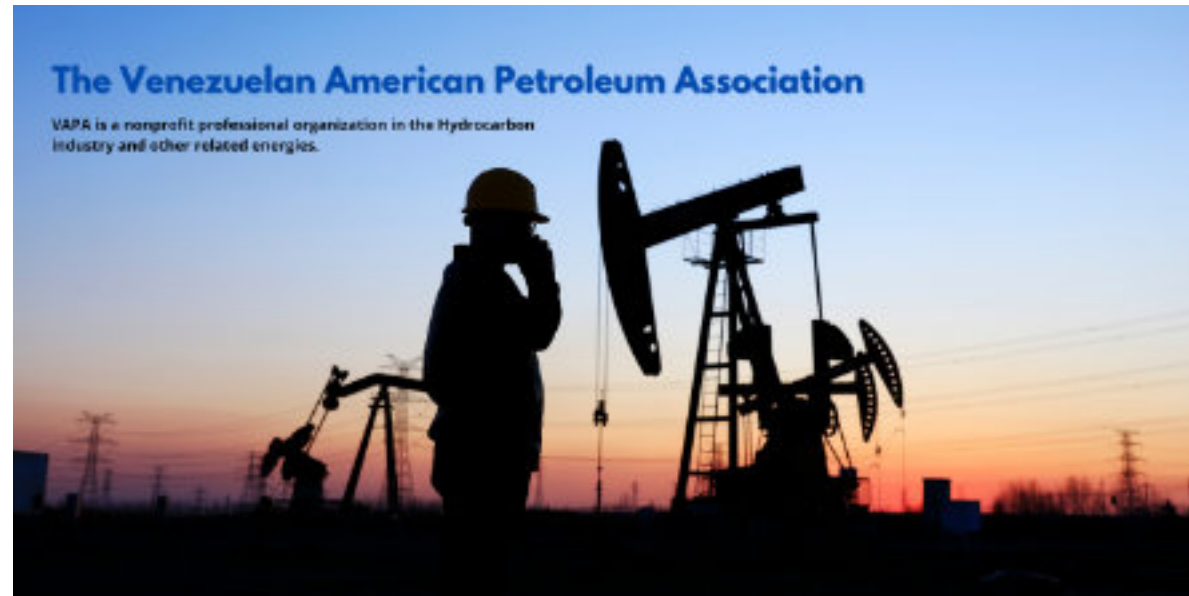
Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado a la del mono. Esta cabeza, con un prefijo diferente al de su nombre, es también el jeroglífico del punto cardinal norte, lo cual tiende a confirmar su identificación como dios de la estrella polar. La naturaleza de su aparición en los manuscritos indica que ha de haber sido la personificación de algún cuerpo celeste, importante.



<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.



BIBLIOTECA DIGITAL CUBANA DE GEOCIENCIAS

La Geobiblioteca cubana incluye más de ~5554 referencias, ~3275 textos en pdf, ~195 mapas, y ~145 tesis inéditas sobre geología, geografía, geofísica, espeleología y karstología, minería e historia de estas ciencias. Este sitio se mantiene en proceso continuo de actualización, con nuevas referencias y publicaciones tanto antiguas como recientes, pues se actualiza cada tres meses como mínimo.

La primera bibliografía sobre geología de Cuba es obra del destacado geólogo español Manuel Fernández de Castro (1877). Después han sido publicadas otras bibliotecas, tales como: Noticias bibliográficas sobre geología de Cuba de Pablo Ortega (1910), la Biblioteca Científica Cubana compilada por Trelles (1918), la Bibliografía sobre el Carbón de Piedra, el Petróleo, el Asfalto, los Betunes y el Gas Natural de Cuba, publicada en 1919 por Pablo Ortega y Santiago de la Huerta, la Bibliography of West Indian Geology de Rutten (1938), la Bibliografía Geológica Cubana publicada por Bermúdez (1938), la Bibliografía Minera de Cuba Colonial (Anónimo), el Bosquejo sobre Geología de Cuba elaborado por Calvache (1965), la Bibliografía Espeleológica de Cuba (Núñez-Jiménez y Graña González, 1970), la Compilación de Publicaciones sobre Paleontología (Bonzoño *et al.*, 2008) y la elaborada por el Instituto para la Geofísica de la Universidad de Texas (Rosencrantz, 1989). La existencia de tantas compilaciones bibliográficas en distintas épocas, denota la preocupación de los estudiosos por exponer los resultados de su tiempo, para facilitar a los futuros investigadores una base informática que sirviera de fundamento a sus trabajos y constituye también un reconocimiento al amplio quehacer científico de varias generaciones de destacados profesionales.

