

**JULIO
2025**



MAYYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS



JULIO
2025



MAYA

REVISTA DE GEOCIENCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Revista de difusión y divulgación geocientífica.

EDITORES



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

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

luis.valencia.11@outlook.com



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



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



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

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

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

geodoxo@gmail.com

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 sísmológica del siglo XX; a la historia del pensamiento sísmológico venezolano y la coordinación de un atlas geológico de la región central del país, preparado junto al Dr. Franco Urbani, profesor por más de 50 años de la Escuela de Geología de la Universidad Central. Actualmente prepara un cuarto texto sobre los estudios de un inquieto naturalista alemán del siglo XIX y sus informes para los terremotos destructores en Venezuela de los años 1812, 1894 y 1900.

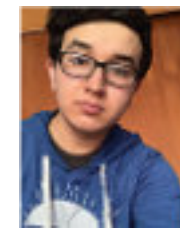
rodriguez.arteaga@gmail.com



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

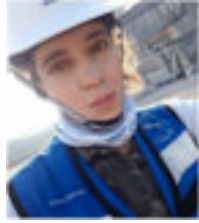


Rafael Tenreiro Pérez, se gradúa de ingeniero en geofísica de exploración de petróleo en 1974 en la Academia Estatal de Petróleo de Azerbaiyán, Master en Ciencias en Geología del Petróleo en la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en 1981 y Doctor en ciencias en Geofísica de Exploración la Universidad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



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, logeo geológico, instrumentación geotécnica, cartografía de riesgos, supervisión de perforaciones y difusión de geopatrimonio.

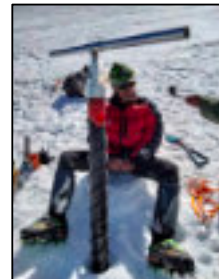
gleon.laura@gmail.com



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 Petroleo y después inició vida académica en la Universidad Autónoma de Baja California Sur. En 1998 ingresó al a Unidad Investigación en Ciencias de la Tierra (UNICIT) UNAM, Campus Juriquilla (actual Centro de Geociencias). Su trabajo inicial fue sobre petrografía ígnea y metamórfica. En academia inició dando clases de petrología ígnea y metamórfica.

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



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

Nuevo Canal Youtube de la Revista Maya de Geociencias

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

Estimados colegas,

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

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



Visítanos en Revista Maya de Geociencias

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





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

Estimados Colegas

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

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

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

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

¡Felicitaciones a la Dra. Norma Olvera!



Queremos dedicar esta página para felicitar a la **Dra. Norma Olvera**, investigadora posdoctoral del Instituto de Ingeniería de la UNAM y colaboradora de nuestra Revista Maya de Geociencias (RMG), por la reciente publicación sobre la vulnerabilidad hídrica y el cambio climático titulado *“Construcción de una adaptación transformacional hídrica mediante modelación: el caso de la ZMCM ante el cambio climático”*, que escribió en coautoría con el Dr. Fernando González Villarreal y el Dr. Carlos Gay García, y que acaba de salir en la revista *Impluvium*, revista digital de la Red del Agua, UNAM, misma que pueden descargar de forma gratuita en el siguiente enlace: <https://www.agua.unam.mx/impluvium.html>



Nota: el trabajo de la Dra. Norma Olvera se encuentra en las páginas 33-40 del documento PDF.

La **Dra. Norma Olvera** es licenciada en física, con maestría en física teórica y un doctorado en Ciencias de la Tierra por la UNAM. Ella se especializa en la vulnerabilidad hídrica de la Zona Metropolitana del Valle de México ante los impactos del cambio climático. Su tesis doctoral fue reconocida con el Premio a la mejor tesis de doctorado 2023 por el Premio a la Investigación en Cambio Climático (PINCC) que otorga la UNAM. Es colaboradora de la RMG desde diciembre de 2024.

Las Energías

“La energía es un elemento fundamental e indispensable para el desarrollo, el funcionamiento de un país y del mundo, ya que sustenta todos los procesos productivos, económicos y las necesidades de la sociedad.

A nivel mundial, el consumo de energía ha experimentado un crecimiento notable, especialmente impulsado por las economías emergentes. México no es la excepción, la economía de nuestro país demanda cada vez mas fuentes de energía de todo tipo. En esta nueva sección, la Revista Maya de Geociencias ofrece una revisión de las fuentes de energía mas importantes que existen.

Desde tiempos inmemoriales, las ciencias de la Tierra han jugado un papel indispensable en el desarrollo, exploración y aprovechamiento de todas las distintas fuentes de energía. Ya sea en la extracción de hidrocarburos, la evaluación de recursos geotérmicos o el análisis de minerales críticos para tecnologías emergentes, los geocientíficos tienen un rol clave en el presente y futuro energético de la humanidad. Esta sección es una invitación a reflexionar, con criterio técnico y ético, sobre los retos y oportunidades que se nos presentan día a día en este panorama energético en transformación”



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



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

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

luis.valencia.11@outlook.com

CONTENIDO **JULIO 2025**

Semblanzas.....	12
Obituarios.....	17
Miscelanea de imágenes.....	24
Resúmenes de tesis y publicaciones.....	28
Los libros recomendados.....	41
Temas de interés.....	49
Fotografías de afloramientos/microscopio.....	90
Notas geocientíficas.....	95
Misceláneos	
Museos de historia natural.....	132
GeoLatinas – GeoSeminarios.....	133
Venezuelan American Petroleum Association.....	134
Revista enseñanza y comunicación de las Geociencias.....	135
Convención Geológica Nacional–México.....	136
Congreso Inter–Politécnico–México.....	137
XX Congreso Colombiano de Geología.....	138
Sexto Congreso Internacional de Energía–México.....	139
AAPG ICE – Rio de Janeiro.....	140
Temas de paleontología–antropología.....	141
Caverna del Arte.....	148
Geo–caricatura (Wilmer Pérez Gil).....	152
La casa de las tierras raras.....	153
West Eifel volcanic field, Germany.....	154
Asociaciones geológicas hermanas.....	155

SEMBLANZAS

Cristl Palme

VIDA Y OBRA DE CRISTL PALME, FÍSICA Y SISMOLOGA

José Antonio Rodríguez Arteaga¹, Alejandra F. Leal Guzmán²

Colaborador de la Revista Maya de Geociencias¹

rodriguez.arteaga@gmail.com

y

Departamento de Sismología, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas²

alfaleguz@gmail.com



primarios; viniendo luego la educación secundaria mayoritariamente realizada en Frankfort – Alemania para luego retornar a Reutte, donde alcanzaría el grado de bachiller.

De aquellos tiempos de universidad

Luego de sus estudios básicos, Palme se inclinó por la física como profesional, obteniendo su título en la *Universidad de Innsbruck*, acompañándola con un doctorado al presentar su tesis: “*Texturen und plastische Anisotropie von Molybdänblechen*” (Texturas y anisotropía plástica en láminas de molibdeno) la cual elaboraría en el instituto de investigación *Metallwerk Plansee*, empresa metalúrgica que se encontraba en Reutte y que se dedicaba a la producción de componentes de molibdeno y tungsteno.

A VENEZUELA Y DE NUEVO A EUROPA

Luego de egresar de la universidad viaja a Venezuela en procura de trabajo, laborando por un año -1972- en la

Universidad de Oriente, núcleo de la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta. Por los dos años siguientes -1973 y 1974- dedicaría su tiempo a la Universidad Simón Bolívar en Sartenejas - Caracas, dictando clases en el ciclo básico. Transcurrido el bienio retorna de nuevo a Europa y marcha a *Mainz* – Alemania, en donde se dedicará por 4,5 años a un tema especial de investigación el “*análisis por fluorescencia de rayos X*” el cual realizaría teniendo como estancia al Max-Planck-Institut.

Allí, en Alemania, contraerá matrimonio con Darío Osechas, retornando definitivamente a Venezuela y en particular al estado Trujillo. Ya en suelo trujillano Palme ingresa al Núcleo Universitario Rafael Rangel de la Universidad de los Andes en donde dictará clases en Educación y Ciclo Básico. De su unión matrimonial con Darío Osechas tendrá un hijo: Okuary José Osechas Palme.

Contribuciones y distinciones obtenidas

Un aspecto muy particular de esta geocientífica ha sido la formidable contribución al estudio y redacción de artículos técnicos en sismología venezolana en sus variados aspectos, aparte de especiales distinciones en la universidad de los Andes y a la aplicación del Método de Bakun & Wentworth (B&W) en el estudio de los sismos históricos nativos con los cuales prestó y presta especial y silenciosa ayuda a colegas nacionales desde su lejano Reutte en Austria.

Una nota destacable

Su relación con un grupo de profesores- geofísicos del *Instituto de Geofísica de la Universidad de los Andes* (IGULA) en Mérida la hace entusiasmarse con el estudio de los terremotos históricos venezolanos en cuyo tópico hizo vida profesional hasta su jubilación y aún colabora a la distancia en temas especiales que en algunas ocasiones no han funcionado con la celeridad del caso, pero sí con mucha constancia. Un especial paso por el IGULA y sosteniendo relaciones de pasantía en 1991 con Frank Scherbaum PhD en sismología en la *Universität Potsdam*, hicieron según sus palabras [que] “aprendiera muchísimo”

recomendándole éste el Método de Bakun & Wentworth (B&W) y su aplicación en el estudio de sismos históricos nacionales (Palme *com. pers.*, 2025).



Frank Scherbaum-PhD-

Otro de sus aspectos más importantes actividades será formar parte del *staff* profesional del IGULA-Mérida en 1977, obteniendo su retiro en 2002 pero manteniendo mucho interés en seguir aportando experiencia para el campus universitario andino y continuando con el cargo de investigadora de la Universidad de los Andes-Mérida - Mérida durante 9 años más hasta llegar el 2011, tiempo en que tomará la decisión definitiva de retornar a Europa y a su anhelado Reutte en donde aún sigue viviendo y “atendiendo” a los terremotos venezolanos antiguos y a sus protagonistas, además de proseguir cargando *data* reciente esencialmente artículos de sismos “del pasado” y otros más “nuevos” como el de 2018 (Coronel, 2017:102-1015) en. Para mayores datos se puede consultar la página que a continuación se identifica: https://www.sismicidad.ciens.ula.ve/cgi-win/be_alex.exe?Nombrebd=psh&TiposDoc=V

En el plano universitario ha mantenido por varios años hasta por lo menos seis programas de “Promoción al Investigador (PPI) en diversos grados y académicamente lleva consigo el *Reconocimiento de la Universidad de los Andes (ULA)*; *Vicerrectorado Académico* y el *Consejo de Computación Académico de la misma casa de estudios por*

su sostenido esfuerzo en la libre difusión del conocimiento a través de servidores temáticos. Para la fecha de redactar el presente resumen, Christl cuenta con 80 años.

Christl ha escrito como autora y/o coautora más de veinte artículos científicos, incluyendo un libro razón por la cual nos hemos impuesto la tarea en dar a conocer aquellos en extremo vinculados al quehacer natural de su profesión, sin que ello sea obstáculo a sus estudios. No son los únicos trabajos, pero tienen como antecedentes que el método conocido como Bakun & Wentworth (B&W) por sus autores fue empleado por primera vez en Venezuela en la Universidad de los Andes. Dicho método es una técnica sismológica que permite determinar los parámetros básicos de un terremoto a partir de los datos de intensidad macrosísmica en especial para el estudio de los sismos históricos donde los registros instrumentales no existen.

Con las nuevas tecnologías informáticas, ha sido posible “construir sistemas de información de sismología histórica” para el almacenamiento y la recuperación de material relativo a la sismicidad. Inicialmente IGULA desarrolló a *Alejandría*, un marco lógico y plataforma informática adecuada para recibir información en sismología histórica sirviendo en la formación de equipos de trabajo dedicados a la organización informática de la sismología histórica nacional. Los detalles pueden consultarse en Morandi *et al.*, 2001.

REFERENCIAS

CORONEL DELGADO, G. 2017. *El terremoto del noreste de Venezuela de 2018, el más grande de los últimos tiempos, sentido en Colombia, Trinidad y otras islas del Caribe*, <https://www.researchgate.net/publication/330688933>

DE OSECHAS PALME, C.; ARANGUREN, R., CHOY, J.; GUADA, C. Y RAMÍREZ MÉNDEZ, L. A. (2019) Aplicación del método de Bakun & Wentworth para el análisis del terremoto de febrero 3, 1610, Andes venezolanos. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, 4(1): 1-9.

<http://epublica.saber.ula.ve/index.php/regeoven/article/view/21148>

LEAL GUZMÁN, A., VÁSQUEZ S., R., AUDEMARD M., F., MARTÍNEZ, S. (2019) Reevaluación macrosísmica del terremoto de 1736 en la región centro occidental de Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, 4(1): 1-9. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/22667

COLÓN, S.; LEAL GUZMÁN, A.; VÁSQUEZ STANESCU, R.; RODRÍGUEZ, J. A.; AUDEMARD M., F. (2019) Análisis macrosísmico del sismo $m_w \sim 7,6$ de San Narciso del 29 de octubre de 1900, aplicando la escala medio-ambiental de intensidad sísmica ESI 2007. Revista de la Facultad de Ingeniería, 34(1): 1-17. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/19293.

LEAL GUZMÁN, A.; VÁSQUEZ S., R.; AUDEMARD M., F.; MARTÍNEZ, S. (2019) Reevaluación macrosísmica del terremoto de 1736 en la región centro occidental de Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV, 4(1):1-9. http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_fiucv/article/view/22667, [Documento en línea] (mayo 27, 2025).

MORANDI, M.; SILVA, J. CHOY, J. y PALME C. (2001) Proposición para crear un sistema de teleinformación de sismología histórica venezolana. Revista Geográfica Venezolana, Vol. 44(2) 2003, 319-325.

VÁSQUEZ STANESCU, R.; LEAL GUZMÁN, A.; RODRÍGUEZ, J. A.; AUDEMARD, M. F. (2018) Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Segunda parte: cálculo de los parámetros de la fuente, Geominas, 46(77):225-237. https://www.researchgate.net/publication/329895235_Reevaluacion_del_terremoto_del_29_de_octubre_de_1900_en_Venezuela_Segunda_parte_calculo_de_los_parametros_de_la_fuente



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.

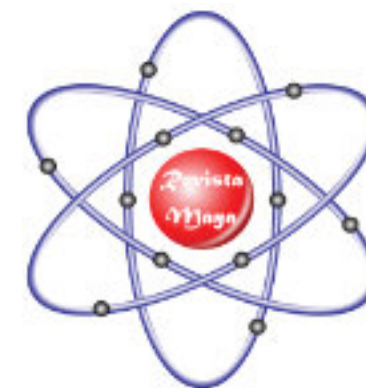
rodriguez.arteaga@gmail.com



Dra. Alejandra Leal Guzmán

Antropóloga (FACES-UCV, 2008). Doctora en Urbanismo (FAU-UCV, 2018). Investigadora adscrita al Departamento de Sismología de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), donde labora compilando y sistematizando registros históricos sobre la sismicidad venezolana del periodo comprendido entre los siglos XVI-XX con el fin de estimar intensidades y parámetros sísmicos para terremotos históricos y realizar estudios sobre la evolución histórica del riesgo sísmico urbano y sobre la construcción social del riesgo sísmico en Venezuela. Es autora y coautora de más de 40 artículos en revistas arbitradas nacionales e internacionales en las líneas de investigación mencionadas. Estuvo a cargo de la Coordinación del Doctorado en Urbanismo FAU-UCV (Mayo 2023-Julio 2024) Asimismo, se ha desempeñado como profesora universitaria en las escuelas de Antropología (Facultad de Ciencias Económicas y Sociales-UCV); Historia y Geografía (Facultad de Humanidades y Educación-UCV) y en el Doctorado en Urbanismo de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UCV. Adicionalmente, es investigadora con amplia experiencia en investigación interdisciplinaria y escritura académica. Ha participado con frecuencia en conversatorios y talleres como conferencista sobre estas cuestiones.

<https://www.linkedin.com/in/alfaleguz>
<https://orcid.org/0000-0002-5583-9650>
Email: alfaleguz@gmail.com



María Elena Caso: 1915-1991

¿Quién fue María Elena Caso?

Por Claudia Juárez, Ciencia UNAM, DGDC

Un 18 de diciembre de 1915 nació María Elena Caso Muñiz, la mujer que abrió camino en el estudio de la biodiversidad marina de México. A 92 años de su natalicio, en Ciencia UNAM la recordamos como la mexicana que pasó su vida entre estrellas de mar. María Elena se formó en la Facultad de Ciencias de la UNAM cuando la Biología Marina estaba en sus inicios como ciencia. Quienes la conocieron, o han seguido su legado, la recuerdan como un ejemplo de entrega a su vocación científica. Se dedicó por más de 50 años al estudio de los equinodermos, los animales marinos de piel con espinas como los erizos, ofiuras, pepinos, lirios y estrellas de mar.

Hija de Don Antonio Caso y Josefina Muñoz. Un suceso clave en la vida de María Elena fue el encuentro con el español Enrique Rioja Lobianco, una de las figuras más destacadas del estudio de los organismos marinos, quien llegó a México en 1939 exiliado durante la Guerra Civil en su país. Ella todavía pensaba en su tema de tesis cuando él le propuso trabajar con equinodermos y aquí arranca la historia de sus inolvidables aportes a la ciencia.

En busca de equinodermos

Los equinodermos solo habitan en los mares. Imagina a la doctora María Elena Caso trasladándose de la Ciudad de México hasta llegar a la costa de Baja California o a Mazatlán, adentrándose al mar en lancha para recolectarlos. Ella nunca buceó, pues en aquella época no se habían inventado los tanques de buceo, ni la UNAM contaba con sus buques de investigación oceanográfica. Sus primeras investigaciones, con ayuda de su maestro Enrique Rioja, marcaron el estudio sistemático y ordenado de los equinodermos



en México. De sus viajes de recolección de esta fauna marina, logró reunir un conjunto de especies que en 1991 dio origen a la Colección Nacional de Equinodermos, bajo resguardo en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, la cual lleva su nombre. Una vez que la Universidad contó con buques de investigación oceanográfica, la doctora Caso participó en varias campañas. Sus colaboradores cercanos recuerdan que “ella siempre estaba presente en cubierta a las primeras horas de la madrugada para presenciar los primeros muestreos.”

María Elena se entregó totalmente a la ciencia; nunca contrajo matrimonio, ni tuvo hijos. Murió en 1991. Su alumno y colaborador cercano, el doctor Alfredo Laguarda Figueras, junto con el doctor Francisco A. Solís Marín, han continuado su labor de recolección, estudio y divulgación del valor de los equinodermos. El legado de María Elena Caso sigue vigente.

Fuente: <https://ciencia.unam.mx/contenido/postal/31/>

OBITUARIOS

Denise Stone

Denise Stone passed on to heaven at her home on May 3, 2025 in Centennial, Colorado. She was born in Summit, NJ on Sept. 2, 1957, to parents Clara Adele Vandenberg Stone and Joseph John Stone who predeceased her. She was their fourth daughter, and she is survived by her sisters Muriel Marie Stone Manning of Encinitas, CA, and Karen Ann Stone Silver of Neenah, WI, in addition to several cousins, nieces, and nephews. She was predeceased in 2020 by a sister, Andra Lynn Stone of Houston, TX.

Even though Denise's first home with Clara and Joseph and her sisters was in Springfield, NJ, she moved internationally while growing up. During her high school years, she attended the Overseas School of Rome, Italy, initiating her interest in languages and the study of ancient Roman history. She graduated from Valdez (AK) High School (1975) and went on to Texas Christian University (B.S. in Geology, 1979), Memphis State University (M.S. Geology, 1981) and Rice University Jones School of Business ("The Management Program", 1997).

She entered the oil business as a summer geological hire at Unocal in Houston, TX in 1978. After graduation in 1981, she went to work as a petroleum exploration geologist in Houston, TX with Superior Oil before moving on to Mobil, Amoco, and BP. After BP she worked as a Houston- and Denver-based independent consulting geologist focusing on Trinidad, the North Sea, and Alaska until she retired in 2012. She moved to Colorado in 2017 and became very active in the Rocky Mountain Association of Geologists (RMAG) with the On The Rocks (OTR) fieldtrip committee.

Denise loved geological field work, well site work, and exploring for oil and gas in frontier areas around the world. In addition to long hours in the office and in partner



meetings, she spent time on the ground in Burundi, Tanzania, Kenya, Egypt, and Colombia. She also authored or coauthored more than 20 peer-reviewed publications and presentations on international and domestic topics on oil and natural gas exploration and production including significant works on Alaska and Kenya.

She held many leadership positions in civil and professional societies including the American Association of Petroleum Geologists (AAPG), the Society of Independent Professional Earth Scientists (SIPES), and the Houston Geological Society (HGS) including President.

She loved several dogs over her lifetime. Her favorite hobby was lap swimming where she made life-long friends. Piano playing and cooking Italian food were also two of her favorite activities.

At the time of her death, she was an active member of St. Mark Catholic Church, Highlands Ranch, CO. She thanks the parishioners of St. Mark and Father Greg Bierbaum for their prayers and attention during her illness. She also thanks all her friends and family for their loving concern and visits during her illness.

Tijomírov Igor Nikoláevich

Igor Nikoláevich llegó por primera vez a Cuba en 1961. Con treinta años cumplidos, era el más joven del primer grupo de expertos soviéticos que tenía la misión de estudiar la geología y los recursos de la isla en el Instituto Cubano de Recursos Minerales. Al frente de este primer grupo llegó Alexander Stepánovich Bogatirev ex ministro de Geología de la República de Kazajistán. Bogatirev participa en la selección del equipo, entre los que se encontraban el, además de Tijomírov, Víctor Stárov, Iván Pávlov, Hilarión Kazitadze, Irma Shirókova, Evald Zikin, Konstantín Judoley, Iván Novojátsky y Mila Mijailóvskaya. El contrato para asistencia técnica y suministro de tecnología tenía objetivo de crear las bases de la industria nacional extractiva con una visión holística, tratando de resolver desde la raíz los problemas geológicos. Al igual que Igor Nikoláevich, la mayor parte de los geólogos que integraron este primer grupo, va a tener una larga relación científica con la geología de la isla y fuertes lazos de amistad con los geólogos cubanos.

Igor Nikoláevich nació en 1930, se convirtió con el tiempo en un experto de nivel mundial en la cartografía geológica, la geología regional y la metalogenia. Trabajó la mayor parte de su vida en el Instituto de Investigaciones Geológicas "A. Karpinsky" (VSEGEI) de Leningrado (hoy San Petersburgo). Lideró por muchos años el Departamento para la confección de los mapas geológicos estatales y la metodología de los trabajos de levantamiento geológico. En Cuba, Tijomírov estudio los problemas de la estratigrafía regional con especial énfasis en los problemas del magmatismo y la metalogenia lo cual reflejó en varias publicaciones¹ y numerosos reportes manuscritos.² En 1963, I. N. Tijomírov y sus colaboradores establecieron que las rocas magmáticas de la Sierra Maestra, por las características petroquímicas de los productos de diferenciación, atestiguan la existencia en esta región de un orden único, perteneciente a una serie



sódica, que las asocia al tipo petroquímico del océano Pacífico, opinión compartida posteriormente por Alioshin y otros³ y Kuzovkov y otros.⁴ Los autores subrayaron que, en la Sierra Maestra, las rocas efusivas de la Formación Vinent pertenecen condicionalmente al Cretácico, pues no se caracterizan en ninguna parte desde el punto de vista faunístico. Además, plantearon que no se puede considerar establecida con exactitud la edad de los granitoides de la Sierra Maestra. En 1968, por el curso del río Nima-Nima, al oeste de Santiago de Cuba, en unas calizas saturadas de fósiles, Tijomírov y Furrázola, determinaron fauna del Eoceno. Este horizonte de calizas, visiblemente erosionado, significa una pausa relativamente breve en la actividad volcánica y una interrupción en la sedimentación dentro de la Formación El Cobre. Este horizonte de rocas calcáreas es tomado por Grechánik, Norman y Yidkov,⁵ como el límite entre dos "subformaciones" (miembros inferior y medio). El grupo de especialista cubanos y soviéticos compuesto por Y. L. Semiónov, I. N. Tijomírov, R. Segura-Soto, G. F. Furrázola-Bermúdez y A. I. Lisitsin, al examinar en 1968 el magmatismo y la metalogenia de Cuba, destacaron una serie de problemas cuya solución debía incidir, y con

posterioridad incidieron, en el descubrimiento de nuevos yacimientos metálicos. Como especialista líder mundial en los aspectos metodológicos de la cartografía geológica Igor Nikoláevich dejó su impronta en Cuba preparando a los especialistas cubanos en la confección de mapas que optimizan el contenido de la información.⁶

Y. L. Semiónov, I. N. Tijomírov, R. Segura-Soto, G. Furrázola-Bermúdez, y A. I. Lisitsin, presentaron en 1968 el manuscrito del libro "Magmatismo intrusivo y metalogenia de Cuba". Este mismo año 1968 I. Tijomírov y Y. Semiónov, escribieron la obra "Magmatismo intrusivo y metalogenia de Cuba", un mapa metalogénico de Cuba a escala 1: 1 000 000 y un esquema tectónico a escala 1: 3 000 000, donde asignan edad precámbrica a las metamorfitas del Escambray e Isla de la Juventud, basados en el mayor grado de metamorfismo en comparación con las rocas jurásicas de Pinar del Río. Lisitsin, A. y otros geólogos compartieron esa opinión, pero fueron más conservadores, asignándole a estas rocas una edad "pre-Jurásica".⁷

En la década de los años setentas continua su labor en Cuba. En 1973, G. Semiónov e I. Tijomírov, confeccionaron el mapa Metalogénico de Cuba a escala 1: 1 000 000 sobre una base geólogo-tectónica. En la nota explicativa de este mapa, se realizó la separación de las rocas magmáticas según su edad y se da una compleja caracterización geólogo-petrográfica y petroquímica de esas formaciones. Los autores generalizaron los materiales geoquímicos y evaluaron los mismos. Sobre la base de los materiales disponibles, realizaron la zonación esquemática geoquímica de Cuba, fundamentando el complejo de métodos de búsqueda en dependencia de las condiciones concretas físico-geográficas y de la constitución geológica de la región.

Su labor fue especialmente fructífera en la década de los años ochentas con la creación de varios mapas geológicos a diferentes escalas y variado contenido.⁸ En especial el mapa geológico de Cuba a escala 1:500 000 fue una obra de grandes proporciones, síntesis de decenas de años de trabajo de levantamiento geológico en el campo, al que se agregó información de teledetección satelital y estudios

marinos en la plataforma insular. El trabajo se desarrolló en paralelo con el del equipo internacional de geólogos de las Academias de Ciencias de los países socialistas para crear un Mapa Geológico consolidado de Cuba a escala de 1:250.000 sobre la base de cartografía regional en las antiguas provincias administrativas de Cuba. El Mapa Geológico de Cuba a escala de 1:500 000, fue publicado finalmente en 1985, editado por J. Pérez Oton, V. A. Yarmolyuk (editores en jefe) y autoría de numeroso grupo de científicos.⁹

Si bien en términos de mostrar los campos de distribución de diversas formaciones geológicas este mapa puede considerarse una versión a medias del Mapa Geológico de Cuba a escala 1:250 000 concluido pocos años después por la Academia de Ciencias, en términos de la interpretación de la edad y la genética de muchos complejos geológicos difiere marcadamente de este último. Esto es especialmente remarcable para la interpretación de los miembros ultramáficos y de gabros de la asociación ofiolítica, tratados en el mapa como intrusiones del Cretácico tardío, o los complejos metamórficos de la Isla de la Juventud y la cordillera del Escambray adoptados en el mapa de la edad prejurásica. La estructura de los complejos plegados y cabalgados del Mesozoico y Cenozoico, estudiada en detalle y probada en muchas áreas de Cuba, está extremadamente simplificada en el mapa, y en algunos lugares no se muestra en absoluto. Sin embargo, el mapa también presenta elementos de interpretación geológica de imágenes espaciales, muestra la geología de la plataforma cubana y proporciona mucha información útil. Los elementos más importantes del nuevo mapa se resaltan en varias publicaciones internacionales.¹⁰ Desde 2005 retoma los estudios geológicos de los platinoideos y otros metales preciosos en las menas niquelíferas del norte del extremo oriental de Cuba.¹¹ El mapa base fue complementado por mapas especializados como el mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas Minerales de la República de Cuba a escala 1: 500 000. CIG. Impreso en la Kartfabrika del Instituto de Investigaciones Geológicas de la URSS "A. P. Karpinski" (VSEGI) Leningrado¹² y el mapa de

yacimientos y manifestaciones de minerales no metálicos y combustibles también impreso en el VSEGEI.¹³

El insigne geólogo y amigo de Cuba Igor Nikoláevich Tijomírov falleció el 11 de junio de 2025 en Moscú, a los 95 años. Pierde la geología mundial un insigne científico y

Cuba un amigo incondicional. Trabajador incansable del VCEGEI, laboró hasta hace muy poco cuando su estado de salud ya le impedía ver. En un último encuentro en el 2015, manifestó su disposición a elaborar el mejor mapa metalogénicos de Cuba, tarea que acometió junto a otros colegas y amigos.

¹Tijomírov, I. N. (1967). "Formaciones magmáticas de Cuba y algunas particularidades de su metalogénia." Revista Tecnológica 5(4): 13-22.

²Tijomírov, I. N., Semiónov, Y., Lisítsin, A., Segura-Soto, R. Furrázola-Bermúdez, G.F. (1968). Magmatismo intrusivo y metalogénia de Cuba. Manuscrito Archivos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.

³Alioshin V, M, Furrázola-Bermúdez, G., Bassov, V.A., Kuzovkov, G.N., Alioshin, V.M., y Burov, V.A., 1976. Sierra Maestra occidental. Nuevos datos. Estratigrafía del Cretácico Superior. La Minería en Cuba, 2 (3): 50-62. ; Alioshin, V., Burov, V., Eguipko, O.I., Sanchez, F., Eliseiev, V., Shelagurov, V., Konujov, A., Lorkin, V., y Varvarov, V., 1975. Mapa geológico escala 1: 50 000 de la parte central de la Sierra Maestra (cordillera norte). ONRM, La Habana (Inédito); Alioshin, V., Varvarov, V. y otros, 1976. Informe sobre los resultados de los trabajos de levantamiento geológico y búsqueda en escala 1: 100 000 ejecutados en la Sierra Maestra y la Gran Piedra, Provincia Santiago de Cuba, años 1972-1975. ONRM, La Habana (Inédito).

⁴Kuzovkov G., Arséniev Y., Sánchez-Cruz R., Quesada-Melo R., Kulbakov M., Pérez-Rodríguez M., Górova M., Abdurázokov A., Eliséev V. y López J. (1976) "Sobre los resultados del levantamiento geológico a escala 1: 100 000, realizado por la Brigada Sierra Maestra en la pendiente sur de la cresta del Turquino, en la parte oeste de la provincia de Santiago de Cuba durante los años 1975-76 (Sierra Maestra Sur II). Manuscrito Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana

⁵Grechánik, T. y Norman, A. (1970). Informe sobre los trabajos Geológicos de Levantamiento a escala 1: 50 00 que se realizaron en la Cuenca de los ríos Cobre, Cañas y Cauto en 1967-1969 Provincia Oriente. Archivo ONRM Código 01736. La Habana. Inédito.; Yidkov, A.Y., Grechánik, T., y Norman, A., 1971. Nuevos datos sobre la composición y estructura de la serie vulcanógeno-sedimentaria "El Cobre". Publicación Especial, Ministerio de Minería Combustible Metalurgia, La Habana, 16 pp.

⁶Tijomírov, I.N., 1985. Algunos aspectos metodológicos de la cartografía geológica y formas de aumentar la información de los mapas de contenido geológico. Boletín Sociedad Cubana de Geología Vol. II (I): 8-21

⁷Lisitsin A., Muliukov E. y Linchenat A. "Un Nuevo tipo de mineralización sulfurada en Cuba." Instituto Cubano del Libro. La Habana. pp. 13. 1971

⁸Linares-Cala, E., Osadchiy, P.G., Dovbnia, V.A., Gil-González, S., García-Delgado, D., García, L., Zuazo-Alonso, A., González, R., Bello, V., Brito, A., Bush, W., Cabrera, M., Capote, C., Cobiella-Reguera, J.L., Díaz de Villalvilla, L., Eguipko, O.I., Evdokimov, Y., Fonseca, E., Furrázola-Bermúdez, G., Hernández, J., Judoley, C.M., Kodankov, L.A., Markovskiy, A., Norman, A., Pérez, M., Peñalver, L., Tijomírov, I.N., Trofimov, V.A., Vtulochkin, L.A., Vergara, F., Zagaskin, A., y Zelepuguin, V., 1986. Breve nota explicativa al Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000. Centro de Investigaciones Geológicas, Ministerio de Industria Básica, La Habana. Archivos de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.; Linares, E.; Osadchiy, P. G., Dovbnia, V. A., Gil, S., García, D. E., García, L. M., Zuazo, A. ; González, R., Bello, V., Brito, A., Bush, W. A., Cabrera, M., Capote, C., Cobiella, J. L., Díaz de Villalvilla, L., Eguipko, O. I., Evdokimov, J. V., E. Fonseca, Furrázola, G., Hernández, J., Judoley, C. M., Kondakov, L. A., Markovskiy, B. A., Pérez, M., Peñalver, L., Tijomírov, Y. N., Vtulochkin, A. N., Vergara, F., Zagaskin, A. M. y Zelepuguin, V. N. (1986): Mapa Geológico de la República de Cuba, escala 1: 500 000. Breve nota explicativa. Empresa Nacional de Servicios Productivos. Ministerio de Educación. La Habana. pp 1 - 38

⁹Linares, E., Osádchiy, PG, Dovbnia, AV, Gil, S., García, D., García, L., Suazo, A., González, R., Bello, V., Brito, A., Busch, WA, Cabrera, M., Capote, C., Cobiella, JL, Díaz De Villalvilla, L., Eguipko, OI, Evdoquímov, YB, Fonseca, E., Hernández, J., Furrázola, G., Judoley, CM, Kondakov, LA, Markovskiy, BA, Norman, A., Pérez, M., Peñalver, LL, Tijomírov, IN, Trofimov, VA, Vtulochkin, AL, Vergara, F., Zagaskin, AM y Zelepuguin, VN. (1985). Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000. Centro de Investigaciones Geológicas (CIG). Impreso en la Kartfabrica del Instituto de Investigaciones Geológicas de la URSS "A. P. Karpinski" (VSEGI) Leningrado

¹⁰Tijomírov, N.I., de Los Santos E., Vtulochkin A. L., Brito A., Dovbnia, A. V. , Linares, E., Markovskiy, B.A., Trofimov, V.A., Furrázola, G. (1987). Recent findings on the geology of Cuba. International Geology Review, 29:12, 1402-1409, DOI:http://dx.doi.org/10.1080/00206818709466233 ; Tijomírov N.I., de Los Santos E., Vtulochkin A. L., Brito A., Dovbnia A. V., Linares E., Markovskiy, B.A., Trofimov, V.A., Furrázola, G. (1987). Novie dannie o geologii Kuby. (1988) Sovetskaya Geologiya No 1 pp 58-66

¹¹Lazarenkov, V.G., Tikhomirov, I.N., Zhidkov, A.Y., y Talovina, I.V., (2005). Platinum group metals and gold in supergene nickel ores of the Moa and Nicaro deposits (Cuba). Lithology and Mineral Resources, 40 (6): 521-527. Traducido de Litologiya i Poleznye Iskopaemye, 6: 600-608

¹²De los Santos, E., Peñalver L.L., Krivtsov A. I., Tijomírov I. N., Lavandero R. M., Trofimov, V.A. Cabrera, R., Hernández J., Estrugo M., Santa Cruz-Pacheco M., Bravo F., Romero J., Altarriba I., Álvarez P., Carrillo D. J., Casañas X., Montenegro J., Pantaleón G., Formell F., López J., Mélnikova A. A., Aniátov I. L., Dovbnia A. V., Bárishv A. N., Gue G. G., Krapiva L. J., Zagaskin A. M., Zhidkov A.Y., Lozánov I., Badamgavín B., Jánchivin A., Stepánov N., García M., Vázquez O., González D., Cuéllar N. (1988). Mapa de Yacimientos Minerales Metálicos y Aguas Minerales de la República de Cuba a escala 1: 500 000. CIG. Impreso en la Kartfabrica del Instituto de Investigaciones Geológicas de la URSS "A. P. Karpinski" (VSEGI) Leningrado.

¹³De los Santos, E., Peñalver, LL, Krivtsov, AI, Tijomírov, IN, Martínez, J., González, Z, Zágoskin, AM, Markóvskiy, BA, Dovbnia, AV, Klischov, KA, Coutin, DP, Martínez, J, González, Z., Delgado, B., López, J G, Echevarría, G., Rodríguez, R., Barea, M., Rodríguez, E., García, M., Lippstreu, L., Marek, M., Kámensky, A., Tabak, J. y Cerny, R. (1988b). Mapa de Yacimientos y Manifestaciones de Minerales No Metálicos y Combustibles de la República de Cuba a escala 1: 500 000. CIG, Impreso en la Kartfabrica del Instituto de Investigaciones Geológicas de la URSS "A. P. Karpinski" (VSEGI) Leningrado.



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



Evelio Linares Cala, nació el 21 de diciembre de 1941, en Camagüey, Cuba. Ingeniero geólogo graduado en el Centro Universitario de Pinar del Río en 1978. Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad Politécnica CUJAE de la Habana en el 2004. Comenzó a trabajar en la industria del petróleo a pie de pozo desde 1962 en registros de lodos y luego como geólogo de pozo. Realizó levantamientos geológicos en varias provincias cubanas. Jefe de proyectos de investigación sobre estratigrafía y geología regional de Cuba; autor principal y redactor de mapas especializados de contenido geológico a diferentes escalas. Ha publicado decenas de artículos geológicos en revistas cubanas e internacionales. Autor principal del Mapa Geológico de la República de Cuba a escala 1: 500 000 de 1985. Es autor de libros como el de Yacimientos y Manifestaciones de Hidrocarburos de la República de Cuba y Estratigrafía de las zonas petroleras de la República de Cuba. Es fundador de la Sociedad Cubana de Geología de la que ha sido su presidente por 11 años y miembro de su Junta Directiva por más de 30 años, incluyendo vicepresidente primero en tres ocasiones. Ha recibido decenas de reconocimientos científicos y laborales.

Dietrich Welte

Por **Dr. Mario Alberto Guzman Vega**

Autoridad Técnica - Ecopetrol, Colombia

Con profundo respeto y admiración, recordamos al **Prof. Dietrich Welte**, un pionero y referente mundial en el campo de la geoquímica y la modelación numérica tridimensional de cuencas y sistemas petroleros. Su legado científico y académico ha dejado una huella imborrable en la industria petrolera y en la formación de generaciones de geocientíficos.

El Prof. Welte fue autor del primer libro de texto integral sobre geoquímica petrolera, **"Petroleum Formation and Occurrence"**, publicado inicialmente en 1978 y ampliado en 1984, obra que continúa siendo un pilar fundamental en la enseñanza de esta disciplina. Su contribución al desarrollo de software para la modelación 3D de cuencas y sistemas petroleros revolucionó la forma en que se estudian y exploran los recursos energéticos.

Su carrera comenzó en 1959 en Shell International como geocientífico investigador, y tras un breve regreso a la Universidad de Würzburg, Alemania, en 1967 se incorporó a Chevron Oil Field Research en Estados Unidos como geocientífico senior. En 1979 fundó el Instituto de Geoquímica del Petróleo y Orgánica en el Forschungszentrum Jülich (antes Kernforschungsanlage) en Alemania, y en 1985 estableció y dirigió Integrated Exploration Systems, consolidando su liderazgo en la investigación aplicada.

El Prof. Welte fue profesor emérito de la prestigiosa Universidad Técnica RWTH de Aachen y profesor adjunto en la Universidad Jacobs de Bremen, institución a la que contribuyó significativamente en sus inicios.

En reconocimiento a su extraordinaria trayectoria, en 2013 fue galardonado con el **Sidney Powers Memorial Award**, el máximo honor de la American Association of Petroleum Geologists (AAPG).

Su legado perdurará en el conocimiento científico, en las



tecnologías que ayudó a desarrollar y en la inspiración que brindó a colegas y estudiantes alrededor del mundo. El Prof. Dietrich Welte será siempre recordado como un visionario, un maestro y un pionero incansable.

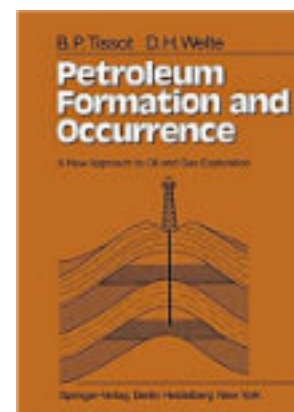
Descanse en paz.

Dietrich Welte recibe el Premio Sidney Powers Award:

<https://www.youtube.com/watch?v=9ikJbR2E6Jc>

Bibliografía de Dietrich Welte en Researchgate:

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Dietrich-H-Welte-72406383>



https://www.amazon.co.uk/Petroleum-formation-occurrence-approach-exploration/dp/3540086986/ref=ast_author_mpb

Thomas Wallace Donnelly

Thomas Wallace Donnelly, known for all his life as "Nick", passed away peacefully in Endwell, NY on May 7, 2025. Born in Detroit, Michigan in 1932, he spent most of his early years as an "army brat", living with his family at several military bases across the U.S. before ending up in Washington, DC. while his father served in the War Department. After graduating from St. Albans School in Washington, Nick went to Cornell University where he earned his B.S. in geology. After Cornell, he continued his education at Caltech. It was there, on the Caltech campus in Pasadena, that he met a newly arrived emigree from Scotland—Ailsa Jean MacEwen. He and Ailsa married, after which Nick completed his M.Sc. degree.

Nick and Ailsa then moved to New Jersey where Nick completed a Ph.D. at Princeton University. His dissertation described the geology of Saint Thomas and Saint John in the American Virgin Islands. They subsequently moved to Houston, Texas, where Nick taught geology at Rice University and he and Ailsa started their family. In 1966, after being at Rice for seven years, Nick and Ailsa moved north to Binghamton, New York, where Nick taught at the newly formed State University of New York (SUNY) at Binghamton until his retirement in 1996. His work as a geologist took him all over the world, including several deep-sea drilling projects aboard the Glomar Challenger, field studies in the Caribbean, Central America, and Venezuela, and sabbaticals in Canberra, Australia and Edinburgh, Scotland.

Although he spent his professional career as a geologist, his lifelong passion was the study of odonates (dragonflies and damselflies), and he spent his retirement as an entomologist. This led Nick and Ailsa— usually accompanied by one or more sons and/or their great friend John Michalski— to travel to remote places all over the world. Nick collected and described dozens of newly discovered species of odonates, and helped found the Dragonfly Society of the Americas. It wasn't until the Covid pandemic, when they were both in their late 80s, that Nick and Ailsa finally slowed down and stopped stomping through jungles collecting insects.

Nick is survived by his wife of nearly 69 years, Ailsa Donnelly, sons Andrew (Sarah) Donnelly, Malcolm



Donnelly, and Michael (Desirée) Donnelly, and grandchildren Colin Donnelly, Connor Donnelly, and Grace Donnelly. He was predeceased by his parents, Col. Charles H. and Jean Donnelly, sister Joan Donnelly, and son Colin Donnelly.

The family would like to thank the staff at the Good Shepherd Village skilled nursing facility and the staff at Guthrie Lourdes Hospital Hospice services for their help and advice during the last days of his life. A remembrance of Nick's life will be held at a later time. Arrangements are by Aegis Cremation and Funeral services 196 Clinton Street Binghamton New York.

Posted online on May 09, 2025

Published in Press & Sun-Bulletin

Publications at Researchgate:

<https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Thomas-W-Donnelly-2164400719>

Miscelanea de Imágenes



This full Moon, visible 10-11 June 2025, will be the lowest full Moon in the sky for nearly two decades: a phenomenon that won't occur again until 2043. June's full Moon is aptly named the Strawberry Moon as it aligns with the start of summer and the beginning of strawberry harvest season. It had clouds but then the "strawberry" made its appearance above the cloud deck low in the sky. Image by **Quinn Passey**.



Antecumbre del volcán Matlalcuéyetl (Malinche), Tlaxcala. Vista volteando hacia el arenal y antecumbre del volcán, después de descender del collado Norte entre el Pico Tlalchichihuahuetin y la cumbre. Foto por **Rafael Avalos Alejandro, 2022**.



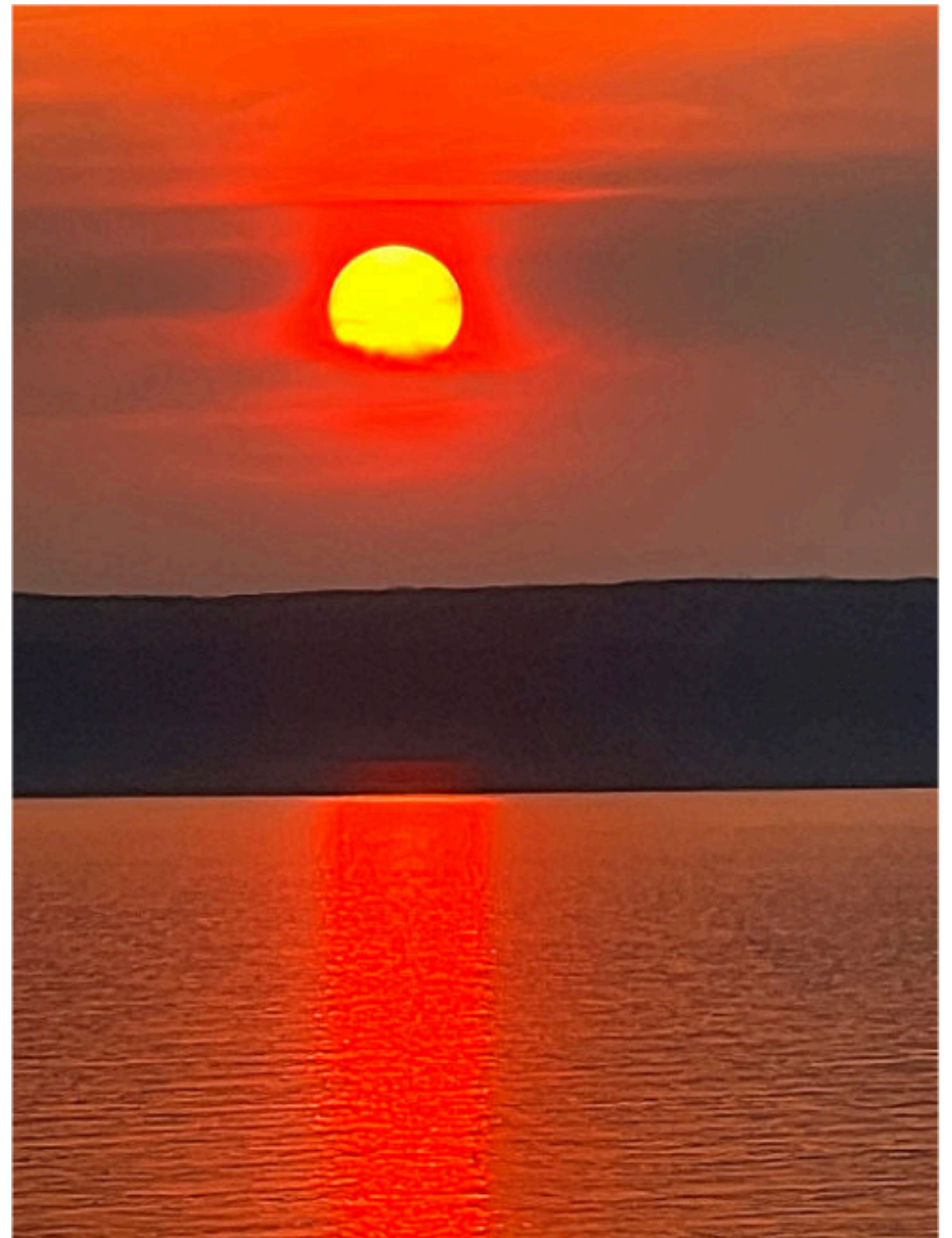
Árbol en Amecameca, Estado de México. Paisaje visto desde las faldas del volcán Iztaccíhuatl, volteando en dirección del pueblo de Amecameca. Foto por **Rafael Avalos Alejandro, 2023**.



Lancha flotando en la playa Anton Lizardo, Veracruz. Atardecer visto desde la playa Anton Lizardo volteando hacia el Puerto de Veracruz. Al fondo se observan los edificios de Boca del Río. Foto por **Rafael Avalos Alejandro, 2022.**



Saguaro National Park, Ciudad de Tucson, Arizona. Foto por **Claudio Bartolini, 2021.**



Sunset on Lake Superior; June 2025. Vivid colors are due to wildfire smoke from western Canada. Photo by **Dr. Joshua Rosenfeld.**

PUBLICACIONES

TESIS & RESÚMENES

Elizabeth Magaña Torres

Algoritmos de acoplamiento presión-velocidad para la modelación numérica de la transferencia de calor en 2D de un yacimiento geotérmico.

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: **Elizabeth Magaña Torres.**

Director de Tesis: *Dr. Efraín Gómez Arias.*

Resumen

La modelación numérica de los campos geotérmicos requiere de diversas herramientas computacionales y matemáticas para comprender su dinámica compleja. Los modelos numéricos permiten simular la interacción de los distintos procesos, como la convección del fluido (campo de velocidades), los campos de presión y temperatura, y el transporte de solutos, mediante el balance de masa y energía. En este trabajo se desarrolla una solución numérica para acoplar los campos de velocidad y presión involucrados en las ecuaciones de continuidad, momento y conservación de energía (temperatura) en un yacimiento geotérmico bidimensional. La metodología empleada se basa en el método de volumen finito (MVF) o método de volumen de control (MVC). La implementación computacional se realiza en lenguaje Fortran, acoplado a subrutinas en Python para la generación de gráficos que permiten visualizar los campos modelados de velocidad y temperatura en 2D. Para evaluar la funcionalidad del algoritmo, este fue aplicado al Campo Geotérmico Las Tres Vírgenes (CGLTV), donde se simuló 15 modelos distintos para estimar el campo de temperaturas, variando la permeabilidad y los valores y distribución de fuentes de calor asociadas a zonas de fallas. Los resultados mostraron que el modelo 13 presentó la mejor concordancia, con errores normalizados estimados a partir de temperaturas simuladas y las registradas en los pozos del CGLTV, obteniendo una distribución del porcentaje de error de $\pm 10\%$, lo que indica una precisión aceptable. El algoritmo es adecuado para su implementación bajo el concepto de un sistema cerrado (líquido dominante) en medio poroso, donde solo se considera la transferencia de calor entre el sistema y su entorno, sin intercambio de materia. El algoritmo se puede adaptar a otros campos geotérmicos y optimizarse al incorporar información nueva del sitio de estudio a modelar.

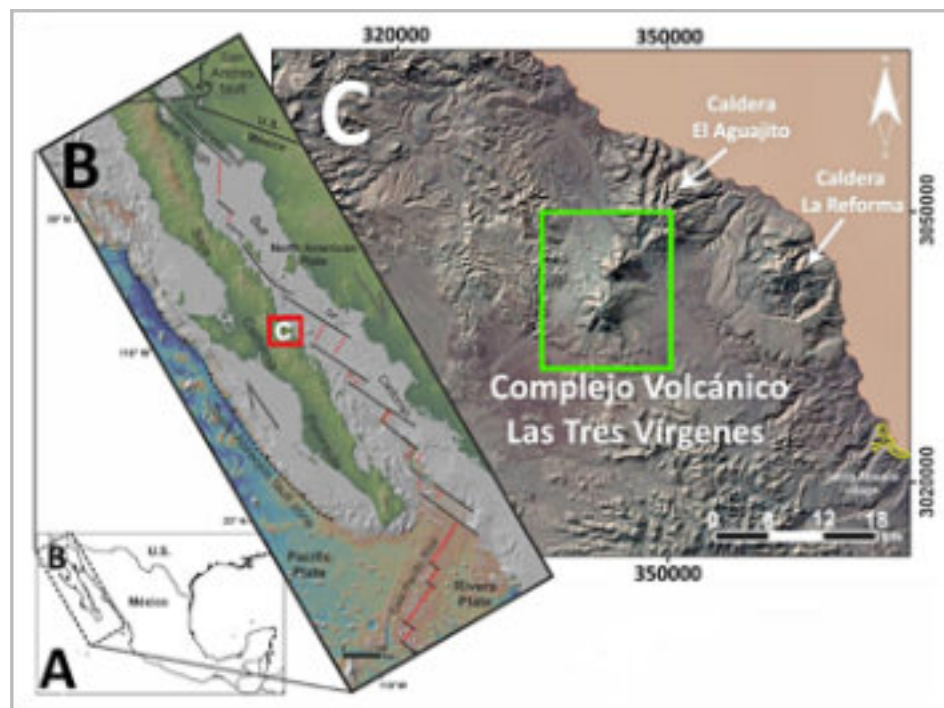


Figura 1.1. Mapa de localización del Complejo Volcánico Las Tres Vírgenes (Modificado de Sosa-Ceballos et al., 2019).

32

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/05/Villamil-2003.pdf>

Villamil, T., 2003, Regional hydrocarbon systems of Colombia and western Venezuela: Their origin, potential, and exploration, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, p. 697–734.

Regional Hydrocarbon Systems of Colombia and Western Venezuela: Their Origin, Potential, and Exploration

Tomas Villamil¹

ECOPETROL, Bogotá Colombia

ABSTRACT

This paper synthesizes technical, commercial, and strategic issues regarding the petroleum systems and exploration of the northwest corner of South America in three parts: a technical analysis of the presence and distribution of the hydrocarbon systems; analysis of the areas with the largest remaining potential; and Colombia's exploration strategy in relation to its geology and potential.

The technical portion outlines, with the use of countrywide paleogeographic maps, the main reasons for the presence and distribution of hydrocarbons in the region. Regional petroleum systems are described using a process and genesis methodology. The proposed hypothesis for source-rock quality and distribution combines regional plate tectonics with the formation of a large igneous province, global warming, increased upwelling, widespread anoxia-dysoxia, and sea-level rise. The hypothesis for reservoir distribution and quality comprises details of a regional orogenic event that affected the northwest margin of South America. The distribution of different reservoir qualities is determined by the erosion of an elongated mountain belt formed by this orogeny, the associated synorogenic sedimentation, and the evolution of a closing foreland basin that received sediments from the west from a mountain chain with varied basement stratigraphy, and from the east, sediments from the Guyana Shield. The explanation for regional seal deposition lies in the tectonic extension and foundering of large portions of Colombia and western Venezuela, the regional subsidence associated with diminished plate-tectonic convergence, and the associated increase of accommodation space. The inversion of the Eastern Cordillera and the development of doubly verging thrust belts bounding the mountain belt explain the formation of most traps. Adjacent forelands and foredeeps to the mountain belt and thick molasse packages combined with tectonic burial of the source rock explain

¹Present affiliation: Lukoil Overseas, Bogotá, Colombia.

GEOQUÍMICA AMBIENTAL DE LOS ISÓTOPOS ESTABLES DE ZINC

Alejandro Carrillo-Chávez^{1*}, Daniela K. Calvo-Ramos¹, Luisa F. Rueda-Garzón^{1,2}, Liliana Corona-Martínez¹, Carolina Muñoz-Torres¹ y Rocío García-Martínez³

¹Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, C.P. 76230, Querétaro, México.

²Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, C.P. 36000, Guanajuato, México

³Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

*ambiente@geociencias.unam.mx

RESUMEN

La geoquímica ambiental de los isótopos estables del zinc (Zn) es un campo de investigación relativamente nuevo que se centra en la comprensión de los ciclos geoquímico y biogeoquímico del Zn en los sistemas naturales, usando el fraccionamiento isotópico del Zn como trazador de diversos procesos. Los isótopos de Zn son sensibles a una amplia gama de condiciones ambientales, incluidos los cambios en los estados de oxidación, la absorción biológica y la meteorización mineral. Esto los convierte en herramientas valiosas para estudiar las influencias tanto naturales como antropogénicas en el medio ambiente. En general, el Zn es uno de los metales más usados por la industria, es esencial en procesos orgánicos metabólicos (incluidos los del ser humano) y es tóxico en altas concentraciones. Los isótopos de Zn se han utilizado para rastrear fuentes de contaminación en suelos y aguas, especialmente en zonas afectadas por actividades mineras y emisiones industriales, apoyando así las evaluaciones geoquímicas ambientales, y en las estrategias de remediación. La geoquímica de isótopos estables del Zn tiene implicaciones en varios campos de las geociencias, ciencias bioquímicas e incluso en las ciencias médicas. En este artículo se da información general de fuentes naturales de Zn, algunos de sus usos industriales, el Zn como elemento esencial en metabolismo orgánico y su toxicidad. El principal enfoque está centrado en analizar algunos procesos de fraccionamiento isotópico, explicar de manera general sus aplicaciones, definir las metodologías de preparación de muestras en laboratorio, así como los métodos analíticos modernos para medir el fraccionamiento isotópico del Zn, y finalmente presentar algunos datos preliminares de mediciones isotópicas de Zn de proyectos vigentes en Instituto de Geociencias-UNAM, Campus Juriquilla.

Palabras clave: Zinc, isótopos estables, fraccionamiento isotópico, columnas cromatográficas de separación, espectro de masas multicolector acoplado a plasma inducido (MC-ICP-MS, siglas en inglés).

ABSTRACT

Zinc (Zn) stable isotope environmental geochemistry is a relatively new field of research that focuses on understanding Zn's geochemical and biogeochemical cycling in natural systems, using Zn isotopic fractionation as a tracer for various processes. Zn isotopes are sensitive to various environmental conditions, including changes in oxidation states, biological uptake, and mineral weathering. This makes them valuable tools for studying both natural and anthropogenic influences on the environment. Zn is one of the most widely used metals in industry and is an essential metal in organic metabolic processes (including those in humans); it is toxic at high concentrations. Zn isotopes have been used to trace sources of contamination in soils and waters, especially in areas affected by mining activities and industrial emissions, thus supporting environmental geochemical assessments and remediation strategies. Zn stable isotope geochemistry has implications on different areas of geosciences, biochemical sciences, and even on medical sciences. This paper provides general information on natural sources of Zn, some of its industrial uses, Zn as an essential element in organic metabolism, and its toxicity. The main focus is to define some isotopic fractionation processes, explain their applications in a general way, define the sample preparation methodologies in the laboratory, as well as the modern analytical methods to measure Zn isotopic fractionation, and finally, present some preliminary data of Zn isotopic measurements from current projects at Instituto de Geociencias-UNAM, Campus Juriquilla.

Keywords: Zinc, stable isotopes, isotopic fractionation, separation chromatographic columns, multi-collector induced coupled plasma mass spectrometer (MC-ICP-MS).

38

Montes, C., P. A. Restrepo-Pace, and R. D. Hatcher Jr., 2003, Three-dimensional structure and kinematics of the Piedras-Girardot fold belt: Surface expression of transpressional deformation in the northern Andes, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*: AAPG Memoir 79, p. 849–873.

Three-dimensional Structure and Kinematics of the Piedras-Girardot Fold Belt: Surface Expression of Transpressional Deformation in the Northern Andes

Camilo Montes¹

Department of Geological Sciences, The University of Tennessee, Knoxville, TN, 37996-1410, U.S.A.

Pedro A. Restrepo-Pace²

600N Dairy Ashford, Houston, TX, 77079-1175, U.S.A.

Robert D. Hatcher Jr.

Department of Geological Sciences, The University of Tennessee, Knoxville, TN, 37996-1410, U.S.A.

ABSTRACT

This paper presents a new kinematic model for the structure and tectonic evolution of part of the northern Andes of Colombia based on detailed geologic mapping, strain analysis, seismic interpretation, and 3-D forward modeling. This model indicates that the oblique convergence vector imposed by the Caribbean Plate is not fully partitioned in space, but instead must be distributed in a diffuse zone of transpressional deformation spanning the Cordilleras Oriental and Central. The Piedras-Girardot fold belt, located between the two cordilleras, contains the termination of two regional scale structures of the northern Andes: the Ibagué fault and the Guaduas syncline. The Ibagué fault, with a minimum dextral displacement of 30 km, is the southern boundary of a rigid indenter that was inserted to the east-northeast, causing contrasting deformation styles in the Mesozoic sedimentary sequence to the east and to the south of it. South of the rigid indenter, a complex array of diverging north- to northeast-trending faults and folds delineate a sigmoidal stepover to the left with faults verging outwardly in opposite directions that define the Piedras-Girardot fold belt. The kinematics of deformation indicate that this fold belt is a dextral

¹Present affiliation: Institut Français du Pétrole, Rueil Malmaison, 92825, France.

²Present affiliation: Ecopetrol, Cll. 37 # 8-43, Bogotá, D.C., Colombia.



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of South American Earth Sciences

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

Leaching potential of heavy metals and metalloids in mining-impacted soils of central Mexico: Accelerated column tests and geochemical modeling

Luisa Fernanda Rueda-Garzón^a, Alejandro Carrillo-Chávez^{a,*}, Raúl Miranda-Avilés^b,
Maria Jesús Puy Alquiza^b, Gabriela Zanol^c, Margarita Ramírez-Ramírez^c,
Carolina Muñoz-Torres^a, Pooja Kshirsagar^b, Yanmei Li^b, Xu Liao^d,
Daniela Kristell Calvo-Ramos^a

^a Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, 76230, Querétaro, Mexico

^b Departamento de Minas Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Ex-Hacienda San Matías, 36020, Guanajuato, Mexico

^c Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Guanajuato, Carretera Irapuato-Silao km 9, Irapuato, Guanajuato, 36500, Mexico

^d Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Universidad de Guanajuato, Av. Juárez 77, Zona Centro, 36000, Guanajuato, Mexico

ARTICLE INFO

Keywords:

Soil contamination
Metal mobility
Weathering process
PHREEQC
Mexico

ABSTRACT

The Guanajuato mining district has been hosting mining operations for over 500 years. It was one of the most important Ag-Au producers in Mexico. Due to the naturally high concentration of heavy metals and metalloids (HM&Ms) and different mineral recovery methods employed over time, the region shows high levels of HM&Ms in stream sediments and soil, representing a potential environmental risk. This study aims to assess the HM&Ms concentration in soils and investigate the mobility and leaching potential of these in soils affected by mining activities in the Guanajuato River basin (GRB), using accelerated leaching column tests and geochemical modeling. The research employed X-ray diffraction and inductively coupled plasma optical emission spectroscopy for soil characterization and assessed the geochemical interactions using PHREEQC modeling. Soil samples exhibited Cu, Ni, Pb, and Zn levels exceeding the global soil averages, with contamination indices indicating moderate to significant contamination. Accelerated column leaching tests showed that soils in GRB have the potential to release Zn > Cu > Pb > Ni in low concentrations (<1 mg/L) due to the stability of mineral phases and alkaline pH. However, soil leachates can precipitate clays and oxyhydroxides, which, at alkaline conditions, enhance their retention capacity and control HM&Ms leachability. These findings highlight the importance of soil mineralogy, pH, time, and environmental interactions in the mobility, transport, and fate of HM&Ms within the basin. This understanding can inform strategies to reduce contaminant migration, mitigate environmental impacts, and guide practical remediation efforts in the basin.

1. Introduction

High heavy metal concentrations and metalloids (HM&Ms) characterize soils near mining zones. During the rainy season, leaching processes release HM&Ms into the water, posing risks to the environment and human health (Gałuszka et al., 2016; Lindig-Cisneros et al., 2021; Peña-Ortega et al., 2019; Quintanilla-Villanueva et al., 2020). Accelerated column leaching tests assess HM&Ms release and migration between the solid and the aqueous phase over time in a controlled laboratory setting, allowing the study of these processes on a shorter timescale than field conditions. Replicating natural heterogeneity of

field conditions is challenging and may lead to over or underestimation of HM&Ms mobility, though column tests still offer a more realistic evaluation compared to other methods (Li et al., 2016; Naka et al., 2016; Yasutaka et al., 2017). Acid eluents simulate accelerated weathering, offering insights into long-term environmental impacts and the effects of acidic precipitation. Nevertheless, this approach may also potentially overestimate leaching under natural conditions. Careful data interpretation and comparison with field data are crucial for accurately identifying contamination sources and assessing the mobility of HM&Ms in soils (Mizerna and Król, 2023; Wang et al., 2024; Yukselen and Gokyay, 2006). The mobility, transport, and fate of HM&Ms between solid and

* Corresponding author.

E-mail address: ambiente@geociencias.unam.mx (A. Carrillo-Chávez).

<https://doi.org/10.1016/j.james.2025.105414>

Received 10 December 2024; Received in revised form 6 February 2025; Accepted 10 February 2025

Available online 12 February 2025

0895-9811/© 2025 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/05/Flinch-2003.pdf>

35

Flinch, J. F., 2003, Structural evolution of the Sinu-Lower Magdalena area (Northern Colombia), in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 776–796.

Structural Evolution of the Sinu-Lower Magdalena Area (Northern Colombia)

J. F. Flinch

Total Exploration and Production, Centre Scientifique et Technique Jean Feger, Pau, France

ABSTRACT

The Lower Magdalena Valley of northern Colombia can be subdivided into two very distinct structural provinces separated by the Romeral fault system. The Sinu–San Jacinto Province, located west of the Romeral fault, is a Paleocene to Oligocene accretionary wedge floored by Cretaceous oceanic crust. The Plato–San Jorge Basin is a back-arc basin filled by Oligocene to Pliocene sediments. The basin is structured into several northwest-southeast-trending structural highs and lows controlled by transtensional and transpressional faults that evolved through geologic time. The basement of the Plato–San Jorge Basin is a Paleozoic metamorphosed oceanic crust. Paleocene-Eocene siliciclastic series including shale, sandstone, and mostly conglomerate and breccia unconformably overlie the basement close to the Romeral fault. A widespread deltaic sandy section referred to as Ciénaga de Oro Formation overlies this section. The Ciénaga de Oro sandstone (locally, “Cicuco Limestone”) represents the main reservoir of the area and is overlain by deep-water shale with interbedded sandstone (i.e., Porquero Formation).

The Sinu–San Jacinto area is the onshore part of the northern Colombia accretionary prism, related to the subduction of the Caribbean Plate underneath the South American Plate. The onshore part of the wedge is dominated by west-vergent imbricates involving Cretaceous oceanic crust (Cretaceous ophiolitic series) and Cretaceous to Oligocene sediments. The Cretaceous sedimentary section (i.e., Cansona Formation) consists of organic-rich shale, limestone, and chert. The Paleocene-Eocene section consists of deep-water shale and turbiditic sandstone, except in the Tolú area where it is made up of shallow-water sandstone, conglomerate, and reef limestone (La Risa Reef). The Miocene section is composed mostly of flysch-type deposits (i.e., Floresanto Flysch), which can be reservoir rock.

Seismic and geologic data suggest that the Romeral fault is a major strike-slip fault that offsets the obduction suture.

REGIONAL SETTING

The Sinu–Lower Magdalena area is located along the intersection between the Central America (Pan-

ama) and southern Caribbean accretionary wedges (Figure 1). The offshore northern Colombia basin is floored by a 4- to 8-km-thick crust of the Caribbean Oceanic Plateau (Bowland, 1993; Van der Hilst and

GUÍA GEOLÓGICA DE EXCURSIÓN DE CAMPO (ASCENSO) AL VOLCÁN CITLALTÉPETL (PICO DE ORIZABA, RUTA CARA NORTE - GLACIAR DE JAMAPA)

Alejandro Carrillo-Chávez^{1*}, Victor Soto², Gerardo Carrasco-Núñez¹, Lorenzo Vazquez-Selem³, Luisa Fernanda Rueda-Garzon¹ y Daniela Kristell Calvo-Ramos¹

¹Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla, Boulevard Juriquilla 3001, Juriquilla, C. P. 76230, Querétaro, Querétaro, México.

²Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N, Col. Zona Universitaria, C.P. 91090. Xalapa, Veracruz, México.

³Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C. P. 04510, Ciudad de México, México.

*ambiente@geociencias.unam.mx; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3452-0576>

RESUMEN

Una de las rutas de turismo de montaña más visitada en México es la de ascenso al volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba por su cara norte, Glaciar de Jamapa. En el presente trabajo se expone una breve descripción del registro geológico expresado en sus tipos de rocas y materiales volcánicos, su historia volcánica, los tres eventos de formación del cono volcánico, la cronología glaciar (historia de los glaciares evidenciada por depósitos y geoformas glaciares), los procesos paraglaciar actuales, como el deshielo y procesos periglaciares, y el impacto de las actividades industriales en las concentraciones de metales pesados y otros contaminantes potenciales contenidos en el hielo y nieve glaciar (glaciología química). El propósito de esta guía es hacer más aleccionadora y agradable la excursión de ascenso a la montaña a través del conocimiento de algunos datos geológico-geográficos importantes. Con esta base, el objetivo es invitar a todas las personas, experimentadas o sin experiencia en montañismo, a disfrutar y cuidar el entorno y a tener una idea clara de la geología y la geografía de este hermoso parque nacional.

Palabras clave: Citlaltépetl, Glaciar de Jamapa, cronología glaciar, glaciología física, glaciología química, excursión geológica de campo.

ABSTRACT

One of Mexico's most visited mountain tourism routes is the ascent of the Citlaltépetl or Pico de Orizaba volcano on its north face, Glaciar de Jamapa. A brief description of the geological record is presented in terms of rock types and volcanic materials, volcanic history, three volcanic cone formation events, glacial chronology (glacial history as evidenced by glacial deposits and geoforms), current paraglacial processes, such as melting and periglacial processes, and the impact of industrial activities on the concentrations of heavy metals and other potential contaminants contained in glacial ice and snow (chemical glaciology). This guide aims to make the excursion up the mountain more enlightening and enjoyable by providing some important geological-geographical data. On this basis, the objective is to invite all people, experienced or inexperienced in mountaineering, to enjoy and take care of the environment and to have a clear idea of the geology and geography of this beautiful national park.

Keywords: Citlaltépetl, Jamapa Glacier, glacial chronology, physical glaciology, chemical glaciology, geological field trip.

Carrillo-Chávez, A., Soto, V., Carrasco-Núñez, G., Vazquez-Salem, L., Rueda-Garzon, L. F. y Calvo-Ramos, D. K. (2025). Guía geológica de excursión de campo (ascenso) al volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba, ruta cara norte - Glaciar de Jamapa). *Enseñanza y Comunicación de las Geociencias*, v. 4, núm. 1, p. 134-145. DOI: <https://doi.org/10.22201/cgeo.29928087e.2025.4.1.81>

ECG | vol. 4 | núm. 1

<http://encomunicacionct.geociencias.unam.mx>

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/05/Jacome-et-al.-2003.pdf>

33

Jacome, M. I., N. Kuszniir, F. Audemard, and S. Flint, 2003, Tectono-stratigraphic evolution of the Maturin Foreland Basin: Eastern Venezuela, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79*, p. 735–749.

Tectono-stratigraphic Evolution of the Maturin Foreland Basin: Eastern Venezuela

Maria I. Jacome

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Ciencias de la Tierra, Baruta, Edo. Miranda, Venezuela

Nick Kuszniir

University of Liverpool, Department of Earth Sciences, Liverpool, U.K.

Felipe Audemard

Petróleos de Venezuela (PDVSA) Exploración y Producción, Caracas, Venezuela

Steve Flint

University of Liverpool, Department of Earth Sciences, Liverpool, U.K.

ABSTRACT

New regional interpretation of approximately 2000 km of seismic profiles constrained with more than 20 wells evenly located in the Maturín Foreland Basin in Eastern Venezuela show an extremely thick foreland sediment accumulation, varying from 7 km in the west to 10 km in the east. The interpretation also demonstrates that the total shortening in the seismically imaged portion of the Monagas Foothills and Foreland Thrust Belt decreases from the west (50 km) to the east (35 km), showing no direct relationship between shortening and sediment accumulation. Depth-converted isopach maps show large thicknesses of middle Miocene, Pliocene, and Pleistocene sediments, which is indicative of different episodes of tectonically controlled subsidence. Maximum tectonic-subsidence rates, calculated from decompacted isopach maps, are higher during the Pleistocene (2875 m/Ma) than during the middle Miocene (1260 m/Ma) and Pliocene (1243 m/Ma). Three large depocenters were identified from west (thinnest) to east (thickest), which migrated from northwest (adjacent to the Serranía Thrust Belt) in the middle Miocene to southeast in the present. The thickest Pliocene and Pleistocene depocenters, located in the eastern part of the basin, are not related to thrust-sheet loading, as evidenced by the lack of major active thrust in this area during this time. This shows that the continental lithosphere has subsided by a greater magnitude in the eastern part of the basin than in adjacent areas. Subduction loading associated with the subduction of the South American Continental Plate under the Caribbean could have generated additional subsidence in the Maturín Basin. This is supported by gravity anomaly

METODOLOGÍA DE EXPLORACIÓN DE RECURSOS GEOTÉRMICOS DE ALTA ENTALPÍA

Eduardo González-Partida^{1*}, Joseph Madondo¹, Sumit Mishra¹, Alejandro Carrillo-Chávez¹, Sanjeet Kumar-Verma², Yañez Dávila³ y Kailasa Pandarinath³

¹Laboratorio de Yacimientos Minerales, Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla, Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, C.P. 76230, Querétaro, México.

²División de Geociencias Aplicadas, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4a Sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, México.

³Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Privada Xochicalco-S/N, Centro, C.P. 62580 Temixco, Morelos, México.

*egp@geociencias.unam.mx

RESUMEN

La geotermia es la energía calorífica que la Tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre. Se denomina “recurso geotérmico” a la porción del calor desprendido desde el interior de la Tierra que puede ser aprovechado por el hombre en condiciones técnicas y económicas para la generación de electricidad y usos directos. Las condiciones básicas para la existencia de un yacimiento geotérmico convencional son: la presencia de un foco de calor activo, una roca permeable que funcione como almacén, agua subterránea y una cobertura o capa sello que mantenga las condiciones de presión y temperatura del yacimiento. Este trabajo presenta de manera sintética la metodología de estudio de un yacimiento convencional, la cual consta de dos etapas: 1) reconocimiento preliminar (que consiste en la evaluación de los recursos geotérmicos susceptibles de ser aprovechados) y 2) estudio de prefactibilidad (la etapa más importante) que involucra estudios detallados de geología, geoquímica, geofísica, hidrogeología, impacto ambiental y perforaciones someras. El objetivo general del estudio de prefactibilidad consiste en obtener un modelo preliminar de la zona geotérmica, el cual deberá aportar información sobre la naturaleza, ubicación y dimensión estimada de la fuente de calor, presencia y características de la cobertura o capa sello, extensión del área y profundidad del posible yacimiento (roca almacén), sistema de circulación hídrica, zonas de recarga y definición de las características fisicoquímicas del fluido geotérmico.

Palabras clave: Geotermia, exploración, geología, geoquímica, geofísica, hidrogeología.

ABSTRACT

Geothermal energy is the heat energy the Earth transmits from its inner layers to the outermost part of its crust. The term "geothermal resource" refers to the portion of heat released from the Earth's interior that can be exploited by man under technical and economic conditions, basically for electricity generation and direct utilization. The basic conditions for the existence of a geothermal reservoir are the presence of an active heat source, a permeable rock with groundwater, and a cover or seal that prevents the escape of the fluid. The study methodology consists of two stages: 1) Preliminary Reconnaissance (evaluation of the geothermal resources susceptible to be exploited), and 2) Prefeasibility Study (the most important) involving detailed studies of geology, geochemistry, geophysics, hydrogeology, environmental impact, and shallow drilling. The general objective of the prefeasibility study is to obtain a preliminary model of the geothermal area, which should provide information on the following aspects: nature, location, and estimated size of the heat source, presence and characteristics of the cover or seal layer, an extension of the area and depth of the possible reservoir (storage rock), water circulation system, recharge zones, and definition of the underlying basin and the physicochemical characteristics of the geothermal fluid.

Keywords: Geothermal, geology, exploration, geochemistry, geophysics, hydrogeology.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981124000622>



Three-stage, 70 Myr exhumation of HP/LT rocks on Margarita, Venezuela: Caribbean intra-forearc shear, Grenada Basin rifting, and continental obduction

Walter V. Maresch^{a,*}, James Pindell^{b,c}, Rolf Kluge^{d,e}, Albrecht Baumann^d, Diego Villágozmez Díaz^{b,f}, Manfred R. Brix^g, Stuart N. Thomson^h, Klaus Peter Stanek^b, Hans-Peter Schertl^g, Friedemann Grafe^{d,i}

^aInstitute of Geology, Mineralogy & Geophysics, Ruhr-University Bochum, 44780, Bochum, Germany

^bTicinus Analytic Ltd, Chestnut House, Broom Park, Dunoon, West Dunbartonshire, G82 8EJ, UK

^cDepartment of Earth, Environmental, and Planetary Sciences, Rice University, 6100 Main Street, Houston, TX, 77005, USA

^dInstitute of Mineralogy, Münster University, Corrensstrasse 24, 48149, Münster, Germany

^eAQUANTA Hydrogeologie GmbH & Co. KG, Wilsenstraße 2-4, 45711, Datteln, Germany

^fGeosera Ltd, Rue de Lussane 678, 1202, Geneva, Switzerland

^gDepartment of Geosciences, University of Arizona, Tucson, AZ, 85721, USA

^hInstitute of Geology, TU Bergakademie Freiberg, 09599, Freiberg, Germany

ⁱSächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Pflanzhof Platz, 80120, Dresden, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:
Caribbean
Margarita Island
HP/LT multi-stage exhumation
Intra-arc rifting
Grenada basin
Tectonic unroofing

ABSTRACT

The La Rinconada Terrane comprises the core of Margarita Island, Venezuela; it is a composite unit composed of rocks of both continental and oceanic affinity that were brought together and metamorphosed at high-pressure and low- to medium-temperature conditions in a collision zone along NW South America in Albian to Cenomanian time. Details of the ensuing three-stage exhumation path and concomitant eastward translation until Miocene oblique collision of Margarita with central and eastern Venezuela have remained the subject of discussion. In this paper we integrate the results of published age dating and the details of extensive Rb-Sr, K-Ar, ⁴⁰Ar/³⁹Ar and fission track dating that have been only superficially presented to date. Initial exhumation from high-pressure conditions into ductile mid-crustal levels occurred at 90–80 Ma, followed by essentially isobaric, isothermal conditions for ca. 30 Myr during which the La Rinconada Terrane was subjected to continued ductile penetrative shearing and recrystallization. Partial to total recrystallization with concomitant partial to total isotopic re-equilibration, especially of quartz-rich rocks, was widespread during this time interval. The youngest Rb-Sr, K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages cluster at ca. 50 Ma. Zircon fission track ages of 50–40 Ma corroborate exhumation into brittle levels of the crust at this time. An apatite fission track age of 23 Ma indicates the attainment of shallow depths in Miocene time. This discontinuous history of exhumation fits tectonic models of the Caribbean well. As the Caribbean Plate led by the Antilles Arc entered the gap between the Americas, strongly dextral, transpressive subduction in the SE Caribbean drove shear deep within the forearc. The La Rinconada Terrane of Margarita was exhumed to mid-crustal depths in the Late Cretaceous and is suggested to have occupied high-angle forearc shear zones above the primary Benioff Plane. As the arc migrated past the Guajira promontory and became extensional due to roll-back of Proto-Caribbean oceanic crust north of the Falcón re-entrant of the South American margin, the La Rinconada Terrane formed the footwall of an Eocene lithospheric rift that opened by late Eocene into the Grenada (oceanic intra-arc) Basin, effecting exhumation into the brittle crust. The progressive obduction of the SE Caribbean Plate onto the South American continental margin during prolonged dextral oblique collision completed most of Margarita's exhumation history by middle Miocene time (17–12 Ma).

* Corresponding author. Institute of Geology, Mineralogy & Geophysics, Ruhr-University Bochum, 44780, Bochum, Germany.
E-mail address: walter.maresch@rub.de (W.V. Maresch).

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104840>

Received 15 September 2023; Received in revised form 14 February 2024; Accepted 15 February 2024

Available online 21 February 2024

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

<https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/05/Novoa-et-al.-2003.pdf>

36

Novoa, E., A. Gonzalez, C. Zambrano, C. Fintina, and O. Gallango, 2003, The petroleum system of the Rubio area, Mérida Andes, Venezuela, in C. Bartolini, R. T. Buffler, and J. Blickwede, eds., The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG Memoir 79, p. 797-814.

The Petroleum System of the Rubio Area, Mérida Andes, Venezuela

Enrique Novoa

PDVSA-INTEVEP, Los Teques, Estado Miranda, Venezuela

Angel Gonzalez

Gerencia Exploración, Producción y Mejoramiento, Caracas, Venezuela

Carmen Zambrano

PDVSA-INTEVEP, Los Teques, Estado Miranda, Venezuela

Claudia Fintina

PDVSA-INTEVEP, Los Teques, Estado Miranda, Venezuela

Oswaldo Gallango

PDVSA-INTEVEP, Los Teques, Estado Miranda, Venezuela

ABSTRACT

Integrated studies of the hydrocarbon system in frontier areas are important to assess exploration risk. The Rubio block located in the Táchira Depression has been the focus of various geological studies, yet very few studies of its petroleum system have been published. Based on seismic, surface geologic, and geochemical data, a study of the petroleum system has been developed.

We have identified, based on quality limited seismic and surface data, at least three major periods of deformation in the study area, ranging from the Upper Cretaceous to the present. The first event is of Late Cretaceous age and is characterized by compression. The second period is characterized by extension and took place at least during the Paleocene. Both events may be related to the development of the Colombian Central Cordillera and the flexure caused by its tectonic load, which affected western Venezuela from the Upper Cretaceous to the Paleocene. The third event is characterized by compression that has occurred quite recently, and it may be associated with the development of the Mérida Andes. This last event is responsible for the development of the major structures in the Rubio block. It is worth noting that western Venezuela also was affected by a Jurassic extensional event that is not illuminated by the seismic data of the study area but has been amply shown in both surface and seismic data in the surrounding areas.

According to the 1-D and 2-D geochemical modeling results, we propose that maturity of the source rock (the La Luna Formation) is greater to the west than to the east. Hydrocarbon expulsion from the source rock started in the

Correlación temporal de cobertura de bosque de manglar con variables ambientales en El Palmar Yucatán.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFÍA Y GEOMÁTICA

“ING. JORGE L. TAMAYO”, A.C. MÉXICO

Tesis que para obtener el grado de Maestro en Geomática. 2017.

Sustentante: **Cesáreo Ruiz Escamilla.**

Director de Tesis: *Dr. José Luis Silván Cárdenas.*

Resumen.

El análisis del comportamiento del bosque de manglar frente a la variabilidad climática constituye un paso necesario en el conocimiento para el diseño de planes de manejo y conservación. En este trabajo se analizaron cuatro variables ambientales y su correlación con la cobertura de bosque de manglar en la reserva estatal El Palmar, Yucatán y zona aledaña sin esquema histórico de protección a lo largo de once años (de 2004 a 2014). Las variables ambientales incluidas en el trabajo son: precipitación, temperatura superficial del mar, anomalía del nivel del mar y velocidad del viento a los diez metros de altura. Los datos ambientales provienen de diferentes satélites meteorológicos y fueron obtenidos de los diferentes Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) de la NOAA por lo que su método de adquisición y distribución es variado pero la calidad de los mismos es asegurada. Se utilizaron dos escalas espaciales, meso- α que comprende un rectángulo de 5 grados de longitud por 4 de latitud y meso- β delimitada por un cuadrado de un grado de lado alrededor de la zona de estudio, para analizar las relaciones entre los datos climáticos y la cobertura de manglar y poder así diferenciar si la escala influye en el estudio realizado. La cobertura vegetal se analizó a partir de un trabajo previo y se complementó la información usando modelación de cadenas de Markov para predecir las coberturas en cuatro años carentes de información. Se realizó un análisis exploratorio de datos, se obtuvieron las estadísticas básicas como la media, varianza y desviación estándar de los datos y se generaron series de tiempo para cada una de las variables ambientales. Se realizaron dos análisis de correlación, el primero entre la media anual de cada una de las variables ambientales en toda la zona de estudio a ambas escalas y la cobertura de bosque de manglar. El segundo se construyó entre cada pixel de datos de cada una de las variables ambientales y la cobertura de bosque de manglar. Como resultado del primer estudio de correlación se obtuvieron diagramas de dispersión y tablas de datos. Se encontró que a mesoescala alfa hay correlación del bosque de manglar con la temperatura ($\rho = 0.75$, $p = 0.01$) y con la velocidad del viento ($\rho = 0.78$, $p = 0.007$) mientras que a mesoescala beta sólo se encontró correlación con la velocidad del viento ($\rho = 0.809$, $p = 0.004$). En el segundo estudio de correlación se generaron mapas de correlación en cuyos pixeles se toman los valores de -1 a 1 que corresponden al coeficiente de correlación de Spearman entre el promedio anual de cada variable ambiental en cada rejilla de datos y la cobertura de bosque de manglar, identificando de esta forma las regiones que pixel a pixel tienen mayor correlación con la dinámica del manglar en la reserva estatal El Palmar. Se aprecia que las escalas utilizadas en el análisis y la utilización de información ambiental proveniente de diferentes sensores proporcionaron elementos estadísticos para aproximar cuáles son las variables ambientales que pueden ser los principales agentes de cambio en la cobertura de bosque de manglar.

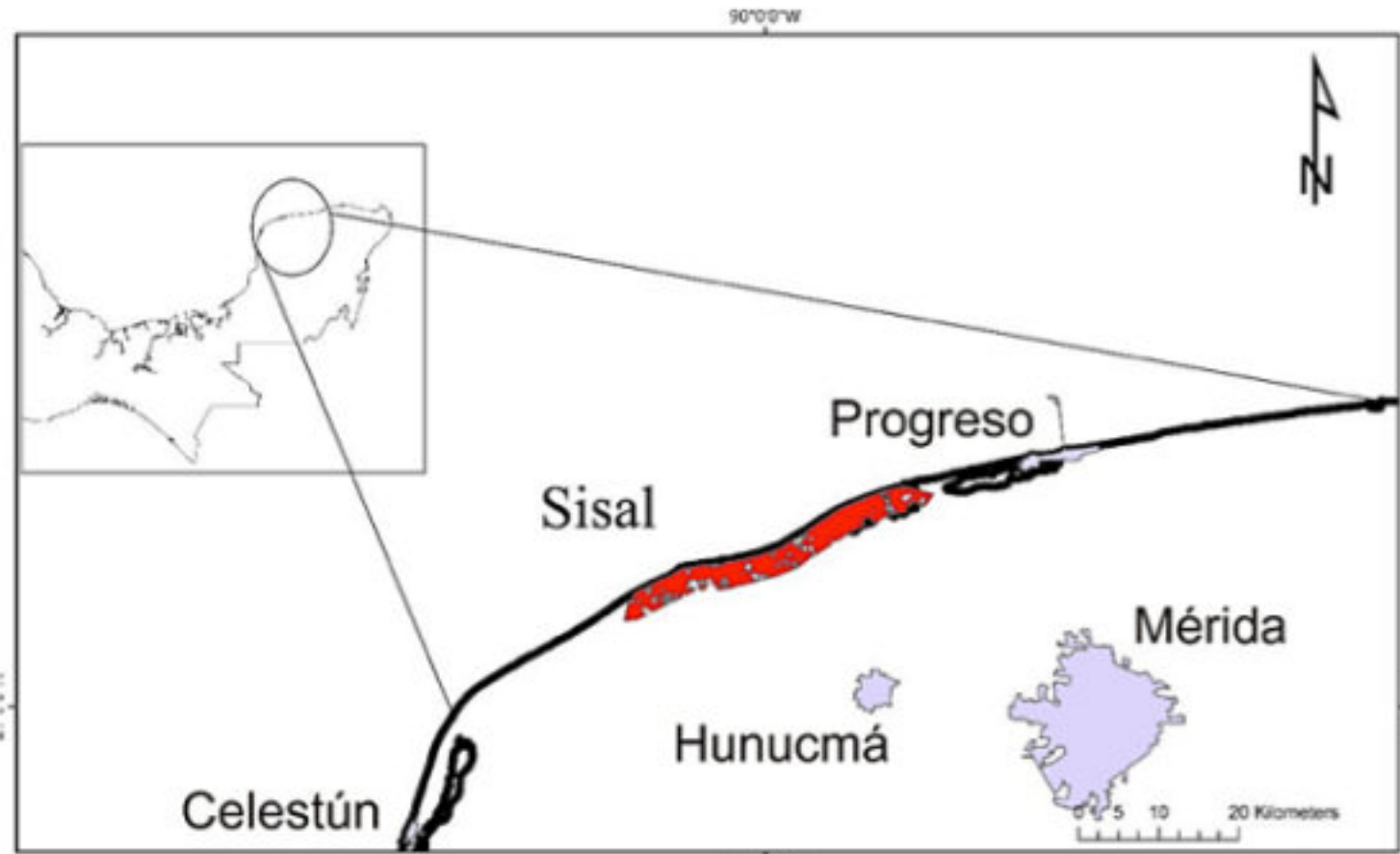
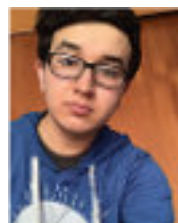


Figura 1.1. Localización del área de estudio en la costa noroeste del Estado de Yucatán, elaboración propia con datos de Erick Barrera (2016).

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



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

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

diegogabriel807@gmail.com

El libro recomendado

<https://drive.google.com/file/d/1ndICwZHAbQ-W1lobz0-PwAILPIXBlg87/view?usp=drivesdk>



El libro recomendado

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/18540>



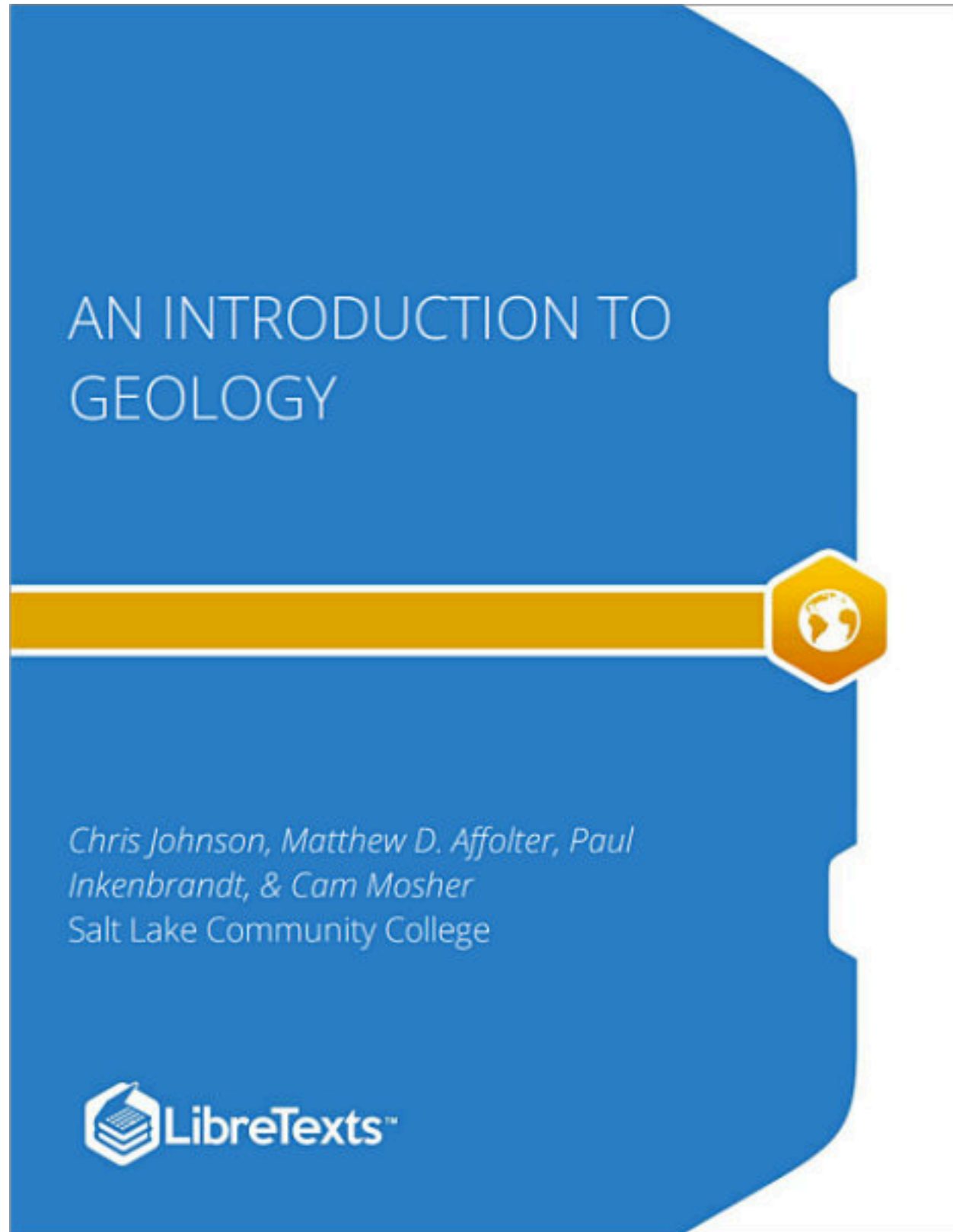
El libro recomendado

https://www.ign.es/web/resources/acercaDe/libDigPub/Historia_de_la_cartografia.pdf



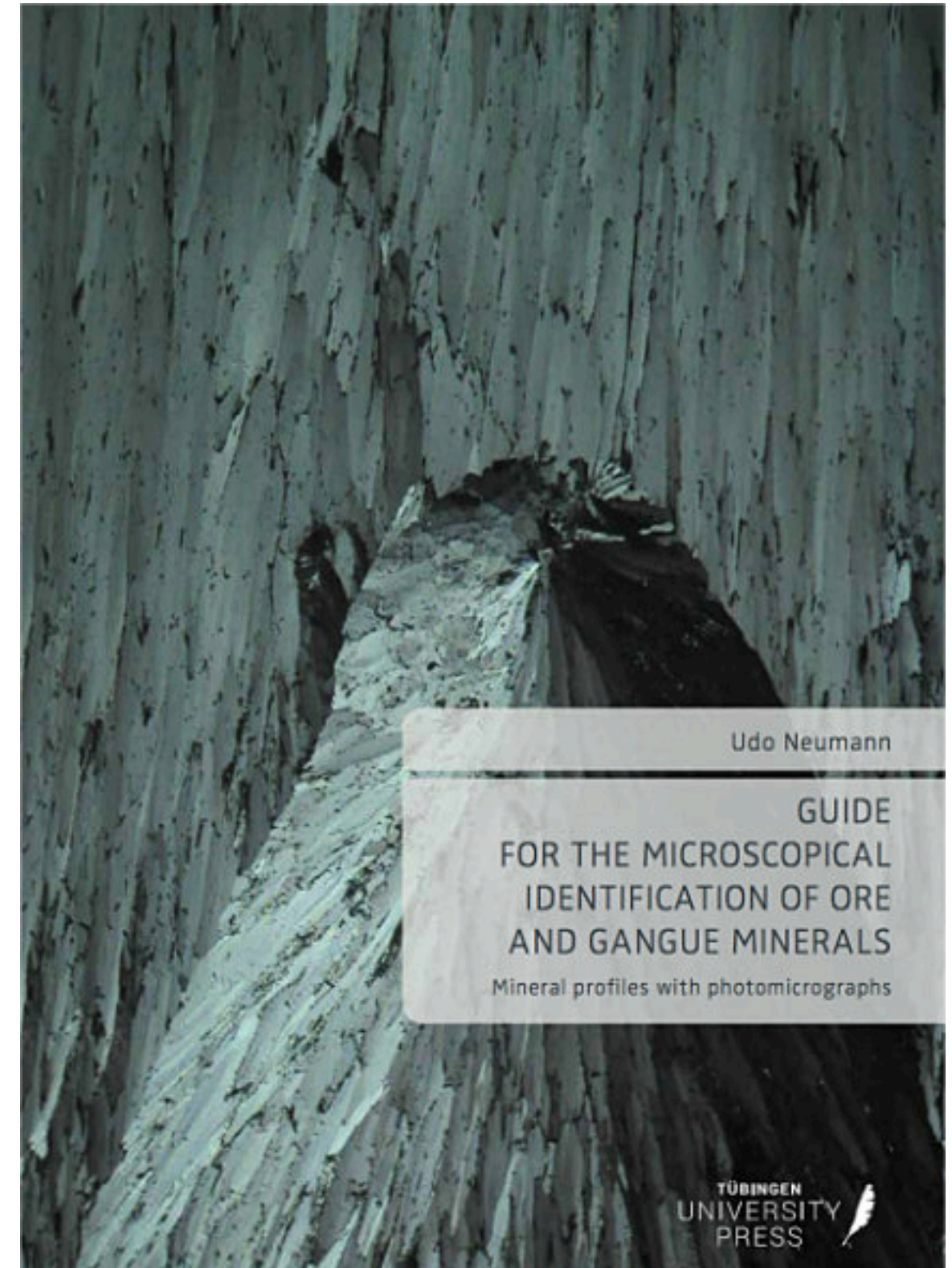
El libro recomendado

<https://peachv.org/images/Science-1/GeologyIntroductionJohnson.pdf>

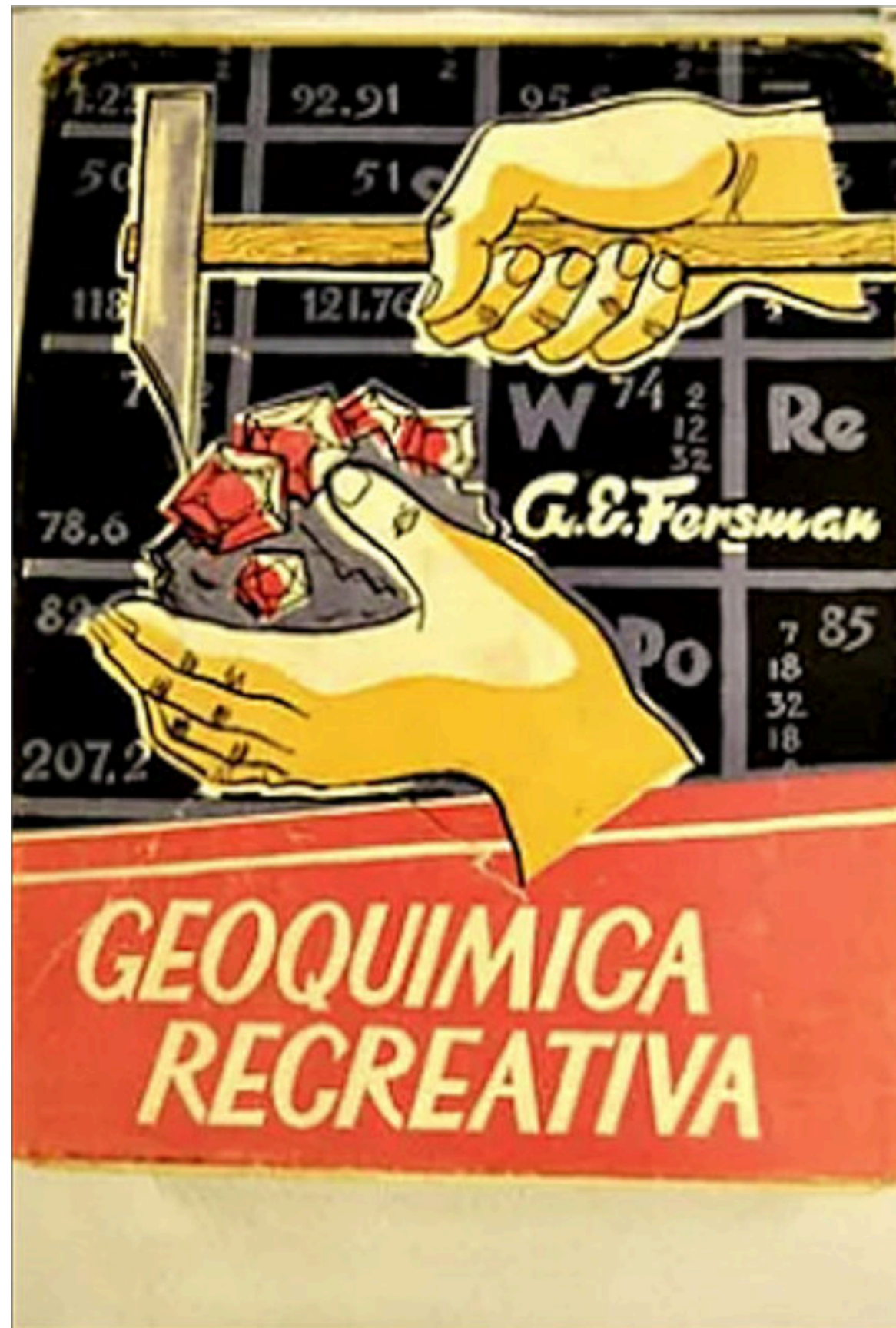


El libro recomendado

[file:///Users/claudiobartolini/Downloads/
Neumann,%20Guide%20for%20the%20microscopical%20-%20OA.pdf](file:///Users/claudiobartolini/Downloads/Neumann,%20Guide%20for%20the%20microscopical%20-%20OA.pdf)



<https://infogeologia.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/09/fersman-geoquimica-recreativa-ebook-geologia-quimica2.pdf>



“Porque los clásicos nunca pasan de moda”

Presenta: **Dra. Norma Elizabeth Olvera Fuentes**

Colaboradora de la Revista Maya

Libro recomendado: *Geoquímica recreativa* de Alexandr Fersman.

Si bien esta obra salió a la luz en 1948, a sus 77 años su lectura es más fresca que nunca. En 1946, en tiempos de posguerra, la Editorial MIR publicó libros de investigadores, científicos y divulgadores de la entonces Unión Soviética. La calidad de las obras abarcó áreas como matemáticas, física, química, biología, psicología, ingeniería, tecnología y humanidades, brindando material de gran nivel para la formación de nuevos científicos alrededor del mundo. Publicados originalmente en ruso, estos libros fueron traducidos a numerosos idiomas, entre ellos el español, lo que les abrió un amplio campo de influencia en España y América Latina.