En esta versión de la Geobiblioteca encontrará la más completa colección de artículos, monografías, libros y atlas sobre Cuba y su entorno cercano. Incluye textos publicados en las memorias de congresos y convenciones de geología, geofísica y minería celebradas en Cuba; artículos publicados en las revistas: Ciencias de la Tierra, Geología y Minería, Tecnológica, Minería en Cuba, Voluntad Hidráulica, Rev. Sociedad Cubana de Ingenieros, Revista Geotektonic, Rev. de la Academia de Ciencias polaca y búlgara, Serie Espeleológica y Carsológica, Serie Oceanológica, Boletín de Minas, Boletines del Centro de Investigaciones Geológicas y Poeyana. Libros sobre Cuba de la Editorial Nauka URSS, de la Editorial Academia de Cuba, Editorial Científico-Técnica de Cuba, y en revistas internacionales como: GeologicaActa, Caribbean Journal of Science, Revista Mexicana de Paleontología, Rev. Maya de Geociencias, Bull. AAPG, Bull. GSA, y muchas otras. Incluye tesis, informes, mapas y presentaciones inéditas.

En dos palabras, un tesoro de conocimientos y una contribución al legado cultural de las ciencias de la Tierra en Cuba.

Español: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicio.html>

Inglés: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/inicioEN.html>

¡Te invitamos al 1er ciclo 2026 de los Seminarios Institucionales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGF-UNAM)!

Recuerda que los seminarios son tanto presenciales y online, y también puedes seguirlos por las redes sociales del IGF-UNAM: <https://www.geofisica.unam.mx/>

SEMINARIO INSTITUCIONAL 2026
INSTITUTO DE GEOFISICA

10 de febrero de 2026
MTRO. OCTAVIO GÓMEZ RAMOS
Jefe del Servicio Mareográfico Nacional, IGF
Colaboración internacional en el proyecto SATREPS para la modelación numérica de tsunamis en El Salvador

11 de marzo de 2026
DR. ARTURO IGLESIAS MENDOZA
Jefe del Servicio Sismológico Nacional, IGF
Fortalecimiento de la Red Sísmica Mexicana

7 de abril de 2026
DR. LUIS X. GONZÁLEZ MÉNDEZ
Jefe del Servicio de Clima Espacial México, IGF
Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX)

6 de mayo de 2026
DR. ENRIQUE CABRAL CANO
Jefe del Servicio de Geodesia Satelital, IGF
Contribuciones del Servicio de Geodesia Satelital al estudio de peligros geológicos

9 de junio de 2026
MTRO. HÉCTOR R. ESTÉVEZ PÉREZ
Colaborador del Servicio Sismométrico Mexicano, IGF
Climatología de la capa de ozono estratosférico sobre la República Mexicana

12 de agosto de 2026
DR. GERARDO CIFUENTES NAVA
Jefe del Servicio Magnético, IGF
Objetivo y operación del Observatorio Geomagnético

12:00 H | Auditorio Tlayolotl
Dr. Ismael Herrera Revilla
TRANSMISIÓN EN VIVO
f y t @GeofisicaUNAM

¡Te invitamos al 1er ciclo 2026 de los Seminarios Institucionales del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (IGF-UNAM)!

Recuerda que los seminarios son tanto presenciales y online, y también puedes seguirlos por las redes sociales del IGF-UNAM: <https://www.geofisica.unam.mx/>



SEMINARIO INSTITUCIONAL 2026
INSTITUTO DE GEOFISICA

10 de febrero de 2026
MTRO. OCTAVIO GÓMEZ RAMOS
Jefe del Servicio Mareográfico Nacional, IGF
Colaboración internacional en el proyecto SATREPS para la modelación numérica de tsunamis en El Salvador

11 de marzo de 2026
DR. ARTURO IGLESIAS MENDOZA
Jefe del Servicio Sismológico Nacional, IGF
Fortalecimiento de la Red Sísmica Mexicana

7 de abril de 2026
DR. LUIS X. GONZÁLEZ MÉNDEZ
Jefe del Servicio de Clima Espacial México, IGF
Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX)

5 de mayo de 2026
DR. ENRIQUE CABRAL CANO
Jefe del Servicio de Geodesia Satelital, IGF
Contribuciones del Servicio de Geodesia Satelital al estudio de peligros geológicos

5 de junio de 2026
MTRO. HÉCTOR R. ESTÉVEZ PÉREZ
Colaborador del Servicio Solarmetereológico, IGF
Climatología de la capa de ozono estratosférico sobre la República Mexicana