Al día de hoy, y tras la desaparición de la URSS, estos libros aún pueden conseguirse de segunda mano. Entre los títulos que he tenido oportunidad de leer —y que van en línea con el espíritu de esta revista—, destaco el libro *Geoquímica recreativa* de Alexandr Fersman. Por cierto, la colección de libros que llevaban en su título la palabra “recreativa” incluye obras entrañables como *Física recreativa* de Yakov Perelman y otras muy valiosas en matemáticas.

El académico y autor de este libro recomendado, Alexandr Fersman (1883–1945), fue un científico clave en la construcción de la geoquímica. Como se indica en el Prefacio a esta obra, “El académico Fersman es conocidísimo como eminente mineralogista, geoquímico y geógrafo, como investigador perseverante de las riquezas minerales de la URSS, viajero infatigable, brillante escritor y divulgador de las ciencias geológicas”.

Ante la desolación dejada por la Segunda Guerra Mundial, la URSS apostó por invertir en la formación de científicos y tecnólogos de alto nivel. En esta obra, Fersman propone la creación de una nueva rama de la ciencia geológica: la geoquímica, con el objetivo de estudiar los procesos químicos indisolublemente ligados a los procesos geológicos y, en particular, a las transformaciones de las sustancias en la corteza terrestre. Este libro pone de manifiesto la importancia de la geoquímica para la economía y la cultura de cualquier país.

En la primera parte se discute la teoría atómica de la materia: se presenta de forma amena el sistema periódico de Mendeléiev, la estructura del átomo, así como los elementos radiactivos. La segunda parte está dedicada al análisis de los elementos geoquímicos en la naturaleza —silicio, carbono, fósforo, azufre, calcio, entre muchos otros—, así como su incorporación en los procesos que dan vida y que en particular nos sustentan. La obra se despliega no solo desde la química, sino también desde la historia, hasta concluir con el aluminio (el metal del siglo XX) y el prometedor berilio. La prosa de Fersman, científica pero con alma de poeta, se expresa así sobre el vanadio, encontrado en nuestro amada nación, México:

“Encuentra su ‘tranquilidad’ sólo en las latitudes meridionales, donde hay mucho oxígeno en el aire y se descomponen las vetas de rocas sulfurosas. En las ardientes arenas de Rodesia y en su patria, en el México inundado de sol, entre agaves y cactus, crea caperuzas ferruginosas pardo amarillentas, montículos pardos, como cascos de guerrero, que recubren los afloramientos de rocas sulfurosas.” (pág. 249)

Estimado lector, dígame si esto no es poesía pura.

Aunado a una colección de numerosas fotografías e ilustraciones que complementan mágicamente el texto, este libro muestra imágenes de geoquímicos en salidas de campo, como las que retratan el estudio de afloramientos en la cuenca de Kara-Shor, en Turkmenia, hoy conocida como Turkmenistán, en Asia Central. La importancia del conocimiento geológico está presente en todo el libro: desde su aplicación en fábricas metalúrgicas hasta la industria automotriz. Su lectura te transportará en el tiempo a los años del nacimiento de una nueva rama de la geología.

En la tercera parte, se narra la historia del átomo en la naturaleza, comenzando por los meteoritos. Esta sección incluye una ilustración de Humboldt y Bonpland observando una lluvia meteórica en América del Sur en 1799, así como una imagen del meteorito que, tras atravesar un techo y un toldo, aterrizó finalmente en el asiento de un coche en 1938. A ello le sigue una amplia discusión sobre los átomos en la superficie terrestre, desde el Ártico hasta los subtrópicos, y su presencia en la célula a lo largo de la historia de la vida en el planeta.

Finalmente, la cuarta parte está dedicada al pasado y futuro de la geoquímica. Se explora el legado de los académicos Vladimir Vernadski (1863–1945) y el propio Alexandr Fersman en la fundación de la escuela rusa de geoquímicos. Se discute la interrelación de la geoquímica con otras disciplinas cercanas, como la cristalografía, astrofísica, física, geofísica, mineralogía, petrología, metalurgia, astroquímica, fisicoquímica, biología, agrología, geología, geografía y tecnología.

Y como ejemplo de obra completa y autónoma, el libro incluye una valiosa sección con consejos para geoquímicos de campo, muchos de los cuales siguen siendo vigentes. También contiene notas breves sobre elementos químicos clave y un glosario con los términos técnicos empleados, lo que permite consultar cualquier duda sin necesidad de recurrir a otras fuentes externas.

El libro recomendado

<https://www.todoenlibros.com/dinosaurios-reptiles-y-peces-del-caribe-y-sus-costas>



¿Cómo era la vida en el Caribe durante la era mesozoica? ¿Qué animales habitaban sus paisajes? ¿Quiénes eran sus depredadores? ¿Por qué se extinguieron? Este libro responde estas preguntas y muchas más, llevándote en un viaje alucinante a través del tiempo. Acompañado de impresionantes ilustraciones, esta lectura te sumergirá en el maravilloso mundo del Caribe primitivo y desvelará los secretos de su pasado, desde la geografía hasta la conservación de sus fósiles.

TEMAS DE INTERÉS

Sostenibilidad en la transición energética. Acidificación de los océanos, el CO₂ amenaza nuestros mares.

Natalia Silva Cruz
Colaboradora de la Revista

Uno de los impactos más relevantes de la concentración de CO₂ en la atmósfera es irónicamente uno de los menos perceptibles para nuestra escala: la acidificación de los océanos. Se estima que el 31% del dióxido de carbono emitido es absorbido por los mares¹, y uno de sus efectos más directos es el cambio químico de los océanos: el pH en épocas preindustriales se ubicaba en aproximadamente 8.2, hoy estamos en 8.1 (el equivalente a un aumento de acidez del 30% porque esta escala es logarítmica), y la proyección para 2100 es de 7.8². Las consecuencias en la sostenibilidad podrían ser devastadoras, ahora mismo están en riesgo los ecosistemas marinos, la biodiversidad, arrecifes coralinos, protecciones costeras, la seguridad alimenticia, el ciclo del carbono y el sistema climático, por enumerar los más notables.

El proceso químico inicia cuando el CO₂ disponible en la atmósfera se disuelve en el océano, éste reacciona con el agua y forma ácido carbónico: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$, posteriormente, el ácido carbónico pierde un ión de hidrógeno y se convierte en un ión de bicarbonato: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$, a su vez, estos iones de hidrógeno (que son los responsables de la acidificación) reaccionan con los iones de carbonato disponibles en el agua de mar: $\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$. Es decir, ese carbonato que debería ser utilizado para la formación de exoesqueletos ya no está disponible, lo que conlleva a la generación de conchas débiles que requieren mayor energía para su calcificación. Como si fuera poco, la baja saturación de iones de carbonato y la perturbación del equilibrio ocasiona la disolución del carbonato de calcio presente en forma de conchas, arrecifes de coral y sedimentos calcáreos, donde: $\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$.

Esta cadena de eventos tiene efectos devastadores en los océanos: la sedimentación de carbonatos disminuye, se pierde la capacidad natural de neutralizar la acidez y se

minimiza la resistencia a los cambios de pH. Ahora, el aumento de temperatura global tiene consecuencias que descompensan aún más el sistema porque la solubilidad del CO₂ en el agua se reduce, de manera que éste permanece en la atmósfera, retroalimentando el efecto invernadero, y esto no es necesariamente el inicio de la alcalinización de los océanos, paradójicamente, aunque haya menos CO₂ disuelto, la cinética de reacción se incrementa con el calor y se fomenta la formación de ácido carbónico, que luego es disociado rápidamente, liberando más iones de hidrógeno, que reaccionan rápidamente con los iones de carbonato disponibles, es decir, la acidificación se vuelve más eficiente y las secuelas son de tinte catastrófico: se destruyen los arrecifes de coral de manera acelerada, se fomenta la erosión de costas, se afecta el ciclo de las rocas, se perturba el ciclo del carbono, aumenta la disolución de conchas y se somete el ecosistema a un estrés propio de extinciones masivas, algo así como durante el máximo térmico del Paleoceno – Eoceno, cuando el pH de los océanos cayó 0.46 unidades (de 7.91 a 7.45) debido a la liberación masiva de carbono en forma de metano³.

Y no es necesario llegar a niveles bajos de pH en el agua, las evidencias de la acidificación oceánica ya están siendo observadas: criaderos de ostras del Pacífico (Oregón y Washington) están desacelerando su producción⁴, en las regiones polares se muestra la disolución de las conchas de algunos terópodos⁵ y el blanqueamiento de corales se está viendo facilitado por la acidificación⁶, lo que también dificulta su remediación.

Así como en estos casos, con seguridad existen muchos más escenarios que estamos pasando por alto, por lo que es preciso tomar medidas correctivas con urgencia. Una de las soluciones recomendadas es la aplicación de soluciones alcalinas para la protección de ecosistemas vulnerables de manera local, pero es innegable que la solución más directa es mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y la implementación de mecanismos para disminuir su saturación. Los océanos han sido nuestros principales aliados en la lucha contra el cambio climático. Hoy, esa alianza depende de que actuemos con premura y responsabilidad.

¹Nicolas Gruber et al., The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science* 363, 1193-1199 (2019). DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aau5153>

²National Oceanic and Atmospheric Administration. (2025, February 25). Ocean acidification. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

³James C. Zachos et al., Rapid Acidification of the Ocean During the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. *Science* 308, 1611-1615 (2005). DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1109004>

⁴Alan Barton et al., The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects. *Limnology and Oceanography*. ASLO, Association for the Sciences of Limnology and Oceanography. 2012. <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.4319/lo.2012.57.3.0698#citedby-section>

⁵Bednaršek, N., Tarling, G., Bakker, D. et al. Extensive dissolution of live pteropods in the Southern Ocean. *Nature Geosci* 5, 881-885 (2012). <https://doi.org/10.1038/ngeo1635>

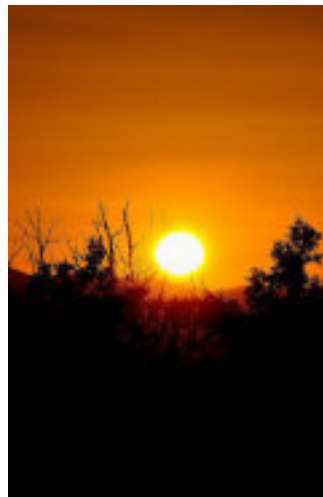
⁶O. Hoegh-Guldberg et al., Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 318, 1737-1742 (2007). DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1152509>



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



Lo que no se empieza hoy no se termina mañana.

Goethe

Breve ensayo de cinco softwares (de acceso libre) para la docencia e investigación en Tectónica: Parte II

Bernardo I. García-Amador¹

¹Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

bernardoiga@igeofisica.unam.mx

Resumen

Este trabajo presenta la segunda parte del ensayo realizado por García-Amador (2023), presentando y describiendo una extensión de cinco softwares de acceso libre adicionales, tanto para la docencia como para la investigación, en temas relacionados con la Tectónica. En esta ocasión se presentan cinco softwares en línea, *Visible Geology*, *Virtual Microscope*, *Tectonic Explorer*, *SubMachine*, y el visualizador del *World Stress Map*; los tres primeros de carácter interactivo, lúdico e intuitivo, excelentes para la docencia; mientras que los últimos dos también se pueden complementar en temas de investigación. Los cinco softwares mostrados aquí no son exclusivos de una asignatura de Tectónica, también pueden emplearse en otras áreas de las geociencias, como Geología Estructural, Petrologías, Exploración Geológica, Riesgos Geológicos, entre otras, lo que las vuelve excelentes herramientas para articular el conocimiento y los métodos de enseñanza-aprendizaje.

Palabras clave: Tectónica; Software interactivo en línea; *Visible Geology*; *Virtual Microscope*; Visualizador de tomografía sísmica; *SubMachine*; Visualizador del mapa de esfuerzos mundial; *Tectonic Explorer*.

Abstract

This paper covers the second part of García-Amador's (2023) essay adding five additional open-access online software programs applicable to research and the teaching of Tectonics. These programs are *Visible Geology*, *Virtual Microscope*, *Tectonic Explorer*, *SubMachine* and *World Stress Map Viewer*. The first three of these are interactive, playful, and intuitive, making them excellent for teaching. The last two can also be utilized for research. These five software programs may also be used in other areas of geoscience such as Structural Geology, Petrology, Geological Exploration, and Geological Hazards, etc.

Keywords: Tectonics; Interactive online software; *Visible Geology*; *Virtual Microscope*; Seismic tomography viewer; *SubMachine*; *World Stress Map viewer*; *Tectonic Explorer*.

1. Introducción

La asignatura de Tectónica se enfrenta al reto de ofrecer a sus estudiantes una visión clara de procesos geológicos que actúan en múltiples escalas del tiempo y el espacio, difícilmente replicables en un aula convencional. Entre los principales obstáculos están la representación y abstracción de la evolución tectónica (espacial y temporal) y la caracterización de las rocas propias de cada ambiente tectónico. A ello se suma la necesidad de comprender los esfuerzos actuales en la corteza y la estructura interna de la Tierra, lo cual exige herramientas versátiles, didácticas y de fácil acceso. En esta segunda parte del breve ensayo de García-Amador (2023) presentamos cinco softwares de acceso libre: *Visible Geology*, *Virtual Microscope*, *Tectonic Explorer*, *SubMachine* y el visualizador del *World Stress Map*. Las tres primeras destacan por su interactividad, carácter lúdico e interfaz intuitiva, convirtiéndolas como recursos didácticos excepcionales; mientras que las dos últimas se integran como potentes complementos para la investigación científica. Todos ellos facilitan la visualización de procesos tectónicos en sus dimensiones del espacio y el tiempo, y han utilizado habitualmente como soporte didáctico en el curso de Tectónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

2. Visible Geology

Visible Geology es una aplicación web gratuita (<https://www.visiblegeology.com/>), desarrollada por Seequent (<https://www.seequent.com/>) junto con el estudio de juegos interactivos *CerebralFix*, que revoluciona la enseñanza de conceptos geológicos fundamentales al ofrecer un entorno 3D inmersivo y accesible desde cualquier navegador sin necesidad de suscripción. Sus principales funciones, y quizá las más atractivas en su tipo, son el modelado geológico conceptual en 3D, permitiendo crear y modificar topografías fijas o personalizadas, definir secuencias de eventos de deformación y generar secciones transversales en 2D y muestras de barrenos para explorar las relaciones entre unidades de roca en 1D (Figura 1). Además, la página cuenta con un software de un estereograma interactivo que se actualiza dinámicamente con tu modelo, mostrando cómo un plano 3D se proyecta en un gráfico 2D; y con un software que visualiza el buzamiento aparente en unidades geológicas, facilitando la visualización y manipulación de planos geológicos con distintas orientaciones para comprender uno de los conceptos más complicados de la geología estructural. Sin duda, este software es muy útil para la docencia, ya que representa una interfaz sencilla, lúdica e intuitiva, para visualizar la geología en el espacio y el

tiempo, este último gracias a la herramienta de “Historia” (*History*), crucial para la enseñanza de los eventos tectónicos.

3. Tectonic Explorer

Tectonic Explorer es una aplicación web interactiva (<https://tectonic-explorer.concord.org/>) desarrollada por Concord Consortium (<https://learn.concord.org/resources/1406/tectonic-explorer>) que permite crear y

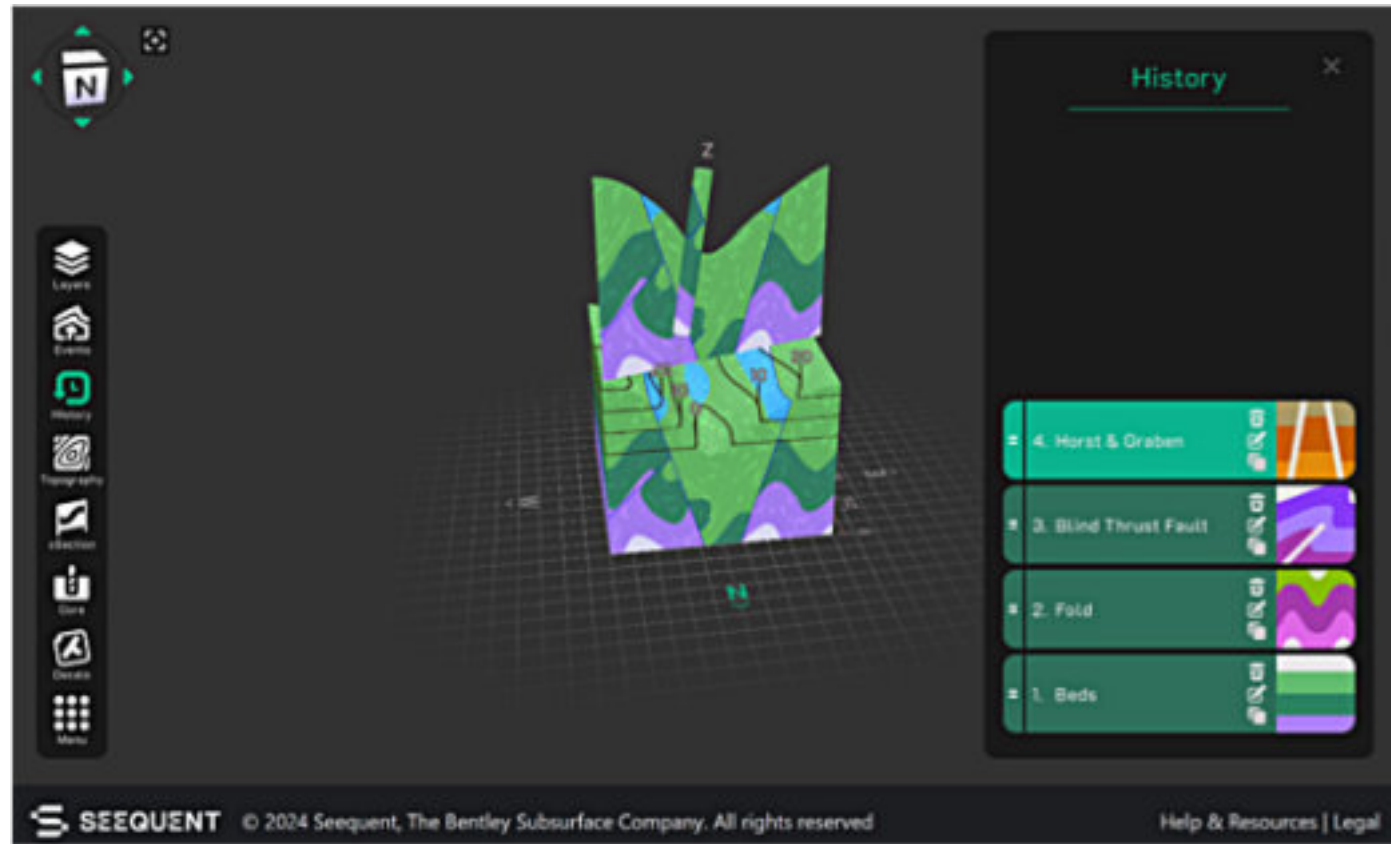


Figura 1. Imagen representativa del software Visible Geology en el que se visualiza el modelo geológico conceptual en un cubo (3D), en una sección NW-SE (2D), y con un barreno (1D). El modelo fue construido con base en (una historia de) cuatro eventos geológicos-tectónicos: (1) sedimentación, (2) pliegues por acortamiento, (3) fallas inversas por acortamiento, (4) fallas normales por estiramiento.

experimentar con “planetas tectónicas” personalizados, todo directamente en el navegador y sin necesidad de instalación ni licencias. A través de un “Planet Wizard” se elige el número de placas, su densidad relativa y los vectores de movimiento que guiarán la simulación. Dentro de las principales funciones está (1) el dibujo de continentes y placas, (2) la definición de la densidad de las placas (con el fin de lograr la simulación de la subducción), y (3) la definición de tipos de límites tectónicos (i.e., convergente, divergente, y transformante), con representación de topografía, edad del fondo marino y secciones transversales tridimensionales del manto (Figura 2). Quizá una de las partes más interesantes del simulador es que éste permite explorar hipótesis sobre diversos ambientes tectónicos como, la formación de cordilleras, cuencas sedimentarias, arcos volcánicos, entre

otros, variando parámetros y observando los resultados. Por ejemplo, este simulador puede mostrar cuáles serían los tipos de rocas a esperarse en una dorsal oceánica o una zona de subducción, representar la sismicidad en los límites tectónicos, e incluso medir la temperatura y presión hipotética en una porción determinada. Tectonic Explorer es un gran aliado como herramienta de enseñanza-aprendizaje en el aula porque permite reproducir escenarios tectónicos de manera sencilla y versátil, y con la ventaja de que se simulan en el tiempo y el espacio.

4. Virtual Microscope

Como lo indica la descripción del sitio web (<https://www.virtualmicroscope.org/>), Virtual Microscope es un recurso educativo abierto gratuito que permite el acceso a

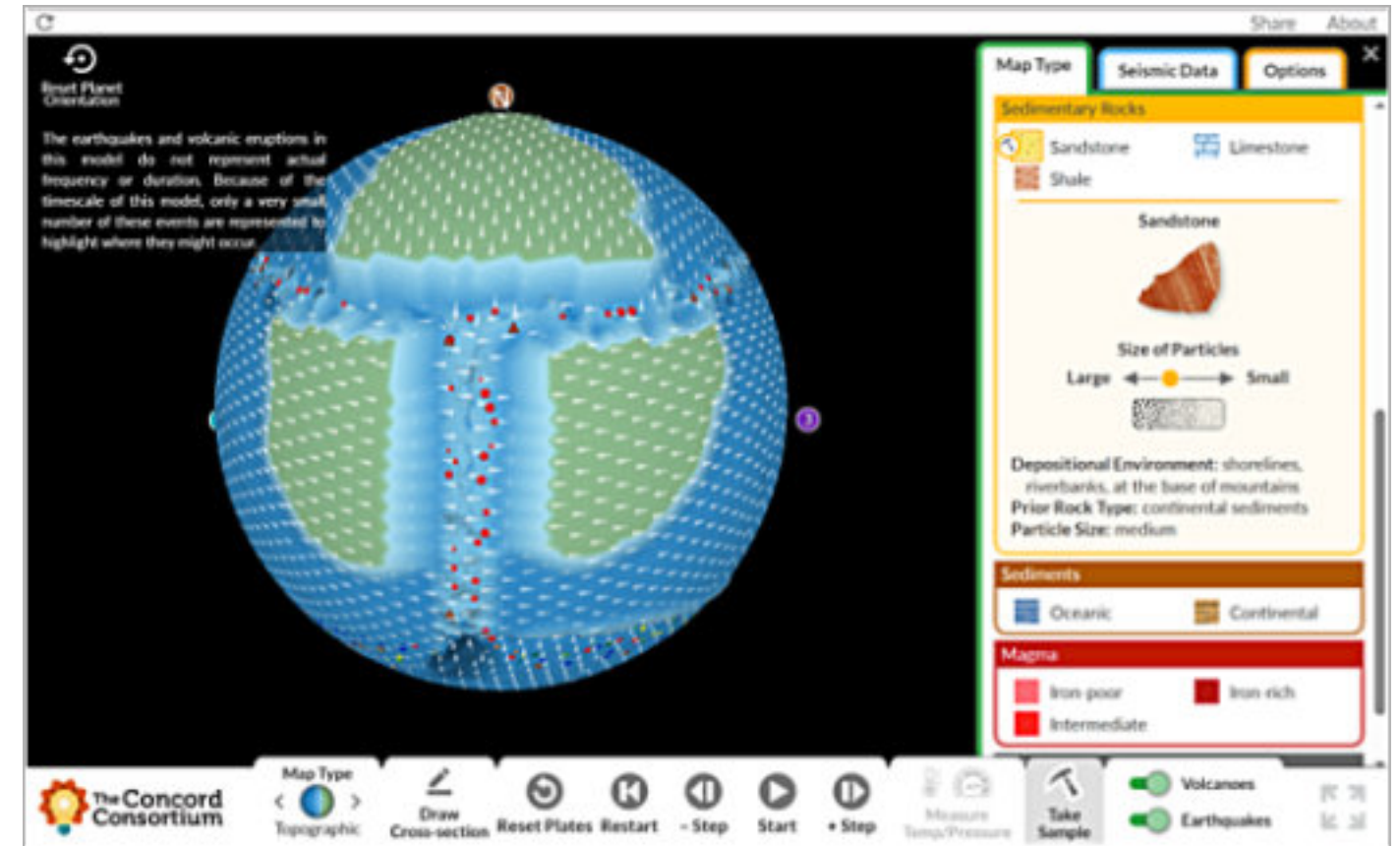


Figura 2. Imagen ilustrativa del manejo del software online Tectonic Explorer. En esta simulación se ejemplifican 4 placas tectónicas interactuando en un punto triple de dorsales, representando los vectores de velocidad de las placas (flechas blancas), la sismicidad (puntos rojos), y volcanes (triángulos marrones). Asimismo, se visualiza en el panel de la derecha una de las herramientas de simulación, que muestra qué tipo de rocas podemos encontrar en una ubicación específica.

colecciones de secciones delgadas de rocas, minerales y fósiles custodiadas en museos y universidades de todo el mundo mediante un navegador, sin necesidad de instalar software ni suscripciones. Éste ofrece un entorno de microscopio petrográfico virtual (Figura 3) con (1) modos de iluminación (campo claro, polarizado simple y cruzado), (2) zoom y barrido de imágenes de alta resolución, (3) rotación en etapas para estudiar propiedades ópticas (birrefringencia, pleocroísmo), (4) herramientas de medición (distancia, ángulo, área) y anotación directa, y (5) compartición de vistas concretas vía URLs, facilitando su uso en clases presenciales y remotas. Algunas de las colecciones incluyen muestras de universidades y museos de Reino Unido, Europa, y Estados Unidos, con colecciones temáticas de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias, meteoritos y fósiles. Incluso se pueden observar las láminas delgadas de las misiones Apollo de la NASA. El enfoque educativo y, en especial para la enseñanza de la tectónica, es

amplísimo, ya que es ideal para ejemplificar ambientes tectónicos con ejemplares “a la mano” del registro de rocas, minerales y fósiles asociados a cada uno de estos. Es importante mencionar que hay una colección extensa de láminas con muchas visualizaciones de por medio, por lo que se recomienda explorar bajo un objetivo definido.

5. SubMachine

De los cinco softwares online descritos en este breve ensayo, éste es uno de los dos que pueden dar soporte a la investigación científica en temas de Tectónica, además de ser útil para la docencia.

Como lo dicta la breve descripción del sitio web (<https://users.earth.ox.ac.uk/~smachine/cgi/index.php>), SubMachine es una colección de herramientas diseñadas para la visualización interactiva, el análisis y la comparación cuantitativa de conjuntos de datos volumétricos (3D) a escala global del subsuelo. En esencia, SubMachine funciona como un motor

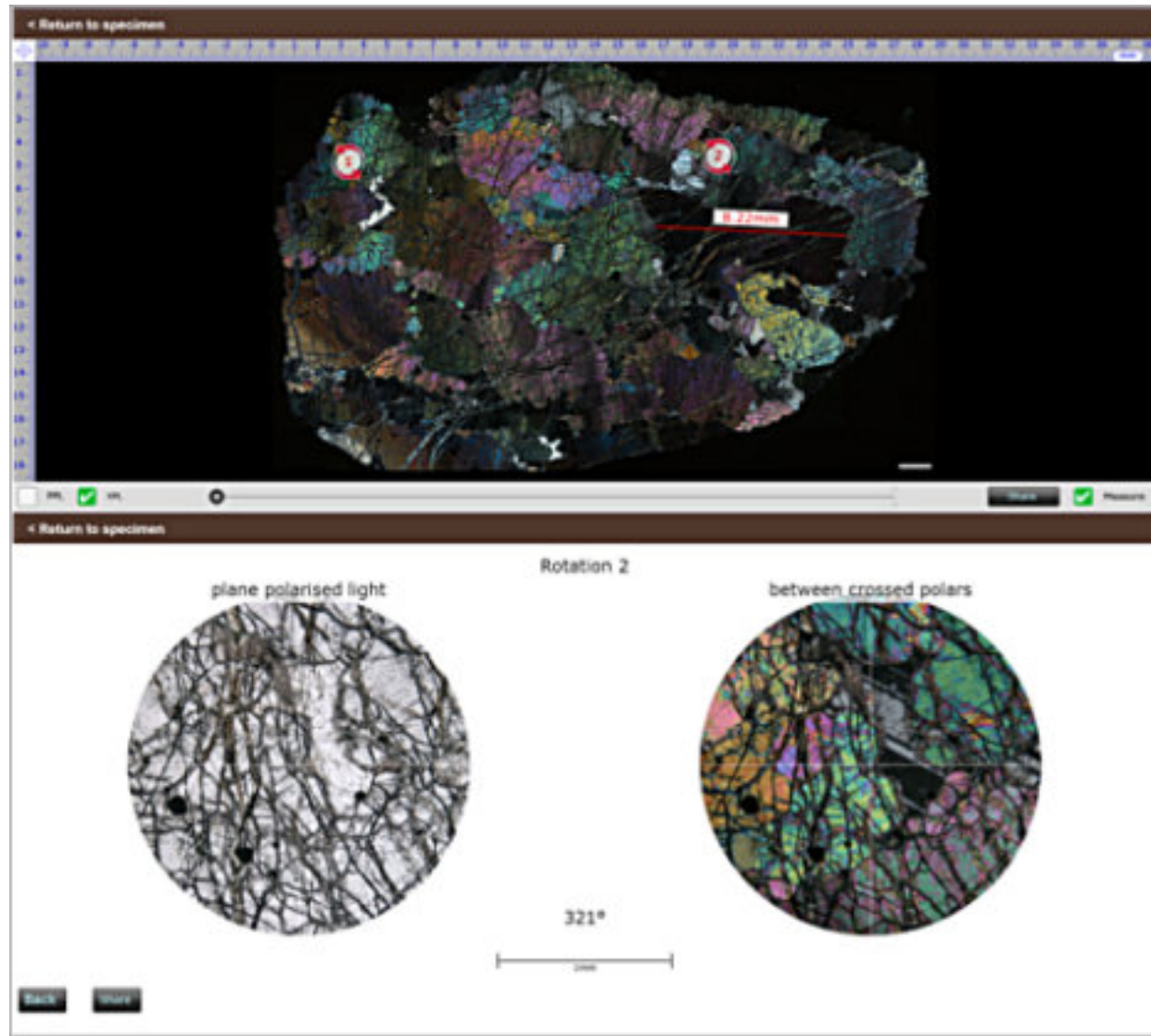


Figura 3. Ejemplo de lámina delgada de una peridotita. Arriba, ejemplo de un tipo de zoom para observar las texturas de las rocas, así como las partes que pueden observarse a través de la rotación (círculos con los números 1 y 2). Abajo, selección de un sitio para observar la rotación de la lámina con luz polarizada plana y cruzada.

computacional ("Machine") para visualizar modelos y conjuntos de datos del subsuelo ("Sub"). La descripción detallada de la construcción y operación de SubMachine puede ser consultado a través del trabajo de Hosseini et al. (2018). Sin embargo, aquí se esbozan algunas de las funciones principales de SubMachine, que cabe mencionar, se pueden visualizar en una porción seleccionada de la Tierra: (1) *Tomography depth-slices*, muestra cortes a través de modelos de tomografía sísmica a distintas profundidades; (2) *Tomography cross-sections*, muestra cortes verticales a través de modelos de tomografía sísmica para un perfil dado (Figura 4); (3) *Histograms & depth plots*, análisis estadístico de modelos de tomografía sísmica; (4) *Vote maps*, muestran regiones de acuerdo y desacuerdo entre modelos de tomografía

sísmica. (5) *Geoid*, muestra la superficie equipotencial del campo gravitatorio de la Tierra; (6) *Marine gravity*, muestra la gravedad de aire libre para áreas marinas y terrestres; (7) *Normal mode observations*, visualización de modos normales y sus kernels de sensibilidad asociados; (8) *Vertical gravity gradient*, muestra la derivada del campo gravitatorio global; (9) *Crust 1.0*, muestra el modelo la estructura global de la corteza (10) *Global topography*; visualiza el relieve global, incluyendo topografía y batimetría; (11) *Average models*, muestra los modelos de tomografía promedio. Estas herramientas en conjunto son una poderosa aliada para las interpretaciones tectónicas y geodinámicas en la investigación, así como para mostrar la dinámica del interior de la Tierra en clase.

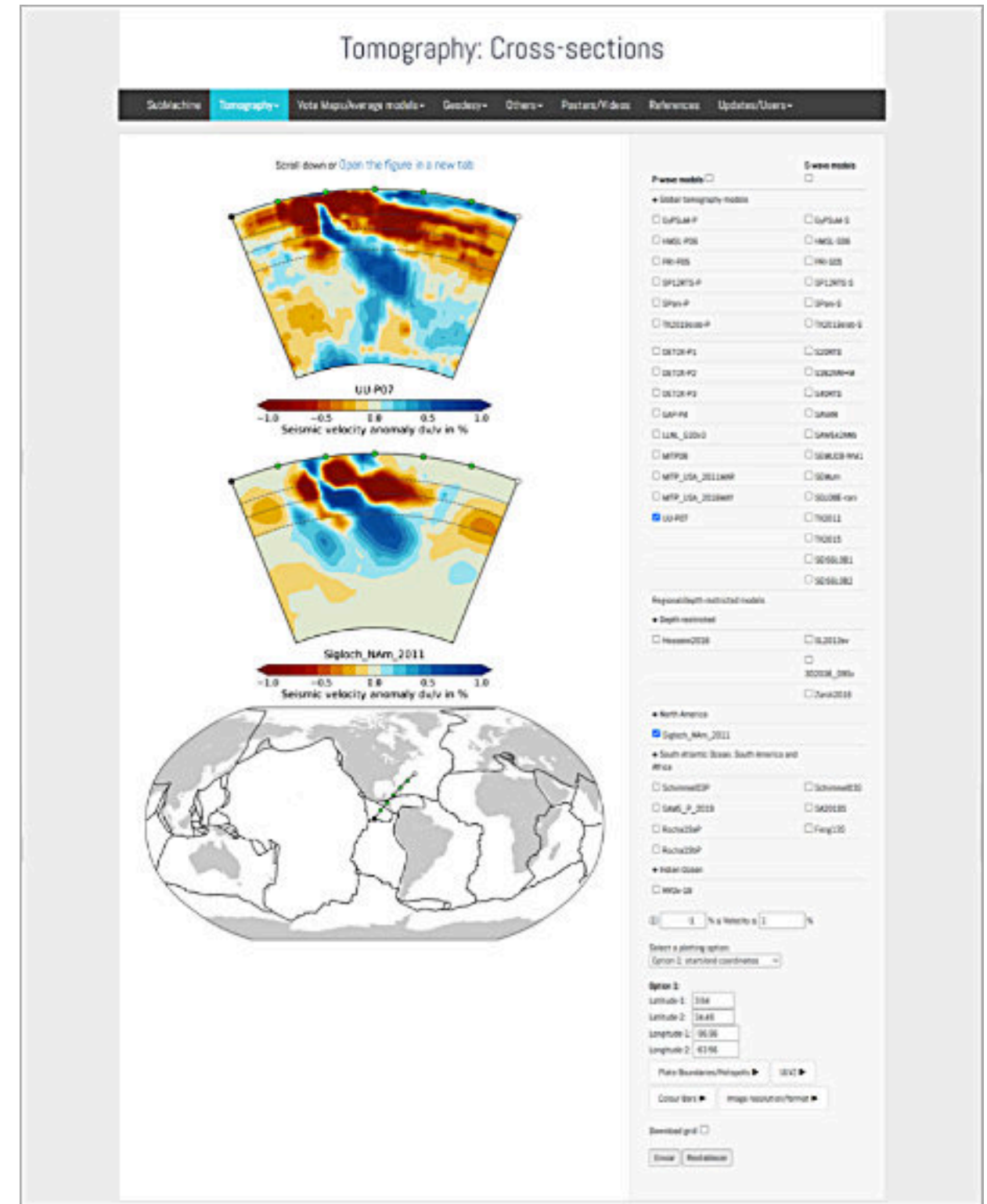


Figura 4. Ejemplo de la visualización de la función *Tomography cross-sections*, mostrando dos secciones a partir de dos modelos distintos. Esta función incluye más de 33 modelos globales de tomografías sísmicas de ondas P y S, que pueden ser comparados para la misma sección. Todos los modelos incluyen su referencia.

6. World Stress Map

El World Stress Map (WSM), otra herramienta útil para la investigación en temas de Tectónica (y Neotectónica), es un proyecto colaborativo entre la academia y la industria que funciona como una compilación global de información sobre el campo de esfuerzos actual de la corteza terrestre, y que puede visualizarse a través de su sitio web (<https://www.world-stress-map.org/>). El WSM comenzó en 1986 como un proyecto del *International Lithosphere Program* (ILP) y ha sido mantenido desde 2009 por el *GFZ Helmholtz Centre for Geosciences* (Alemania). Su objetivo principal es caracterizar el patrón de esfuerzos de la corteza y comprender las fuentes de esfuerzos (p.ej., límites convergentes). La base de datos de acceso abierto está

conformada por toda la información de esfuerzos que se analiza y compila en un formato estandarizado y se clasifica por calidad para asegurar su fiabilidad y comparabilidad a escala global (Heidbach et al., 2018). La última versión de la base de datos WSM, lanzada en 2025, contiene 100,842 registros de datos ubicados en la corteza terrestre. Esta base de datos robusta puede emplearse en diversas áreas de las geociencias como Geodinámica, Evaluación de riesgos geológicos, Geomecánica, Aplicaciones geotécnicas, entre otras. Asimismo, el software de visualización online CASMO, incluido en el sitio web tiene un manejo intuitivo y versátil, lo que lo vuelve un gran aliado para la docencia en temas relacionados con la Tectónica y Neotectónica.

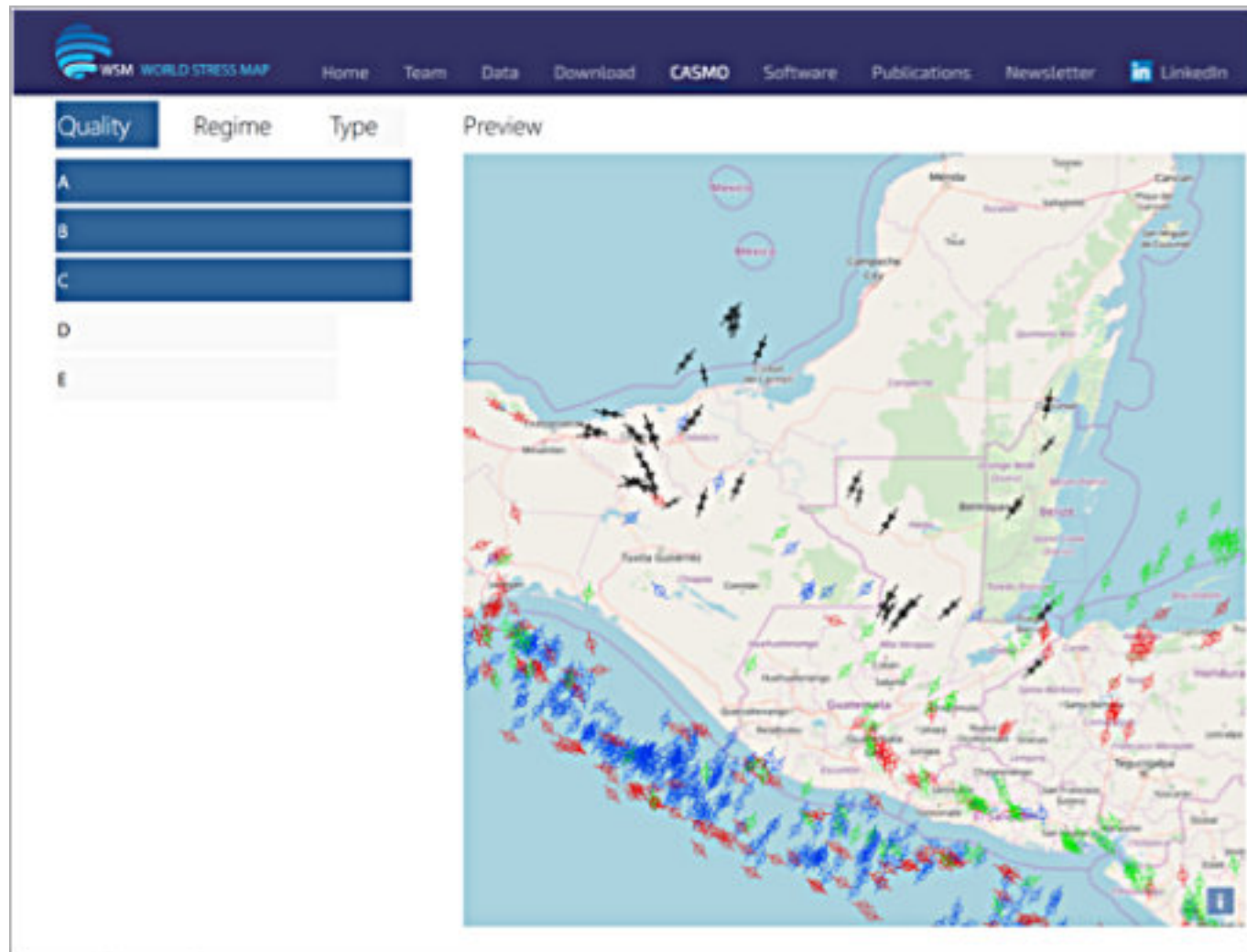


Figura 5. Imagen ejemplo del software visualizador CASMO de datos de esfuerzos en la corteza para un área específica de la Tierra.

7. Conclusión

Los cinco softwares de acceso libre presentados: *Visible Geology*, *Virtual Microscope*, *Tectonic Explorer*, *SubMachine*, y el visualizador del *World Stress Map*, son herramientas didácticas valiosas para el curso de Tectónica y otros. Estos pueden ser empleados de manera individual o ser articulados para comprender procesos tectónicos en el espacio y el tiempo. Los primeros tres softwares mencionados son muy útiles para la docencia, ya que permiten visualizar de una manera sencilla, lúdica e intuitiva las diferentes relaciones multiescales y multitemporales en la Tectónica. Por su parte, los dos últimos softwares presentados, además de ser útiles para la docencia, pueden ser empleados para la investigación científica, debido a que ambos compilan valiosas bases de datos de acceso libre y que pueden ser visualizadas en sus sitios web de manera relativamente sencilla. Los cinco softwares de acceso libre expresados en este ensayo, en conjunto con otros (p.ej., García-Amador, 2023), son una manifestación de la tendencia de los métodos digitales y online de enseñanza-aprendizaje en las geociencias.

Referencias citadas.

García-Amador, B.I., (2023). Breve ensayo de cinco softwares (de acceso libre) para la docencia e

investigación en Tectónica. *Revista Maya de Geociencias* v.26, pp. 66–71.

Heidbach, O., Rajabi, M., Cui, X., Fuchs, K., Müller, B., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Wenzel, F., Xie, F., Ziegler, M. O., Zoback, M.-L., & Zoback, M. (2018). The World Stress Map database release 2016: Crustal stress pattern across scales. *Tectonophysics*, 744, 484–498. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.07.007>

Hosseini, K., Matthews, K. J., Sigloch, K., Shephard, G. E., Domeier, M., & Tsekhmistrenko, M. (2018). SubMachine: Web-Based Tools for Exploring Seismic Tomography and Other Models of Earth's Deep Interior. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19(5), 1464–1483. <https://doi.org/10.1029/2018GC007431>

Páginas de internet citadas y recomendadas.

<https://tectonic-explorer.concord.org/>

<https://users.earth.ox.ac.uk/~smachine/cgi/index.php>

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

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

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



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

The Pleistocene/Holocene boundary in the Red Sea

By

Joshua Rosenfeld (1982)

Editor of Revista Maya

ABSTRACT

Lowering of sea level during the Wisconsin glacial maximum probably isolated the Red Sea from the world ocean between 18,000 and 11,000 years B.P. A lowstand of Red Sea level some 345 meters below that of the contemporaneous ocean is suggested by hard crust deposition. Catastrophic refilling of the basin may have disrupted human occupation leading to population migration into the Dead Sea Rift Valley thereby contributing to the "flood" legend.

**Para descargar el archivo PDF haz click en el link / To download the PDF file click here:

https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2025/06/Joshua-Rosenfeld_Red-Sea.pdf

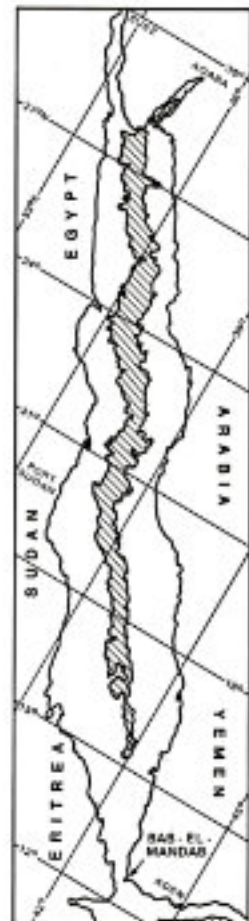


Figure 1. The axial trough water depths Greater than 500 m below sea level.

Figure 1 - The Red Sea



Premio Juan Manuel Cagigal al Mejor Libro del área de la Ingeniería y el Hábitat. Edición 2023.



El día 17 de junio de 2025, en el Auditorio Francisco Pensieri de la Universidad Metropolitana de Caracas, se celebró el acto de entrega del Premio Juan Manuel Cagigal, edición 2023.

En la categoría de "Libro de investigación en el campo de las ciencias sociales, históricas y documentales asociadas a la ingeniería y el hábitat", resultó ganadora la obra de Franco Urbani Patat, Ph.D., titulado:

Tres Episodios de la Historia Petrolera Venezolana: Pedernales, Escuque y Perijá, publicado en 2022 como coedición de la Fundación GEOS – UCV y la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat.

El libro puede descargarse en el siguiente enlace: <https://www.researchgate.net/publication/362886266>

El acto solemne de otorgamiento del premio puede verse en: <https://youtu.be/nTFJ4Gdm6JA> (1:03:00, 1:13:00, 1:25:50).





FUNDACION GEOS
Academia Nacional de la Ingeniería y el Libro

Este que se ha encontrado en el año 1766

Tres Episodios de la Historia Petrolera Venezolana: Pedernales, Escuque y Perijá

Franco URBANI PATAT

En esta lista hai brea, Azufre, y asperon.

La Brea de Pedernales (Venezuela)

MARIAGARDO OIL EXPLORATION CORPORATION

CARTEL STUCK

MINAS PETROLED Y AZOCERITE
ESTADOS ANDES Y ZULIA VENEZUELA
CONCESION DACOVICH

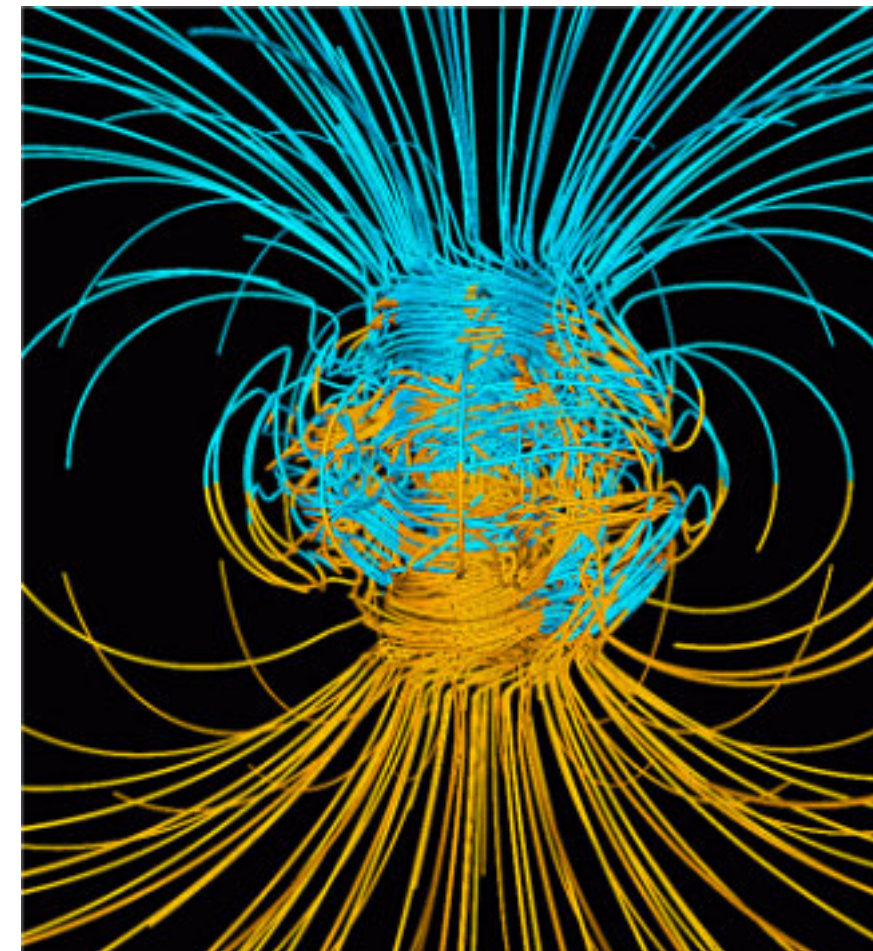
quellen Nord. Caño

Earth's magnetic field

Earth's magnetic field, also known as the geomagnetic field, is the magnetic field that extends from Earth's interior out into space, where it interacts with the solar wind, a stream of charged particles emanating from the Sun. The magnetic field is generated by electric currents due to the motion of convection currents of a mixture of molten iron and nickel in Earth's outer core: these convection currents are caused by heat escaping from the core, a natural process called a geodynamo.

The magnitude of Earth's magnetic field at its surface ranges from 25 to 65 μT (0.25 to 0.65 G). As an approximation, it is represented by a field of a magnetic dipole currently tilted at an angle of about 11° with respect to Earth's rotational axis, as if there were an enormous bar magnet placed at that angle through the center of Earth. The North geomagnetic pole (Ellesmere Island, Nunavut, Canada) actually represents the South pole of Earth's magnetic field, and conversely the South geomagnetic pole corresponds to the north pole of Earth's magnetic field (because opposite magnetic poles attract and the north end of a magnet, like a compass needle, points toward Earth's South magnetic field.)

While the North and South magnetic poles are usually located near the geographic poles, they slowly and continuously move over geological time scales, but sufficiently slowly for ordinary compasses to remain useful for navigation. However, at irregular intervals averaging several hundred thousand years, Earth's field reverses and the North and South Magnetic Poles abruptly switch places. These reversals of the geomagnetic poles leave a record in rocks that are of value to paleomagnetists in calculating geomagnetic fields in the past. Such information in turn is helpful in studying the motions of continents and ocean floors. The magnetosphere is defined by the extent of Earth's magnetic field in space or geospace. It extends above the ionosphere, several tens of thousands of kilometres into space, protecting Earth from the charged particles of the solar wind and cosmic rays that would otherwise strip away the upper atmosphere, including the ozone layer that protects Earth from harmful ultraviolet radiation.



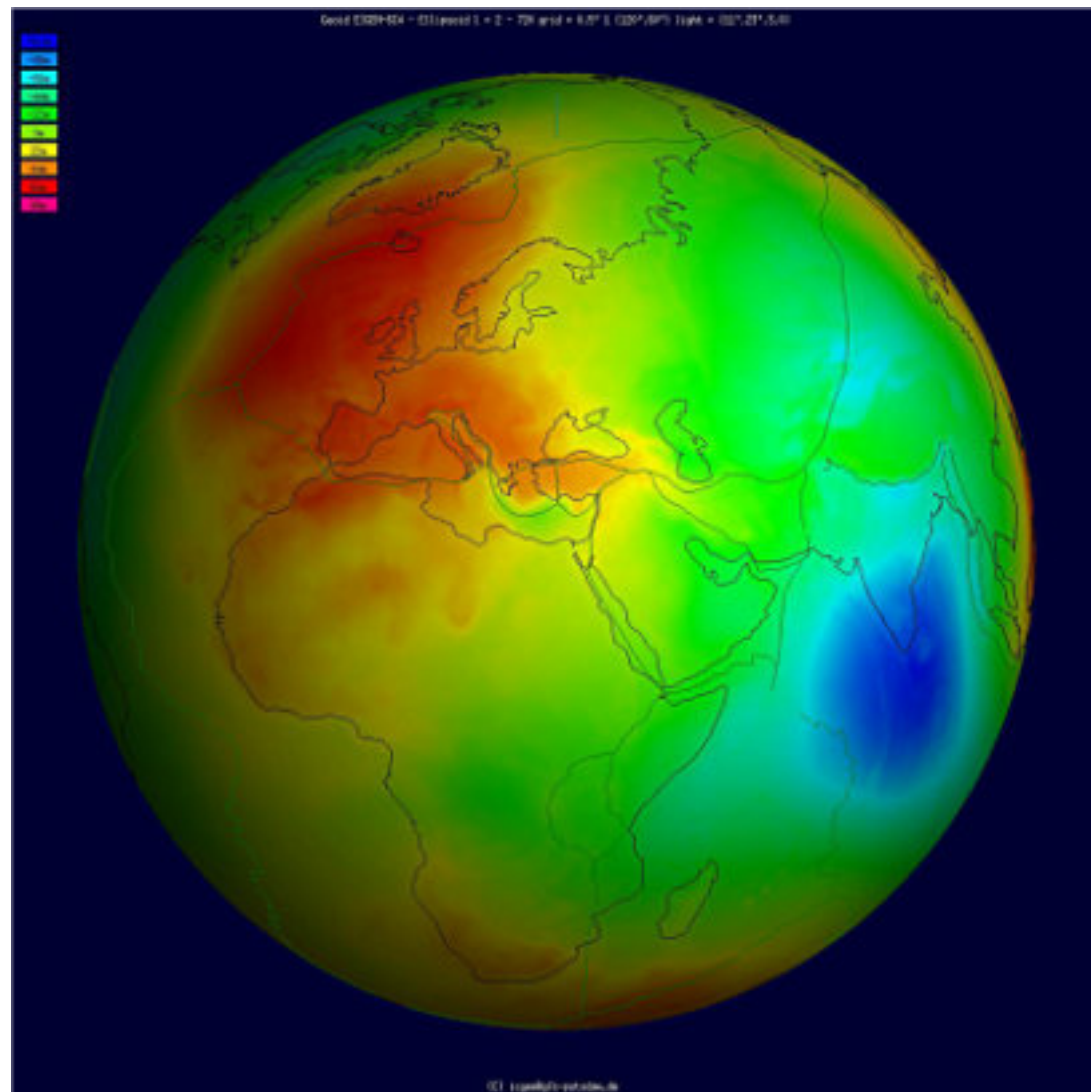
Computer simulation of Earth's field in a period of normal polarity between reversals. The lines represent magnetic field lines, blue when the field points towards the center and yellow when away. The rotation axis of Earth is centered and vertical. The dense clusters of lines are within Earth's core

Significance

Earth's magnetic field deflects most of the solar wind, whose charged particles would otherwise strip away the ozone layer that protects the Earth from harmful ultraviolet radiation. One stripping mechanism is for gas to be caught in bubbles of the magnetic field, which are ripped off by solar winds. Calculations of the loss of carbon dioxide from the atmosphere of Mars, resulting from scavenging of ions by the solar wind, indicate that the dissipation of the magnetic field of Mars caused a near total loss of its atmosphere.

The study of the past magnetic field of the Earth is known as paleomagnetism. The polarity of the Earth's magnetic field is recorded in igneous rocks, and reversals of the field are thus detectable as "stripes" centered on mid-ocean ridges where the sea floor is spreading, while the stability of the geomagnetic poles between reversals has allowed paleomagnetism to track the past motion of continents. Reversals also provide the basis for magnetostratigraphy, a way of dating rocks and sediments. The field also magnetizes the crust, and magnetic anomalies can be used to search for deposits of metal ores. Humans have used compasses for direction finding since the 11th century A.D. and for navigation since the 12th century. Although the magnetic declination does shift with time, this wandering is slow enough that a simple compass can remain useful for navigation. Using magnetoreception, various other organisms, ranging from some types of bacteria to pigeons, use the Earth's magnetic field for orientation and navigation.

https://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_magnetic_field#/media/File:Geodynamo_Between_Reversals.gif

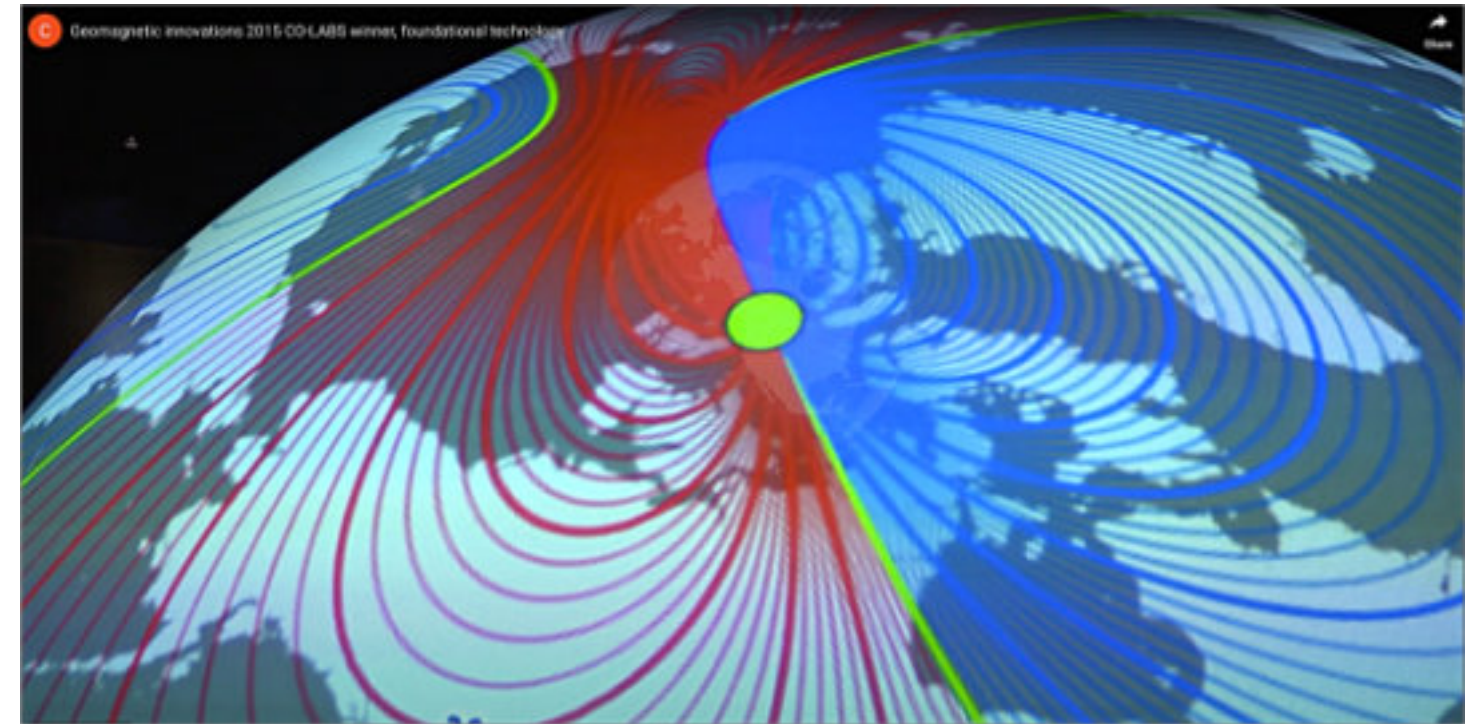


Geoid undulation to scale.

Geomagnetism

Geomagnetism is one of the oldest geophysical sciences. Geomagnetic fields have been observed and used since ancient times, and are still used for modern applications in navigation and mineral exploration. NCEI develops and distributes models of the geomagnetic field and maintains archives of geomagnetic data to further the understanding of Earth magnetism and the Sun-Earth environment.

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



State of the geomagnetic field (2023 Report).

https://www.ncei.noaa.gov/sites/g/files/anmtlf171/files/2023-12/WMM_Annual_Report_2023.pdf



<https://www.youtube.com/watch?v=tIPHkPeW7CA>

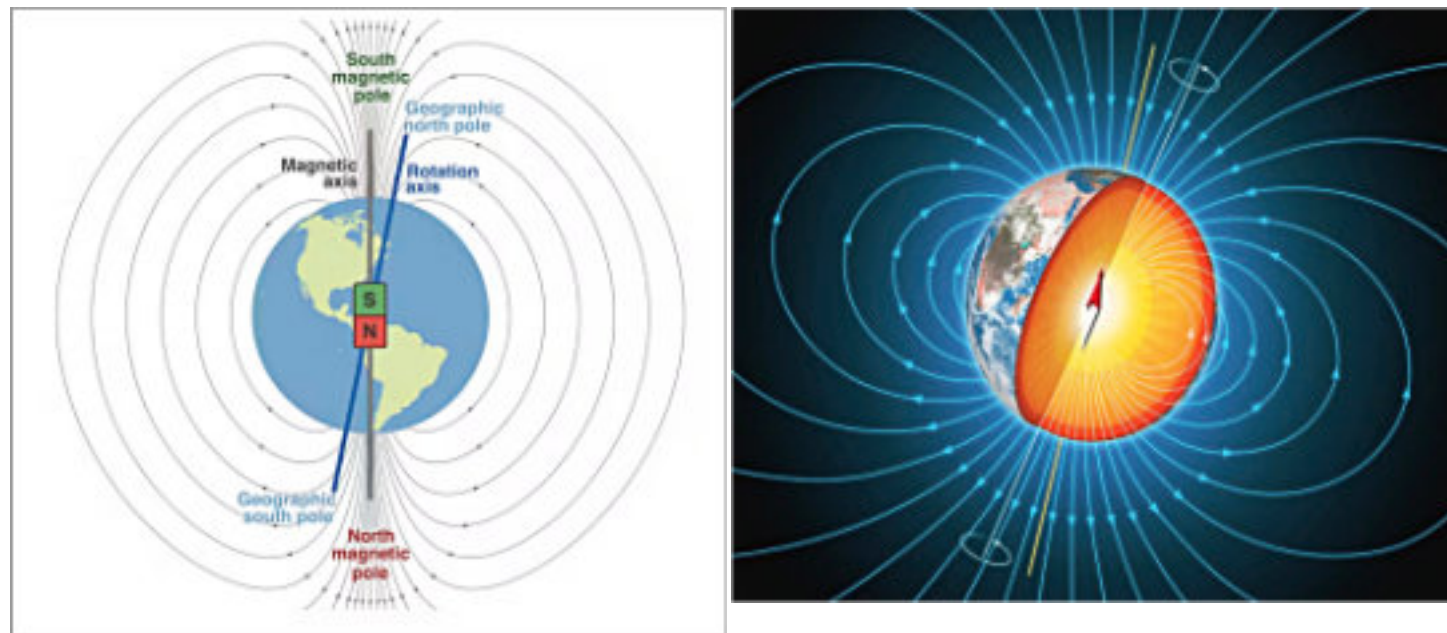
Earth's magnetic field protects life on Earth from radiation, but it can move, and the magnetic poles can even flip

The Earth's magnetic field plays a big role in protecting people from hazardous radiation and geomagnetic activity that could affect satellite communication and the operation of power grids. And it moves. Scientists have studied and tracked the motion of the magnetic poles for centuries. The historical movement of these poles indicates a change in the global geometry of the Earth's magnetic field. It may even indicate the beginning of a field reversal – a “flip” between the north and south magnetic poles. I'm a physicist who studies the interaction between the planets and space. While the north magnetic pole moving a little bit isn't a big deal, a reversal could have a big impact on Earth's climate and our modern technology. But these reversals don't happen instantaneously. Instead, they occur over thousands of years.

<https://theconversation.com/earths-magnetic-field-protects-life-on-earth-from-radiation-but-it-can-move-and-the-magnetic-poles-can-even-flip-216231>

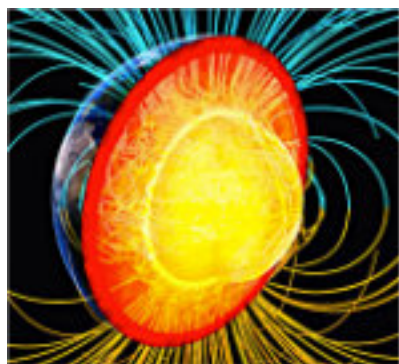
The earth's magnetic field: An overview

<https://geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html>



Earth's magnetic field. The north and south magnetic poles mirror the geographic North and South poles.

Earth's magnetic field.



Videos about Earth's magnetic field

<https://www.youtube.com/watch?v=yekT5Zf1osw>

<https://www.youtube.com/watch?v=DGzL3dodGC4>

<https://www.youtube.com/watch?v=DGzL3dodGC4&t=85s>

<https://www.youtube.com/watch?v=O5uUu5dy6k4>

<https://www.youtube.com/watch?v=iVSD9x598jw>

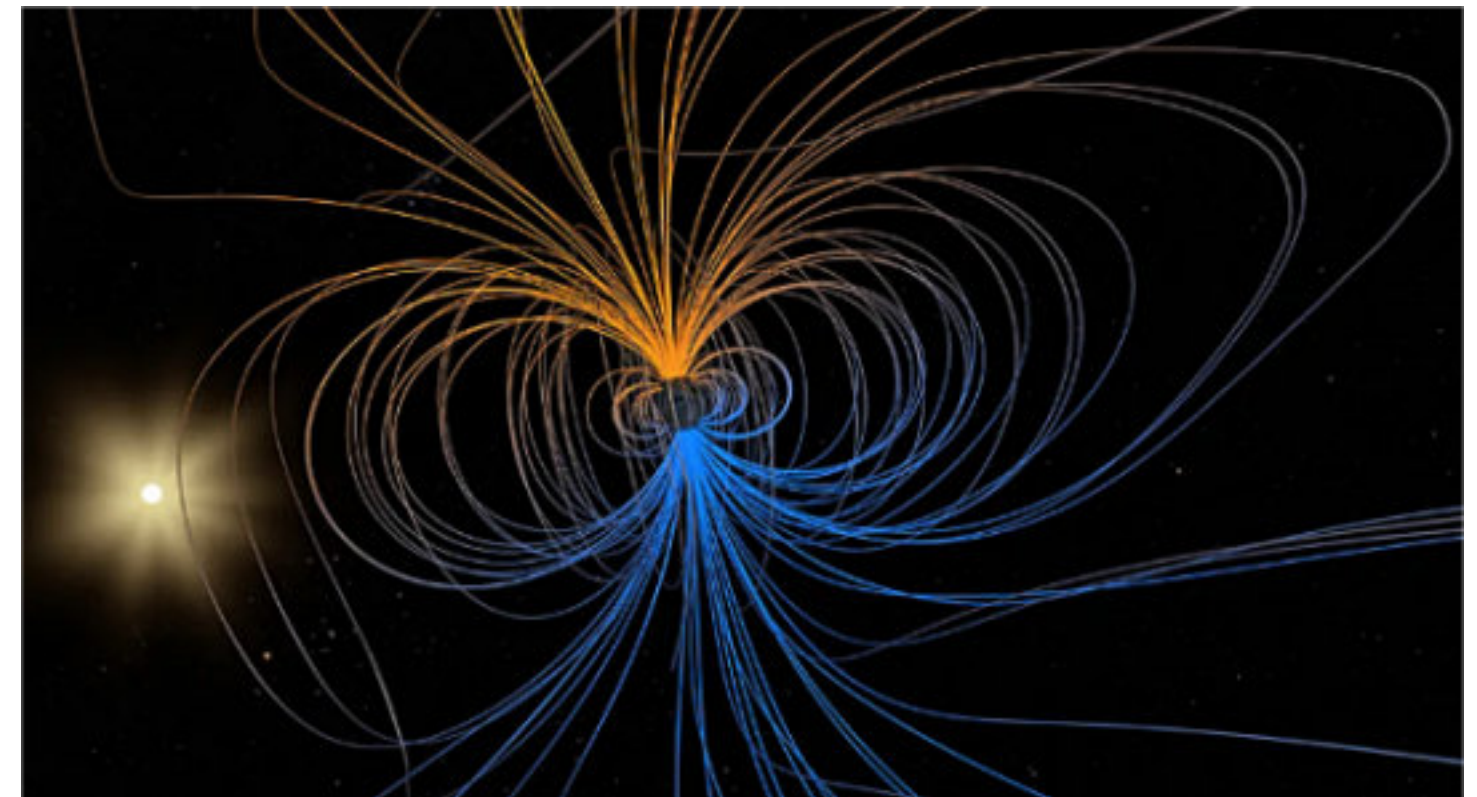
NASA Researchers Track Slowly Splitting 'Dent' in Earth's Magnetic Field

A small but evolving dent in Earth's magnetic field can cause big headaches for satellites.

Earth's magnetic field acts like a protective shield around the planet, repelling and trapping charged particles from the Sun. But over South America and the southern Atlantic Ocean, an unusually weak spot in the field – called the South Atlantic Anomaly, or SAA – allows these particles to dip closer to the surface than normal. Particle radiation in this region can knock out onboard computers and interfere with the data collection of satellites that pass through it – a key reason why NASA scientists want to track and study the anomaly. The South Atlantic Anomaly is also of interest to NASA's Earth scientists who monitor the changes in magnetic field strength there, both for how such changes affect Earth's atmosphere and as an indicator of what's happening to Earth's magnetic fields, deep inside the globe.

Currently, the SAA creates no visible impacts on daily life on the surface. However, recent observations and forecasts show that the region is expanding westward and continuing to weaken in intensity. It is also splitting – recent data shows the anomaly's valley, or region of minimum field strength, has split into two lobes, creating additional challenges for satellite missions. A host of NASA scientists in geomagnetic, geophysics, and heliophysics research groups observe and model the SAA, to monitor and predict future changes – and help prepare for future challenges to satellites and humans in space.

<https://www.nasa.gov/missions/icon/nasa-researchers-track-slowly-splitting-dent-in-earths-magnetic-field/>



This stereoscopic visualization shows a simple model of the Earth's magnetic field. The magnetic field partially shields the Earth from harmful charged particles emanating from the Sun. NASA's Goddard Space Flight Center

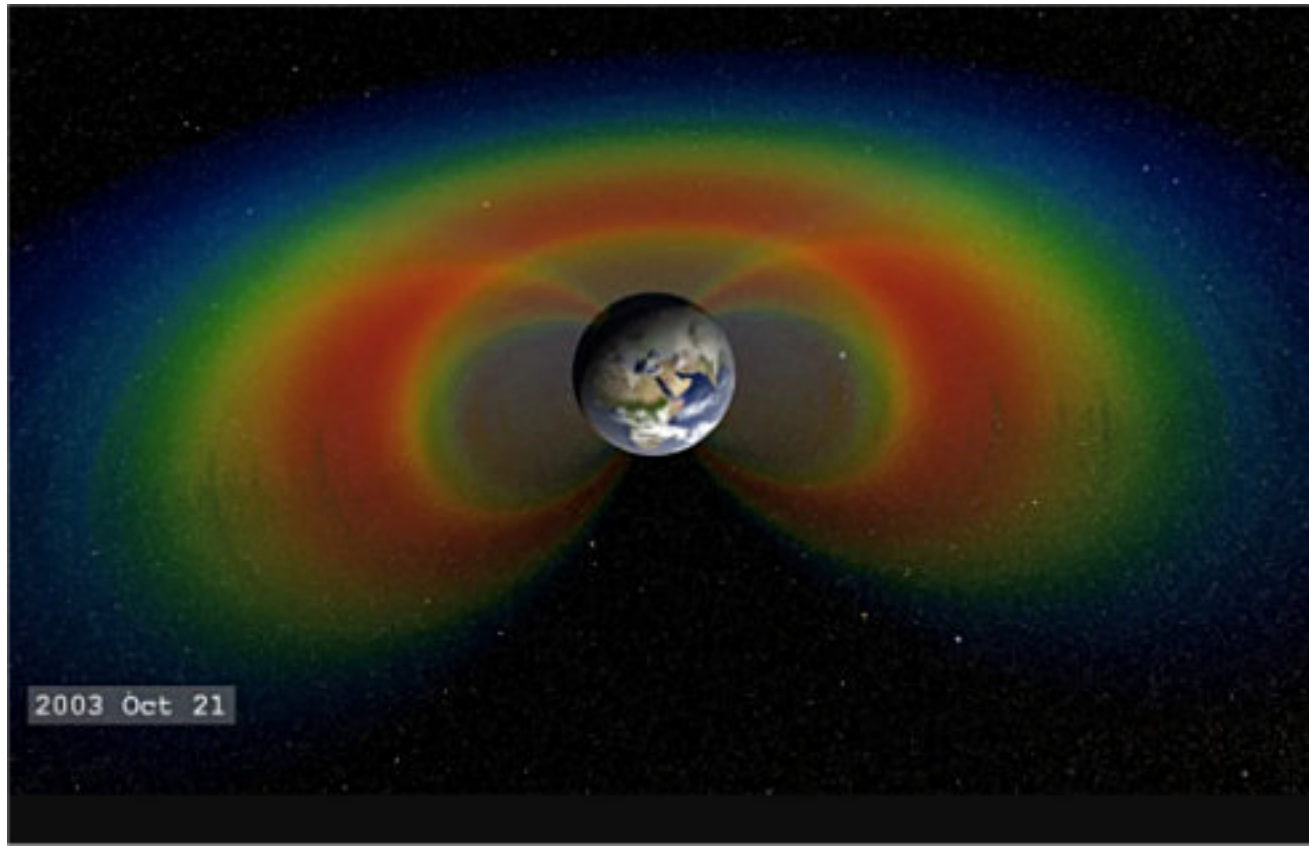
It's what's inside that counts

The South Atlantic Anomaly arises from two features of Earth's core: The tilt of its magnetic axis, and the flow of molten metals within its outer core.

Earth is a bit like a bar magnet, with north and south poles that represent opposing magnetic polarities and invisible magnetic field lines encircling the planet between them. But unlike a bar magnet, the core magnetic field is not perfectly aligned through the globe, nor is it perfectly stable. That's because the field originates from Earth's outer core: molten, iron-rich and in vigorous motion 1800 miles below the surface. These churning metals act like a massive generator, called the geodynamo, creating electric currents that produce the magnetic field.

As the core motion changes over time, due to complex geodynamic conditions within the core and at the boundary with the solid mantle up above, the magnetic field fluctuates in space and time too. These dynamical processes in the core ripple outward to the magnetic field surrounding the planet, generating the SAA and other features in the near-Earth environment – including the tilt and drift of the magnetic poles, which are moving over time. These evolutions in the field, which happen on a similar time scale to the convection of metals in the outer core, provide scientists with new clues to help them unravel the core dynamics that drive the geodynamo.

“The magnetic field is actually a superposition of fields from many current sources,” said Terry Sabaka, a geophysicist at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Maryland. Regions outside of the solid Earth also contribute to the observed magnetic field. However, he said, the bulk of the field comes from the core. The forces in the core and the tilt of the magnetic axis together produce the anomaly, the area of weaker magnetism – allowing charged particles trapped in Earth's magnetic field to dip closer to the surface.



When solar material streams strikes Earth's magnetosphere, it can become trapped and held in two donut-shaped belts around the planet called the Van Allen Belts. The belts restrain the particles to travel along Earth's magnetic field lines, continually bouncing back and forth from pole to pole. Credits: NASA Goddard / Tom Bridgman
<https://svs.gsfc.nasa.gov/4006u0022u003eThe Radiation Belts as seen by SAMPEX/au003e>

Magnetospheres

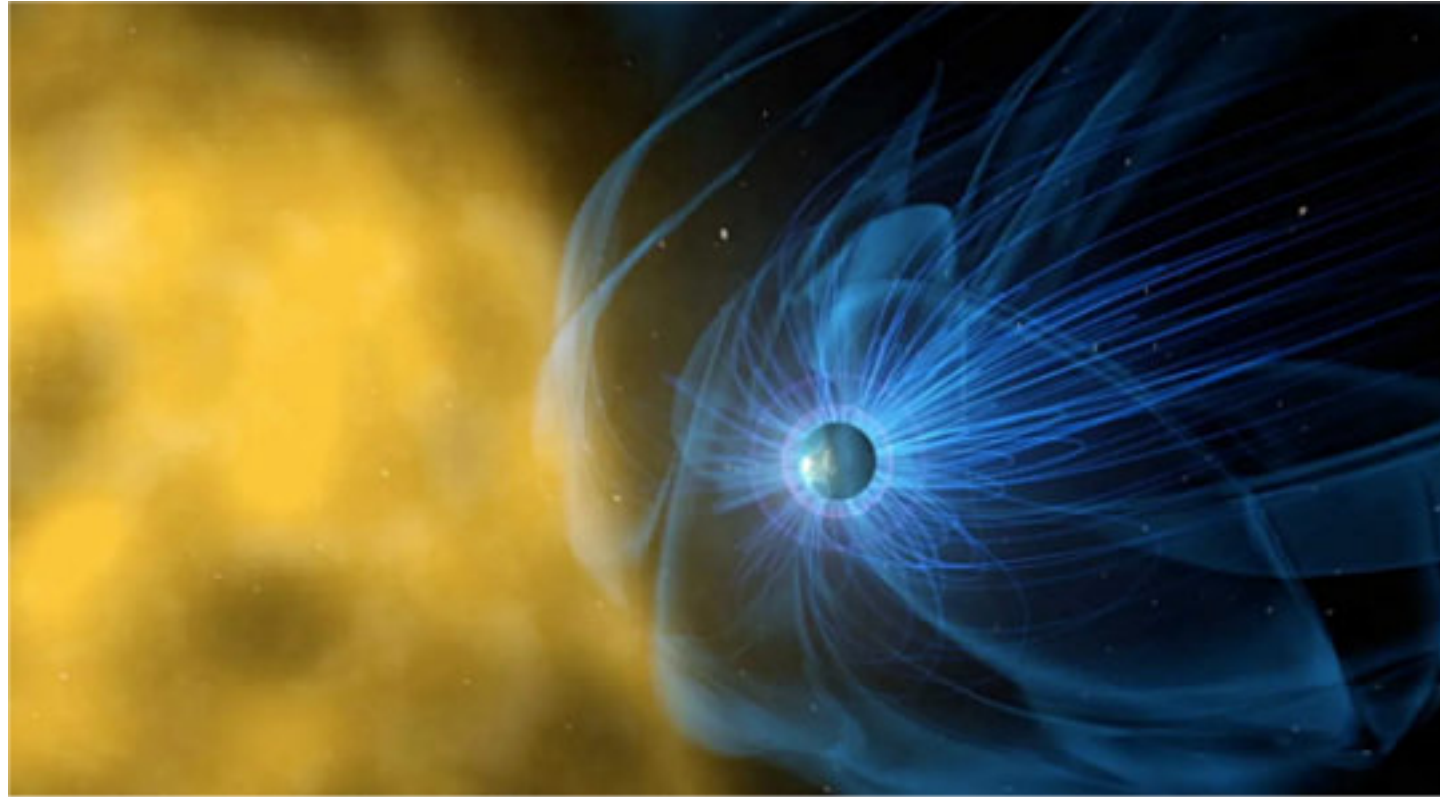
A magnetosphere is the region around a planet dominated by the planet's magnetic field. Other planets in our solar system have magnetospheres, but Earth has the strongest one of all the rocky planets: Earth's magnetosphere is a vast, comet-shaped bubble, which has played a crucial role in our planet's habitability. Life on Earth initially developed and continues to be sustained under the protection of this magnetic environment. The magnetosphere shields our home planet from solar and cosmic particle radiation, as well as erosion of the atmosphere by the solar wind - the constant flow of charged particles streaming off the sun.

Earth's magnetosphere is part of a dynamic, interconnected system that responds to solar, planetary, and interstellar conditions. It is generated by the convective motion of charged, molten iron, far below the surface in Earth's outer core. Constant bombardment by the solar wind compresses the sun-facing side of our magnetic field. The sun-facing side, or dayside, extends a distance of about six to 10 times the radius of the Earth. The side of the magnetosphere facing away from the sun - the nightside - stretches out into an immense magnetotail, which fluctuates in length and can measure hundreds of Earth radii, far past the moon's orbit at 60 Earth radii.

NASA heliophysics studies the magnetosphere to better understand its role in our space environment. Such research helps unravel the fundamental physics of space, which is dominated by complex electromagnetic interactions unlike what we experience day-to-day on Earth. By studying this space environment close to home, we can better understand the nature of space throughout the universe. Additionally, space weather within the magnetosphere - where many of our spacecraft reside - can sometimes have adverse effects on space technology as well as communications systems. Better understanding of the science of the magnetosphere helps improve our space weather models.

NASA's studies of the magnetosphere include research into: understanding the nature of the electromagnetic phenomena in near-Earth space; how near-Earth space responds to external and internal stimuli; how the coupled middle and upper atmosphere respond to external factors; and how the various regions of the magnetosphere and upper atmosphere interact with each other.

NASA heliophysics missions contributing to magnetospheric research are: Balloon Array for Radiation-belt Relativistic Electron Losses; Geotail; the Magnetospheric Multiscale mission, Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms; Two Wide-Angle Imaging Neutral-Atom Spectrometers; and the Van Allen Probes. Additionally, instruments on other NASA missions -- for example, Juno, which observes Jupiter -- observe the magnetosphere of other planets.



Earth is surrounded by a giant magnetic bubble called the magnetosphere, which is part of a dynamic, interconnected system that responds to solar, planetary, and interstellar conditions. Credit: NASA

Earth's magnetic field videos (NASA).

<https://svs.gsfc.nasa.gov/20068/>

<https://www.youtube.com/watch?v=o4FSg-90XIA>

<https://www.youtube.com/watch?v=iVSD9x598jw>

https://www.youtube.com/watch?v=qpdQcw_52iM&t=15s

<https://www.youtube.com/watch?v=9HQ1g8vfKa8>

<https://www.youtube.com/shorts/2ErKfviUIHg>

<https://www.youtube.com/watch?v=jaB4cSPWBNO>

Reversals: Magnetic Flip

What do we mean by a magnetic reversal or a magnetic 'flip' of the Earth?

How often do reversals occur?

Is the Earth's magnetic field reversing now? How do we know?

How quickly do the poles 'flip'?

What happens during a reversal? What do we see at the Earth's surface?

Is there any danger to life?

I'm interested in a more technical description. Can you tell me more?

Links to other descriptions of the Earth's magnetic field.

What do we mean by a magnetic reversal or a magnetic 'flip' of the Earth?

The Earth has a magnetic field, as can be seen by using a magnetic compass. It is mainly generated in the very hot molten core of the planet and has probably existed throughout most of the Earth's lifetime. The magnetic field is largely that of a dipole, by which we mean that it has one North pole and one South pole. At these places, a compass needle will point straight down, or up, respectively. It is often described as being similar in nature to the field of a bar (e.g. fridge) magnet. However there is much small-scale variation in the Earth's field, which is quite different from that of a bar magnet. In any event, we can say that there are currently two poles observed on the surface of the Earth, one in the Northern hemisphere and one in the Southern hemisphere.

By magnetic reversal, or 'flip', we mean the process by which the North pole is transformed into a South pole and the South pole becomes a North pole. Interestingly, the magnetic field may sometimes only undergo an 'excursion', rather than a reversal. Here, it suffers a large decrease in its overall strength, that is, the force that moves the compass needle. During an excursion the field does not reverse, but later regenerates itself with the same polarity, that is, North remains North and South remains South.

How often do reversals occur?

As a matter of geological record, the Earth's magnetic field has undergone numerous reversals of polarity. We can see this in the magnetic patterns found in volcanic rocks, especially those recovered from the ocean floors. In the last 10 million years, there have been, on average, 4 or 5 reversals per million years. At other times in Earth's history, for example during the Cretaceous era, there have been much longer periods when no reversals occurred. Reversals are not predictable and are certainly not periodic in nature. Hence we can only speak about the average reversal interval.

Is the Earth's magnetic field reversing now? How do we know?

Measurements have been made of the Earth's magnetic field more or less continuously since about 1840. Some measurements even go back to the 1500s, for example at Greenwich in London. If we look at the trend in the strength of the magnetic field over this time (for example the so-called 'dipole moment' shown in the graph below) we can see a downward trend. Indeed projecting this forward in time would suggest zero dipole moment in about 1500-1600 years time. This is one reason why some people believe the field may be in the early stages of a reversal. We also know from studies of the magnetisation of minerals in ancient clay pots that the Earth's magnetic field was approximately twice as strong in Roman times as it is now.

<https://geomag.bgs.ac.uk/education/reversals.html>

<http://www.phy6.org/Education/Intro.html>

https://www.matematicaescuola.it/materiale/fisica/campo_magnetico/Articoli/WHEN%20NORTH%20GOES%20SOUTH%20.htm

New evidence for a human magnetic sense that lets your brain detect the Earth's magnetic field

<https://theconversation.com/new-evidence-for-a-human-magnetic-sense-that-lets-your-brain-detect-the-earths-magnetic-field-113536>

Do human beings have a magnetic sense? Biologists know other animals do. They think it helps creatures including bees, turtles and birds navigate through the world. Scientists have tried to investigate whether humans belong on the list of magnetically sensitive organisms. For decades, there's been a back-and-forth between positive reports and failures to demonstrate the trait in people, with seemingly endless controversy. The mixed results in people may be due to the fact that virtually all past studies relied on behavioral decisions from the participants. If human beings do possess a magnetic sense, daily experience suggests that it would be very weak or deeply subconscious. Such faint impressions could easily be misinterpreted – or just plain missed – when trying to make decisions. So our research group – including a geophysical biologist, a cognitive neuroscientist and a neuroengineer – took another approach. What we found arguably provides the first concrete neuroscientific evidence that humans do have a geomagnetic sense.

How does a biological geomagnetic sense work?

The Earth is surrounded by a magnetic field, generated by the movement of the planet's liquid core. It's why a magnetic compass points north. At Earth's surface, this magnetic field is fairly weak, about 100 times weaker than that of a refrigerator magnet. Over the past 50 years or so, scientists have shown that hundreds of organisms in nearly all branches of the bacterial, protist and animal kingdoms have the ability to detect and respond to this geomagnetic field. In some animals – such as honey bees – the geomagnetic behavioral responses are as strong as the responses to light, odor or touch. Biologists have identified strong responses in vertebrates ranging from fish, amphibians, reptiles, numerous birds and a diverse variety of mammals including whales, rodents, bats, cows and dogs – the last of which can be trained to find a hidden bar magnet. In all of these cases, the animals are using the geomagnetic field as components of their homing and navigation abilities, along with other cues like sight, smell and hearing.



EL RADÓN (^{222}Rn) UN TRAZADOR NATURAL Y FUENTE DE CÁNCER EN PULMÓN.

Faustino Juárez Sánchez

Laboratorio de Radiactividad Natural, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior Ciudad Universitaria, Ciudad de México, CP.04510.e-mail: тино@igeofisica.unam.mx

RESUMEN

El radón 222 es un radioisótopo radiactivo natural producto del decaimiento radiactivo del radio. Este gas se encuentra en todo el planeta con diferentes concentraciones dependiendo de la geoquímica de cada zona.

Esta característica, le permite que se pueda usar como un trazador radiactivo natural que pueda servir de herramienta para la interpretación de algunos procesos geológicos y geofísicos. Sin embargo, al ser un radioisótopo, continua el proceso de decaimiento radiactivo emitiendo partículas alfa, por lo que cuando este gas ingresa en seres humanos y animales, se presentan daños en el tejido blando de los pulmones dándolos, constituyendo la segunda fuente de cáncer pulmonar.

En México la mayor parte de las construcciones se hacen con material de origen geológico, lo cual debe ser considerado para la presencia de ^{222}Rn dentro de las construcciones. La cinética de este gas desde el interior de la corteza a la superficie se puede utilizar como un trazador que permite hacer un seguimiento aplicado aun proceso geológico como subsidencia, subducción y sismicidad.

Antecedentes

La exposición de la población a la radiación no puede ser evitada ya que la radiación es un proceso en que las fuentes radiactivas son de origen natural, la mayor fuente de radiactividad natural se encuentra en la misma corteza terrestre, en la cual, tanto en el subsuelo como en la

superficie, se tienen minerales que contienen radioisótopos radiactivos como:

^{235}U , ^{238}U , ^{234}Th , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{14}C , ^3H , ^{222}Rn , ^{40}K y ^{210}Po .

La distribución de los elementos radiactivos en la corteza terrestre es debida a la geología propia de la Tierra, los efectos de estos elementos sobre la población se incrementan si el asentamiento de ciudades y poblados es sobre áreas con alto contenido de elementos radiactivos. En el caso de la actividad geológica, los procesos tectónicos y de vulcanismo principalmente, distribuyen y exponen minerales radiactivos durante su actividad en diferentes puntos del planeta; la actividad humana es un proceso de menor escala pero que sin embargo con los procesos de beneficio de los radioisótopos y la extracción de minerales radiactivos han afectado la distribución natural (Juárez, 2014).

La principal fuente conocida de radón que se libera a la atmósfera es la corteza terrestre, en la corteza terrestre, se encuentran cantidades traza de radio que es progenitor del radón, este a su vez al ser un elemento gaseoso pasa a ser un componente que llena los poros del suelo y se difunde por las fisuras ascendiendo hasta incorporarse a la atmósfera, este paso, incluye la incorporación de este gas a las estructuras de casas y edificios.

El radón que ingresa a las construcciones se ve afectado por varios factores, entre los cuales están: el contenido de radio, la porosidad del suelo, el tipo de material de construcción, el contenido de humedad y las condiciones meteorológicas. En México se tienen diferentes condiciones climáticas, existen dos mecanismos por lo que el radón se mueve a partir del suelo, el primero es el movimiento del radón por difusión molecular a través del aire contenido en los poros del suelo, el transporte del radón puede darse por arrastre o por flujo en un fluido, por lo tanto, el radón puede usar el agua o el aire como medio de transporte suficientemente rápido antes de que decaiga por completo.

El segundo mecanismo es mediante un flujo presurizado dirigido, que se crea por la fuerza del aire que se infiltra en las construcciones, el efecto del choque térmico y el desplazamiento del viento sobre las paredes de la

construcción. Las fracturas y los hoyos pequeños menores a 0.5 mm son un medio de conexión para la migración y transporte del gas con una presión negativa de 0 a 2 Pascal (Lindmark y Rosen, 1985). Bajo ciertas circunstancias la alta permeabilidad del suelo puede permitir un flujo suficiente de tal forma que el radón puede entrar a las casas desde una profundidad de 10 m (Nazaroff y Nero, 1984).

La referencia de valor que se utiliza comúnmente en México es la establecida por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, según la EPA, el nivel promedio de radón interior es aproximadamente 1.3 picocurios por litro (pCi/L). Las personas deben tomar medidas para bajar los niveles de radón en el hogar si el nivel es de 4.0 pCi/L o superior.

Materiales de construcción

En México a diferencia de Estados Unidos, la construcción de casas se hace a partir de materiales de origen geológico. Una de las fuentes de radón en el interior (indoor) son los materiales de construcción, todos los materiales de construcción naturales contienen ²³⁸U y son por consecuencia, potenciales emisores de radón, algunos materiales tienen alta concentración de ²³⁸U y ²²⁶Ra, un material natural que contiene mayores concentraciones de uranio es el granito, pero también se puede encontrar en otros tipos de materiales locales usados para la construcción como arcillas y algunos concretos ligeros y pesados fabricados con cenizas que contiene uranio, principalmente las que provienen de actividades mineras.

Los materiales de construcción son obtenidos a partir del suelo y rocas que contienen radionúclidos que se

encuentran naturalmente en la corteza, la exhalación del ²²²Rn predomina en los materiales de construcción (Ingersol, 1983). Los materiales para la construcción de una estructura contribuyen sustancialmente a la concentración indoor del radón, cuando el contenido de radio es elevado respecto al normal (cerca de 1 pCi/g) (Walsh and Lowder, 1983) y la rapidez de emanación es alta.

Materiales de construcción empleados en México.

En la República Mexicana, de acuerdo a los datos del INEGI (2010) la mayor parte de las casas habitación cuentan con piso diferente a tierra y paredes de material sólido como se muestra en la tabla 1, (INEGI, 2010).

Del total de las viviendas en México solo el 6.2% tiene piso de tierra, esto es sin ningún tipo de revestimiento y por lo tanto es la mayor fuente de radón intramuros estos datos se repiten para la mayoría de los Estados de todo el País.

Los materiales empleados varían de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Estado de la República Mexicana
- Disposición del material geológico de acuerdo a la geología del lugar
- Clima

La arquitectura y manufactura de los materiales de construcción depende entre otros factores de las condiciones climáticas y socio económicas propias de las comunidades, los materiales de construcción más utilizado se muestran en la Figura 1.

Total, de viviendas particulares habitadas, 2010	28,607,568
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas, 2010	3.9
Porcentaje de viviendas con paredes de materiales sólidos, 2010	86.3
Porcentaje de viviendas con piso de tierra, 2010	6.2
Viviendas particulares habitadas con piso diferente de tierra, 2010	26,224,791

Tabla 1. Datos del Censo 2010 del INEGI de los Estados Unidos Mexicanos.

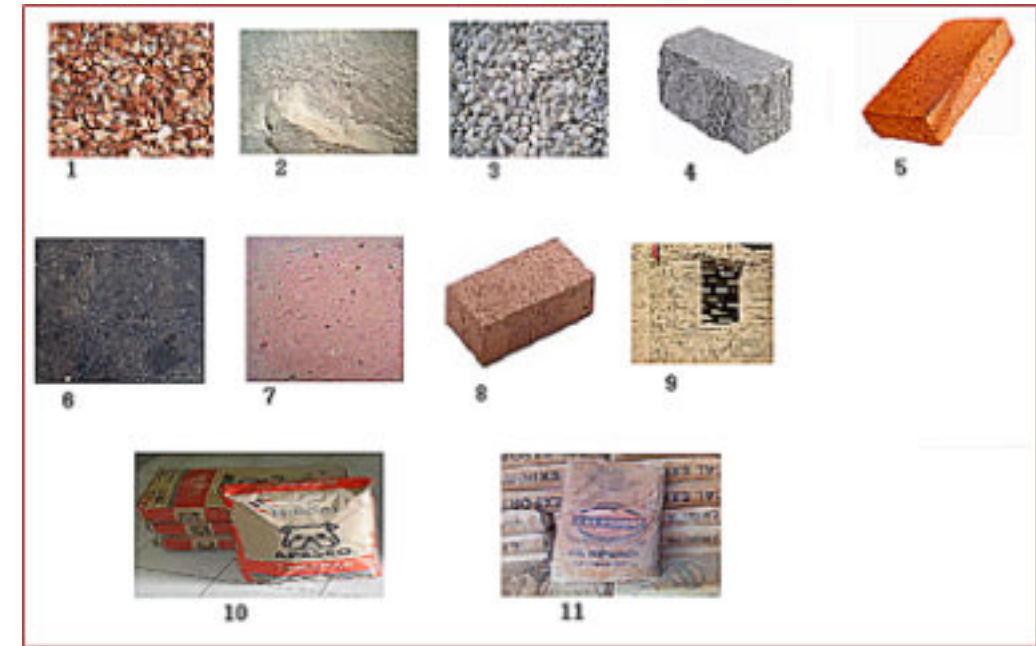


Fig. 1. Materiales de construcción más usados en México.

En donde:

1. Gravas riolíticas
2. Arena Azul
3. Grava Azul
4. Tabique ligero
5. Ladrillo rojo
6. Cantera oscura
7. Cantera rosa
8. Adoquín rojo
9. Adobe
10. Cemento
11. Cal

En la región sureste la construcción emplea material de calizas compactadas y las construcciones en áreas rurales y parte de la ciudad conserva la arquitectura Maya tradicional con casas circulares y techos de palma altos, lo cual genera un gradiente de temperatura, favoreciendo una temperatura menor en la parte inferior del interior de las casas y mayor en el techo de esta. Este tipo de diseño de construcción (Figura 2) favorece uno de los mecanismos de emanación de radón contenido en las rocas.



Fig. 2. Casa típica en Mérida, Yucatán. Conserva arquitectura Maya antigua.

APLICACIÓN COMO TRAZADOR NATURAL DEL ²²²Rn EN ESTUDIOS DE SISMICIDAD

En geología, una falla es una discontinuidad que se forma por fractura en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano.

Para ejemplificar esta aplicación se tiene el estudio realizado en una falla geológica en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México, el área estudiada se encuentra a las faldas del Cerro denominado Peñón del Marqués, se abrió la tierra como consecuencia de los terremotos, el reblandecimiento del suelo por las lluvias y la pérdida de agua en el acuífero (subsistencia).

La actividad tectónica, sísmica o de subducción provoca que se dé inicialmente un microfracturamiento, que es importante para la liberación del radón contenido en las rocas, al quedar libre este gas, puede ser detectado por los detectores adecuados, sin embargo, algunos de estos métodos se ven afectados por las condiciones ambientales y por lo tanto su respuesta variara.

En este estudio, se emplean detectores de estado sólido conocidos como CR-39, es ubicaron dentro de la falla que en este trabajo se llamara falla cascada. Y otro punto de

monitoreo a mitad del Peñón del Marqués en donde se encuentra un balneario, desde este punto a la grieta abierta ubicada a 50 m de una distancia de 280 m, atravesando la Av. Zaragoza.

Lugar de Estudio

Iztapalapa se localiza en el oriente del Distrito Federal. Posee una superficie de 117 km². Limita al norte con la Iztacalco; al poniente, con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán; al sur, con las delegaciones Tlahúac y Xochimilco; y al este, con los municipios mexiquenses de Netzahualcóyotl, La Paz y Valle de Chalco Solidaridad (Figura3).

La falla en estudio se muestra en la Figura 4, esta falla atraviesa la Av. General Ignacio Zaragoza en la cual se aprecian los efectos debido a la formación de zonas de vados. Esta área de estudio se encuentra inmersa a su vez en la denominada Faja Volcánica Transmexicana (FTVM). El cerro del Peñón del Marqués es un volcán monogénico, la zona se encuentra formada por escorias volcánicas provenientes del mismo, se observa un asentamiento muy notorio en la parte norte del edificio, así como derrumbes. La parte abierta de la grieta se encuentra dentro del Deportivo La cascada en las coordenadas 19°22'48.23"N, 99° 1'32.29"O.



Fig. 3. Ubicación de la zona de estudio.



Fig. 4. Área de estudio

El Peñón del Marqués constituye un acuífero en rocas volcánicas fracturadas y materiales piroclásticos del Pleistoceno, similar al Cerro de la Estrella y a la Sierra de Santa Catarina. En sus alrededores existe un acuitardo en materiales lacustres originados por el depósito de material fino, principalmente, en las antiguas zonas de lagos.

Distribución de las fracturas

La Figura 5 muestra la distribución de fracturas en el área del Peñón del Marqués y sus alrededores.

Para la cuantificación del radón emanado en la zona de estudio se seleccionó la zona de acuerdo con la información recopilada y se ubicaron los puntos en el Cerro del Peñón del Marqués concretamente dentro de las instalaciones del balneario Elba y en frente de este en la



Fig. 6. Dispositivos usados en esta investigación.

unidad deportiva La Cascada. Se colocaron los NTD dentro del vaso para mediciones al aire y dentro de tubo de PVC tapado por un extremo para medir las emanaciones provenientes del suelo (Figura 6).

Los resultados obtenidos de las concentraciones de radón se compararon con la actividad sísmica (Figura 7) en el mismo periodo del monitoreo de radón, los datos obtenidos se muestran en las gráficas 1 y 2.

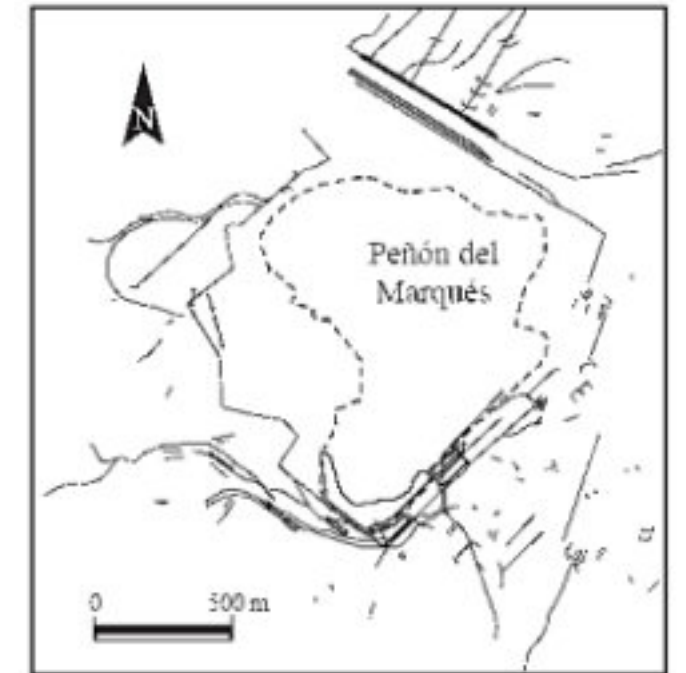
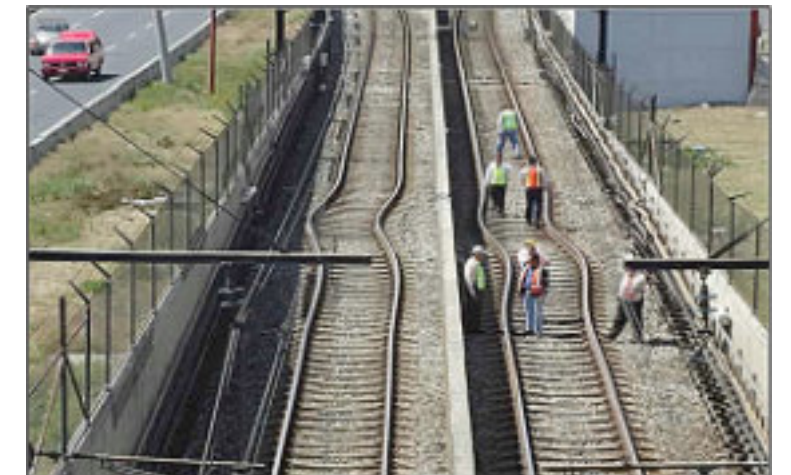


Fig. 5. Distribución de las fallas en el Peñón del Marqués

Fig. 7. Daño causado por el sismo de enero 2012 en vías del metro sobre calzada Zaragoza.