12 de agosto de 2026
DR. GERARDO CIFUENTES NAVA
Jefe del Servicio Magnetico, IGF
Objetivo y operación del Observatorio Geomagnético

12:00 H | Auditorio Tlayolotl
Dr. Ismael Herrera Revilla

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM



SEMINARIO INSTITUCIONAL 2026
INSTITUTO DE GEOFISICA

Colaboración internacional en el proyecto SATREPS para la modelación numérica de tsunamis en El Salvador

MTRO. OCTAVIO GÓMEZ RAMOS
Jefe del Servicio Mareográfico Nacional, IGF

10 de febrero de 2026 | 12:00
Auditorio Tlayolotl-Dr. Ismael Herrera Revilla
Visita guiada al Servicio Mareográfico Nacional a las 13:00 h

Se entregará constancia
Regístrate AQUÍ
<http://luma.com/wxgysjlt>

TRANSMISIÓN EN VIVO
@GeofisicaUNAM

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana

<http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/>



Boletín
de la Sociedad Geológica Mexicana

Números recientes / Recent issues

Volumen 77 número 3 (2025)
Volumen 77 número 2 (2025)
Volumen 77 número 1 (2025)
Volumen 76 número 3 (2024)
Volumen 76 número 2 (2024)
Volumen 76 número 1 (2024)
Volumen 75 número 3 (2023)

Número actual / Current issue

Volumen 77 Número 3
Volume 77 Issue 3
(2025)

Portada, forros, índice /
Frontcover

Número especial / Special issue
Geomorfología de América Latina y el Caribe
Geomorphology of Latin America and the Caribbean

Editores (as) invitados (as): / Guest editors:
Laura Perucca
Grace Bungenstab Alves
Oswaldo Franco
Andrea Coronato
Adolfo Quesada Román
José Armas

PREFACIO / PREFACE
Geomorfología de América Latina y el Caribe
Geomorphology of Latin America and the Caribbean
Laura Perucca, Oswaldo Franco Ramos, Adolfo Quesada Román

<http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2025v77n3p3>
Publicación en línea: 2 de diciembre de 2025 / Online: December 2, 2025

[HTML](#) | [PDF](#)

ARTÍCULOS / ARTICLES

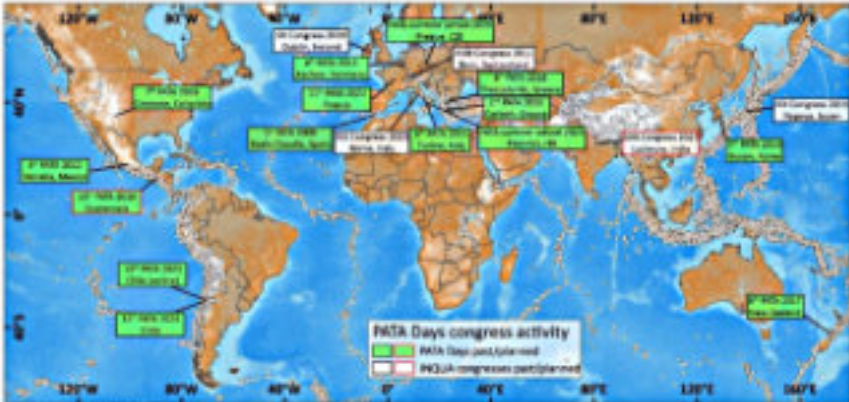
Conferencia sobre el terremoto de 1976 en Guatemala

www.inqua.org www.pata-days.org

Dear participants,

On 4 February 1976, a magnitude 7.5 earthquake ruptured the Motagua Fault, which is part of the North American-Caribbean plate boundary in Guatemala. More than 23,000 people lost their lives and the devastation was huge. On the day 50 years later, we want to commemorate this disaster, and we want to talk about the lessons learned since then.

The International INQUA Meeting on Paleoseismology, Active Tectonics and Archeoseismology (PATA Days) brings together earthquake scientists from all continents to share latest research in earthquake geology and to discuss the developments in our discipline. A central part of the PATA Days are the joint field trips to active faults and to the sites where the actual research takes place. This idea has always been at the core of the PATA Days since their initiation in 2009. All past meeting abstracts and field trip guides can be downloaded at www.pata-days.org.



The PATA Days World Map.

The PATA Days are held under the umbrella of INQUA, the International Union for Quaternary Research and its TERPRO Commission (Terrestrial Processes, www.inqua.org). We are grateful for INQUA's continuous support for Early Career Researchers and Researchers from Developing Countries. But most importantly, we are grateful to our entire team for helping to organize this event.

We wish all participants a successful conference, interesting field trips, unforgettable moments, and fruitful discussions.

Your organizing committee:

Carla Gordillo
Omar Flores
Tina M. Niemi
Christoph Grützner
Jonathan Obrist-Farner
Hairo Castellanos
Bridget Garnier

Conference Programme



ANTIGUA, GUATEMALA
30 JANUARY – 6 FEBRUARY, 2026

Edited by:
Carla Gordillo
Omar Flores
Christoph Grützner
Tina M. Niemi
Jonathan Obrist-Farner

THE LEAKEY FOUNDATION

Human to Monkey Evolution — Learn About the Latest Breakthroughs in Human Evolution With Expert-Led Online Lectures. This free video library features engaging talks by world-renowned scientists who will help you better understand yourself, your world, and the ongoing research that uncovers our past and informs our future.

https://leakeyfoundation.org/learn/lectures/?gad_source=1&gad_campaignid=21974040360&gbraid=0AAAAADmCRMPHvGT0FJ9gCd5AEcTfD4dnc&gclid=Cj0KCQiAm9fLBhCQARIsAJonOcs2fsr2RHkmVMWTUcswxfG6n9bFOVvqFh3bTF9CfK5UbzVpSWvFOOAaAt_MEALw_wcB



Scientists unearth 2.6-million-year-old hominin fossil in Ethiopia

Lower jaw of *Paranthropus*, discovered by UChicago-led team, reshapes understanding of early hominins. In a new paper published in *Nature*, a team led by University of Chicago paleoanthropologist Zeresenay Alemseged reported the discovery of the first *Paranthropus* specimen from the Afar region of Ethiopia, more than 600 miles north of the genus' previous northernmost occurrence. *Paranthropus* is one of the many types of hominins—now-extinct species that belong to the same evolutionary line as humans. It had previously been nicknamed the 'nutcracker genus,' for its especially robust teeth and jaws. The new find, a partial lower jaw dated to 2.6 million years old, is one of the oldest *Paranthropus* specimens unearthed to date. It offers significant new information about when and where *Paranthropus* existed, its adaptation to diverse environmental conditions, and how it may have interacted with other ancient relatives of modern humans, including our genus *Homo*.

<https://news.uchicago.edu/story/scientists-unearth-26-million-year-old-hominin-fossil-ethiopia>



Caverna del arte



Hojas de Ginkgo Biloboa.

Dibujo de la artista **Marcela Silva T.**, Houston, Texas.

Abuelas en la Plaza Mayor del Pueblo de Cobarrubias, España. Photo by Claudio Bartolini - 2010.

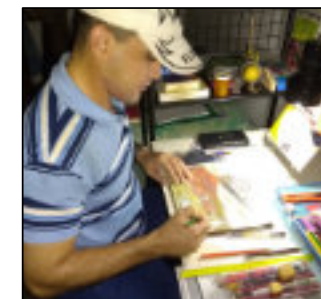


“Hello, Mr. Unknown”

By Sebastian Bartolini, an 11-year-old artist.



A man who died in the Hiroshima nuclear bombing. The flower growing through his head means that there is still hope behind the unknown, since flowers started growing again as a symbol of hope.



M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: wilmerperezgil5@gmail.com