Conclusiones

Como se puede observar, el radón 222 resulta ser un contaminante de riesgo para la salud humana, máxime que, en nuestro caso como población mexicana, predomina el uso de materiales de construcción de origen geológico, pero a la vez es un trazador radiactivo natural que puede ser empleado en procesos de investigación de efectos geológicos y geofísicos.

Los resultados obtenidos en la falla geológica son interesantes ya que al haber coincidido la alta actividad sísmica con el monitoreo continuo del lugar se observa una elevación en la concentración de ²²²Rn (gráfica 2), lo que al comparar con la gráfica 1 referente a la sismicidad hay una relación directa en ambas, sin embargo, debido a que los detectores son pasivos no se puede definir la fecha exacta del incremento de la actividad sísmica.

El conocer oportunamente los niveles de radón en los que vivimos nos permitirá minimizar a la segunda fuente causante de cáncer de pulmón, ya que al conocer las

fuentes de este gas, permitirá definir las barreras adecuadas que eviten en lo posible la acumulación de este radioisótopo en los interiores de las construcciones.

Referencias

INEGI, 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>

Juárez F. 2014. Estudio de ²²²Rn en Intramuros Mediante Detectores de Trazas Nucleares Sólidos. Tesis Doctoral. UAEMex.

Lindmark, A., Rosen, B." Radon in soil gas exhalation tests and In-situ measurements." Sci. Total Envir., 45, 397, 1985.

Walsh P. J. and Lowder W. M. Assessing the Risk from Exposure to Radon in Dwellings. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY.

Faustino Juárez Sánchez



- Doctorado en Ciencias por la UAEMex
- Doctorado en Educación por la Universidad Insurgentes
- Candidato a Doctor en Ciencias Química en la Facultad de Química, UNAM
- Maestría en Ciencias Nucleares en la Facultad de Química, UNAM
- Ingeniero Químico Metalúrgico en la Facultad de Química, UNAM
- Jefe del Laboratorio de Radiactividad Natural del Instituto de Geofísica, UNAM
- Profesor de asignatura en la Facultad de Química, UNAM
- Disciplinas de investigación: Geoquímica nuclear, Química ambiental, Geominería, Exploración Geofísica, Metalurgia Extractiva, Química Analítica.
- Capacitador acreditado ante la Secretaría de Trabajo y Previsión Social
- Cursos recibidos: 53
- Cursos impartidos: en el extranjero: 43

NITRIFICACIÓN DE LAS AGUA SUBTERRÁNEAS EN AMBIENTES ANQUIHALINOS DEL KARST COSTERO DE CUBA

Leslie F. MOLERO-LEON

INVERSIONES GAMMA, S.A,
Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba
E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

RESUMEN

Se identifican las cuevas como fuentes puntuales de nitrificación de acuíferos cársicos y se describen los resultados de la modelación matemática de los procesos de migración de nitratos en condiciones de flujo concentrado y flujo difuso. Se comentan los procesos de adquisición de nitrógeno por fallout.

Palabras clave: *Cuba, karst, nitratos*

ABSTRACT

Caves are identified as point sources of nitrification in karst aquifers, and the results of mathematical modeling of nitrate migration processes under concentrated and diffuse flow conditions are described. Nitrogen acquisition processes by fallout is also discussed.

Key words: *Cuba, karst, nitrates*

INTRODUCCIÓN

El karst litoral es un entorno especialmente frágil y vulnerable donde ocurre un complejo grupo de procesos biogeoquímicos de intercambio de masa, momento y energía entre la superficie y el subsuelo. El particular desarrollo del cavernamiento produce ambientes anquihalinos caracterizados por la escasez de alimento, oscuridad, acceso restringido a la superficie y exhiben habitantes considerados como animales troglomórficos, y en donde la influencia del mar es evidente (Bribiesca y Alonso, 2014). Los ambientes anquihalinos parecen ser más comunes en bancos carbonatados o flujos de lava de las zonas tropicales que en otros entornos. La atenuación de las fluctuaciones de marea indica la influencia de una masa de agua interior que se extiende tierra adentro (Iliffe, 1992) y en ellas, las variaciones relativas de la posición del nivel del mar se transforman en una función de forcing que afecta la resiliencia y autorregulación de este ambiente hipogeo (Molerio, Balseiro y Condis, 2014).

En el sentido que originalmente Holthius (1973) lo describió, el medio anquihalino considera cuerpos de agua salobres que constituyen el hábitat de camarones rojos, con la particularidad de no estar conectados con el mar y que fluctúan con las mareas. El término proviene del Griego "*anchialos*", que significa "cerca del mar"¹. Los ambientes anquihalinos parecen ser más comunes en bancos carbonatados o flujos de lava de las zonas tropicales que en otros entornos. La atenuación de las fluctuaciones de marea indica la influencia de una masa de agua interior que se extiende tierra adentro (Iliffe, 1992). En Cuba es el hábitat pero no exclusivo de *Barbouria cubensis* Martens (<https://marinespecies.org/worcs/aphia.php/api-docs/aphia.php?p=taxdetails&id=421772>; Juarrero y Gómez, 1995).

La denominación es biológica por excelencia y se ha extendido a un singular ambiente con particularidades biogeodinámicas específicas en la que el agua, agente de transferencia e intercambio influye decisivamente, con sus variaciones de salinidad y de conexión con el mar, en la distribución de la biota de estos cuerpos de agua. Algunos ambientes de este tipo pueden contener fauna marina y otros, más alejados de la costa, muestran especies inusuales y más escasas.

¹ It is suggested now to use the term "anchialine" (from the Greek anchialos, near the sea) to indicate this type of habitat, rather than to have to define it each time as "pools with no surface connection with the sea, containing salt or brackish water, which fluctuates with the tides".

Pero más aún, el particular ambiente de las cuevas anquihalinas litorales también soporta una biota troglóxena y troglobia cuya biogeodinámica es parcialmente responsable de cambios en la composición química de los sedimentos hipogeos y de las aguas subterráneas –tanto dulces del acuíferos como de las de mezcla con el mar, que llegan a alterar su calidad e incluso, alcanzar niveles considerados contaminantes por las normativas correspondientes.

El uso social de muchas de estas cuevas para abasto de agua potable, rituales religiosos, turismo y esparcimiento también las convierte en un recurso económico, además del valor científico que tienen *per se* y que se requiere proteger adecuadamente.

Recientemente, Molerio (2021, 2023) y Molerio, Martínez y Sardiñas (2022) han precisado un modelo matemático que califica a la variable de aporte biogeoquímico de la biocenosis de las cavernas en zonas cársicas como foco puntual de nitrificación de las aguas subterráneas. Ello ha permitido replantear el modelo conceptual del proceso, pasando de fuentes difusas (*non-point- diffuse source*) a focos puntuales específicos (*point source*) al que a) se pueden aplicar métodos de cálculo de la carga local de nitrógeno; b) definir el comportamiento sumidero-fuente; c) identificar con precisión, mediante técnicas isotópicas, todo el proceso de migración de los nutrientes, así como, d) la biogeoquímica de los mecanismos de oxidación reducción que controlan la nitrificación y la desnitrificación. Las cuevas en el karst, devienen así, elementos de vital importancia para gestionar la contaminación de las aguas subterráneas por compuestos de nitrógeno, asignándole un papel diferenciado –como foco puntual- y tradicionalmente no considerado en la evaluación de la contaminación de las aguas subterráneas por nutrientes nitrogenados.

Un resumen extenso de este estudio fue remitido recientemente al **PRIMER FORO REGIONAL SANEAMIENTO PARA LA SUSTENTABILIDAD DEL AGUA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.**

RECONOCIMIENTOS

Recibimos la inestimable cooperación en distintos trabajos de campo y gabinete y consultas de María del Carmen Martínez, Orestes Sardiñas, Raydel Alonso, Lorena Guillén, Claudia Hernández, Osly Scull, Melanie Mencía, Gaspar Prada, Yamilé Luguera y Alfredo Contreras así como el apoyo logístico de Jairo Ramos y la opinión altamente especializada de Carlos A. Mancina. Ana, mi compañera, participó activamente en todas las etapas del trabajo de campo y gabinete.

PAPEL DE LA BIOTA Y LA CADENATRÓFICA

Las cuevas constituyen sumideros puntuales de N fijado en la forma del guano y sales de nitró cristalizadas (McFarlane, Lundberg y van Rentergem, 2017; McFarlane y Lundberg, 2018). En opinión de estos autores, el nitrógeno que se entrega a la atmósfera como amonio (gas) se pierde en el ecosistema y el que se exporta desde la cueva en la forma de aguas que drenan los depósitos de guano no se distribuyen geográficamente de manera uniforme y no está disponible para la mayor parte del ecosistema. A largo plazo, el secuestro de Nitrógeno en el guano puede ser del orden de decenas de miles de años.

Además de las particulares relaciones del acuífero que se descubre en estas cuevas anquihalinas, la parte aérea, no inundada, también soporta una particular fauna troglófila, quirópteros típicamente, acompañada de toda la biota asociada a su cadena trófica. Un singular incremento de la nitrificación de estas aguas anquihalinas se ha notado en ciertas cuevas bajo la singular condición de borde en la que no se reconoce fuente alguna clásica de nitrificación –sobre todo básicamente difusas- de las aguas subterráneas y, sobre todo las antrópicas, han dejado de ser práctica habitual en sus cuencas vertientes.

Los resultados mostraron que los sedimentos hipogeos dominados por *Actinobacteria* y *Proteobacteria* tienen una participación activa en el metabolismo de carbono, nitrógeno, metano y en vías metabólicas complejas responsables de la supervivencia de la comunidad bacteriana en ambientes hipogeos con limitados nutrientes (De Mandal, Chatterjee y Senthil Kumar, 2017). Para Hill (1981) los microorganismos nitrificadores *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* que se encuentran en los sedimentos subterráneos, paredes y techos de los sistemas Mammoth y Dixon pueden

formar nitratos y regenerar las sales de nitró siempre que pueda disponerse de una fuente de amoníaco como la que puede provenir de las aguas de percolación.

La microbiota desempeña un papel ecológico significativo en los procesos biogeoquímicos que controlan la atmósfera hipogea. Martín-Pozas et al. (2020), partiendo del estudio de las funciones y el metabolismo de la microbiota en los sedimentos de la Cueva del Vapor (sureste de España), han señalado que se produce N_2O en las áreas profundas, por debajo de los 15 m, con concentraciones altas de CO_2 y déficit de O_2 en los sedimentos, que indican un dominio de condiciones ambientales hipóxicas y ácidas. Este ambiente permite la liberación de nitrato, óxido nítrico e hidroxilamina como productos del metabolismo de arqueas y reducción de nitratos. Añaden que, de hecho, a la profundidad de 15 metros las comunidades de arqueas están dominadas por *Nitrososphaeria*, lo cual es consistente con la presencia de estas arqueas en los sedimentos profundos y una mejor supervivencia en ambientes con bajo oxígeno disuelto.

El mayor peso, sin embargo, lo tienen las excretas de murciélagos (sobre todo insectívoros) y aves, los nidos de éstas (vencejos, golondrinas de cuevas) y otros troglófilos. De hecho, las bondades del guano de murciélago como fertilizante natural se deben a que su extraordinaria riqueza en compuestos de nitrógeno. Los volúmenes de guano suelen ser importantes y, de hecho, una de las cuevas en el área (Cinco Cuevas, Fig. 1) fue sometida, en más de una oportunidad, a la extracción industrial intensiva del guano de murciélago.

El enriquecimiento orgánico e inorgánico del guano se debe a la activa participación de los metales, como han señalado Wurster y colaboradores (2015; véase Fig. 2, que reproducimos). Los metales que se derivan localmente se bioacumulan en los insectos mediante las plantas o directamente en los insectos debido al polvo –que puede migrar a las cuevas por el viento- o a la ingesta por la alimentación de los murciélagos. De igual modo, los aerosoles que contienen metales, polvo, quitina se acumulan en el pelaje de éstos y, subsecuentemente, son ingeridos en la descomposición. El guano mezclado con metales, polvo, quitina y queratina es depositado en las excretas y procesado por las bacterias e insectos coprófagos. También se enriquece con Carbono (40-50%), Nitrógeno (8-10%), Potasio, Fósforo (2-7 % como fosfatos) y Azufre (10-20%).

Pero la fuente dominante será siempre el guano depositado en las cuevas habida cuenta que existe una importante población estable de quirópteros (frugívora-polinívora e insectívora). El procesamiento bacteriano del guano y la urea liberan CO_2 , NH_3 y ácidos fórmico y sulfúrico como bioproductos, lo que provoca una reducción del pH y una pérdida sustancial de Carbono orgánico y Nitrógeno que, a su vez, contribuye a la concentración de metales.

Según Wurster et al. (2015), los abundantes fosfatos y sulfatos interactúan con el material intemperizado de las paredes de la cueva, fundamentalmente calcio, o liberado de las arcillas, como el aluminio o el hierro, para formar minerales fosfatados únicos (leucofosfita, esfeniscidita, whitlockita) o sulfatos de calcio, como el yeso y la basanita. Estos últimos son sumamente solubles y pueden ser lavados, pero los metales, relativamente insolubles permanecen cuando está asociado a los fosfatos. Consideran estos autores que un sumidero importante debe ser el ácido úrico y la guanina, cuya relación C:N es muy baja (1,1 y 0,85, respectivamente) y son insolubles en agua. Pero, aunque la componente orgánica del guano se degrada rápidamente, las secuencias antiguas de guano conservan firmas de carbono orgánico y nitrógeno. La relación C:N se incrementa pero faltan mediciones de $\delta^{15}N$ para cuantificar este comportamiento.

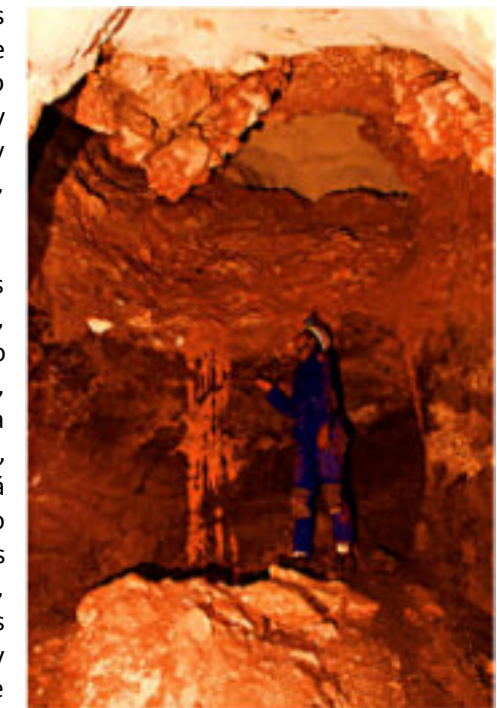


Fig. 1. Sector de Cinco Cuevas excavado para la extracción industrial de guano de murciélago (Brigitte Pileta en la foto de Vladimir Otero).

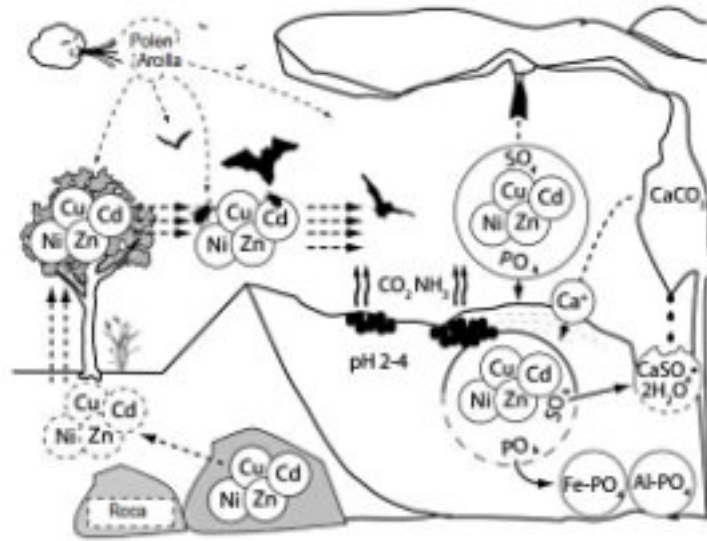


Fig. 2. Enriquecimiento orgánico e inorgánico del guano debido a los murciélagos (tomado de Wurster, et al., 2015).

Los valores más altos de N como NH_3 y NH_4 se han encontrado, siempre, en el guano de murciélago, y tanto como del orden de los 10000 g/L (Beltrán-Morales et al. 2019). Quek et al. (2015), han señalado que las concentraciones de nitritos en los nidos en cuevas de las aves *Aerodramus fuciphagus* y *Aerodramus maximus* varían entre 843,8 $\mu\text{g/g}$ y 36999,4 $\mu\text{g/g}$.

El guano de murciélago de las cuevas estudiadas por Ageton (1917), en un trabajo clásico sobre el tema en Cuba, mostró ser mayoritariamente fosfatado (promedio de P_2O_5 total de 18,6% y de N total, 0,94%. Sin embargo, Silva (1980) señala que el 92% de las especies de murciélagos cubanos son insectívoros. De hecho, añade que los “miembros de las familias Mormoopidae, Natalidae, Vespertilionidae, y Molossidae muestran especialización extrema en la categoría fundamental de los consumidores de insectos, aunque el peso principal de la contribución a la categoría (importancia trófica) recae muy parejamente en molósidos y mormópidos, en tanto natálidos y vespertiliónidos representan los componentes menos importantes” (:320).

Particularmente en este sentido, la presencia abundante en el territorio del murciélago *Phyllonycteris poeyi*, es un indicador de ciertas especificidades que contribuyen a sustentar el aporte del guano de murciélago a los procesos de nitrificación de las aguas subterráneas y del ambiente cavernario en general. *Pteronotus quadridens*, codominante en cuevas calientes (de calor, o en trampas térmicas) y *Brachyfilla nana*, *Pteronotus macleayii macleayii*, *Eptesicus fuscus dutertreus* y *Tadarida brasiliensis muscula* también han sido reportados en la zona y aparecen depositados en las colecciones de Instituto de Ecología y Sistemática de Cuba (Mancina, González y Daniel, 2005). En el área de estudio han sido reportados: *Phyllonycteris poeyi* Gundlach, 1861, *Pteronotus quadridens quadridens* (Gundlach, 1840), *Pteronotus macleayii macleayii* (Gray, 1839), *Eptesicus fuscus dutertreus* (Gervais, 1837) y *Tadarida brasiliensis muscula* (Gundlach, 1861).

La relación directa (aun no cuantificada, empírica) entre las cuevas calientes o con trampas térmicas, los sobresalientes hábitos gregarios y el hacinamiento de los murciélagos que las habitan, las elevadas cantidades de guano de murciélago que se encuentran en ellas² y la abundante fauna guanobia que pulula en ellas es un indicador indirecto de la potencialidad de que focos de nitrificación muy potentes se hayan establecido en ellas. Varias cuevas de este tipo se encuentran en el área de estudio, a ambos lados del río Jaruco.

² Cruz (1992:13) sin embargo, opina que “la capa de guano nunca sobrepasa un espesor promedio de 60 cm y, de hecho, contiene solo guano fresco” lo que, sin embargo, está en contradicción con otros resultados (Ageton, 1917), menciona espesores medidos de hasta 4,6 m), incluyendo los nuestros (Molerio, 1981). La histórica extracción industrial del guano de murciélago en Cuba, sa fe de los importantes depósitos de este tipo que se encuentran en las cavernas cubanas. “En Cuba, el guano de murciélago ha sido utilizado en todas las épocas por y en la década del 60 fue objeto de explotación industrial a escala nacional” (Silva, 1979:372) lo que evidentemente no hubiese sido posible de no disponerse de grandes volúmenes.

Las cuevas de calor han sido definidas, desde el punto de vista ecológico como cuevas en las que “aprovechando un accidente espeleomorfológico de características especiales, se establece una población de animales que modifican radicalmente las condiciones ecológicas, estableciéndose una comunidad biótica exclusiva por su composición, densidad, dinámica...” (Cruz, 1992). Las altas y estables temperaturas del aire (40°C y más), humedad relativa del aire (superiores al 90%), del guano de murciélago (33-37° según Longueira, 2004, y superiores a los 40°C según nuestros propios datos) constituyen especiales condiciones que favorecen los procesos biogeoquímicos de la nitrificación en esos sitios.

PROCESOS DE NITRIFICACIÓN EN CUEVAS

La nitrificación de las aguas terrestres, entendida como el incremento de la presencia de nutrientes nitrogenados (amonio, nitritos y nitratos) es una de las causas principales de la pérdida de calidad y contaminación de los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos. En Cuba, es la segunda causa de contaminación de las aguas, solo precedida por la intrusión marina que afecta los 3500 km de línea costera acuífera del país (Gutiérrez, García y Molerio, 1982). La nitrificación se caracteriza por la dinámica de su persistencia, la gran extensión territorial que alcanza y por proceder de fuentes que se caracterizan como difusas. Tales características hacen que resulte complejo y caro identificar los focos concretos de contaminación, monitorear su comportamiento temporal, adoptar medidas de denitrificación y modelar matemáticamente el tiempo de arribo y del que se requiere para el saneamiento (Molerio, Parise y Aldana, 2007; Molerio y Parise, 2009). Por su naturaleza, es muy difícil localizar puntos concretos de contaminación por nutrientes nitrogenados, a menos que se trabaje a escalas de detalle.

Efectivamente, las fuentes de nitrógeno fundamentales, todas consideradas difusas, son (Reeves, 1977; Fernald y Gilbert, 1998):

- Fijación atmosférica
- Precipitaciones
- Fertilizantes nitrogenados
- Residuales domésticos
- Residuales agropecuarios

ESTUDIO DE UN ÁREA PILOTO

La región ha sido estudiada sistemáticamente en los últimos 60 años, por el impresionante desarrollo del karst local (sólo en la margen oriental del río Jaruco, se han reportado 18 cuevas en un área de 3 km²; Fig. 3) que alberga procesos espeleogenéticos muy variados y una relación directa entre la carsificación y el cavernamiento regional y las posiciones pretéritas del nivel del mar durante el Cuaternario, como ha sido resumido recientemente (Otero et al., 2021). Su posición en el contexto del desarrollo gasopetrolífero de Cuba le ha conferido también una importancia regional a la gestión de sus recursos hídricos (Molerio et al., 2021).



Fig. 3. Acceso a una de las cuevas de área (Foto del autor)

Los estudios que permitieron llegar a este arreglo conceptual se ejecutaron en dominios acuíferos carsificados libres, tanto de flujo difuso como concentrado, en los que las fuentes fertilizantes nitrogenados, residuales domésticos y residuales agropecuarios no existen hace más de 20 años o, simplemente, nunca han existido actividades de ese tipo, quedando solamente como fuente, la las aguas de lluvia; sin embargo, en las aguas subterráneas se encuentran valores de nutrientes, nitratos sobre todo, que exhiben una gran variabilidad inter- e hiperanual sobre valores siempre altos de NO_3 (n= 251; media=17,9 mg/L; CV=1,01; máximo 90 mg/L).



Fig. 4. Trabajos de perforación geológica (Foto del autor).

La composición química de las aguas subterráneas del sistema acuífero ha sido monitoreada desde hace más de una década y, para el estudio particular de los nutrientes nitrogenados se realizaron los siguientes trabajos:

- Perforación y posicionamiento topogeodésico de tres calas hidrogeológicas de unos 20 metros de profundidad cada una para conocer en detalle el perfil litológico, facilitar la instalación de piezómetros (Fig. 4)
- Desbroce del área de las dolinas y desobstrucción de los sumideros en el polígono de mayor complejidad (Fig. 5)
- Campañas de exploración geofísica que consistieron en la documentación de dos perfiles de 200 metros de longitud para tomografía eléctrica y microgravimetría así como resistividad, termometría y cavernometría en las tres calas (Fig. 6)



Fig. 5. Desbroce, desmonte y reexcavación de una dolina y sumidero colmatados artificialmente (Foto del autor).



Fig. 6. Campaña de exploración geofísica (Foto del autor).

- Habilitación de una cueva anquihalina cercana de referencia para la medición de la composición química de las aguas de goteo y las subterráneas en un pozo doméstico que capta esas aguas (Fig. 7).



Fig. 7. Muestreo de aguas subterráneas en la Cueva del Jaguey, polígono experimental para el estudio del transporte de nitratos en el epikarst, la zona no saturada y el acuífero (Foto del autor).

Todas las aguas subterráneas muestreadas pertenecen al mismo sistema acuífero (Figs. 8 y 9) y sus diferencias se deben solamente a su mayor o menor afectación por la intrusión marina.

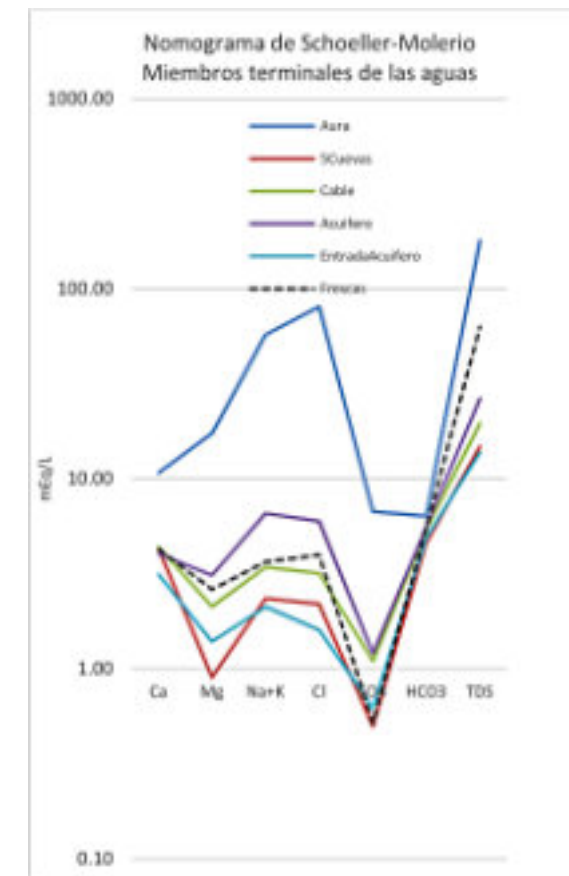


Fig. 8. Nomograma de Schoeller-Molerio de Miembros Terminales de las Aguas Terrestres de Cuba (margen oriental del área de estudio).

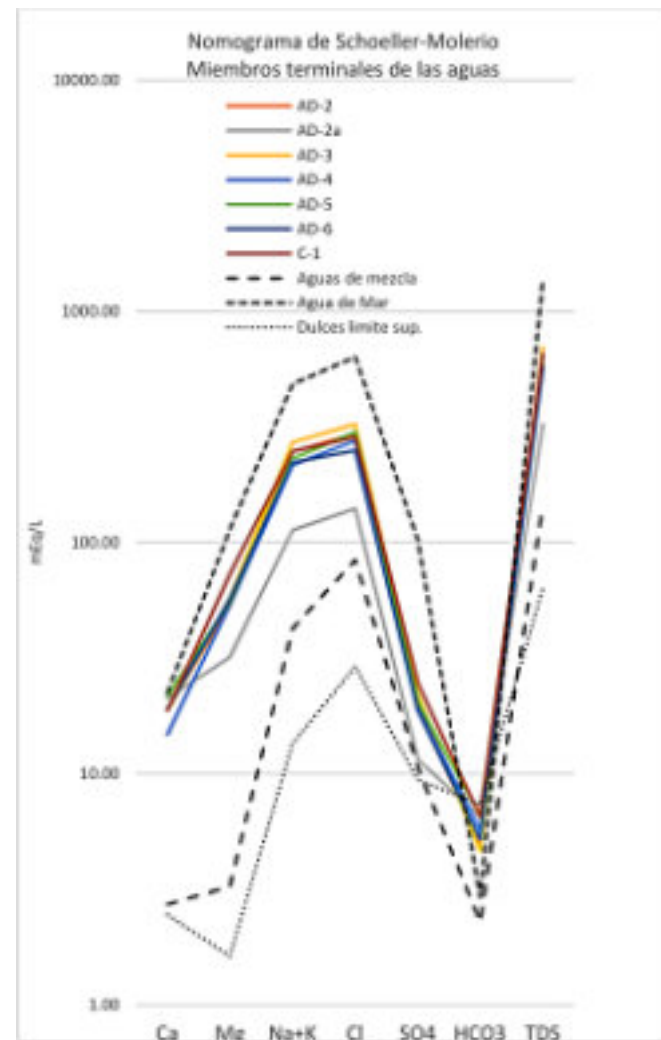


Fig. 9. Nomograma de Schoeller-Molerio de Miembros Terminales de las Aguas Terrestres de Cuba (margen occidental del área de estudio).

Asimismo, se ensayó el modelo de Huebsch et al, (2014) de migración de nitratos en las aguas subterráneas en dos ambientes hidrodinámicos diferentes (Figs. 10 y 11): un manantial cársico con dominio de flujo concentrado en la descarga y el acuífero cársico contiguo pero independiente, mayormente de flujo difuso (véanse también las Figs. 8 y 9 para la distribución de los macroconstituyentes en el Gráfico Schoeller-Molerio de Miembros Terminales).

Se comprobó para el primer caso la alternancia de transporte por movilización o disolución según el caso de tormentas específicas y flujos concentrados o difusos. En el acuífero difuso predominan los procesos de transporte por disolución sobre los de movilización. En ninguno de los dos casos las fuentes fueron las tradicionales difusas, incluidas el aporte del suelo o el epikarst por contribución de fertilizantes contribuyendo a sostener la hipótesis de ingreso de nitratos por procesos bioquímicos asociados a la biocenosis de cavernas sobre cualquier otro tipo de fuente.

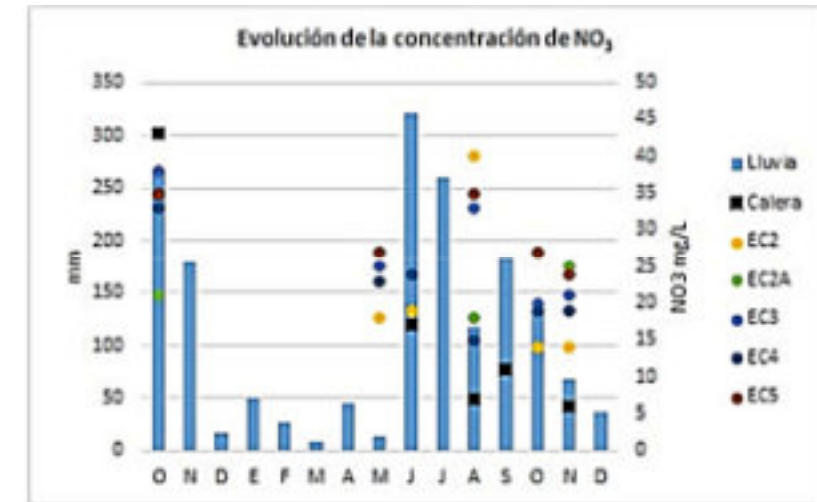


Fig. 10. Distribución conjunta de las láminas de lluvia acumuladas y concentración de nitratos en las aguas subterráneas del acuífero El Cayuelo (EC), entre Octubre, 2020 y Diciembre, 2021.

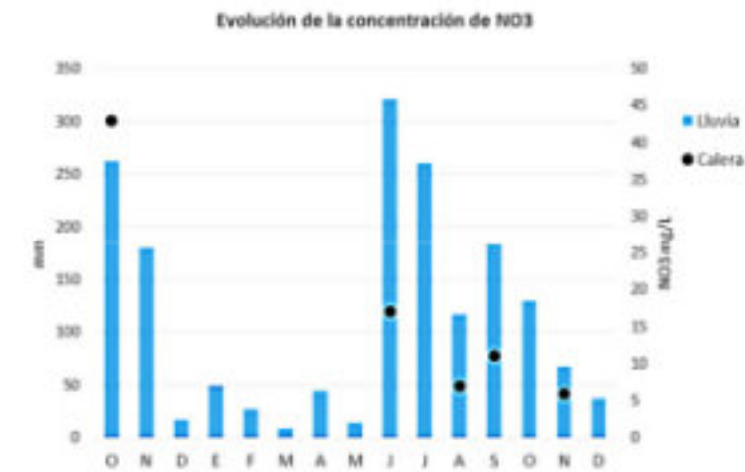


Fig. 11. Distribución conjunta de las láminas de lluvia acumuladas y concentración de nitratos en las aguas subterráneas del Manantial La Calera entre Octubre, 2020 y Diciembre, 2021.

PRINCIPALES RESULTADOS

La corrección adecuada de las variables en el modelo matemático aplicado condujo a un viraje conceptual importante, focalizando los atributos específicos de la migración de nutrientes en la región. Como conclusión válida, los estudios confirman la posibilidad –y la necesidad– de modificar el modelo conceptual tradicional de aporte de nutrientes nitrogenados de fuentes difusas (*non-point source*) e incorporar las cuevas en las regiones cársicas como focos puntuales (*point source*) de aporte de compuestos nitrogenados a las aguas subterráneas.

En la zona de estudio, el N ingresa por infiltración de las aguas de lluvia. Los valores de carga de nitrógeno en las aguas subterráneas, entre 3,16 y 4,35 mgN/L, calculados a partir de la Ecuación de Huisman, son consistentes con el rango de 3-5 mgN/L para las aguas de lluvia referido por Gutiérrez, García y Molerio, (1982), Gutiérrez, Molerio y Bustamante (1997) y Molerio y Gutiérrez (1999).

En uno de los manantiales de la zona de estudio, el Manantial de La Calera, (surgencia concentrada, de caudal autóctono, que descarga al nivel del río Jaruco, en su margen occidental) nosotros hemos registrado saltos de 17 a 44 mg/L de NO₃ luego de una tormenta; en pozos, el rango máximo observado ha sido de 0,04 a 74,0 mg/L NO₃.

La firma isotópica de las aguas muestreadas (Fig. 12), muy cercana a la Recta Meteorológica Local es consistente con esta afirmación. 115 mediciones de NO₂ en las aguas subterráneas, con un rango entre 0,01 y 1 mg/L (media de 0,055) sustentan la idea de que es muy baja carga de aporte proveniente de otras fuentes; por su parte, NH₄ se mueve entre 0,01 y 0,07 mg/L.

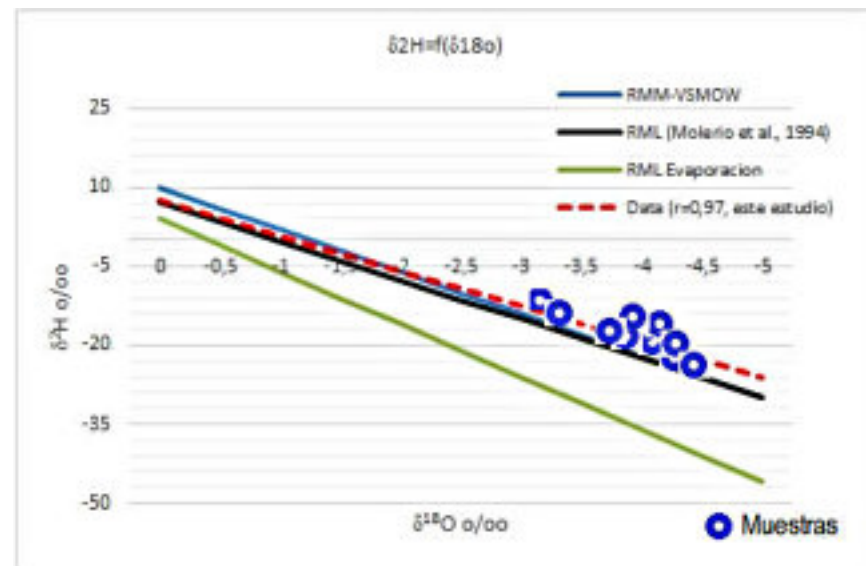


Fig. 12. Rectas Meteorológica Mundial (RMM/V-SMOW; $\delta^2H = 8\delta^{18O} + 10$), Meteorológica Local (RML; $\delta^2H = 7,41\delta^{18O} + 7,18$; Molerio et al. 1994) y de Evaporación local ($\delta^2H = 10\delta^{18O} + 4$; Molerio, 2020)

Los valores más altos de nutrientes nitrogenados en las aguas subterráneas se encuentran en verano, casualmente coincidente con el período lluvioso y también de auge en la reproducción de los murciélagos insectívoros asociado con alta probabilidad al empíricamente establecido “incremento veraniego de las poblaciones de insectos...en Cuba” (Silva, 1979:354), pues “los ciclos reproductivos de todos los organismos parecen estar adaptados en forma que la descendencia se produzca en épocas del año energéticamente favorables...” (ib). Mancina (com.pers. abril 28, 2024, nos indicó que “particularmente enero y febrero, son meses donde existe poca actividad reproductiva en murciélagos; aunque de vez en cuando te puedes encontrar con alguna hembra gestante. Si la lógica del incremento en los nitratos está asociado al incremento de la población de bats por la presencia de neonatos, es poco probable. En esa fecha los partos deben ser muy escasos o no ocurrir ninguno”.

NOTA FINAL

Identificar las cuevas y los procesos de la biogeodinámica subterránea en términos de su contribución a la nitrificación de las aguas resulta un hecho especialmente importante.

Pasar de la caracterización de fuentes difusas a la de fuentes puntuales permite acometer las acciones de saneamiento en lugares específicos y concentrar los esfuerzos científicos, tecnológicos y las fuentes de financiamiento a sitios concretos del acuífero. El hecho, en sí mismo, es fundamental para adecuar los modelos matemáticos de dispersión-difusión a dominios hidrodinámicos diferenciados de flujo difuso o concentrado, definir los mecanismos de enriquecimiento de nitrógeno atmosférico y distinguir adecuadamente el comportamiento en el campo de flujo.

La Habana, Junio, 2025

REFERENCIAS

Ageton, C.N. (1917): **Guano de murciélago en Cuba**. Est. Exp. Santiago de las Vegas, Imp. P. Fernández y Cía, La Habana, 57:

Beltrán-Morales, F. A., A. Nieto-Garibay, J. S. A. Murillo-Chollet, F. H. Ruiz-Espinoza, E. Troyo-Dieguez, J. A. Alcalá-Jauregui y B. Murillo-Amador (2019): **Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica**. Terra Latinoamericana 37: 371-378.

Briebesca Contreras, Guadalupe y Francisco Alonso Solís Marín (2014): **Las cuevas anquihalinas: laboratorios de la naturaleza**. Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Estudios de Posgrado, México 144.

De Mandal, S., R. Chatterjee, N. Senthil Kumar (2017): **Dominant bacterial phyla in caves and their predicted functional roles in C and N cycle**. BMC Microbiology 17:90:2-9.

Gutiérrez Díaz, J.; J.M. García & L.F. Molerio León (1982): **Vulnerabilidad de los Acuíferos Cársicos a los Procesos de Nitrificación**. Coloquio Internac. Hidrol. Cársica de la Región del Caribe, UNESCO, La Habana:523-536.

Gutiérrez Díaz, J.; L.F. Molerio & C.M. Bustamante Allen (1997): **Modelo matemático para el cálculo de nitrato en acuíferos cársicos sometidos a prácticas agrícolas intensivas**. III Congr. Internac. AIDIS, Puerto Rico. Publicado en CD.

Hill, C.A. (1981): **Origin of cave saltpeter**. NSS Bull., 43:110-126,

Holthuis, L.B. (1973): **Caridean shrimps found in land-locked saltwater pools at four Indo-West Pacific localities (Sinai Peninsula, Funafuti Atoll, Mauiand Hawaii Islands), with the description of one new genus and four new species**. Zool. Vergh 128, 53.

Huebsch. M., O. Fenton, B. Horan, D. Hennessy, K. G. Richards, P. Jordan, N. Goldscheider, C. Butscher, y P. Blum (2014): **Mobilisation or dilution? Nitrate response of karst springs to high rainfall events**. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, :4423-4435, www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/4423/2014/

Iliffe, Thomas, M (1987): **Observations on the Biology and Geology of anchialine caves**. Third Sym. On the Geology of Bahamas, Fort Lauderdale, Fla.:73-80.

Juarrero de Varona, Augusto y Osvaldo Gómez Hernández (1995): **Sinopsis de los camarones dulceacuícolas de Cuba**. Edit. Academia, La Habana, 48.

López-Bedoya, J. y A. Pérez-Alberti (2009): **8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas**. En: VV.AA., **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 152.

Martin-Pozas T., J.L. Gonzalez-Pimentel, V. Jurado, S. Cuezva, I. Domínguez-Moñino, A. Fernández-Cortes, J. C. Cañaveras, S. Sanchez-Moral, C. Saiz-Jimenez (2020): **Microbial Activity in Subterranean Ecosystems: Recent Advances**. Appl. Sci. 2020, 10, 8130, 18: www.mdpi.com/journal/applsci

McFarlane D.A., J. Lundberg (2018): **New records of guano-associated minerals from caves in northwestern Borneo**. Internatl Jour Speleol.47(2):119-126.

MacFarlane, D., J. Lundberg, G van Rentergem (2017): **Preliminary observation on Tropical Bat caves as Biogeochemical Nitrogen Sinks**. Proc. 17th Internatl, Congr. Speleol., Sidney:157-160.

Molerio-León, L.F. (2020): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: 3. Composición isotópica de las aguas de lluvia**. Gota a gota, nº 22: 70-82 <https://www.researchgate.net/publication/348402581>

Molerio-León, L.F. (2021): **Las cuevas como focos puntuales de nitrificación de las aguas subterráneas en el karst**. <https://sites.google.com/site/espeleovillacarrillo/home/>

Molerio-León, L.F. (2023): **Contribución de la dinámica del karst subterráneo a los procesos de nitrificación de las aguas subterráneas**. GEOLOGÍA'2023 VII Taller sobre Aguas subterráneas, Gestión y Contaminación GEO11-O1.

DÉCIMA CONVENCION DE CIENCIAS DE LA TIERRA, "Memorias de Geociencias, Trabajos y Resúmenes", La Habana, 2023 <https://www.researchgate.net/publication/370285372>

Molerio León, L.F., F.M. Balseiro Morales, M.M. Condis Fernández (2014): **Sea Level Change as a Forcing Function of Anchialine Cave Environments Readjustment in the Humid Tropics of the Gulf of Mexico and the Caribbean.** Advances in Environmental Research. Volume 31. Nova Science Publishers, New York :53-66 <https://www.researchgate.net/publication/292517504>

Molerio León, L.F. & J. Gutiérrez Díaz (1999): **Agricultural Impacts on Cuban Karstic Aquifers** in/ Drew, D.& H. Hötzl [Eds.] (1999): **Karst Hydrogeology and Human Activities**, A.A. Balkema, Rotterdam,:76-78.

Molerio-León, L.F., María del Carmen Martínez Hernández y Orestes Sardiñas Gómez (2022): **Variación de los tenores de nitratos en el Manantial Cársico La Calera (Boca de Jaruco, Cuba) en respuesta a eventos de lluvia.** Gota a gota, nº 25: 84-9, Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.) <https://drive.google.com/file/d/1yXLUO29CNyEEqSpBf4qQluHxHSPi8NBN/view>

Molerio León, L.F, M. Parise (2009): **Managing environmental problems in Cuban karstic aquifers.** Environ. Geol. (2009) 58:275–283.

Molerio León, L.F., M. Parise, C. Aldana Vilas (2007): **Principali fonti di inquinamento degli acquiferi carsici cubani.** Atti I Convegno Reg. Speleol- Campania Speleologica, Oliveto Citra, Italia: 295-303.

Otero Collazo, V., A. González Ramón, L. Molerio León, O. Chavez Bonora, M. Alonso Martínez (2021): **Sobre la espeleogénesis de las cavidades de Boca de Jaruco, Mayabeque-Cuba. Primeros resultados de las campañas de 2019-2020.** Boletín SEDECK, 16, 15: <https://www.researchgate.net/publication/352777455>

Pohlman, John W., Thomas M. Illiffe, Luis A. Cifuentes (1997): **A stable isotope study of organic cycling and the ecology of an anchialine cave ecosystem.** Mar Ecol Prog Ser. 55: 17-27, 1.

Quek, Meei Chien Nyuk Ling Chin, Yus Aniza Yusof, Sheau Wei Tan, Chung Lim Law (2015): **Preliminary nitrite, nitrate and colour analysis of Malaysian edible bird's nest.** Information Processing in Agriculture 2:1–5.

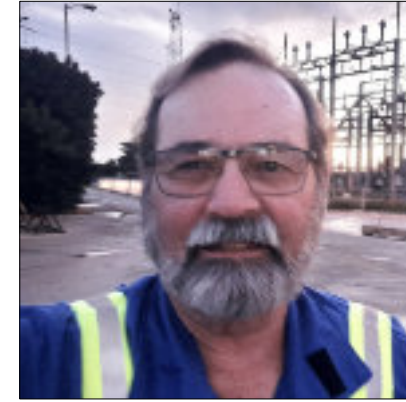
Reeves, J.M. (1975): **A Procedure for the Prediction of Nitrate levels in Water Supplies in the United Kingdom.** Proc. IAWPR Conf. Nitrogen as a water pollutant.

Silva Taboada, G. (1979): **Los murciélagos de Cuba.** Edit. Academia, La Habana, 423: Sket. B. (1996): **The Ecology of Anchialine Caves,** en Trends in Ecology & Evolution 11(5): 221-225. T.M. Illiffe y L.S.

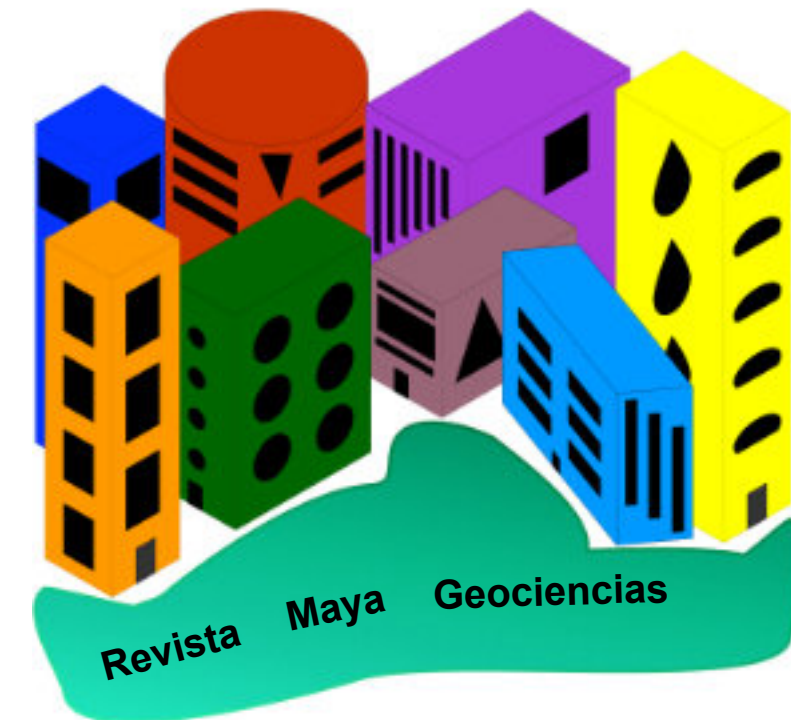
Kornicker. 2009. **Worldwide Diving Discoveries of Living Fossil Animals from the Depths of Anchialine and Marine Caves,** en Smithsonian Contributions to the Marine Research 38: 269-280.

Sket, Boris (2019): **Chapter 8. Anchialine (Anchialine) caves and fauna.** Encyclopedia of Caves, 3erd Ed. Academic Press:59-6.

Wurster, C. M., N. Munksgaard, C. Zwart, M. Bird (2015): **The biogeochemistry of insectivorous cave guano: a case study from insular Southeast Asia.** Biogeochemistry (sin paginar).



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



Estoy convencido de la que la mitad de lo que separa a los emprendedores exitosos de los no exitosos es pura perseverancia.

Steve Jobs

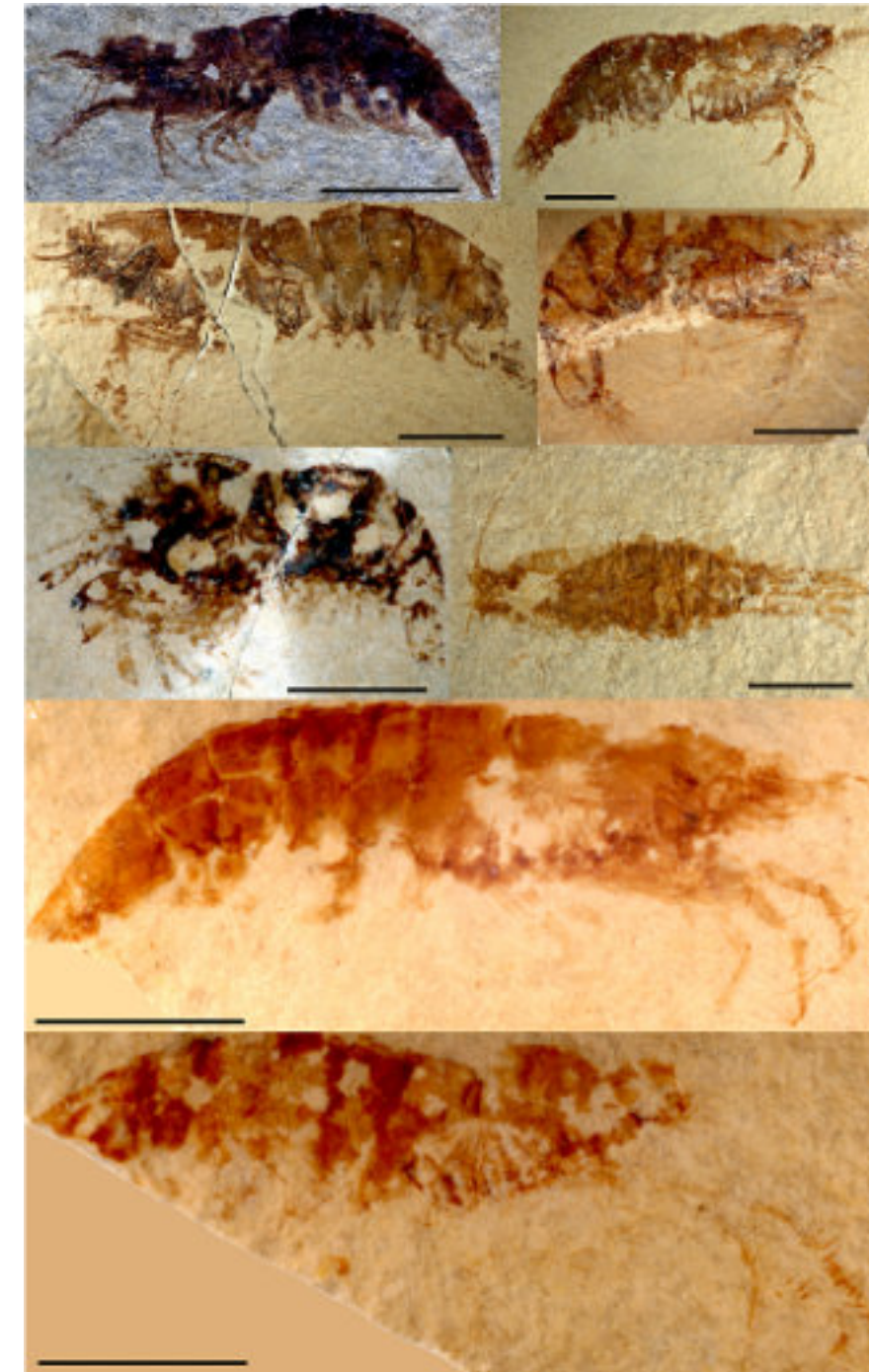
FOTOGRAFÍAS



Lavas de basalto cortadas por una veta de aplitas. Se aprecian los pequeños xenolitos del basalto hacia el aparente acuñamiento de la veta que, en realidad está cubierta por los restos de otra colada. Un buen ejemplo ilustrativo de asimilación y la sucesión de procesos. Río El Valle, Provincia de Chiriquí. Panamá. Foto de **Humberto Álvarez Sánchez**, Colaborador de la Revista.



La veta de la Figura 1 en la continuación, cambia su fábrica y presenta una cristalización casi pegmatítica. La potencia es alrededor de 1 m. La roca es ligeramente radiactiva. Río El Valle, Provincia de Chiriquí. Panamá. Foto de **Humberto Álvarez Sánchez**, Colaborador de la Revista.



Tres familias de camarones han sido reportadas del Cenomaniano de Chiapas (Fm. Sierra Madre). La localidad “El Chango” ha producido numerosos ejemplares de crustáceos, peces y materia vegetal. Las dolomitas laminares representan muy probablemente un ambiente lagunar con aporte periódico de agua dulce, cuya materia orgánica generó condiciones anóxicas que han favorecido la preservación de delicados organismos. Es importante señalar que los camarones encontrados corresponden a formas natatorias. La Familia Penaeidae representa a los camarones que actualmente consumimos y cuya distribución es global. Por otra parte, la Familia Sergestidae corresponde también a camarones de consumo humano y distribución global. Esta familia se caracteriza por la presencia de “setas” en los apéndices anteriores, las cuales ayudan en la captura de alimento. Por último, la Familia Sicyoniidae incluye formas semi-bentónicas, con amplia distribución en mares actuales. La diversidad de crustáceos hasta ahora reportada incluye formas de cangrejos primitivos, importantes para comprender la evolución y distribución paleogeográfica de este grupo.

Barras de escala = 1 cm.

Garassino et al. 2013. New decapod crustacean assemblage from the Upper Cretaceous (Cenomanian) of Chiapas, Mexico Alessandro Garassino. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 269(3), 261-270. **Dr. Francisco Vega.** vegver@unam.mx



Dr. Didier Arbouille showing the base of the Barremian (#72) stratotype (limestone and shale beds) in the southern part of France. Photo by Tiziana Luzzi.



Mallos de Agüero and the town of Agüero, Spain, looking north. The Mallos de Agüero are vertical spires of rock, up to 275 m (900 ft) high, that occur at the boundary between the Pyrenean External Sierras to the north and the Ebro Basin to the south. These stunning landscape features are much appreciated for both their scenic beauty and their challenge to climbers. As the External Sierras were uplifted and eroded, large aprons of conglomerate from the eroded Sierra were shed southward into the Ebro Basin. Later erosion of these alluvial fans left spires of rock that now form the Mallos. They are part of the Oligocene-Miocene Uncastillo Formation.



View northwest to southwest-verging Foradada Anticline near Campo, Spain. A classic kink fold on a gigantic scale, the Foradada Anticline is outlined by the resistant Eocene Alveolina Limestone Formation. The anticline formed over the Peña Montañesa frontal ramp of the Cotiella Thrust. There is a minimum of 610 m (2,000 ft) of relief on this structure. Post-lower Eocene thrusting in the southern Pyrenees, part of the Alpine Orogeny, was regionally to the south and southwest. Both of these photos, and many others, are part of the Pyrenees geo-tour described in **Prost, G.L.**, in press (expected publication date in 2026), *Western Europe's Natural Wonders*, CRC Press.



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

Benioff Siempre

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

Comunícate con

Bernardo García-Amador

bernardo.garcia@ingenieria.unam.edu

quien está a cargo de organizar esta información.

NOTAS GEOCIENTÍFICAS

"Terroir": Geología, Medio Ambiente y la calidad del Vino

Alejandro Carrillo-Chávez^{1*}, Daniela K. Calvo-Ramos¹, Luisa F. Rueda-Garzón¹, Carolina Muñoz-Torres¹, Rocío García².

¹*Instituto de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Campus Juriquilla. Blvd. Juriquilla 3001, Juriquilla, Querétaro, C.P. 76230, México.*

²*Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510, México.*

*Autor para correspondencia: ambiente@geociencias.unam.mx

Introducción

El vino es más que una simple bebida: es una expresión del lugar, la historia, la interacción medioambiental y los cuidados del ser humano. El concepto de "terroir", profundamente arraigado en las tradiciones vitivinícolas, define las características únicas que el entorno en el que se cultivan las uvas confiere al vino. El término "terroir", que proviene de la palabra francesa "terre" (que significa «tierra»), resume la compleja interacción entre el suelo (derivado de las rocas), el clima, la topografía y la influencia humana, que dan forma al perfil sensorial final de un vino. En este artículo se exploran, de manera general, los componentes clave del "terroir", su base científica y su influencia en la calidad y la percepción del vino.

Definición de "terroir": un concepto multifacético

El "terroir" es un marco holístico (integral) que abarca varios factores ambientales y culturales que contribuyen a la identidad del vino. Entre ellos se incluyen:

Composición del suelo

El suelo desempeña un papel crucial en el crecimiento de la vid, la disponibilidad de nutrientes y la retención de agua. Los diferentes tipos de suelo, derivados de diferentes rocas (rocas ígneas-metamórficas, carbonatos, lutitas, areniscas y rocas volcánicas, influyen en los niveles de estrés (crecimiento y desarrollo) de la vid, la maduración de la uva y la expresión mineral del vino. Los suelos carbonatados (por ejemplo, Champagne, Borgoña) favorecen la acidez y la finura. Los suelos arenosos -gravosos (por ejemplo, Burdeos) mejoran el drenaje y la concentración. Los suelos volcánicos (por ejemplo, Sicilia, Santorini) contribuyen a una mineralidad distintiva.

Clima y microclima

Las condiciones climáticas de una región vinícola, incluyendo la temperatura, las precipitaciones, la exposición al sol y los patrones de viento, afectan directamente al desarrollo de la uva. Los climas fríos (por ejemplo, Alsacia, Mosela) favorecen una alta acidez e intensidad aromática. Los climas cálidos (por ejemplo, Napa Valley, Barossa) producen frutos más maduros con un mayor contenido de azúcar. La variación de temperatura diurna, en la que el calor del día se equilibra con las noches frescas, conserva la acidez y permite la maduración fenólica.

Topografía y geografía

La altitud influye en la temperatura, y los viñedos de gran altitud (por ejemplo, Mendoza, Valle de Aosta) se benefician de condiciones más frescas y temporadas de cultivo más largas.

La pendiente y la orientación determinan la exposición al sol y el drenaje, fundamentales para la maduración de la uva. La proximidad a masas de agua modera las temperaturas, reduciendo el riesgo de heladas y favoreciendo una maduración lenta.

Influencia humana

Más allá de los factores naturales, la intervención humana desempeña un papel crucial en la definición del "terroir". Siglos de gestión de viñedos, tradiciones locales de elaboración de vino y clasificaciones reglamentarias (por ejemplo, AOC en Francia, DOC en Italia) garantizan la consistencia y el carácter distintivo de los vinos impulsados por el "terroir".

Base científica del "terroir"

Los recientes avances en viticultura y enología han proporcionado pruebas empíricas que respaldan el papel del "terroir" en la calidad del vino.

Microbioma del suelo y metabolismo de la vid

Las investigaciones demuestran que las poblaciones microbianas de los suelos de los viñedos influyen en la salud de la vid, la absorción de nutrientes y el desarrollo del sabor.

Firmas isotópicas: Los estudios sobre la composición de isótopos estables (oxígeno, hidrógeno y carbono) permiten a los geoquímicos rastrear el origen geográfico de los vinos.

Efectos del cambio climático: Las tendencias de calentamiento están alterando la expresión del "terroir", desplazando las regiones vitícolas y modificando los perfiles de sabor tradicionales.

El "terroir" y la percepción de la calidad del vino

El "terroir" es un factor clave en la clasificación de los vinos de alta gama, ya que refuerza la identidad regional y las expectativas de los consumidores. Algunas de las denominaciones de origen más famosas del mundo deben su prestigio al "terroir":

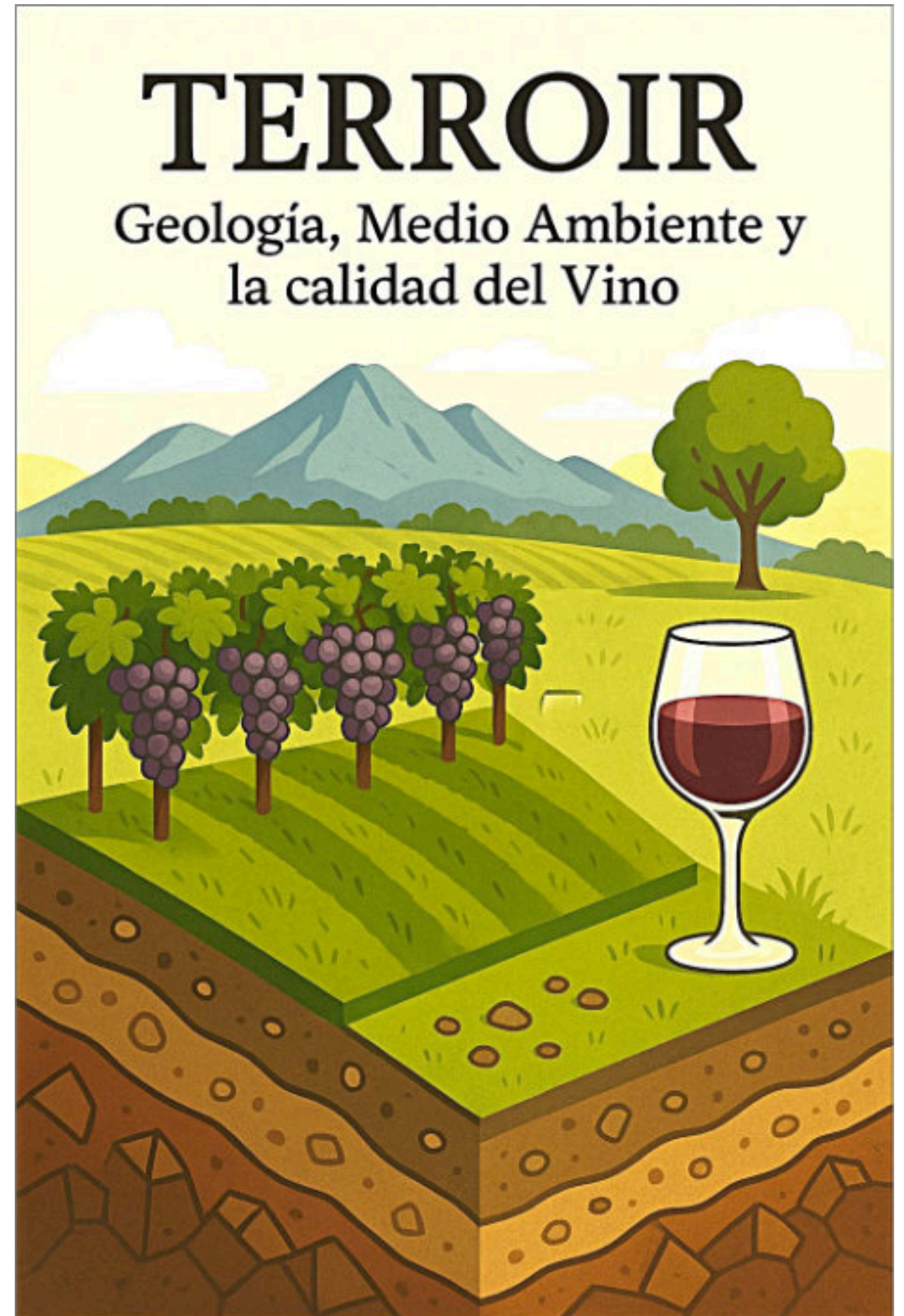
Borgoña, Francia: Por qué es excepcional: Borgoña es el estándar de referencia para la expresión del "terroir". Su mosaico de pequeñas parcelas de viñedos («*climats*») presenta sutiles variaciones en el suelo, la pendiente y el microclima que influyen de manera espectacular en los vinos resultantes. Los suelos carbonatados son ideales para el Pinot Noir y el Chardonnay. Uvas clave: Pinot Noir (tinto), Chardonnay (blanco). Matices del "terroir"; la Côte

de Nuits produce un Pinot Noir estructurado y apto para el envejecimiento, mientras que la Côte de Beaune ofrece una gama de estilos, desde tintos elegantes hasta blancos ricos. Chablis, con sus suelos calcáreos kimmeridgianos, produce un Chardonnay fresco y mineral. Retos: La pequeña escala y el complejo sistema de clasificación pueden hacer que los vinos de Borgoña sean caros y difíciles de entender.

Burdeos, Francia: Por qué es excepcional: los suelos pedregosos de Burdeos (especialmente en el Médoc) proporcionan un excelente drenaje, lo que estresa las vides y da lugar a sabores concentrados. El clima marítimo modera las temperaturas, evitando extremos y garantizando una maduración uniforme. Uvas clave: Cabernet Sauvignon, Merlot, Cabernet Franc (tintas), Sauvignon Blanc, Sémillon (blancas). Matices del "terroir": una zona (Médoc) favorece al Cabernet Sauvignon debido a sus suelos pedregosos, que producen vinos estructurados y tánicos. Otra zona (Saint-Émilion, Pomerol) está dominada por el Merlot, lo que da lugar a vinos más suaves y accesibles. Sauternes, con sus uvas Semillon botritizadas, produce vinos de postre intensamente dulces. Retos: Los vinos de Burdeos pueden ser caros y las variaciones pueden afectar significativamente a la calidad.

Mosela, Alemania: Por qué es excepcional: Las empinadas laderas de pizarra de la Mosela con vistas al río proporcionan una exposición solar y un drenaje óptimos para las uvas Riesling. Los suelos de pizarra retienen el calor y reflejan la luz solar, lo que favorece la maduración en esta región de clima fresco. Uva principal: Riesling (blanca). Matices del "terroir": los Rieslings del Mosela son conocidos por sus delicados aromas, su alta acidez y su distintiva mineralidad de pizarra. Las empinadas laderas requieren una viticultura intensiva, pero contribuyen al carácter único del vino. Retos; Las empinadas laderas dificultan y encarecen la gestión de los viñedos.

Valle del Duero, Portugal: Por qué es excepcional: Los viñedos en terrazas del valle del Duero, situados en empinadas laderas de esquisto a lo largo del río Duero,



crean un paisaje espectacular y desafiante para la viticultura. Los suelos de esquisto retienen el calor y el agua, lo que es crucial en esta región cálida y seca. Uvas principales: Touriga Nacional, Touriga Franca, Tinta Roriz (Tempranillo), Tinta Barroca, Tinto Cão (tinto). Matices del "terroir": El valle del Duero es famoso por su vino de Oporto, un vino fortificado elaborado a partir de una mezcla de uvas autóctonas. Cada vez se producen más vinos tintos secos, que muestran la rica fruta y la complejidad terrosa de la región. Retos: Las empinadas laderas y el clima cálido hacen que la viticultura sea exigente.

Valle de Napa, California, EUA: Por qué es excepcional: El valle de Napa cuenta con diversos microclimas y tipos de suelo (volcánico, sedimentario) influenciados por las cordilleras Mayacamas y Vaca. Esta diversidad permite una amplia gama de estilos de vino. Uvas principales: Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Merlot. Matices del "terroir": Oakville y Rutherford son conocidas por su Cabernet Sauvignon, que produce vinos ricos y estructurados. Carneros, con su clima más fresco, es ideal para el Chardonnay y el Pinot Noir. Retos: Los precios del terreno son elevados y la disponibilidad de agua puede ser un problema.

Priorat, España: Por qué es excepcional: El suelo «*llicorella*» (pizarra descompuesta) del Priorat, en laderas empinadas y aterrazadas, crea un entorno único y desafiante para el crecimiento de la vid. El suelo retiene el calor y drena bien, lo que estresa las vides y da como resultado vinos concentrados y potentes. Variedades principales: Garnacha, Cariñena, Syrah, Cabernet Sauvignon. Matices del "terroir": Los vinos del Priorat son conocidos por sus sabores intensos, su cuerpo completo y sus notas minerales distintivas. Retos: Las empinadas laderas y los bajos rendimientos hacen que los vinos del Priorat sean relativamente caros.

Otras regiones reconocidas

Santorini, Grecia: Suelos volcánicos, uva Assyrtiko. Conocido por sus vinos blancos frescos y minerales.

Central Otago, Nueva Zelanda: Clima fresco, suelos de esquisto, Pinot Noir. Produce un Pinot Noir elegante y aromático.

Toscana, Italia (Chianti Classico, Montalcino): Suelos galestro y alberese, uva Sangiovese. Cuna de los emblemáticos vinos elaborados con Sangiovese.

Barolo/Barbaresco, Italia (Piamonte): suelos margosos calcáreos, uva Nebbiolo. Produce vinos Nebbiolo potentes y aptos para el envejecimiento.

Regiones en México y Sudamérica

México: La producción de vino mexicano es relativamente pequeña en comparación con otras regiones del Nuevo Mundo, pero está ganando reconocimiento de forma constante por su "terroir" único y su innovadora elaboración.

Valle de Guadalupe, Baja California: Características: Es la región vinícola más importante y conocida de México. Cuenta con un clima mediterráneo, con veranos cálidos y secos e inviernos suaves y húmedos. Los suelos son principalmente aluviales, con una mezcla de arena, arcilla y grava. La variación de temperatura diurna (días cálidos, noches frescas) también es importante para el desarrollo de la uva. Uvas: Cabernet Sauvignon, Merlot, Tempranillo, Zinfandel, Chardonnay, Sauvignon Blanc, Chenin Blanc. Influencia del "terroir": El clima cálido permite la producción de vinos tintos maduros y con cuerpo. Los suelos aluviales proporcionan un buen drenaje, pero también retienen la humedad suficiente para favorecer el crecimiento de la vid. La variación de temperatura diurna ayuda a preservar la acidez y los aromas de las uvas. Estilo de vino: El Valle de Guadalupe es conocido por producir vinos tintos robustos y afrutados, así como vinos blancos frescos y refrescantes. Retos: La escasez de agua es una de las principales preocupaciones en esta región árida.

Valle de Parras, Coahuila: Características: Situada en el estado nortero de Coahuila, es una de las regiones vinícolas más antiguas de América. El clima es árido y continental, con veranos calurosos e inviernos fríos. Los

viñedos se plantan a gran altitud (alrededor de 1500 metros sobre el nivel del mar). Los suelos son calcáreos y arenosos. Uvas: Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah, Chardonnay. Influencia del "terroir": La elevada altitud da lugar a temperaturas más frescas y a una mayor exposición a los rayos UV, lo que da como resultado uvas con pieles más gruesas y sabores concentrados. Los suelos calcáreos contribuyen a la acidez y mineralidad del vino. Estilo de vino: El Valle de Parras produce vinos tintos estructurados con buen potencial de envejecimiento. Retos: Cambios extremos de temperatura y recursos hídricos limitados.

Sudamérica:

Mendoza, Argentina: Características: La región vinícola más importante de Argentina, situada en las estribaciones de la cordillera de los Andes. El clima es árido y continental, con veranos calurosos e inviernos fríos. Los viñedos se plantan a altitudes muy elevadas (entre 600 y 1700 metros sobre el nivel del mar). Los suelos son aluviales, con una mezcla de arena, limo y grava. Uvas: Malbec (predominante), Cabernet Sauvignon, Merlot, Syrah, Chardonnay, Torrontés. Influencia del "terroir": La gran altitud da lugar a una intensa luz solar, grandes variaciones de temperatura diurnas y una maduración lenta, lo que da como resultado uvas con sabores concentrados, pieles gruesas y alta acidez. Los suelos aluviales proporcionan un buen drenaje y estresan las vides, lo que mejora aún más la concentración del sabor. Matices del "terroir": Luján de Cuyo: Conocida por sus viejas vides de Malbec y sus vinos elegantes y complejos. Valle de Uco: Región de mayor altitud que produce vinos con aromas intensos, acidez brillante y gran estructura. Estilo de vino: Mendoza es conocida por su Malbec, que suele ser corpulento, afrutado y de textura rica. Retos: El granizo es una amenaza importante en esta región.

Valle del Maipo, Chile: Características: Situada cerca de Santiago, es una de las regiones vinícolas más prestigiosas de Chile. El clima es mediterráneo, con veranos cálidos y secos e inviernos suaves y húmedos. Los suelos son aluviales, con una mezcla de grava, arena y limo. Los

viñedos se plantan a diferentes altitudes, desde el fondo del valle hasta las estribaciones de los Andes. Uvas: Cabernet Sauvignon (predominante), Carmenere, Merlot, Syrah. Influencia del "terroir": Los suelos pedregosos proporcionan un excelente drenaje, lo que estresa las vides y da lugar a sabores concentrados. El clima mediterráneo garantiza una maduración uniforme. La cordillera de los Andes proporciona una sombra pluviométrica, protegiendo los viñedos de las lluvias excesivas. Matices del "terroir": Alto Maipo: Viñedos situados al pie de los Andes, caracterizados por temperaturas más frescas, lo que da lugar a Cabernet Sauvignons con mayor elegancia, fresca y potencial de envejecimiento. Estilo de vino: El valle del Maipo es especialmente conocido por su Cabernet Sauvignon, que suele ser estructurado, elegante y apto para el envejecimiento. Retos: La escasez de agua puede ser un problema en algunas zonas.

Valle de Casablanca, Chile: Características: Situada más cerca de la costa del Pacífico, es una región de Chile con un clima más fresco. Está influenciada por la fría corriente de Humboldt, que trae mañanas frescas y brumosas y temperaturas suaves. Los suelos son principalmente arenosos y graníticos. Uvas: Sauvignon Blanc, Chardonnay, Pinot Noir. Influencia del "terroir": El clima fresco da lugar a uvas con alta acidez y complejidad aromática. Los suelos arenosos proporcionan un buen drenaje y limitan el vigor de la vid. Estilo de vino: El valle de Casablanca es conocido por su Sauvignon Blanc fresco y aromático, su elegante Chardonnay y su delicado Pinot Noir. Retos: Las heladas pueden suponer una amenaza durante la primavera.

Uruguay: Características: Las regiones vinícolas de Uruguay se encuentran cerca de la costa atlántica. El clima es húmedo y templado, con veranos cálidos e inviernos suaves. Los suelos son diversos, con una mezcla de arcilla, arena y piedra caliza. Uvas: Tannat (predominante), Merlot, Cabernet Sauvignon, Sauvignon Blanc, Albariño. Influencia del "terroir": El clima moderado da lugar a uvas con buena acidez y taninos moderados. La diversidad de suelos contribuye a la complejidad de los vinos. Estilo de vino: Uruguay es conocido por su Tannat, que puede ser

potente y tánico, pero que a menudo se elabora con un estilo más accesible y taninos más suaves. La influencia costera también beneficia a los blancos frescos. Retos: La alta humedad puede provocar enfermedades fúngicas.

Vale dos Vinhedos, Brasil: Características: Situada en la región de Serra Gaúcha, en el sur de Brasil, esta zona tiene un clima subtropical húmedo con veranos cálidos e inviernos suaves. Los suelos son principalmente arcillosos, con algo de roca volcánica. Uvas: Merlot, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Pinot Noir. Influencia del "terroir": El clima cálido requiere un cuidadoso manejo de los viñedos para controlar el vigor y garantizar una maduración adecuada. Los suelos arcillosos retienen la humedad, lo que puede ser beneficioso durante los periodos secos. Estilo de vino: Principalmente vinos espumosos y tintos de cuerpo ligero. Retos: La alta humedad y las precipitaciones pueden provocar enfermedades fúngicas.

El futuro del "terroir": retos y adaptaciones

Aunque el "terroir" sigue siendo la piedra angular de la elaboración de vinos de calidad, su futuro se enfrenta a retos como:

Cambio climático: El aumento de las temperaturas amenaza los "terroir's" tradicionales, lo que obliga a trasladar los viñedos a regiones más frías.

Tecnología y viticultura de precisión: Las herramientas avanzadas, como la teledetección y la cartografía del suelo, permiten una gestión precisa de los viñedos, modificando la expresión del "terroir".

Tendencias de consumo: La globalización de los mercados del vino fomenta la exploración más allá de los "terroir's" tradicionales, destacando las regiones emergentes.

Conclusión

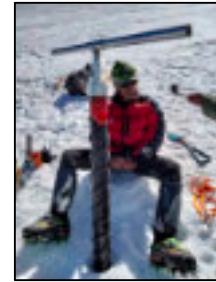
El "terroir" es el alma del vino, ya que define su carácter y autenticidad. Ya sea a través del suelo, el clima o la artesanía humana, el "terroir" encarna la intrincada relación entre la naturaleza y la cultura. A medida que se profundiza el conocimiento científico y los cambios medioambientales remodelan la viticultura, el concepto de "terroir" sigue evolucionando, garantizando que el vino siga siendo una expresión atemporal del lugar y el patrimonio.

El veredicto

No existe un único "terroir" «mejor» en el mundo. Cada una de las regiones mencionadas anteriormente ofrece un conjunto único de características que contribuyen a la calidad y singularidad de sus vinos. En última instancia, el «mejor» "terroir" es una cuestión de preferencias personales y del estilo de vino específico que le guste. Lo mejor es explorar vinos de diversas regiones y descubrir qué "terroir's" se adaptan mejor a su paladar.

Bibliografía básica:

- Johnson, H., & Robinson, J. (2019). The world atlas of wine (8th ed.). Mitchell Beazley.
- Lawrence, D.M. (2018). Terroir: Science Related to Grape and Wine Quality. Elements Magazine. V14(3).
- Matthews, M. A. (2015). Terroir and other myths of winegrowing. University of California Press.
- White, R. E. (2017). Soils for fine wines (2nd ed.). Oxford University Press.
- Wilson, J. E. (1998). The geological foundations of terroir. Proceedings of the 5th International Conference on Environmental Science and Technology, 485-492.
- Wine for normal people, <https://www.winefornormalpeople.com/>



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



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



Rocio Garcia Martinez: Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo de la Facultad de Química, UNAM. Maestría en Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias, UNAM. Doctorado en Física de la Atmósfera, Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM.

Líneas de investigación:

Estudio de mercurio atmosférico en agua de lluvia y aerosoles atmosféricos en zonas urbanas, semiurbanas y rurales.



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

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

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

Estudio de metales pesados y compuestos orgánicos como indicadores de contaminación atmosférica sobre bioindicadores ambientales.

Estudio de ácidos orgánicos ligeros y pesados en agua de lluvia y aerosoles atmosféricos productos de contaminantes del smog fotoquímico.

Caracterización Isotópica de agua de lluvias y superficiales para la identificación de fuentes contaminantes y de recarga de acuíferos.

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.

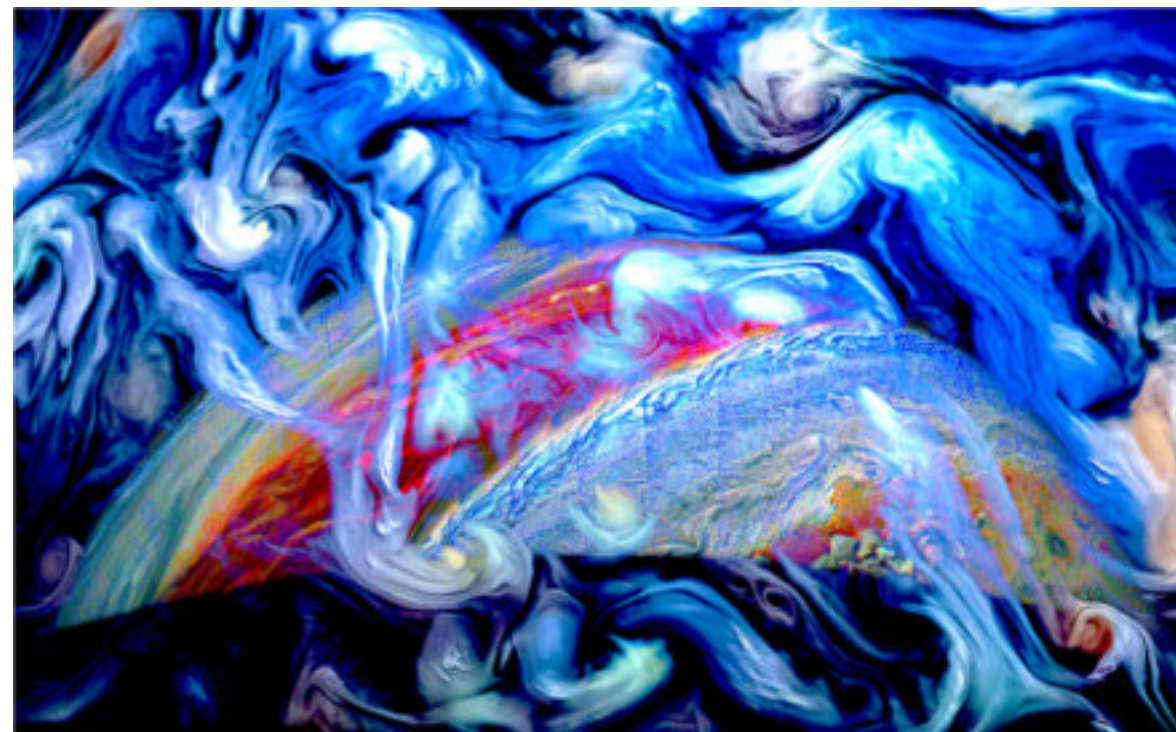


M. en C. María Carolina Muñoz Torres
Técnico Académico Titular B, Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla

Carolina tiene una Maestría en Ciencias Ambientales y una Especialidad en Técnicas Instrumentales. Es Responsable Analítica del Laboratorio de Geoquímica Ambiental del Centro de Geociencias, Campus UNAM Juriquilla. Se especializa en análisis de agua por las técnicas de ICP-OES y HPLC. Participa en proyectos de investigación, en los cuales apoya en diversas actividades. Carolina está involucrada de forma activa en numerosas actividades de difusión y divulgación de la ciencia, tanto como participante como organizadora. Ella es parte de un grupo de

académicos del CGEO que llevan a cabo el Taller de Ciencia para Jóvenes desde el 2009 a la fecha, y el Taller de Ciencia para Profesores. A ello hay que añadir la organización y participación en la primera versión de la Semana de la Tierra, ferias y exposiciones de ciencia. Del mismo modo ha acudido a la sierra a compartir con niños y profesores de lugares de difícil acceso su pasión por la ciencia. Pasión que se ve reflejada en múltiples talleres de ciencia, seminarios y charlas de divulgación. Colabora activamente en Proyectos sobre metales pesados con el Dr. Alejandro Carrillo en el Centro de Geociencias UNAM, Campus Juriquilla.

caromt@geociencias.unam.mx



Las batallas contra las mujeres son las únicas que se ganan huyendo.

Napoleón Bonaparte

La Energía Oceánica

Luis Angel Valencia Flores
Editor de la Revista

Resumen

El 70% de la superficie de nuestro planeta está cubierta por agua, y en ella suceden distintos mecanismos que contribuyen a la dinámica de la vida misma. Sin embargo, no sólo esto, también de su actividad se puede obtener energía aprovechable para la humanidad.

La energía del océano es aquella que está contenida en el agua marina, y de ésta se pueden desprender “energías limpias”, las cuales son propias de los mares. Estas fuentes de energía marina son una opción frente al uso desmedido de los recursos de origen orgánico, comúnmente conocidos como fósiles.

La energía oceánica (o energía marina) hace referencia a las energías renovables que pueden obtenerse a partir del océano. Se considera tanto un reto como una oportunidad para la humanidad, y su aprovechamiento se proyecta como un elemento importante en la matriz energética de las naciones con acceso al mar para las próximas décadas. México tiene el proyecto de que al menos el 50 % de su energía sea generada a partir de fuentes renovables para el 2050.

Introducción

Los océanos poseen gran potencial energético, con la posibilidad de ser convertido en electricidad. Existen distintas alternativas tecnológicas según el tipo de aprovechamiento de dicho potencial, entre las que se encuentran: la energía de las *corrientes*, de la cual se hace uso de la energía cinética que poseen las corrientes marinas mediante la instalación submarina de estructuras similares a un aerogenerador; la energía *mareotérmica*, la cual emplea la variación existente entre la temperatura de la superficie y la temperatura de aguas profundas, se requiere un gradiente térmico de al menos 20 °C; la energía *undimotriz* o energía a partir del movimiento de

las olas, que utiliza la fuerza con la que se desplaza determinada masa de agua a causa del rozamiento con las corrientes de aire (oleaje); la potencia *osmótica* o también llamada energía azul, obtenida mediante ósmosis por la diferencia de concentraciones de sal entre el agua de mar y agua de ríos; y por último, la energía *mareomotriz*, que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar producidos por las fuerzas gravitatorias del sol y la luna.



La energía generada por el mar es inmensa.

Metodología y últimos descubrimientos o invenciones.

Las principales fuentes de energía oceánica son:

- **Energía de la marea (mareomotriz):** Existen dos opciones para extraer energía de las mareas, 1. Aprovechando la energía potencial (mediante turbinas en estuarios o embalses artificiales con represas o cercas), 2. Aprovechando su energía cinética (de manera similar a la energía eólica, usando turbinas de eje horizontal o vertical, hidro-alas oscilantes, turbinas con ductos).
- **Energía del oleaje (undimotriz):** Proveniente de la energía cinética o potencial de las olas. Los convertidores de energía del oleaje se clasifican según su ubicación, ya sea dispositivos sobre la línea de costa, cercanos a ella o bien, dispositivos costa afuera.
- **Energía por gradiente de salinidad:** Aprovecha el potencial generado por la interacción de cuerpos de agua con diferente grado de salinidad. Esto puede ocurrir por el intercambio entre iones de agua dulce y salina, o entre agua salina e hipersalina (común en lagunas costeras o en zonas de desembocaduras de ríos en el mar).

- **Energía por gradiente térmico del océano:** Se trabaja con la diferencia de temperatura entre masas de agua a diferentes profundidades oceánicas. Esta tecnología requiere una diferencia de temperatura de entre 15°C y 20°C entre las aguas cálidas de la superficie y el agua fría y profunda (~4°C), lo cual es posible en mares intertropicales.
- **Energía asociada a las corrientes oceánicas:** En una estimación de potencial teórico en el mundo, se presenta por separado de las cuatro fuentes anteriores, las corrientes oceánicas también son mencionadas como una fuente de energía marina con gran potencial en México.

A continuación, se mencionan las principales formas en las cuales se pretende llevar a cabo el aprovechamiento de esta energía:

La tecnología para el aprovechamiento de la energía mareomotriz se considera tecnológicamente más adelantada que la de las corrientes oceánicas en general.

Aunque la tecnología para el aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes oceánicas aún está lejos de madurar, existen numerosos esfuerzos de investigación en el mundo enfocados en desarrollar estas técnicas de forma eficiente. La energía proveniente de las corrientes en el océano puede extraerse de manera similar a la energía del viento y las corrientes por marea, usando turbinas

Ejemplos de los últimos inventos o dispositivos propuestos y utilizados globalmente:

- “Marine Current Turbines” ha sido pionera y posee la tecnología necesaria para su despliegue comercial. Han probado y instalado turbinas en Escocia y el Reino Unido, como la turbina de 15 kW (1994-1995) y el dispositivo Seaflow de 300 kW (2003).
- “Andritz Hydro Hammerfest” ha instalado turbinas en Noruega (300 kW HS300, 2003-2007, 2009-2011) y el Reino Unido (1 MW HS1000 en EMEC en 2011 y 1.5 MW MK1 en Pentland Firth en 2016). La instalación en Pentland Firth es parte de un proyecto para la planta de energía de mareas más grande de Europa.

- “Atlantis Resources” ha desarrollado turbinas como la Solon, de 500 kW probada en Australia en 2009, la AK1000 (1 MW instalada en EMEC en 2010), la AR1000 (1 MW, basada en la AK1000, desplegada en EMEC en 2011), y la AR1500 (1.5 MW, diseño más reciente).
- “Alstom” instaló una turbina de 1 MW en EMEC en 2013 y desarrolló la turbina Oceade de 1.4 MW, planeando instalar seis cerca de Francia en 2017 para suministrar energía a 15,000 personas.
- “Bluewater” desarrolló la plataforma BlueTec Modular (capaz de albergar turbinas de 100 kW a 2.5 MW). Instaló una plataforma de 100 kW frente a la isla de Textel (Países Bajos) en 2015, conectada a la red.
- “Black Rock Tidal Power Inc.” desarrolló el dispositivo TRITON S40 (2.5 MW) usando turbinas de Schottel Hydro en una plataforma Triton, en la bahía de Fundy (Canadá) en 2017.
- La Universidad Nacional Autónoma de México diseñó el Hidrogenerador IMPULSA (turbina flotante con eje vertical), probando modelos de 500 W y 100 W. Aunque es capaz de generar energía, requiere mejoras en la captura de flujo y coeficiente de arrastre. Actualmente está siendo probado y adaptado para las condiciones de México.



Ejemplo de dispositivos y tecnología usada para aprovechar la energía oceánica.

Situación mundial y de México.

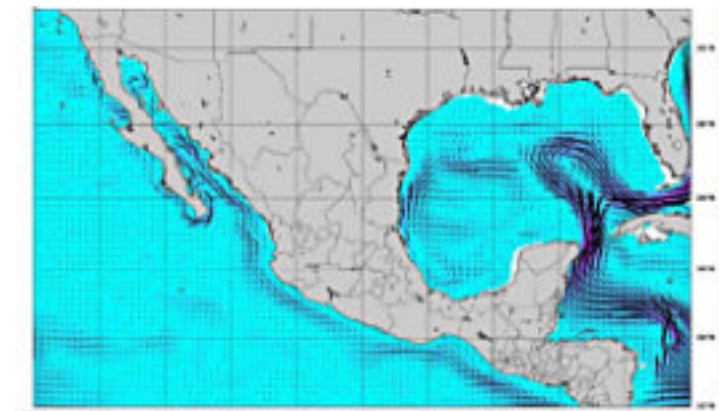
La situación actual en el mundo de la tecnología para aprovechar la energía mareomotriz muestra un campo muy activo de desarrollo e innovación. Muchos dispositivos se han probado o instalado en sitios de

prueba dedicados como en el Reino Unido o en Canadá, y algunos han alcanzado el despliegue comercial o están planificados para plantas a gran escala en Europa y América del Norte.

El desarrollo de las energías marinas en México está impulsado por el Centro Mexicano para la Innovación en Energía del Océano (CEMIE-Océano), creado por la Secretaría de Energía. El CEMIE-Océano coordina trabajos de múltiples instituciones para generar tecnologías, desarrollar materiales, establecer metodologías para la integración ambiental y social, formar recursos humanos y difundir conocimientos relacionados con la extracción de energía del océano, así como su conversión y distribución. México se ha comprometido a que al menos el 50% de su energía provenga de fuentes renovables para 2050, y la energía marina apoya el cumplimiento de esta meta.

La posibilidad de aprovechar del mar para generar energía eléctrica en México implica evaluar la disponibilidad de recursos (ej. la altura significativa del oleaje, velocidad de las corrientes, diferencias de temperatura y la salinidad del agua) para identificar las regiones con potencial. Se ha identificado potencial para la energía undimotriz en el Pacífico Norte (Baja California), corrientes en la península de Yucatán (cerca de Cozumel y el mar de Cortés), gradiente térmico en estados del Pacífico Sur (Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán), y gradiente salino aprovechable en desembocaduras de ríos (Veracruz, Tabasco, Campeche) y lagunas costeras (Yucatán, Oaxaca).

Para regiones del mundo como México, donde las corrientes de marea más intensas superan los 2 metros solo por periodos cortos, se necesitan tecnologías capaces de aprovechar velocidades menores, como dispositivos que concentren energía de corrientes poco intensas o utilicen tecnologías no convencionales para bajas velocidades. Un dispositivo diseñado específicamente para las condiciones de México es el Hidrogenerador IMPULSA de la UNAM, que actualmente está en desarrollo y prueba.



México posee un mar territorial de 231, 813 km², con una enorme capacidad de generación de energía oceánica limpia.

Conclusiones.

Se estima que México cuenta con potenciales energéticos suficientes, asociados al océano en áreas de Oleaje (Energía Undimotriz), Corrientes, Gradiente Térmico y Gradiente Salino, principalmente.

México, tiene un gran potencial y buenas oportunidades para desarrollar la energía marina como parte de su matriz energética renovable.

La energía oceánica puede aprovecharse de diversas formas. Tecnológicamente, el aprovechamiento de las mareas tiene mayor madurez comparada a existente en las corrientes oceánicas.

Los estudios realizados a nivel mundial sugieren que el potencial energético de la energía mareomotriz es muy positivo y podría satisfacer las expectativas en la búsqueda de un mecanismo de producción de energía sustentable y limpia que sea compatible con el medio ambiente.

Bibliografía:

- Ahmadian, R. y Falconer, R.A. 2020. “Assessment of array shape of tidal stream turbines on hydro-environmental impacts and power output”. *Renewable Energy* 44: 318-327.
- Estrada, C. 2022. El océano, un gran generador de energía. *Ciencia UNAM*.

Quintero, J. y Quintero, L. 2021. "Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente". *Gestión y Ambiente* 18(2): 121-134.

Posada, G, 2019. El Futuro de las Energías Marinas en México (In Spanish), Universidad Autónoma de Campeche.



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

Twidell, J. W. y Weir, A. D. (2020). *Renewable energy resources*. Taylor and Francis, segunda edición. ISBN 0-419-25320-3.

2020, Las energías renovables marinas impulsan la economía azul, International Renewable Energy Agency.

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

luis.valencia.11@outlook.com



Image by Claudio Bartolini (2024).

Los locos abren los caminos que más tarde recorren los sabios.

Carlo Dossi

PUERCO PUEBLO, ARIZONA: ENTRE RUINAS, PETROGLIFOS y FRACTURAS

Jesús S. Porras M.

Consultor Independiente (porrasjs@yahoo.com)



INTRODUCCION

Puerco Pueblo es quizás uno de los más importantes sitios arqueológicos del suroeste norteamericano. Localizado en predios del hoy Parque Nacional del Bosque Petrificado (Arizona), en él se encuentran vestigios de la cultura nativa Pueblo (Anazasi) que ocupó la zona entre los años 950 y 1300 DC.

El asentamiento se ubica en un entorno geológicamente singular, en las proximidades de un paisaje dominado por extensas formaciones multicolores, badlands, troncos petrificados, montículos y cerros testigos modelados por la erosión. Sus ruinas se sitúan sobre una estrecha mesa de tope aplanado, paredes escarpadas y bloques desprendidos (Fig. 1).

Destaca en la zona una extensa y distintiva red de fracturas naturales verticales, que, junto con la acción del río Puerco, han controlado el desarrollo de cañones, terrazas y bloques desprendidos, dando forma al relieve actual. En estas rocas, situadas en la base de los acantilados, están grabados los cientos de petroglifos y pictografías descubiertos en el sitio.

Si bien Puerco Pueblo ha sido ampliamente estudiado desde perspectivas culturales y arqueológicas, el presente trabajo se enfoca específicamente en la descripción del sistema de fracturas observable en el sitio. Por su espectacularidad y singularidad, este patrón de fracturamiento merece una atención particular, ya que constituye un rasgo geológico distintivo que influye de manera clave en la evolución del paisaje y sitio arqueológico y enriquece la interpretación general.

EL PUEBLO: ruinas y petroglifos

Puerco Pueblo fue el más grande e influyente asentamiento de los Pueblos Ancestrales. Su ubicación estratégica, en la planicie aluvial del río Puerco, además de servirle como fuente principal de abastecimiento de agua para el consumo humano y para el cultivo de alimentos, le facilitó también, el acceso a rutas comerciales que conectaban distintas comunidades de la región. Estas rutas permitieron el intercambio de mercancías, así como la difusión de ideas y conocimientos e innovaciones culturales entre las que destacan, nuevos estilos arquitectónicos y diversas técnicas de cerámica y de tejido, entre otros logros significativos.



Figura 1. Vista desde el norte de la mesa de Puerco Pueblo. Se distingue un flanco este de laderas muy suavizadas, al contrario del flanco oeste, de acantilados y escarpes verticales, y bloques colapsados. Se indica la ubicación de los principales atractivos arqueológicos y culturales del sitio: las ruinas del asentamiento y los petroglifos del Newspaper Rock. (Fuente: Google Maps)

El asentamiento estaba conformado por estructuras de un solo nivel, construidas con bloques de arenisca local, tallados a mano y organizadas alrededor de una plaza rectangular, que funcionaba como centro de la vida comunitaria. Las habitaciones se destinaban a vivienda y

almacenamiento, mientras que las actividades diarias se realizaban al aire libre. Las paredes exteriores carecían de puertas y ventanas, y el acceso se efectuaba desde el techo mediante escaleras, siguiendo un diseño tradicional del suroeste precolombino (National Park Service, 2025; Burton, 1993). El techo era de troncos, ramas y barro. El sitio también incluía “kivas”, recintos subterráneos de forma circular utilizados para ceremonias religiosas y prácticas rituales.

A diferencia de otras construcciones más conocidas como las de Mesa Verde, que se emplazan en acantilados, las ruinas de Puerco Pueblo se encuentran a nivel del suelo.

Del asentamiento se conservan sus ruinas, así como vestigios de su rica cultura (Fig. 2). Solo permanecen ladrillos de arenisca, fragmentos de cerámica, herramientas de piedra, los petroglifos y otros artefactos. Se registra la utilización de recursos naturales locales como huesos de animales, granos de cuarzo empleados para el templado de cerámica local y diversos tipos de rocas (madera petrificada y arenisca) utilizada para la construcción de herramientas y edificaciones (Burton et al., 1993)



Figura 2. Ruinas del asentamiento (arriba) y petroglifos de Puerco Pueblo (abajo) (Fotos J. Porras)

Se conservan unas 100 habitaciones separadas, que se calcula albergaron alrededor de 200 personas, y varias kivas. El pueblo representó la última ocupación de esta

comunidad hasta su abandono en el siglo 15 (Burton et al., 1990). Burton et al. (1993) reconocen varios sitios (pueblos) de similares características arquitectónicas en la zona del parque: 11 de habitaciones múltiples y 12 estructuras de 1 a 3 habitaciones espaciadas.

GEOLOGIA GENERAL

Las Ruinas de Puerco Pueblo se ubican en el Parque Nacional del Bosque Petrificado (PNBP), en la región conocida como el Desierto Pintado (Condado Apache), cuya topografía característica es de badlands, mesetas de topes aplanados (mesas), barrancos, cerros-testigos aislados y colinas de cimas suavizadas (Vandiver, 1936; Burton et al. 1990, 1993)

El área de estudio está dominada por una pequeña meseta de tope aplanado, estrecha, elongada y de forma de “medialuna”, que sigue un rumbo preferencial NNO-SE. Se ubica al sur del río Puerco (Fig. 3).

La mesa tiene una longitud entre 2.5 y 3 km. Mide 1.1 km, en su parte más ancha (oeste-este) y alcanza una altura máxima de 1670 metros, especialmente al sur-sureste hasta donde se extiende, y culmina, degradándose en el mirador ubicado en el sector norte de las colinas cónicas multicolores conocidas como “The Tepees” (Burton et al. 1990, 1993) (Fig.3).

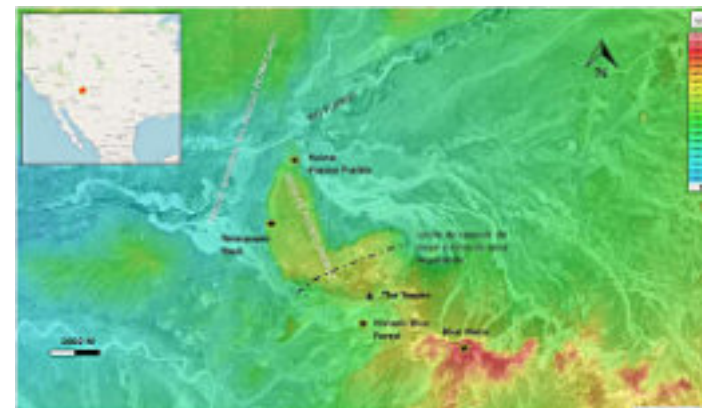


Figura 3. Mapa Combinado Topográfico-Satelital de la Mesa de Puerco Pueblo (fuente: topographic-map.com)

Cubre una superficie aproximada de 3 km² y tiene un perímetro aproximado de 10.3 km, sin incluir la zona degradada y meteorizada del sur-sureste.

Está flanqueada por el río Puerco al norte, y por los arroyos efímeros Dry Creek, East Fork Dry Creek y Nine Mile Wash, al oeste, sur y este, respectivamente (Burton et al. 1993). Un sistema efímero-sin denominación-se expande muy cerca, al oeste de la mesa.



Figura 4. Mapa Geológico parcial del Parque Nacional del Bosque Petrificado (<https://www.azgs.arizona.edu/publications/map-database-services>)

Los bordes oeste y este de la mesa son prominentes acantilados, cuyas paredes llegan a alcanzar los 20-30 metros de altura (Fig. 1-6). El borde occidental, a diferencia del borde este, de pendientes menos escarpadas, está conformado por escombros y bloques colapsados del techo (caprock) de la meseta por la acción mecánica y la erosión. En esta zona se desarrolla un corto espolón donde se localiza el sitio de la Newspaper Rock, formado por dos grandes bloques de roca que contienen más de 650 petroglifos y que yacen en el fondo del acantilado. Los escarpes del flanco son de paredes menos abruptas, con bordes más suavizados, y no presentan grandes escombros. Al norte, donde se localizan las ruinas, la mesa descende progresiva y suavemente hacia la llanura aluvial. En esta última zona la elevación es de 1630 m, por lo que el sitio está a menos de 10 metros sobre el nivel del lecho del río.

Los dos principales atractivos del área, que son las ruinas y los petroglifos, incluyendo los del “Newspaper Rock”, localizada unos 1600 metros al sur, están ubicados, las primeras, sobre el tope norte de la meseta (mesa) y los segundos, en los bloques desprendidos y depositados en la base de sus flancos.

Aunque en la zona se han identificado sedimentos Mio-Plioceno y Holoceno superficiales, la mesa está conformada por sedimentos clásticos de ambiente fluvial, pertenecientes al Miembro Blue Mesa, de la Formación Chinle depositada durante el Triásico Tardío (205-225 ma). La unidad consiste, de areniscas gris parduzco-amarillentas, de grano fino a medio intercaladas con conglomerados, limolitas y lutitas (Vandiver, 1936; Burton, et al., 1993; Atchinson et al., 2019). Los sedimentos más

recientes consisten en arcillas aluviales y gravas superpuestas en algunos lugares por arenas eólicas estabilizadas por la vegetación (Fig. 4,5).

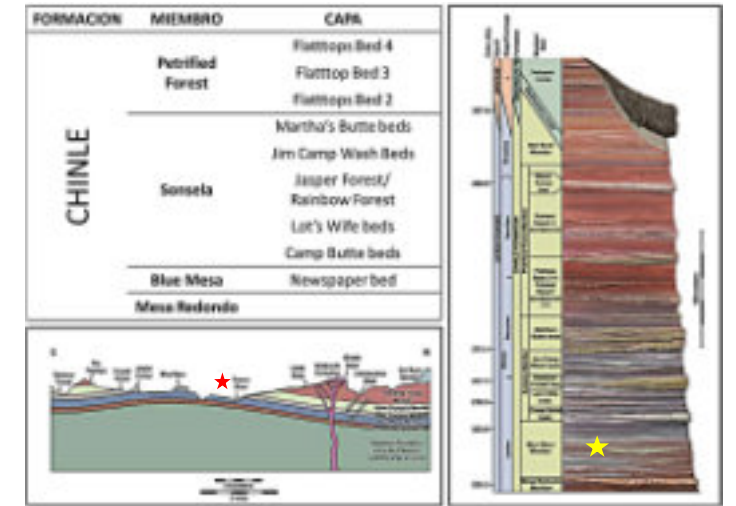


Figura 5. Estratigrafía y sección geológica generalizada del Parque Nacional del Bosque Petrificado. En la sección se indica la ubicación aproximada de la mesa de Puerco Pueblo, y en la columna, la posición estratigráfica de las areniscas de la Newspaper Bed (adaptado de Martz et al., 2012). (<https://www.nps.gov/pefo/learn/nature/geologicformations.htm>)

La mayor parte del arte rupestre se encuentra en la Newspaper Rock, una capa de arenisca perteneciente al Miembro Blue Mesa, notable por su coloración, estratificación y susceptibilidad a la erosión. La arenisca está cubierta por una oscura y delgada película, o barniz, compuesto de arcillas, microorganismos y óxidos de manganeso e hierro, sobre la cual los antiguos habitantes grababan los petroglifos, atravesando la capa mineral hasta alcanzar la roca fresca subyacente (Keller-Lynn, 2010)

Estructuras y Deformación

Estructuralmente, la meseta se ubica al sur de la singular provincia fisiográfica conocida como el Plateau de Colorado, entre las depresiones de Saddle Horse, Carr Lake, Potter Place Draw y el alineamiento de rumbo NE de Puerco Ridge, al sur-sureste (Vandiver, 1936; Burton, 1993; Keller-Lynn, 2010; Anderson et al., 2024)

El buzamiento regional es homoclinal, de 1-2° al noreste y se observa poca deformación en la zona. Las estructuras presentes pueden ser de origen tectónico, como resultado de la orogenia Laramide que afectó la región o por movilización salina (Keller-Lynn, 2010; Martz et al., 2012). Los mismos autores indican que las estructuras más notables del área son los sinclinales Sinking Ship, al este y el domo de Newspaper Rock. Reconocen otras estructuras

positivas, aunque más lejanas: los anticlinales de Devil's Playground, al norte y uno cercano al Rainbow Forest, al sur. Keller-Lynn (2010) menciona, además, sutiles sinclinales en la zona de Flattops y Rainbow Forest y una depresión o hundimiento, por colapso por disolución, de 1 km de diámetro y 30 m de profundidad en el área de Blue Mesa.

Fallas

Vandiver (1936) indica que existen pocas evidencias de fallamiento en esta zona del Plateau, y que no ha tenido un papel relevante en su evolución geológica, a diferencia de lo observado en la región occidental. Martz et al. (2012) señalan que no se existen fallas significativas en el área del Parque Nacional Bosque Petrificado, aunque localmente son comunes pequeñas fracturas de unos pocos metros de desplazamiento. Bezy & Trevena (2000) documentan fallas normales de pequeño salto en arcillas bentónicas del sendero de Blue Mesa, cercano al área.

Karlstrom et al. (2022) refieren que el fallamiento en esta zona central del plateau de Colorado es menor y más discreto en relación al de los márgenes y que se presenta típicamente como fallas normales asociadas a un régimen tectónico extensional cenozoico. Señalan que las fallas cuaternarias son relativamente frecuentes en toda la región, aunque menos abundantes.

Aunque el rumbo NO-SE es característico en el contexto regional de fallamiento cenozoico, según mapas de diversos autores, su influencia directa sobre la configuración estructural local es limitada por lo que las estructuras presentes deben interpretarse en función de controles locales y del estilo monoclinial general del Plateau.

Se identifican también microfallas y bloques escalonados, controlados por los sistemas de diaclasas.

FRACTURAS Y DIACLASAS

Sobre las areniscas masivas que coronan la mesa de Puerco Pueblo se reconoce una red compleja y bien definida de fracturas naturales verticales (diaclasas), cuyo origen responde a una combinación de factores estructurales, climáticos y litológicos, si bien se interpretan más como producto de tensiones regionales o de descompresión, y no como expresión de fallas profundas (Fig. 6-7-8). Este tema ha sido abordado por Kelley y Clinton (1960) quienes señalan una aparente falta de relación entre la estructura regional y la orientación de las diaclasas en el Plateau de Colorado.

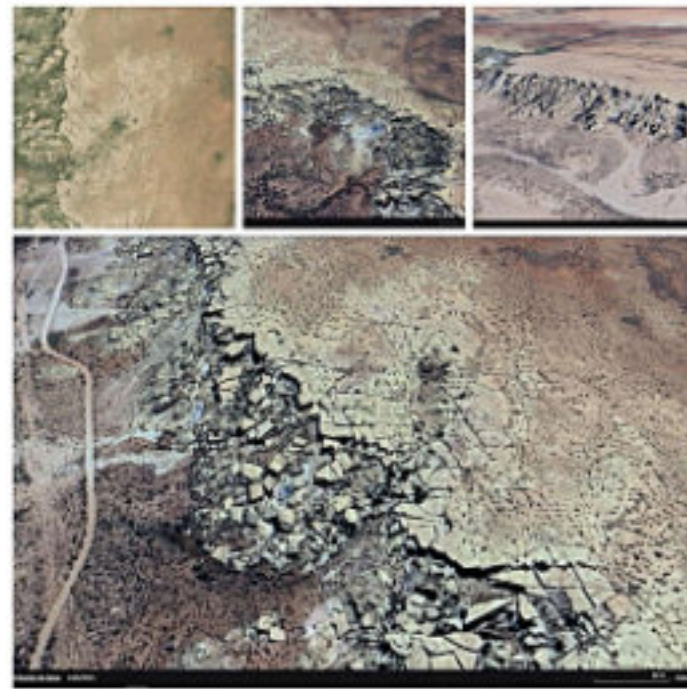


Figura 6. Vista aérea del sistema reticulado de fracturas que se desarrollan sobre la Mesa Puerco Pueblo (Fuente: Google maps)

Este sistema de fracturamiento, especialmente desarrollado en el sector centro-occidental de la meseta, está compuesto por dos conjuntos principales de fracturas con rumbos preferenciales N55°O (azimut 305°) y N20°E (azimut 20°), además de dos conjuntos secundarios con orientaciones N20°O y N70°E (Fig. 6-7).

El sistema principal incluye fracturas extensionales no ortogonales que se intersectan en ángulo oblicuo (~75°), generando bloques de geometría romboidal. Esta configuración se asocia a un estilo de fracturamiento monoclinico. No obstante, en algunas zonas locales pueden observarse variaciones del patrón, incluyendo bloques de geometría más cúbica, compatibles con un estilo ortorrómbico.

Las fracturas orientadas N55°O son sistemáticas, subparalelas, bien espaciadas y de alta continuidad. Las de rumbo N20°E presentan características similares, aunque con menor continuidad y espaciamiento.

Aunque las orientaciones principales dominan la red de diaclasas, también pueden encontrarse otras direcciones subordinadas, especialmente en áreas periféricas o sometidas a esfuerzos locales distintos.

Otros sistemas de fracturas, de menor importancia por su baja densidad, discontinuidad y distribución más localizada, también han sido identificados en el área. Estos incluyen diaclasas con orientaciones N20°O (azimut 340°)

y N70°E (azimut 70°). Además, se intuye la presencia de fracturas conjugadas por cizallamiento, con orientaciones variables, que podrían reflejar esfuerzos tectónicos más complejos o fases de deformación superpuestas.



Figura 7. Sistemas de fracturas verticales (diaclasas) que se intersectan en ángulo oblicuo sobre las areniscas masivas de la Formación Blue Mesa (Fotos J. Porras)

Groom et al. (2019) reconocen en rocas del sector, tanto fracturas originales desarrolladas por la naturaleza frágil de las areniscas de la Formación Chinle, como fracturas posteriores debido a factores externos de esfuerzo y de tensión mecánica. Distinguen procesos de descamación, exfoliación y astillamiento resultado de fracturación mecánica, impactos o tensiones tectónicas.

Heylmun (1966) señala que el fracturamiento sistemático puede no estar vinculado directamente a movimientos orogénicos. Sostiene que, en el Plateau de Colorado, muchas de estas fracturas no guardan relación con plegamientos ni fallas locales, y parecen haber sido originadas por tensiones regionales que afectan grandes segmentos de la corteza terrestre.

Los tipos más comunes de fracturas identificados en la zona son: a) diaclasas b) fracturas de retracción térmica c) fracturas asociadas a procesos de erosión diferencial

Los patrones de fractura son claramente visibles en imágenes aéreas, ya que controlan la distribución de la vegetación. Estas fracturas pueden identificarse

fácilmente al seguir las alineaciones de crecimiento vegetal, principalmente de gramíneas. Scott y Wohl (2018) señalan que, en paisajes áridos, las fracturas actúan como zonas preferenciales para el desarrollo del suelo, la retención de humedad y los procesos de meteorización, lo que favorece la colonización vegetal y permite su reconocimiento desde el aire por la disposición lineal de la cobertura vegetal (Fig. 8).



Figura 8. Distribución de la vegetación a través de la red de fracturas visto desde el aire (Fuente: Google maps).

Implicancia geomorfológica

En el área de Puerco Pueblo, las areniscas masivas que conforman el tope de la mesa presentan un sistema bien desarrollado de fracturas naturales o diaclasas, dispuestas en múltiples direcciones. Este patrón de fracturamiento tiene implicancias geomorfológicas significativas, ya que condiciona directamente la evolución del paisaje y los procesos superficiales.

Este sistema complejo de diaclasas, no solo ha comprometido la estabilidad estructural de la mesa, sino que también desempeña un papel determinante en la configuración del relieve local, acelerando la fragmentación del sustrato, el retroceso de los bordes y la generación de morfologías características de esta región.

Entre los efectos geomorfológicos más relevantes se destacan:

- Control de la erosión diferencial, facilitando la disgregación selectiva de bloques.
- Fragmentación del sustrato rocoso, lo que debilita la integridad estructural de la mesa.
- Canalización del drenaje superficial y de la infiltración, mediante fracturas que actúan como vías preferenciales de escurrimiento y percolación.

- d) Formación de morfologías angulosas, tales como bloques romboidales, crestas alineadas y fracturas abiertas.
- e) Generación de microformas estructurales, como grietas, escarpes menores y pequeños deslizamientos, directamente controlados por el patrón de diaclasamiento.

En conjunto, el diaclasamiento condiciona tanto la dinámica erosiva como la morfología superficial de la mesa, siendo uno de los factores clave que explican su evolución geomorfológica dentro del contexto regional.

Los bloques generados tienden a adoptar formas trapezoidales o romboidales, más que cúbicas, como resultado de la intersección oblicua de las diaclasas principales. Estas fracturas favorecen la formación de losas inestables y el colapso de bordes, además de facilitar la penetración de agua meteórica, intensificando procesos de meteorización física, especialmente por gelifración y erosión diferencial.

Estas fracturas también influyen en la preservación y el deterioro de los petroglifos, ya que promueven la desestabilización del soporte rocoso mediante procesos de meteorización y erosión.

Retroceso de Acantilados (cliff retreat)

En la mesa de Puerco Pueblo, el retroceso de los acantilados es un proceso geomorfológico activo y característico del entorno del Plateau de Colorado. Este fenómeno está principalmente controlado por la presencia de un potente banco de areniscas (Newspaper Rock Sandstone), intensamente fracturado, que descansa sobre lutitas blandas y fácilmente erosionables de la Formación Chinle.

El contraste litológico entre la arenisca resistente y la lutita friable favorece el socavamiento de la base del escarpe por acción de la lluvia y el agua de deshielo. La remoción progresiva del material subyacente debilita estructuralmente la parte superior del acantilado, lo que genera la apertura de fracturas, la formación de grietas profundas y el eventual colapso de grandes losas de arenisca hacia las laderas (Fig. 9). Este proceso, bien documentado en otras localidades como Blue Mesa y Newspaper Rock, ha sido identificado como uno de los principales mecanismos responsables de la fragmentación de mesas y la formación de relieves residuales como los buttes (Bezy & Trevena, 2000; Keller-Lynn, 2010).



Figura 9. Varios aspectos de retroceso del acantilado de la mesa Puerco Pueblo por erosión diferencial, socavamiento de la lutita infrayacentes a la arenisca fracturada Newspaper y colapso de losas de esta unidad. El fenómeno es más notable en la ladera oeste de la mesa (Fotos J. Porras).

Según Bezy y Trevena (2000), acantilados como el de Newspaper Rock están en constante retroceso debido a la erosión, a pesar de su aparente permanencia. Explican cómo la erosión diferencial y el socavamiento de la lutita infrayacentes a la arenisca fracturada en Newspaper Rock favorecen el colapso de losas y el retroceso de acantilados, un proceso clave en la formación de mesas y buttes en el Plateau de Colorado.

Keller-Lynn (2010) refuerza esta interpretación, señalando que el mirador de Newspaper Rock constituye un ejemplo claro del retroceso de acantilados. Señala que las capas superiores de la unidad conocida como Newspaper Rock Bed, perteneciente a la Formación Chinle, son propensas al retroceso cuando se encuentran “sostenidas” por lutitas. Al erosionarse las lutitas, las fracturas preexistentes en la arenisca se abren, provocando el desprendimiento de losas que colapsan hacia las pendientes. Destacan que, en 1984, este proceso destruyó el antiguo sendero que descendía hacia Newspaper Rock.

Migoñ et al. (2018) analizan la evolución morfológica de mesas de arenisca, destacando el retroceso de acantilados como un proceso clave en su desintegración gradual. Concluyen que su evolución implica una disminución progresiva del área debido al colapso de bloques en zonas

fracturadas de los bordes del caprock, hasta convertirse en buttes y, finalmente, en campos de bloques dispersos.

Duszyński et al. (2019) afirman que el retroceso de acantilados es un fenómeno común del aceptado modelo conceptual de evolución y reducción de las mesas hasta formar un butte.

Howard y Kochel (1988) indican que la exposición de estratos más débiles (generalmente lutitas o areniscas altamente fracturadas) bajo areniscas masivas provoca el socavamiento de estas últimas, lo que conduce a la formación de acantilados y a un rápido retroceso del escarpe. En promedio, sobre grandes áreas, el volumen de roca fragmentado por el retroceso del escarpe es mucho mayor que el removido por erosión directa en las singulares pendientes lisas de las geoformas típicas del Colorado Plateau. Debido a este rápido retroceso, los acantilados tienden a avanzar sobre pendientes preexistentes de roca expuesta, hacia el interior de la mesa.

El retroceso de los acantilados en la región de Newspaper Rock, pudiera estar intensificado por procesos de erosión subterránea, no siempre evidentes, como el “spring sapping”. Este fenómeno, caracterizado por el flujo constante de agua subterránea que emerge en la base de los escarpes, debilita progresivamente las rocas finas subyacentes, favoreciendo el colapso de losas de la arenisca del tope. Este mecanismo, común en el Plateau de Colorado, actúa junto al fracturamiento preexistente facilitando la percolación del agua, promoviendo la desintegración de bordes, el colapso de bloques y formando microformas diversas como buttes y agujas (Howard y Kochel, 1988)

CONCLUSIONES

La región de Puerco Pueblo constituye un entorno de alto valor patrimonial y didáctico, donde convergen elementos culturales, geológicos y geomorfológicos de notable relevancia.

Además de conservar vestigios y huellas de antiguas culturas indígenas, este sector forma parte destacada de la geodiversidad del Colorado Plateau y ofrece un valioso registro de los procesos erosivos que caracterizan a esta provincia geológica.

La mesa de Puerco Pueblo presenta una compleja red de fracturas naturales, lo que la convierte en un sitio privilegiado para el estudio de mecanismos de fracturamiento, esfuerzos estructurales y sus implicancias

geomorfológicas. Allí se manifiestan procesos activos como el retroceso de acantilados, la fragmentación progresiva de mesas y el modelado del relieve, lo que refuerza su valor como laboratorio natural para comprender la evolución del paisaje en regiones semiáridas.

Reconocer la interdependencia de estos elementos es esencial para su conservación y puesta en valor. Comprender la dinámica geomorfológica no solo permite interpretar el origen y transformación del paisaje, sino también orientar estrategias de gestión y preservación para este sitio de alto valor natural, patrimonial y cultural.

REFERENCIAS & CONSULTAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson K.C., Maxwell M. Miller M.M., and Schachner G, 2024. The Geoarchaeological Landscape of Wallace Tank Pueblo (Az Q:1:199 (ASM)), Petrified Forest National Park, Arizona: Rehabilitating the Damaged Cultural Landscape of a Pueblo IV Village. *Lithodendron* Vol. 1: 1–19, Spring 2024 <https://doi.org/10.69575/TLUX2262>
- Atchison, C.L., Parker, W.G., Riggs, N.R., Semken, S., and Whitmeyer, S.J., 2019, Accessibility and inclusion in the field: A field guide for central Arizona and Petrified Forest National Park, in Pearthree, P.A., ed., *Geologic Excursions in Southwestern North America: Geological Society of America Field Guide* 55, p. 39–60, [https://doi.org/10.1130/2019.0055\(02\)](https://doi.org/10.1130/2019.0055(02)).
- Bezy J.V. and Trevena A.S., 2000. Guide to Geological Features at Petrified Forest National Park, Arizona Geological Survey
- Burton J.F., Donaldson M., Fish S. K., Gillespie W.B., Hughes R.E., Miksicek Ch. H., Origer T. M., Sheppard J.C. and Vint J.M., 1990. Archeological Investigations at Puerco Ruin, Petrified Forest National Park, Arizona. Western Archeological and Conservation Center National Park Service, U.S. Department of the Interior, Publications in Anthropology 54, 361 p.
- Burton J.F., Farrel M.M., Fulginiti L.C. Goetze C. E. and Kahana T. 1993. Days in the Painted Desert and the Petrified Forests of Northern Arizona. *Contributions to the Archeology of Petrified Forest National Park 1988-1992*, Publications on Anthropology 62, 187 p + 10 Appendixes & 19 Tables.
- Duszyński F., Migoñ P. and Strzelecki, M.C., 2019. Escarpment retreat in sedimentary tablelands and cuesta landscapes – Landforms, mechanisms and patterns, *Earth-Science Reviews* <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102890>

Heylmun E.B., 1966, Systematic Rock Joints in Parts of Utah, Colorado, and Wyoming, and a Hypothesis on their origin. University of Utah, PHD Thesis.

Howard A.D. & Kochel R.C. 1988. Introduction to Cuesta Landforms and Sapping Processes on the Colorado Plateau in Howard A.D., Kochel R.C. and Holt H.E. (eds), Sapping Features of the Colorado Plateau. A comparative Planetary Geology Field Guide. NASA SP 491, Chapter 2, p 6-56.

Groom K.M., Villa Cerveny N., Allen C. D., Dorn R. I. and Theuer J., 2019. Protecting Stone Heritage in the Painted Desert: Employing the Rock Art Stability Index in the Petrified Forest National Park, Arizona. Heritage 2019, 2, 2111–2123; doi:10.3390/heritage2030127, www.mdpi.com/journal/heritage

Karlstrom K.E., Wilgus J., Thacker J.O., Schmandt B., Coblenz D., and Micael Albonico M., 2022. Tectonics of the Colorado Plateau and Its Margins. Annual Reviews of Earth Planet Sciences. 2022. 50:295–322 <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-032320-111432>

Keller-Lynn, K. 2010. Petrified Forest National Park: geologic resources inventory report. Natural Resource Report NPS/NRPC/GRD/NRR—2010/218. National Park Service, Fort Collins, Colorado.

Kelley, V. C., and Clinton, N. J., 1960, Fracture systems of the Colorado Plateau: University of New Mexico Geol. Pub. 6, 104 p.

Martz, J.W., Parker, W.G., Skinner, L. and Raucci, J.J., Umhoefer, P. and Blakey, R.C., 2012, Geologic Map of Petrified Forest National Park, Arizona. Arizona

Migoñ, P. et al. (2018). Evolution of sandstone mesas: Following landform decay until death. Progress in Physical Geography, 42(5), 588–606. <https://doi.org/10.1177/0309133318783148>

Geological Survey Contributed Map CR-12-A, 1 map sheet, 1:50,000 map scale, 18 p

National Park Service. Puerco Pueblo. U.S. Department of the Interior, <https://www.nps.gov/pefo/learn/historyculture/puerco-pueblo.htm>. Accessed 20 May 2025.

Scott D.N. and Wohl E.E., 2018. Bedrock Fracture Influences on Geomorphic Process and Form Across Process Domains and Scales, BSG, August 2018. Earth Surface Processes and Landforms 44(1):27-45 DOI: 10.1002/esp.4473

Topographic-map.com, (<https://es-mx.topographic-map.com/map-fv9jzs/Apache-County/?center=35.21241%2C-109.47163>)

USGS, 2014. Adamana Quadrangle (Az) Topographic Map, 7.5 Minute Series

Vandiver V.W., 1936. Geology of the Petrified Forest National Monument, Report No. 64

SOBRE EL AUTOR:



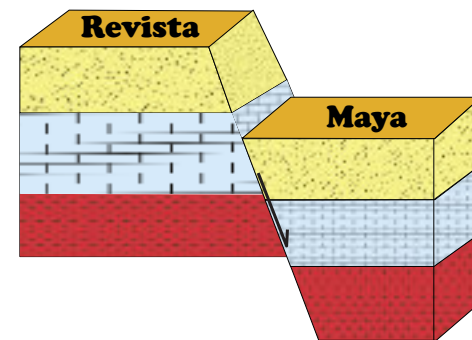
Jesús S. PORRAS M. es Ingeniero Geólogo de la Universidad de Oriente con Maestría en Ciencias Geológicas de la Universidad Central de Venezuela.

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 60 trabajos presentados en diferentes congresos geológicos nacionales e internacionales, simposios y revistas técnicas.



MACHU PICCHU
Una maravilla Inca de la Arquitectura y de la Ingeniería, pero también de la Geología

JHONNY E. CASAS

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



Vista panorámica del conjunto arqueológico de Machu Picchu. Fotografía del autor.

INTRODUCCION

Machu Picchu (en quechua, Machu Pikchu 'monte o pico viejo'), es el nombre contemporáneo que se da a un antiguo poblado incaico, construido antes del siglo XV, en la vertiente oriental de la Cordillera Central del sur del Perú. Está ubicado en el departamento del Cusco (provincia de Urubamba, distrito de Machupichu), en una cresta montañosa sobre el Valle Sagrado de los Incas, a unos 80 kilómetros al noroeste de la ciudad de Cusco.

Las montañas Machu Picchu y Huayna Picchu son parte la formación orográfica del lugar, en la Cordillera Central de los Andes peruanos. Se encuentra en la ribera izquierda del llamado Cañón del Urubamba, conocido en la antigüedad como Quebrada de Picchu. Al pie de los cerros, rodeándolos, corre el río Vilcanota-Urubamba. El sitio arqueológico incaico se encuentra a medio camino entre las cimas de ambas montañas, a 450 metros de altura por encima del nivel del valle y a 2.438 metros sobre el nivel del mar. La superficie edificada es de unos 530 metros por 200 de ancho, cuenta con 172 edificios en su área urbana.

Machu Picchu, ícono del Imperio Inca, es uno de los sitios arqueológicos más reconocidos y admirados en el mundo. Los incas integraron ingeniosamente sus construcciones en el entorno natural, aprovechando la geología particular de esta parte de la cordillera andina. (Chambers, 2020).

El entorno de Machu Picchu muestra una naturaleza impresionante: altas montañas, algunas de más de 5.000 m de altitud, valles profundos, escarpes casi verticales de más de 100 m, cañones estrechos y una vegetación propia de selva alta, el paisaje es espectacular y paradisiaco. Los arquitectos e ingenieros incas no pudieron elegir un mejor lugar para construir Machu Picchu, también llamada erróneamente la “ciudad perdida”, aunque siempre rodeada de muchos misterios. Aunque nadie lo sabe con absoluta certeza, Machu Picchu fue probablemente un importante centro religioso y lugar de retiro para la familia real inca y los altos sacerdotes.

HISTORIA DE MACHU PICCHU

Hacia 1420, durante su campaña guerrera hacia Vilcabamba, la quebrada de Picchu fue conquistada por

Pachacútec (noveno gobernante del estado Inca). El emplazamiento de Machu Picchu debió impresionar al monarca por sus peculiares características dentro de la geografía sagrada de la región, y por ello habría mandado construir allí, hacia 1420-1430, un complejo urbano con lujosas edificaciones civiles y religiosas.

Durante cientos de años después de que Machu Picchu fuera abandonado por los incas, permaneció oculto a la vista. La vegetación de la selva envolvió la ciudad, y sólo la conocían unos pocos habitantes locales, incluyendo algunas familias que cultivaban en las antiguas terrazas. Las primeras referencias directas sobre visitantes de Machu Picchu indican que Agustín Lizárraga, un arrendatario de tierras cusqueño, llegó al sitio el 14 de julio de 1902.

Hiram Bingham, un profesor estadounidense de historia en la Universidad de Yale, interesado en encontrar los últimos reductos incaicos de Vilcabamba, oyó sobre el descubrimiento de Lizárraga y finalmente llegó a Machu Picchu el 24 de julio de 1911 guiado por otro arrendatario de tierras, Melchor Arteaga, y acompañado por un sargento de la guardia civil peruana de apellido Carrasco. Encontraron a dos familias de campesinos viviendo allí, los Recharte y los Álvarez, quienes usaban las ruinas de los andenes del sur para cultivar y bebían el agua de un manantial, traída por un canal incaico que aún funcionaba. Pablo, uno de los niños de la familia Recharte en el lugar, guió a Bingham hacia la zona de construcciones, cubiertas por la maleza, quedando absolutamente impresionado. Si bien es claro que Bingham no descubre Machu Picchu en el sentido estricto de la palabra, es indudable que tuvo el mérito de ser la primera persona en reconocer la importancia de las ruinas, estudiándolas con un equipo multidisciplinario y divulgando sus hallazgos.

Machu Picchu es reconocida como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, y en 2007 fue elegido por votación como una de las Nuevas Siete Maravillas del Mundo en una encuesta global por Internet (más de 100 millones de votantes). Sus amplias terrazas, los elegantes edificios de piedra y las grandes plazas, todo ello con el dramático telón de fondo de la escarpada montaña Huayna Picchu, son un testamento de los impresionantes talentos de ingeniería y arte de los incas. La historia geológica única del desafiante sitio, combinada con un diseño y una construcción excepcional, han hecho de Machu Picchu lo que vemos hoy en día. (Chambers, 2020)

Machu Picchu fue construido en el estilo Inca clásico, con paredes de piedra seca pulida. Sus tres estructuras principales son el Intihuatana (piedra ritual o reloj solar), el Templo del Sol y el Templo de las Tres Ventanas. La mayoría de los edificios periféricos han sido reconstruidos para dar a los visitantes una mejor idea de cómo era el original. Se estima que alrededor del 70 % de Machu Picchu ya ha sido restaurado, tarea que continúa aun hoy día.

UBICACIÓN, GEOMORFOLOGIA Y CONSTRUCCION

Los Andes están dispuestos en una serie de cadenas montañosas distintas. Machu Picchu se encuentra dentro de la llamada Cordillera Central y forma parte del distrito del mismo nombre, en la provincia de Urubamba, en el departamento del Cusco, en Perú. La ciudad importante más cercana es Cusco, actual capital regional y antigua capital de los incas, a unos 110 kilómetros de allí (Figura 1), siendo el tren la forma más común y rápida de llegar a Machu Picchu desde Cusco.



Figura 1. Mapa de ubicación de Machu Picchu. Fuente: Carlotto *et al*, (2007).

El sitio está rodeado por exuberantes bosques tropicales verdes que se fusionan con las selvas de la cuenca del Amazonas. La estrecha cresta que ocupa la ciudadela conecta dos picos, Machu Picchu y Huayna Picchu. Las pendientes de la cresta descienden abruptamente unos 500 metros a ambos lados hasta el río Urubamba, que rodea el sitio por tres lados.

Las rocas graníticas grises y blancas subyacen en Machu Picchu y se utilizaron para todo el trabajo de piedra incaico en el sitio. Se estima que estas rocas se

formaron hace unos 250 millones de años, cuando América del Sur se unió a África como parte del supercontinente Gondwana, originándose a partir de un magma contenido en una gran cámara magmática situada a unos 5-10 km de profundidad. Durante millones de años, el magma se enfrió lentamente, formando las rocas que pueden verse hoy en día aflorando en la región.

En la zona de Machu Picchu se reconocen cinco tipos geomorfológicos de granitos: Granitos masivos, granitos muy fracturados y movidos por la gravedad, bloques de granitos separados, depósitos coluviales y material de relleno.

Los **granitos masivos** afloran notoriamente en los bordes de la Ciudad, especialmente en la ladera occidental, por donde se encuentran los andenes orientados al río Urubamba. Este tipo de afloramiento rocoso se puede ver en la pirámide Intihuatana, incluso parte de andenes que rodean el Intihuatana esta construido sobre rocas fijas.

Los **granitos muy fracturados**, el agua que ingresa a las fracturas y la gravedad logran que esta roca se fracture y se separe, pero no completamente. Este tipo de granito se puede observar en el sector del Templo del Cóndor (Figura 2), y en los andenes ubicados en la parte superior de la Plaza Mayor.

Los bloques de **granitos separados**, también conocidos como el "Caos Granítico", están totalmente separados del afloramiento, estos se pueden apreciar en la zona de la llamada "Cantera". En este lugar muy posiblemente los incas explotaron el granito. El Torreón o Templo del Sol esta construida sobre "caos granítico", y es de admirar el trabajo realizado por los incas para lograr la estabilización de los bloques de granito que conforman dicha estructura.

Los **depósitos coluviales**, están compuesto por la parte superficial de los suelos que varían de espesor desde centímetros hasta metros, compuestos de material arcilloso y bloques producto del desgaste y desprendimiento de las rocas. Este tipo de material se puede observar en el sector de los Andenes (Figura 3).

El **material de relleno** esta presente en la zona de las plataformas, sistemas de andenes, que ocupan gran parte de la Ciudad Inca, el material de relleno está

compuesto por grava arenosa, trabajada por los incas para rellenar la base de los andenes (Figura 3).

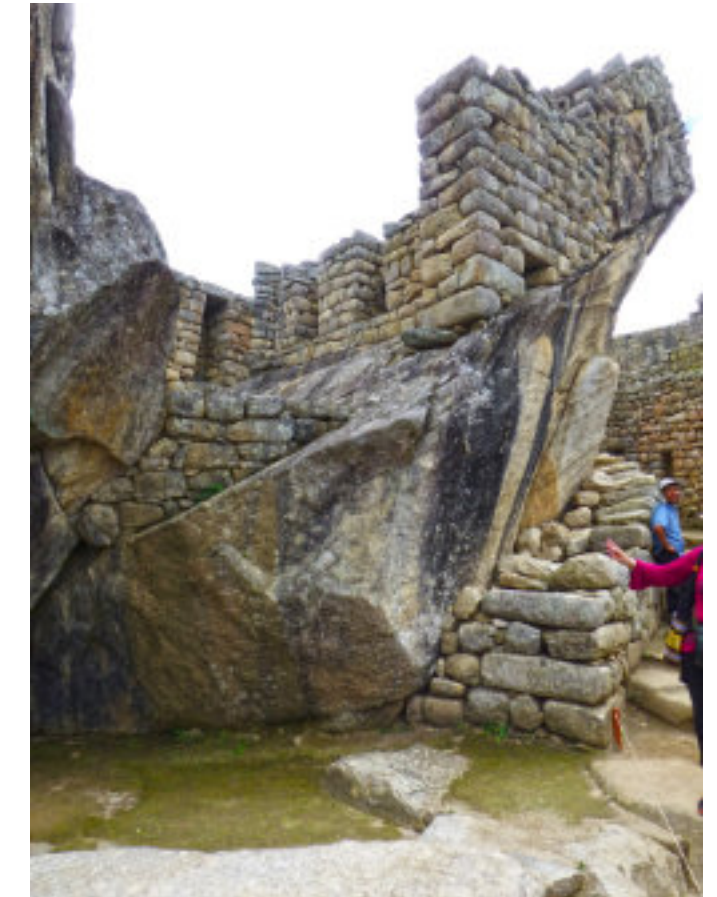


Figura 2. Templo del Cóndor. Obsérvese como los Incas usaron un gran bloque fracturado de granito para construir el templo e incorporaron su forma natural. Fotografía del autor.

Otro proceso geomorfológico importante que se produce en la región es la tendencia a los deslizamientos de tierra, ya que las escarpadas laderas de las montañas de la región son inestables. Las elevadas precipitaciones estacionales (casi 2.000 mm al año) están descomponiendo lentamente los minerales de las rocas graníticas, proporcionando material susceptible a los deslizamientos. Al situar Machu Picchu en una cresta, los constructores incas protegieron la ciudad de estos peligros. El emplazamiento en la cima de la cresta también proporcionó excelentes defensas naturales.

La Ingeniería Inca, consistió en estabilizar, las rocas con la construcción de plataformas, uso de rodillos, sogas y mucha mano de obra, lo que significó, una especial organización de trabajo. Para estabilizar el terreno, construyeron andenes o terrazas con mucha precisión y herramientas adecuadas, como martillos, cinceles,

compos, etc. Para luego construir sus viviendas, caminos, puentes, etc. En la zona de canteras en la Ciudad de Machu Picchu, se encuentran rocas talladas, listas para la construcción, previamente fueron trabajadas ya en Machu Picchu recibían el acabado final.



Figura 3. Conjunto de andenes cuya función principal es la protección de las laderas, y servir como terrazas agrícolas. Fotografía del autor.

Un elemento interesante de mencionar es que la región esta tectónicamente afectada por la presencia de numerosas fallas. El conjunto incluye las fallas de Machu Picchu y Huayna Picchu, donde el primero está orientado de noreste a suroeste; y el segundo conjunto, está orientado de noroeste a sudeste. Estos conjuntos de fracturas, fueron factores críticos en la selección del sitio y la construcción exitosa de Machu Picchu, como se describirá en capítulos posteriores.

CANTERAS, MANANTIALES, Y LA PARTE OCULTA DE LA CIUDAD

Los constructores incas deben haber examinado diversos lugares de montaña antes de seleccionar la estrecha cresta de Machu Picchu. Una fuente de agua confiable para la ciudad era un requisito esencial y es inusual encontrar una, tan alta en las montañas. Fortuitamente, la roca fracturada a lo largo de la falla de Machu Picchu permitió que el agua de lluvia se infiltre y se almacene bajo tierra. Así, luego fluye hacia la superficie como un manantial perenne. El rendimiento de este manantial fue mejorado por un sistema de recolección de agua de bloques de piedra, bien diseñado, y que todavía está en funcionamiento hoy en día. Una serie de largos canales y una impresionante secuencia de 16 fuentes de piedra, proporcionaban el

agua ceremonial y doméstica que caía en cascada a través de la finca real. El agua más pura, en la parte superior de la serie de fuentes, estaba situada junto a la residencia del gobernante inca.

Una enorme cantidad de piedra de alta calidad era esencial para construir la ciudad. Las rocas graníticas son extremadamente duras y fuertes, por lo que eran ideales para la construcción. Una vez más, de manera fortuita, las grietas formadas durante la orogénesis han fracturado ampliamente la roca, creando una conveniente cantera natural de bloques graníticos, de los cuales muchos se encontraban “pre-cortados” en tamaños útiles. Sin esa fuente de roca adecuada y ubicada en la cima de la cresta, la construcción habría sido sumamente difícil.

Hay mucho más de lo que se ve a simple vista en Machu Picchu. Uno de los hechos más sorprendentes de la ciudad, es que se estima que un 60% del esfuerzo total de construcción está oculto bajo tierra. Las empinadas laderas de la montaña se estabilizaron con la construcción de extensas terrazas, que abrieron el espacio para el uso agrícola y la construcción de edificios. Las terrazas fueron cuidadosamente ensambladas detrás de fuertes muros de bloques de roca, y con una capa inferior de cantos rodados, una capa media de grava y una capa superior de tierra. Estos profundos cimientos, y un extenso sistema de drenaje construido en las terrazas, eran esenciales para soportar las frecuentes y fuertes lluvias. El agua de lluvia que se filtraba a través de las terrazas podía drenar hacia abajo por la ladera de la montaña con una mínima erosión del suelo. Sin esta preparación del terreno, el deterioro se habría producido rápidamente, asentándose los rellenos de las terrazas y desmoronándose los edificios.

GEOLOGIA DE MACHU PICCHU

La ciudad inca Machu Picchu fue construida, sobre el batolito que lleva el mismo nombre, en plena cordillera de Vilcabamba, nominación regional que toma la vertiente oriental de la Cordillera Central de los Andes del sur del Perú. La cordillera de Vilcabamba geológicamente está compuesta fundamentalmente, por rocas metamórficas del Paleozoico y granitoides permo-triásicos (Figura 4), cuyos plutones intruyen rocas del Paleozoico inferior y, en contados casos, del Paleozoico superior. El relieve elevado y accidentado, así como la presencia de valles en U, de glaciares y morrenas, de su vegetación de selva alta son

características que identifican la cordillera de Vilcabamba, en la región de Machu Picchu, como un ecosistema muy particular y concreto (Mendoza, 2013).

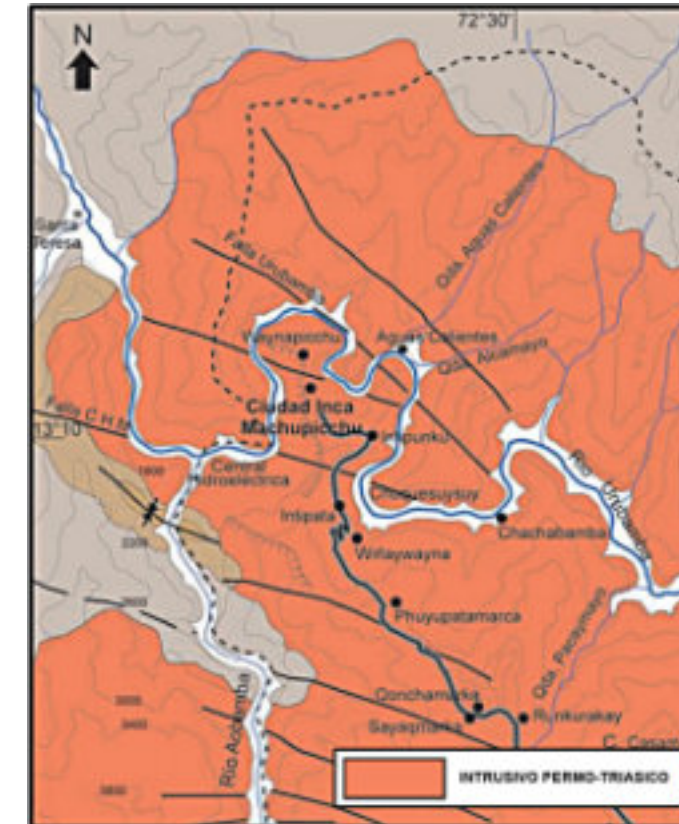


Figura 4. Mapa geológico de Machu Picchu y alrededores. Modificado de Carlotto et al, (2007).

El conjunto arquitectónico de Machu Picchu se encuentra en un área periglacial, consta de dos partes bien definidas: una urbana y otra agrícola. La parte urbana, casi el 100%, edificada de y sobre granito, se construyó sobre una meseta de origen glacial situada entre las montañas Huayna Picchu y Machu Picchu, en medio de lo que se conoce como el “caos granítico”. Esta ubicación facilitó los trabajos de construcción ya que no se tuvo que transportar el material rocoso necesario desde grandes distancias, tal como hicieron los incas en otros sitios importantes. El caso de Machu Picchu fue realmente del batolito directamente al monumento. Se reconoce así que el batolito de granito fue una cantera natural (Mendoza, 2013). El estudio de los granitos de la ciudad de Machu Picchu revela que están formados por sienogranitos (Figura 5) y monzogranitos, que pertenecen a la serie calcoalcalina. Al granito de Machu Picchu se le ha determinado una edad radiométrica de 246 ± 10 Ma. (U/Pb) y de 256 ± 10 Ma. por Rb/Sr (Mendoza, 2013)

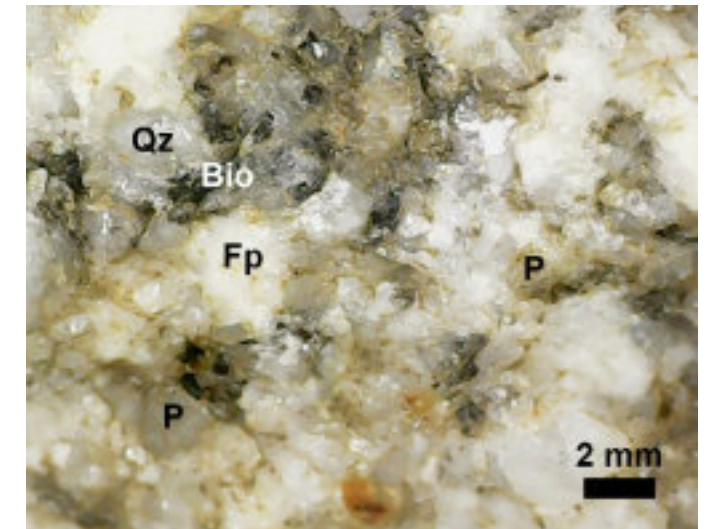


Figura 5. Muestra de mano del sienogranito típico de la zona de la “Cantera”, siendo Feldespato potásico (Fp), Plagioclasa (P), Cuarzo (Qz) y Biotita (Bio), sus componentes principales. Muestra del autor.

El batolito de Machu Picchu tiene una composición bastante homogénea: ortosa y/o microclino, plagioclasas del tipo andesina-oligoclasa y cuarzo como minerales principales (Figuras 5 y 6). El mineral ferromagnesiano más importante es la biotita, la cual está siempre presente, notándose a simple vista. Se podría decir que la presencia de la biotita constituye una característica especial del batolito de Machu Picchu y, en general, de estos batolitos permo-triásicos. La esfena, es el mineral accesorio que más destaca y aparece, algunas veces, incluso como fenocristales con formas euhedrales y bordes muy bien marcados. La sericita, la clorita y la epidota, como asociación profilitica hidrotermal de débil a moderada, aparece también muy a menudo. Los minerales accesorios son el apatito y el zircón. El batolito de Machu Picchu tiene una forma alargada en dirección N-S y una superficie aproximada de 240 km². Los altos picos nevados de la región, como el Salcanta y (6.271 m.) y el Huamantay (5.473 m.) forman parte del batolito de Machu Picchu.

PETROGRAFÍA DEL GRANITO

Examinadas a nivel macroscópico, las rocas son masivas, con textura fanerítica a veces pegmatítica de grano grueso, leucocratas, compuestas principalmente por ortoclasa, plagioclasa y cuarzo; estas rocas a veces contienen xenolitos de dioritas. Al observarlas bajo el microscopio, y clasificarlas utilizando el diagrama cuarzo-plagioclasa-feldespato potásico Q-P-F (Figura 6), encontramos rocas de diferente naturaleza petrográfica, pero que corresponden esencialmente a granitos, luego granodioritas, cuarzomonzodioritas,

cuarzomonzonitas, y con menor frecuencia las cuarzosenitas y granitos alcalinos (Carlotto *et al*, 2007).

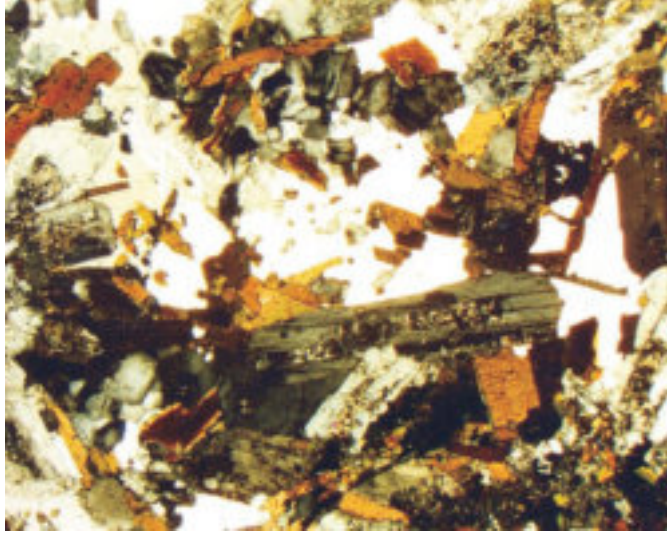


Figura 6. Monzonogranito del macizo de Machu Picchu compuesto de ortoclasa, plagioclasa alterada a sericita y arcillas, cuarzo y biotita alterada a clorita. Ampliación 8X (Nicoles cruzados). Fuente: Carlotto *et al*, (2007).

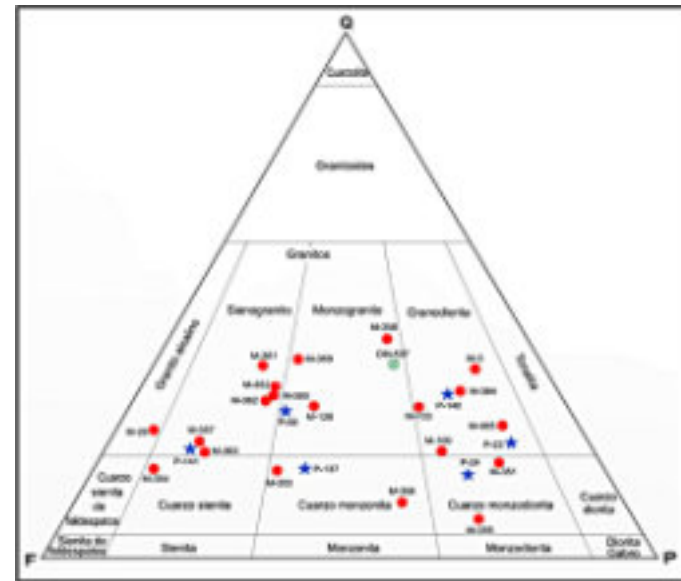


Figura 7. Diagrama de cuarzo-plagioclasa-feldespatos potásico (Q-P-F) de Streckeisen (1976), mostrando la clasificación de numerosas muestras analizadas por Carlotto *et al*, (2007) en el batolito de Machu Picchu.

MACHU PICCHU FUE CONSTRUIDO INTENCIONALMENTE SOBRE FALLAS

Los granitos de Machu Picchu están fuertemente fracturados por sistemas de fallas y diaclasas, que muestran tres direcciones principales: NO-SE, NE-SO y E-O. En general, los buzamientos de las fracturas son altos, con medidas entre 50 y 70°; donde estas fracturas son más o menos ortogonales y favorecen la

desintegración de los bloques graníticos, ayudados por la acción del agua y la gravedad. El granito usado por los incas para la construcción, constituye un buen material tanto por su composición como por su estructura (cortado por fracturas), lo que ha permitido tanto una separación natural como también artificial en bloques paralelepípedos de diversos tamaños (Carlotto *et al*, 2007).

En el 2019, Rualdo Menegat, de la Universidad Federal Rio Grande del Sur (Brasil), publicó, utilizando una combinación de imágenes satelitales y mediciones de campo, un mapa mostrando una densa red de fracturas y fallas que se cruzan debajo de Machu Picchu. Su análisis indicaba que estas características variaban ampliamente en escala, desde pequeñas fracturas visibles en rocas individuales hasta grandes lineamientos de 175 kilómetros de largo que controlan la orientación de algunos de los valles de los ríos de la región. Menegat descubrió que en el área, algunas de estas fallas están orientadas hacia el noreste-suroeste y otras tienden hacia el noroeste-sureste, colectivamente crean una forma de "X" cruzándose debajo de Machu Picchu.

El cartografiado efectuado por Menegat (2019), sugiere que los sectores urbanos del casco principal y los campos agrícolas circundantes, así como edificios y escaleras, están intencionalmente orientados a lo largo de los sistemas de fallas. El diseño arquitectónico de la ciudad, refleja claramente la matriz de fracturas subyacente al lugar. Estos resultados indicarían que la red subyacente de fallas y fracturas fueron primordiales para la construcción de Machu Picchu. Como maestros de la roca, los Incas aprovecharon los abundantes materiales de construcción existentes en la zona, y el intenso fracturamiento redujo en gran medida la energía necesaria para tallarlas.

La red de fallas de Machu Picchu, además de ayudar a dar forma a los bloques de piedra, probablemente ofreció a los Incas ventajas adicionales. La principal es que era un verdadero manantial de agua potable, ya que dicha red de fallas y fracturas canalizaban el agua del deshielo y el agua de lluvia directamente al lugar. La construcción de Machu Picchu en una zona tan alta también lo protegió de avalanchas y deslizamientos de tierra, riesgos muy comunes en este entorno alpino con pendientes tan elevadas.

Estas fallas y fracturas además ayudaron a drenar la ciudad durante las intensas tormentas de lluvia que prevalecen en la región en determinadas épocas del año. Menegat (2019) concluye que muy probablemente alrededor del 60-70% del trabajo para levantar la ciudad, involucró la construcción de drenajes subterráneos. Las fracturas preexistentes ayudaron a este proceso y a la larga contribuyeron a su notable conservación. Así, Machu Picchu muestra claramente que la civilización inca fue un imperio que usó su conocimiento natural de las rocas fracturadas.

ALGUNAS IMÁGENES ADICIONALES DEL COMPLEJO ARQUITECTÓNICO DE MACHU PICCHU



Figura 8. Fachada del Templo de las 3 Ventanas, hacia la Plaza Mayor. Fotografía del autor.

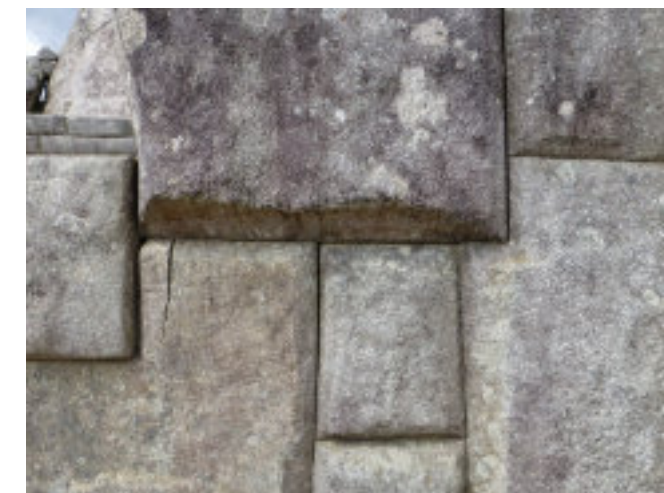


Figura 9. Detalle del encaje perfecto de los bloques del Templo de las 3 Ventanas. Fotografía del autor.



Figura 10. Vista al fondo de la montaña de Huayna Picchu. También al fondo, pero a la izquierda, la pirámide escalonada de Intihuatana. Se observan además en primer plano central e izquierdo numerosos bloques grandes de granito. Fotografía del autor.



Figura 11. El Torreón o Templo del Sol, única estructura circular en todo el complejo. Fotografía del autor.



Figura 12. El autor sobre un andén con vista panorámica de la mayor parte del complejo arquitectónico de Machu Picchu.



Figura 13. Vista panorámica de la Plaza Mayor de la ciudad de Machu Picchu, con la montaña Huayna Picchu al fondo a la izquierda. Fotografía del autor.

REFERENCIAS

- CARLOTTO, V., CARDENAS, J. Y FIDEL, L. (2007) La Geología en la Conservación de Machu Picchu. *Boletín INGEMMET*, Serie I Patrimonio y Geoturismo N° I, 305 p.
- CHAMBERS, R. (2020) Machu Picchu: Los Incas eligieron esta cresta por su geología. Recuperado el 3 de junio del 2025 de: <https://www.gondwanatalks.com/l/geologia-de-machu-picchu/>
- MENDOZA, J. (2013). Del Batolito a un Monumento: Machu Picchu. *Studia Geologica Salmanticensis*, 49 (2): 157-190 <https://revistas.usal.es/historico/index.php/0211-8327/article/view/14214/14617>
- MENEGAT, R. (2019). How Incas used geological faults to build their settlements. *GSA Annual Meeting*, Phoenix, Arizona, USA. Paper No. 148-9

REFERENCIAS GENERALES

- https://es.wikipedia.org/wiki/Machu_Picchu
- https://viajes.nationalgeographic.com.es/a/machu-picchu-explorando-ciudad-perdida-incas_16558
- https://historia.nationalgeographic.com.es/a/machu-picchu-fue-construido-menos-30-anos-antes-que-se-creia_17116
- <https://www.nationalgeographic.com/historia/2023/07/4-curiosidades-de-machu-picchu-uno-de-los-lugares-mas-emblematicos-de-peru>
- https://historia.nationalgeographic.com.es/a/fabuloso-descubrimiento-machu-picchu_18663
- <https://www.machupicchu.gob.pe/historia/>

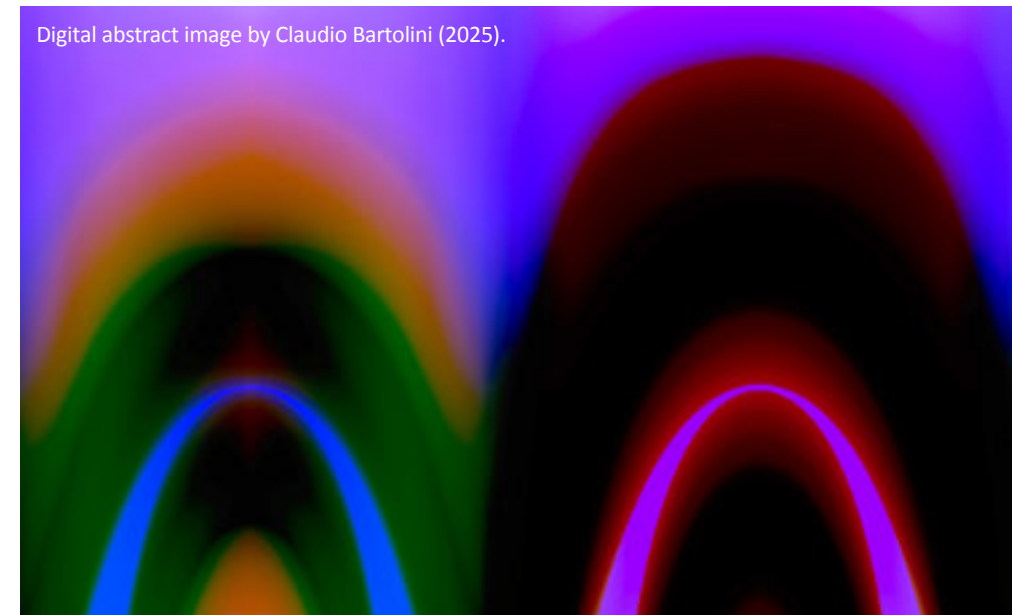


jcasas@geologist.com

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 60 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.

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).



Digital abstract image by Claudio Bartolini (2025).

Gracias a la memoria se da en los hombres lo que se llama experiencia.

Aristóteles

The Resistance to Extreme Geology

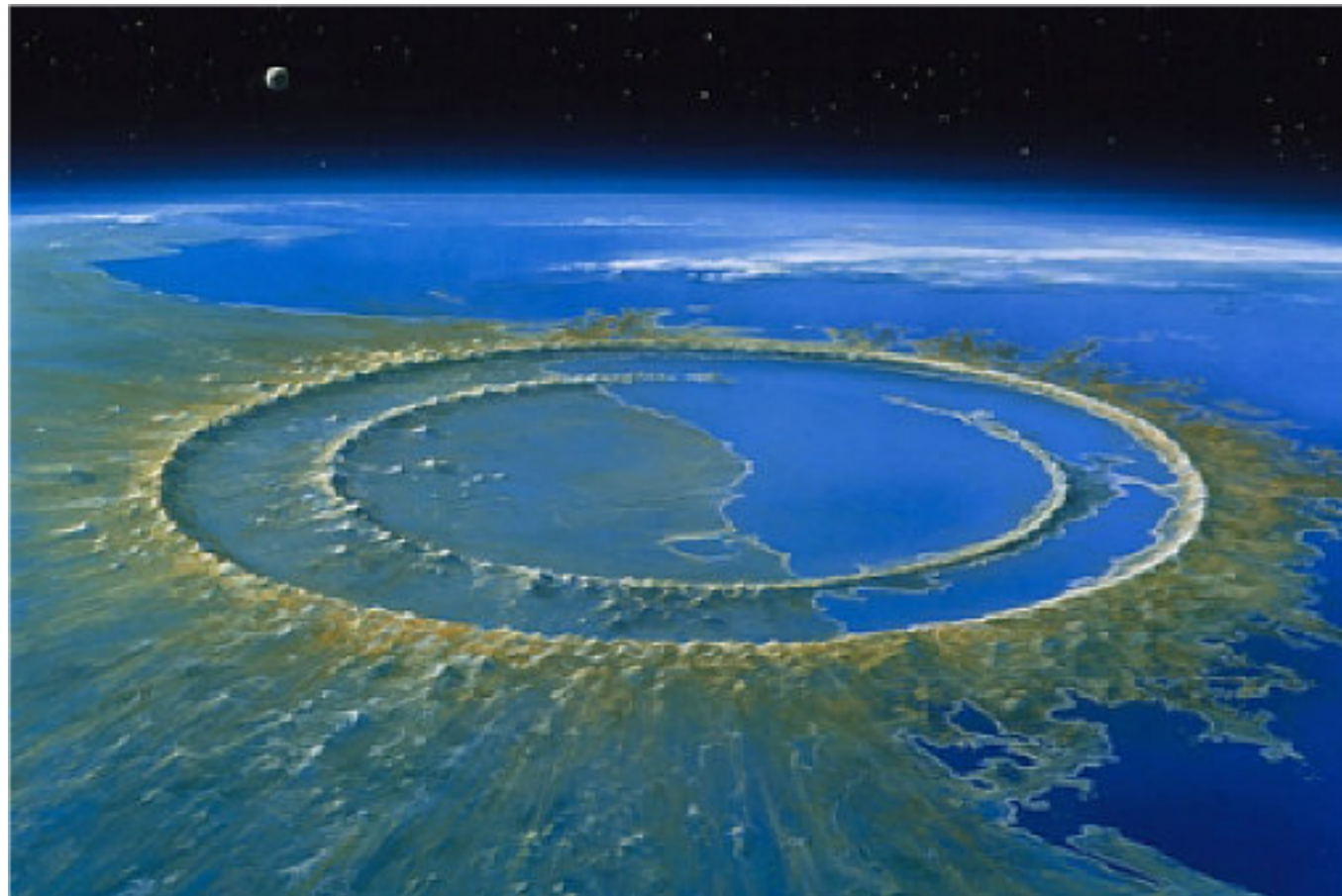
Jon Blickwede

Colaborador de la Revista

One of the main concepts to which all Geology 101 students are introduced is uniformitarianism, which is simply re-stated as “the present is the key to the past.” As we geologists all know, the fundamental concept was introduced by James Hutton in the late 18th century, and institutionalized by geologist and lawyer Charles Lyell via his landmark *The Principles of Geology* first published during the 1830’s.

Uniformitarianism was proposed as an alternative to catastrophism, the latter having been popularized by French paleontologist Georges Cuvier as a theory to explain the patterns of extinction and faunal succession observed in the rock record, but later used by others to support extreme events described in the Bible, such as the Noachian Flood.

Lyell attacked the catastrophists with dramatic flair: “We hear of sudden and violent revolutions of the globe... of general catastrophes and a succession of deluges, of the alternation of periods of repose and disorder, of the refrigeration of the globe, of the sudden annihilation of whole races of animals and plants, and other hypotheses, in which we see the ancient spirit of speculation revived, and a desire manifested to cut, rather than patiently to untie, the Gordian knot. In our attempt to unravel these difficult questions [of geologic history], we shall adopt a different course, restricting ourselves to the known or possible operations of existing causes; feeling assured that we have not yet exhausted the resources which the study of the present course of nature may provide, and therefore that we are not authorized... to recur to extraordinary agents.” (Lyell, 1833).



Rendering of Chicxulub Crater (just after the dust settled), northwestern Yucatan Platform, by D. van Ravenswaay, Science Source

During the following century, Stephen J. Gould and others challenged strict, substantive uniformitarianism. Instead of an either/or situation, they argued that *both* uniformitarian and catastrophic processes and events have been and will continue to be important elements shaping Earth’s history. As someone stated (it may have been Gould himself), geologic history, like war, is characterized by “long periods of boredom punctuated by moments of sheer terror.”

By today, some catastrophic/extreme geological events have gained wide acceptance, such as the Chicxulub bolide impact on the Yucatan Platform that caused the mass extinction which defines the Cretaceous/Tertiary boundary. Another example is the recent body of research focused on extreme depositional systems (e.g. Chan and Archer, 2003).

Nevertheless, despite the reconciliation of the formerly competing concepts, there seems to be a persistent prejudice against hypotheses that contain elements of catastrophism. I’m not exactly sure why this is, but I’d suggest it’s related to a number of factors, among them a persistent view that “real” earth science must be based on direct observation of natural processes operating today, aversion to any ideas that might be viewed as sensationalistic, the fact that the creationist movement (seen by many as anti-science) has at times used catastrophist hypotheses as a tool for promoting their cause, and perhaps just the natural human tendency to wish for a predictable/comfortable world. A recent example of this prejudice is the slowness of the geological community to give serious consideration to the Gulf of Mexico evaporative drawdown hypothesis (see article by Rosenfeld starting on page 49 of the April 2022 edition of the *Revista Maya de Geociencias*).

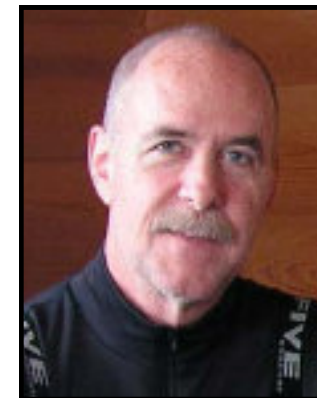
Bibliography

Chan, M.A., and A.W. Archer, eds., 2003, Extreme Depositional Environments: Mega End Members in Geologic Time: Geological Society of America Special Paper 370, 281 pp.

Gould, S.J., 1965, Is uniformitarianism necessary? American Journal of Science, v. 263, p. 223-228

Hutton, J, 1788, Theory of the Earth: Transactions of the Royal Society of Edinburgh, v. 1, part 2, p. 209-304

Lyell, C., 1833, The Principles of Geology, Volume 3, Chapter 1, “Methods of Theorizing in Geology,” p. 6-7: John Murray publishers, London



Jon Blickwede egresó de la Universidad de Tufts en Boston, Massachusetts con un Bachillerato en Ciencias de la Tierra en 1977. Durante su programa del Bachillerato, fue introducido a la geología de México cuando trabajó un verano como asistente a los geólogos y topógrafos en las minas de plata en Real de Catorce, S.L.P.

Luego trabajó para la *United States Geological Survey* en Denver, Colorado en el Departamento de Recursos de Uranio y Torio.

Entró a la Universidad de New Orleans, Louisiana en el año 1979, donde hizo su tesis de Maestría en Geología sobre la Formación Nazas en la Sierra de San Julián, Zacatecas, México.

Jon comenzó su carrera en la industria petrolera en 1981, trabajando siempre como geólogo de exploración, para varias compañías tal como Amoco, Unocal, y últimamente la petrolera estatal noruega Statoil, de la cual se jubiló en el año 2017. Ha realizado proyectos de geología regional de Mexico, Centroamerica y el Caribe para todas estas empresas.

Durante 2018, Jon fundó la empresa Teyra GeoConsulting LLC (www.teyrageo.com), basado en Houston, Texas.

Ahora Jon está realizando unos proyectos geológicos enfocados en la región del Golfo de México, incluyendo un proyecto de crear afloramientos digitales y excursiones geológicas virtuales en EEUU y México, utilizando imágenes ortofotográficas de drones, integrados con otros datos geospaciales como imágenes de satélite, mapas geológicos, etc.

“De mis libretas de campo en la Sierra Madre Oriental”

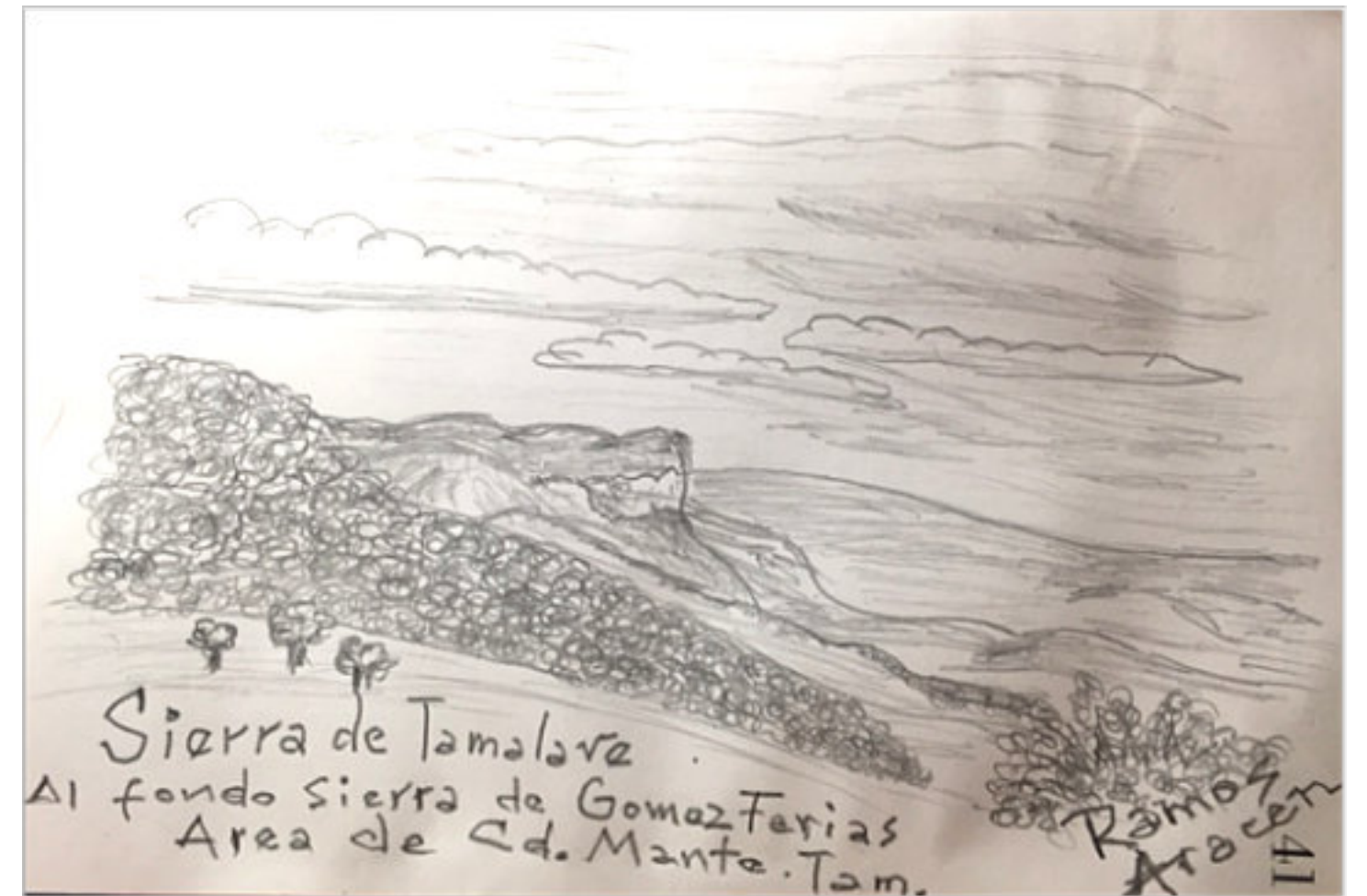
Ing. Rogelio Ramos Aracén

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 Incofósiles 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 travesías marinas. Y fui jefe de Brigada a partir de 1981 con mi primer proyecto, (del cual pongo aquí mi primer dibujo) y a partir de aquí, continuo haciendo expediciones a la SMO con colegas y a veces solo en las sinuosas áreas de la Sierra Madre Oriental, en la regiones de Tamazunchale, Xilitla, Cd. Valles SLP, en la Sierra de Huizachal Peregrina, y en casi gran parte de la SMO desde Monterrey N.L. hasta Huachinango, Puebla, y también hago expediciones por mi cuenta de las cuales he realizado 3 excursiones para profesionistas y jóvenes pasantes, 2 en la Fm. Chicontepec y otra en las rocas cretácicas y jurásicas de tipo Shales donde tuve gran participación de profesionistas de la U.N.A.M. Y el IPN, Ingenieros Petroleros, Ingenieros Geólogos y pasantes de geociencias y dos doctores uno en Geoquímica y otro en Geofísica.



Área de Ciudad Mante, Tamaulipas.

Sierra de Tamalave

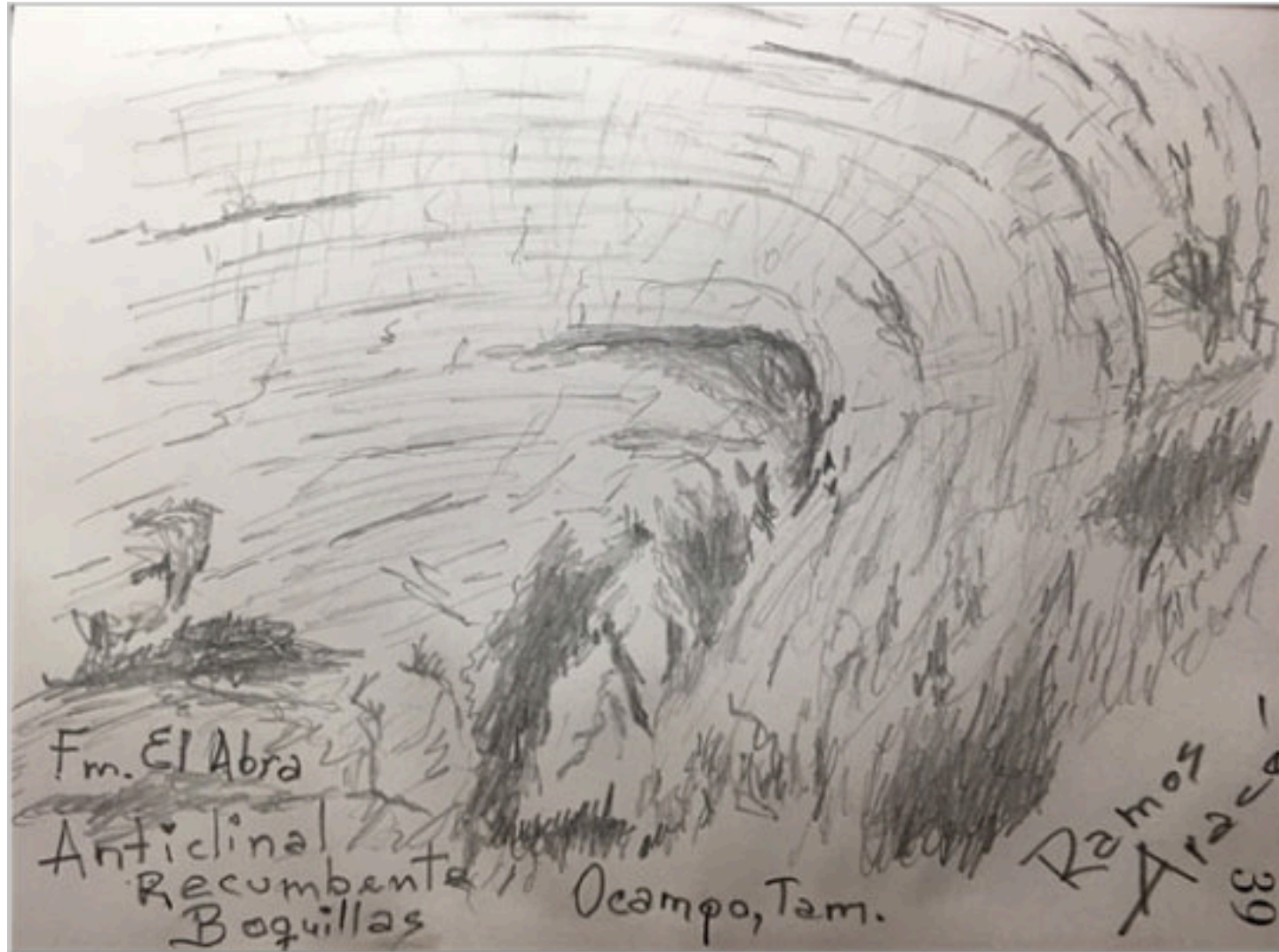
Falla de Cabalgamiento.

Localidad, Sierra de Tamalave. desde el puerto La Virgen. Área de Cd, Mante, Tam.

Título, Sierra de Tamalave.

Desarrollo del trabajo: En mi primer prospecto en 1981, elaboramos junto con la Brigada Geológica, el Prospecto El Limón, teniendo como colaboradores a los Ings. Víctor P. Mendoza como subjefe (QEPD), y Rogelio Cano como auxiliar (QEPD), en el área de Cd. Mante, Tam., en ese estudio, revocamos las interpretaciones estructurales oficiales de la Plataforma de Valles S.L.P., que eran de pliegues en abanico y las cambiamos por series de fallas de Cabalgamiento, como la que aquí se ilustra en la Sierra de Tamalave e introducimos la nomenclatura de estos sistemas estructurales complejos como Klipes, fensters o ventanas tectónicas, alóctono, autóctono, etc. etc. y también interpretamos la presencia de fallas laterales en esa región. Trabajo muy polémico en esa época y como consecuencia 6 meses después me removieron de esa brigada, sin embargo, Max Suter por esas fechas también las presenta en su trabajo con el Inst. de Geología en el área de Tamazunchale, S.L.P. este trabajo lo presenté en el Congreso Geológico Nacional en 1984, el Hotel Ma. Isabel Sheraton ante geólogos muy reconocidos en México, 10 años después la cia Amoco las presentan y actualmente dichas fallas de cabalgamiento son temas comunes.

Descripción del Dibujo. En la figura 1, se describen gráficamente un paisaje representado por la Sierra de Tamalave, en el área entre Cd. Mante y Ocampo Tam. que constituye a una gran falla de cabalgamiento representado por la Fm. El Abra de edad Cretácico medio como bloque cabalgante alóctono, sobre las calizas arcillosas y margas de las fms. San Felipe y Méndez, con una zona intermedia de brechas cata clásticas con evidencias pertenecientes a la Fm. Agua Nueva, las tres últimas de edad Cretácico superior constituyen el Bloque autóctono, dibujo con el detalle de esos afloramientos ya fueron presentados en números pasados de esta revista Maya.



Región de Ocampo. Tamaulipas.

Pliegue Anticlinal Recumbente Boquillas.

Localidad, Arroyo de Boquillas.

Título, Pliegue anticlinal Recumbente de Boquillas.

Desarrollo del trabajo: En los recorridos en la Plataforma de Valles-S.L.P., en la región de Cd. Mante, Tam., se observaron, las diferentes formas y estilos estructurales relacionados con anticlinales complejos y con los cabalgamientos regionales existentes en el área.

Descripción del Dibujo. En este dibujo se presenta a un anticlinal recumbente ubicado en el arroyo de Boquillas, el anticlinal fue originado por la deformación compresiva que afectó a las capas gruesas con espesores de 0.80 m. hasta, de 1.5 m. de espesor de la formación El Abra de edad Cretácico Medio que caracteriza a esta amplia plataforma cretácica que forma parte de la Sierra Madre Oriental en su porción meridional.



Rogelio Ramos Araca, es geólogo petrolero egresado del IPN, con experiencia en geología de campo en superficie en la SMO y como geólogo de pozos de exploración y explotación.

En su primer proyecto en 1981 denominado El Limón, del área de Ciudad Mante Tamaulipas. Cambio drásticamente las interpretaciones estructurales de pliegues en abanico, modificándolos por fallas de Cabalgamientos y de desgarre o laterales, trabajo muy polémico en ese entonces, pero años después y ahora ya son conceptos triviales.

Efectuó trabajos de Geología Regional tanto de la Plataforma Valles, como de las regiones de los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla.

Una Invitación inesperada primeramente del Dr. Eduardo Aguayo, me involucra con geólogos internacionales de la SGA y de la AAPG, para excursiones en la región frontal de la SMO, en las sierras de El Abra, Xilitla, Ahuacatlan, Qro., y paso de invitado a protagonista y guía colaborador con los Drs. Paul Enos y Charles Minero con los cuales se convirtió en coautor del Libro *Sedimentology and Diagenesis of Middle Cretaceous Platform East Central Mexico*

Participó en el Simposium sobre Yacimientos Naturalmente Fracturados en Tampico al lado del Dr. Ronald Nelson. y en recorrido de campo a la SMO y curso de sedimentología de siliciclastos con el Dr. Paul Edwin Potter y en secciones regionales de la Cuenca Tampico Misantla con el Dr. A. W. Bally.

Ha impartido conferencias en congresos nacionales y fue invitado y embajador mexicano en el Pabellón Internacional celebrado en el congreso de la AAPG en Dallas Txs. en 1997

Fue Premio Nacional en el 3er Simposium de Exploración de Plays y Habitats de Hidrocarburos en Tampico Tam. en 2007.

Fue presidente de las delegaciones de Tampico y CDMX de la AMGP, en los bienios 1998-1999 y 2018-2020 respectivamente, y recientemente ex candidato a la presidencia nacional de la AMGP

Laboro en Pemex exploración, en el IMP como asesor y consultor con Ingeniería de Perforación de Pozos en las regiones del SE y N., y como analista sedimentológico del Jurásico Superior, recientemente ha efectuado trabajos como asesor con algunas empresas del sector energético en algunos de sus proyectos o adjudicaciones.

Co Autor del Libro

Paul Enos, Charles Minero, Rogelio Ramos Araca. "*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.

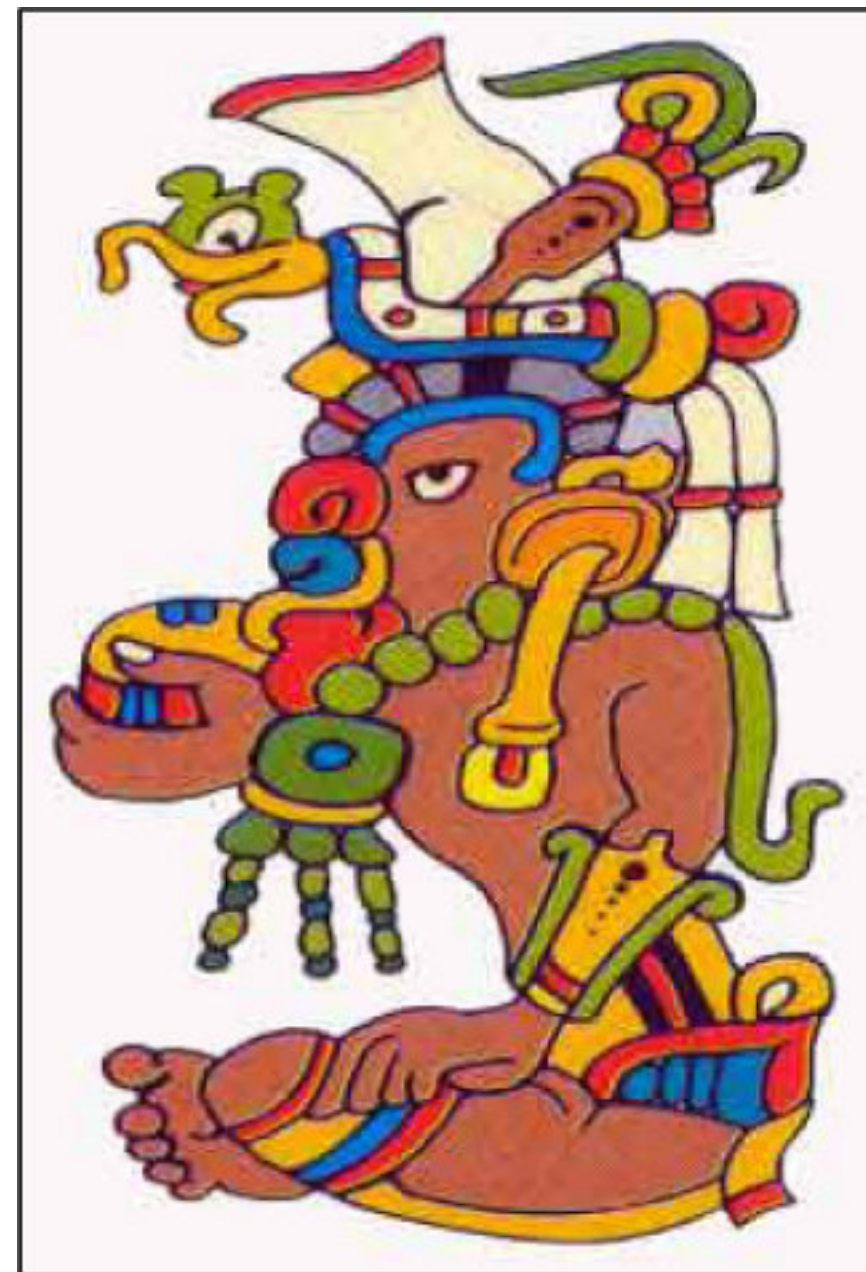
Por favor envíen sus observaciones, comentarios y sugerencias a cualquiera de los Editores de la Revista Maya de Geociencias.

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 Geociencias.

MISCELÁNEOS

Xaman Ek, Dios de la Estrella Polar



La quinta deidad más común en los códices es Xaman Ek, el dios de la estrella polar, que aparece 61 veces en los tres manuscritos. Se le representa siempre con la cara de nariz roma y pintas negras peculiares en la cabeza. No tiene más que un jeroglífico de su nombre, su propia cabeza, que se ha comparado a la del mono. Esta cabeza, con un prefijo diferente al de su nombre, es también el jeroglífico del punto cardinal norte, lo cual tiende a confirmar su identificación como dios de la estrella polar. La naturaleza de su aparición en los manuscritos indica que ha de haber sido la personificación de algún cuerpo celeste, importante.

Museum of Natural History, Mongolia.

Haz click en la imagen



COMITÉ DE EDUCACIÓN Y DIVULGACIÓN DE GEOLATINAS

Ven y participa con nosotros en nuestra iniciativa de divulgación técnica y científica:

GeoSeminarios

¡QUEREMOS DAR A CONOCER TU TRABAJO!

Presenta con nosotros tu:

- + Tesis de licenciatura, maestría o doctorado
- + Especialidad en la industria o academia
- + Proyecto de investigación
- + Etc...

Click aquí o bit.ly/GeoSeminarios2025

**TE INVITAMOS A LLENAR NUESTRO FORMULARIO
Y SER PARTE DE NUESTRA INICIATIVA!**

¡TE ESPERAMOS!

@Geolatinas

YouTube, LinkedIn, Facebook, Instagram

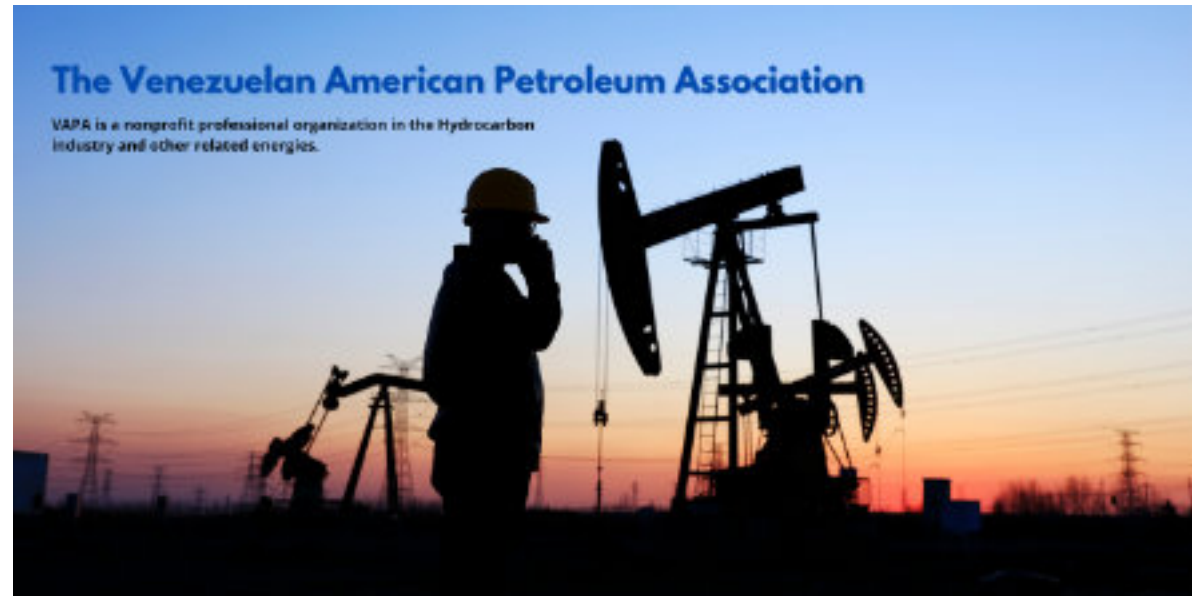
Facebook LIVE Transmisión

Checka nuestros GeoSeminarios en

GeoLatinas: Latinas in Earth and Planetary Sciences



<https://vapa-us.org>



The Venezuelan American Petroleum Association

VAPA is a nonprofit professional organization in the Hydrocarbon industry and other related energies. It was founded in the state of Texas, USA in July 2019 and aims to establish relationships with organizations and institutions that can provide technical support, education and training to help the sustainable development of the Venezuelan energy industry.

VAPA is committed to promote technical events in upstream, midstream and downstream of both Oil and Gas and alternative energies that are of benefit to its members

Our Goal

The main Goal of VAPA is to bring together all the professional talent available in the Venezuelan Energy industry.

Our Purpose

Promote the professional growth of its members in technologies applied to the value chain of the energy sector while maintaining a high standard of conduct

Provide technical support, education, and training for the sustainable development of the Venezuelan Energy Industry.

<https://tellus.geociencias.unam.mx/>



ÚLTIMO NÚMERO

JUNIO 2025



Revista Enseñanza y Comunicación de las Geociencias

<https://encomunicacionct.geociencias.unam.mx/>

- Lombricomposta y el aprovechamiento de residuos
- Microplásticos, desde la cima del volcán Rincón de Parangueo hasta los océanos
- Ciencias del mar para niños
- Redes sociales en la divulgación geocientífica
- Chat GPT en la enseñanza de geociencias
- Exploración de recursos geotérmicos
- Desplazamiento y separación en fallas geológicas con Trudisp 2.0
- Chevron Folds para entender el desarrollo de pliegues
- Videoexcursión geológica en la Veta Madre en Guanajuato
- Guía geológica del ascenso al Pico de Orizaba

y mucho más.

Llamado a contribuciones Vol. 4-2 (Dic 2025)

Fecha límite para someter artículos
1 de octubre de 2025

Informes
encomunicacionct@geociencias.unam.mx











<https://www.sociedadgeologicamexicana.org.mx/>

PRIMERA CIRCULAR



Convención Geológica Nacional 2025

Agua, Minerales y Energía:
Geociencias Aplicadas a una Estrategia Nacional Sustentable

Palacio de Minería, Centro Histórico, CDMX
Del 3 al 5 de septiembre de 2025

TEMAS DE ENFOQUE:

- Educación y Planes de Estudio
- Geología del Petróleo
- Geotermia
- Hidrógeno Geológico
- Hidrogeología
- Minerales Críticos

TEMAS ADICIONALES:

- Arqueometría
- Cambio Climático
- Edafología
- Educación
- Estratigrafía
- Estratigrafía Volcánica
- Geofísica
- Geología Ambiental
- Geología de México
- Geología Estructural
- Geología Forense
- Geología Médica
- Geomorfología
- Geoquímica
- Geotecnia
- Karst y Pseudokarst
- Minerales y Rocas Industriales
- Mineralogía
- Paleoclimatología
- Paleontología

Fecha límite para proponer Sesiones especiales, Excursiones (pre y post Convención), Cursos cortos y Paneles de discusión: 7 de abril 2025
Envíos al correo: sociedadgeologicamexicana.info@gmail.com
(Las propuestas serán sometidas al Comité Técnico para su evaluación)

Para apartar stand en el área de exhibición y solicitar información de patrocinios, comunicarse al correo: lety.bernal@ecodsa.com.mx



Síguenos en:
[/SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANAAC](https://www.facebook.com/SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANAAC)

PROXIMAMENTE MÁS INFORMACIÓN
WWW.SOCIEDADGEOLOGICAMEXICANA.ORG.MX/

<https://www.ipn.mx/posgrado/eventos/congreso/registro/trabajos.html>

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO



TE INVITAMOS AL

CONGRESO INTERPOLITÉCNICO 2025

DE INVESTIGACIÓN PARA ALUMNOS DE POSGRADO

Ponentes Magistrales, Sesiones orales, Talleres pre-congreso, Pósteres

Regístrate aquí



acortar.link/FF7ZK6

22 JUNIO
Fecha límite de recepción

Septiembre 22 al 26
Tu posgrado, tus ideas, tu momento.

Dirección de Servicios Empresariales y Transferencia Tecnológica (DSETT) | ¡No te quedes fuera!



Educación | Secretaría de Educación Pública
Instituto Politécnico Nacional "La Técnica al Servicio de la Patria"

<https://sociedadcolombianadegeologia.org/>



<https://amexen.org/iec/2025/index.html>

REDEFINIENDO EL RUMBO DE LA ENERGÍA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO
6° CONGRESO INTERNACIONAL DE ENERGÍA 2025

TERCERA CONVOCATORIA

La Academia Mexicana de Energía, A. C. y La Academia de Ingeniería de México, tienen el agrado de invitarle a participar en el 6o. Congreso Internacional de Energía, que se llevará a cabo del **24 al 26 de septiembre de 2025 en el Palacio de Minería, Tacuba # 5, Centro Histórico, Ciudad de México.**

El Congreso Internacional de Energía 2025 tiene como objetivos discutir avances y proponer nuevos proyectos en colaboración sobre investigación básica y aplicada, desarrollo tecnológico, educación y políticas, del sector energético.

Las temáticas que abarcará el Congreso son:

Biofuels/Biocombustibles	Hydrogen/Hidrógeno
Education/Educación	Ocean Energy /Energías del Océano
Energy Efficiency/Eficiencia Energética	Energy Policy/Políticas Energéticas
Power/Energía Eléctrica	Solar Energy/Energía Solar
Geothermal/Geotérmica	Sustainability/Sostenibilidad
Windpower/ Energía Eólica	Nuclear Energy/Energía Nuclear

El Congreso reunirá a personalidades de los ámbitos académico, industrial y político del sector energético público y privado, con el propósito de crear un espacio en que se logre la difusión del conocimiento, pero esencialmente la cooperación y vinculación de todos estos sectores. Esta vinculación pretende generar proyectos de gran envergadura que impacten en el sector energético.

**FECHA LÍMITE DE RECEPCIÓN DE RESÚMENES
12 DE MAYO DEL 2025.**

Los resúmenes de trabajos se recibirán a través de la página de la Academia Mexicana de Energía: www.amexen.org

<https://rio2025.iceevent.org/>

Join us for AAPG's flagship global event returning to the Latin American and Caribbean Region in 2025!

Discover the fundamental role of exploration and geoscience for meeting energy demand while transitioning to a low carbon future. Enjoy a multidisciplinary program featuring the latest advances in geoscience, technology, innovation, and public policy, and network with technical experts and industry leaders shaping the region's energy future.



El enigmático hombre dragón no era una nueva especie humana, sino un denisovano.

El análisis de ADN y proteínas de un cráneo de hace 146.000 años muestra por primera vez cómo era la cara de esta especie, que ocupó gran parte de Asia y dejó sus genes en los humanos actuales.

Fuente: <https://elpais.com/ciencia/2025-06-18/el-enigmatico-hombre-dragon-no-era-una-nueva-especie-humana-sino-un-denisovano.html>

<https://elpais.com/ciencia/2025-06-18/el-enigmatico-hombre-dragon-no-era-una-nueva-especie-humana-sino-un-denisovano.html>



Archaeologists discovered ancient footprints in New Mexico that rewrite the story of humans in America

Footprints pressed into soft gypsum nearly 23,000 years ago still hold the unmistakable shape of human toes, arches, and heels. For decades, most archaeologists thought humans arrived on the continent far later. The evidence under the New Mexican sun now tells another story. These early human footprints sit beside the tracks of mammoths, giant sloths, and other Ice Age neighbors at White Sands National Park in New Mexico, capturing a moment in time when people and megafauna shared the landscape during the coldest stretch of the last Ice Age.

By Eric Ralls, Earth.com staff writer

Source: <https://apple.news/AkVZaxUMaTq21TEqR20xWrg>

<https://apple.news/AkVZaxUMaTq21TEqR20xWrg>



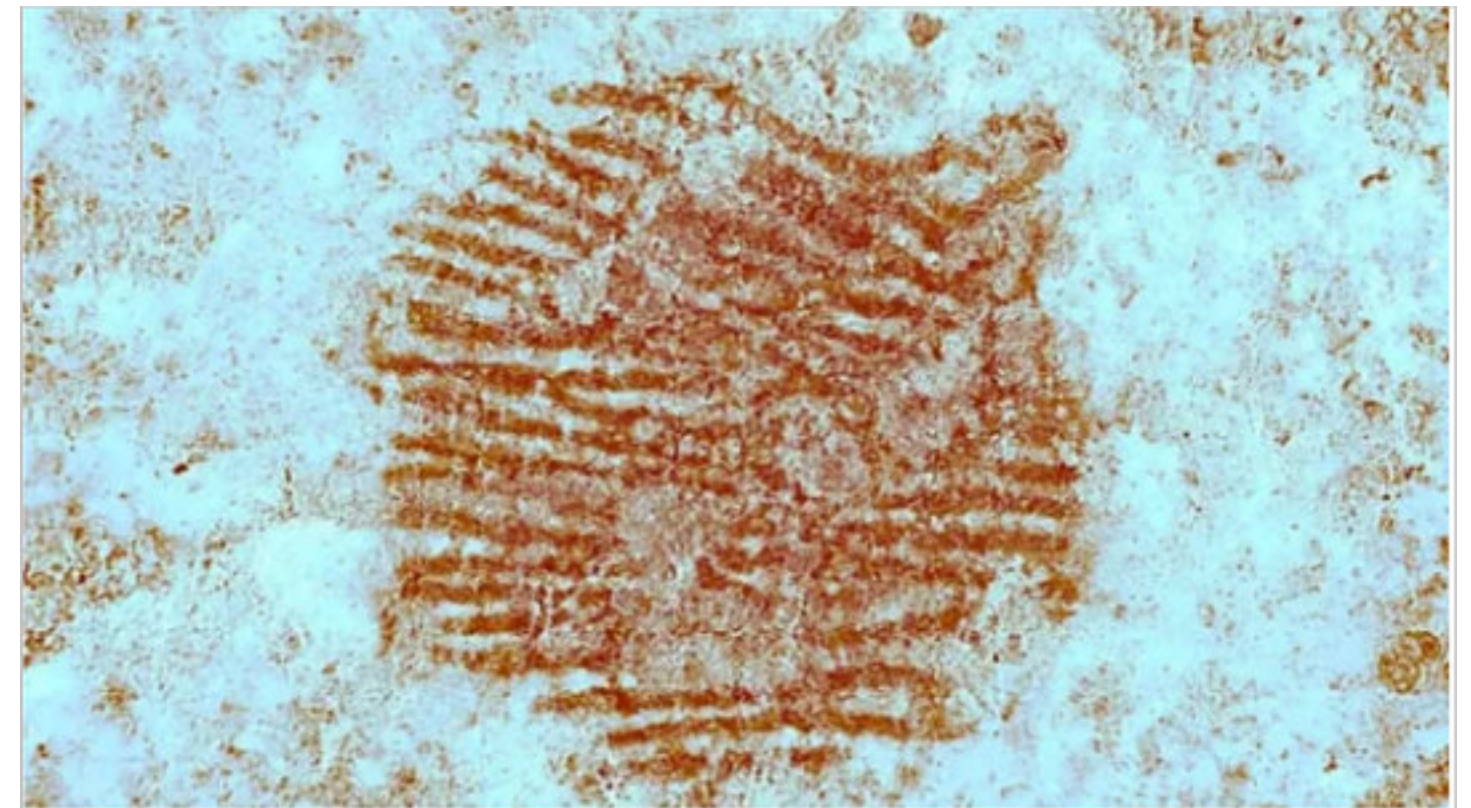
43,000-year-old human fingerprint is world's oldest — and made by a Neanderthal

A red dot on a face-shaped rock in Spain may be setting records in more ways than one. At roughly 43,000 years old, the dot may be the oldest human fingerprint on record and also one of the earliest symbolic objects ever found in Europe. The fingerprint, made with the red mineral ochre, was left by a Neanderthal — the closest extinct relative of modern humans. Neanderthals went extinct around 40,000 years ago but occupied Europe for hundreds of thousands of years before early modern humans arrived on the continent.

By Tom Metcalfe

Source: <https://www.livescience.com/archaeology/43-000-year-old-human-fingerprint-is-worlds-oldest-and-made-by-a-neanderthal>

<https://www.livescience.com/archaeology/43-000-year-old-human-fingerprint-is-worlds-oldest-and-made-by-a-neanderthal>



Microscopic examinations of the red dot revealed the whorls of the Neanderthal fingerprint that made it about 43,000 years ago. (Image credit: Álvarez-Alonso et al. 2025; CC BY 4.0)

Giant crocodile-like carnivore fossils found in the Caribbean

Imagine a crocodile built like a greyhound — that's a sebecid. Standing tall, with some species reaching 20 feet in length, they dominated South American landscapes after the extinction of dinosaurs until about 11 million years ago. Or at least, that's what paleontologists thought, until they began finding strange, fossilized teeth in the Caribbean.

"The first question that we had when these teeth were found in the Dominican Republic and on other islands in the Caribbean was: What are they?" said Jonathan Bloch, curator of vertebrate paleontology at the Florida Museum of Natural History.

This initial confusion was warranted. Three decades ago, researchers uncovered two roughly 18 million-year-old teeth in Cuba. With a tapered shape and small, sharp serrations specialized for tearing into meat, they unmistakably belonged to a predator at the top of the food chain. But for the longest time, scientists didn't think such large, land-based predators ever existed in the Caribbean. The mystery deepened when another tooth turned up in Puerto Rico, this one 29 million years old. The teeth alone weren't enough to identify a specific animal, and the matter went unresolved.

<https://news.ufl.edu/2025/05/crocodile-like-carnivore-fossils/#:~:text=Giant%20crocodile-like%20carnivore%20fossils%20found,fossilized%20teeth%20in%20the%20Caribbean>



Scientists Found 6,000-Year-Old Human Remains. No Other People Share Their DNA.

If they have no ancestors or descendants, then who are they?

BY ELIZABETH RAYNE. Source: <https://www.popularmechanics.com/science/archaeology/a64926613/human-remains-no-relatives/>

- An analysis of bones from ancient people who once lived in Colombia has discovered DNA that does not directly connect them to any other ancient or modern population in South America.
- It is thought that these people might somehow be related to speakers of Chibchan languages, which are spoken in the area where they once lived.
- More genomic research will be needed to demystify who these unknown people were and whose ancestors they might be.

Around 6,000 years ago, hunter-gatherers who migrated south settled in the Bogotá Altiplano of what is now Colombia, transitioning to an agricultural society over the next 4,000 years. Then they vanished. Whoever these people were, they disappeared from the genetic record. The team of researchers who discovered them through fragmented DNA in their skeletal remains have not been able to find any ancient relatives or modern descendants. They are strangely not related to Indigenous Colombians, having more of a connection to people who now live on the Isthmus of Panama and speak Chibchan languages. It could be possible that they spread through the region, mixing with local populations for so long that their genes were diluted, but no one can be sure.

<https://www.popularmechanics.com/science/archaeology/a64926613/human-remains-no-relatives/>



Archaeologists uncover the oldest known partial face fossil of a human ancestor in western Europe

The incomplete skull—a section of the left cheek bone and upper jaw—was found in northern Spain in 2022. The fossil is between 1.1 million and 1.4 million years old, according to research published in the journal *Nature*. "The fossil is exciting," said Eric Delson, a paleontologist at the American Museum of Natural History, who was not involved in the study. "It's the first time we have significant remains older than 1 million years old in western Europe."

by Christina Larson

Source: <https://phys.org/news/2025-03-archaeologists-uncover-oldest-partial-fossil.html>

<https://phys.org/news/2025-03-archaeologists-uncover-oldest-partial-fossil.html>



The blood-curdling Permian monsters that ruled the Earth before