La casa de las cavernas

<https://www.thetravel.com/caves-largest-ranked-size/>

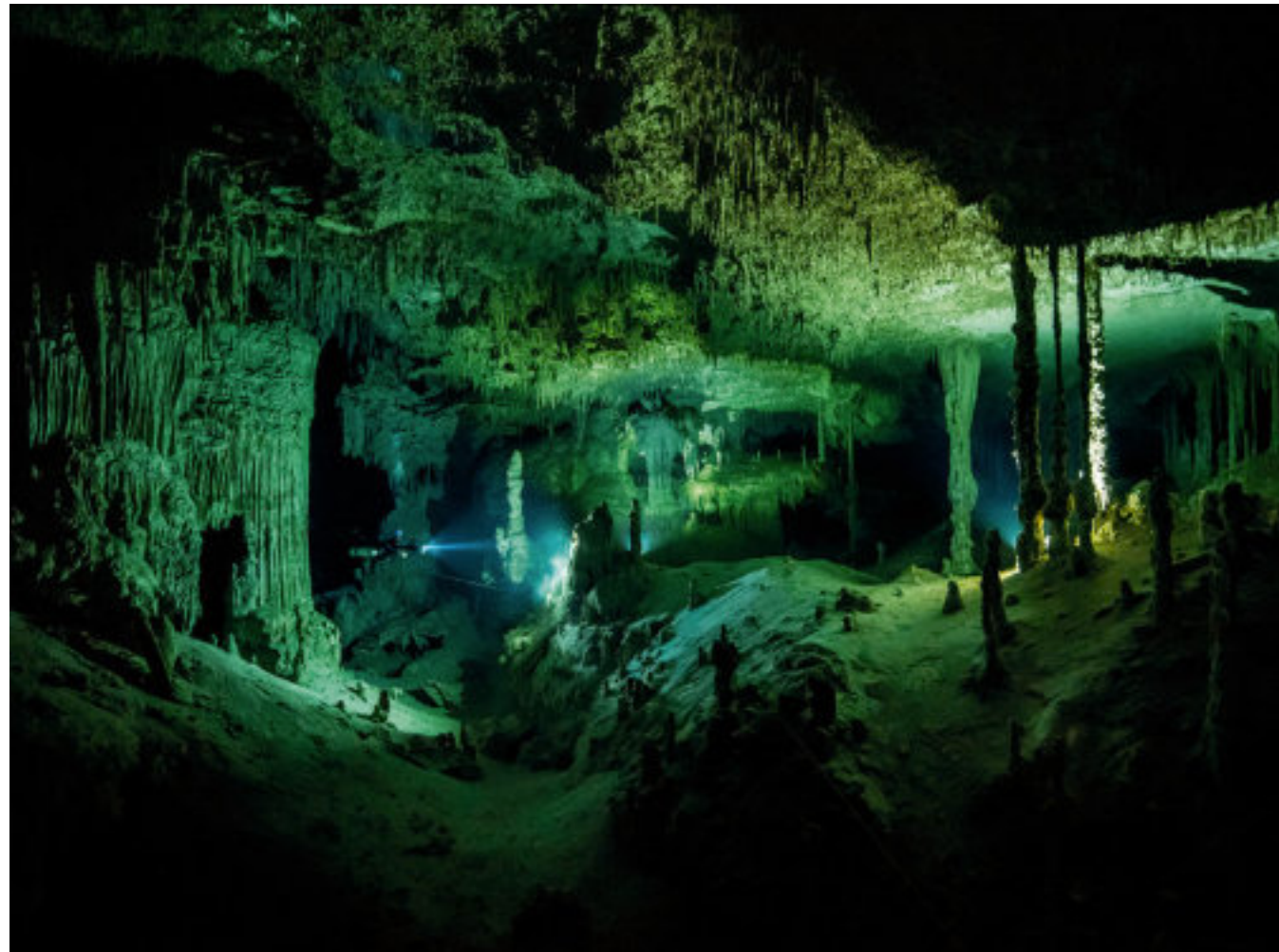
<https://www.nps.gov/macal/learn/nature/stalactites-stalagmites-and-cave-formations.htm>

<https://cavern.com/learn/formations.asp>

<http://www.goodearthgraphics.com/virtcave/largest.htm>

<https://petapixel.com/2021/11/05/photographing-the-expansive-underwater-caves-of-the-yucatan/>

<https://theculturetrip.com/north-america/mexico/articles/mexico-s-cenotes-hidden-gems-of-the-yucatan/>



El Cerro Mutún, Bolivia

El Cerro Mutún (Spanish for "the Mountain Mutún") is an iron ore deposit. Located in the Germán Busch Province in the Santa Cruz Department of Bolivia, near Puerto Suárez, it extends across the border into Brazil, where it is called the Serranía de Jacadigo. Also known as the "Serranía Mutún", it has an area of about 75 square kilometers. Its estimated reserves are about 40.205 billion tons of iron ore of 50% iron, mainly in hematite and magnetite form, and in lesser quantities in siderite and manganese minerals. This can be compared with an estimate of the total world reserves of iron ore: 800 billion tons of crude ore containing more than 230 billion tons of iron.

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas

<https://esm.gob.bo/>

https://www.gem.wiki/El_Mutun_Mine

https://www.gem.wiki/Mut%C3%B3n_power_station

<https://gmga.com.br/08-yacimiento-de-hierro-y-manganeso-el-mutun/>

<https://dialogue.earth/en/business/in-bolivia-a-new-industry-dawns-in-the-threatened-pantanal-wetlands/>

<https://www.riotimesonline.com/bolivias-546-million-steel-plant-begins-operations-after-50-year-wait/>

<https://vietnamsteel.com/blog/news-2/iron-ore-exports-declined-in-2023-at-bolivia-s-el-mutun-504>

<https://www.reuters.com/article/business/bolivia-jindal-sign-el-mutun-iron-ore-deal-idUSN18391361/>



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; bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu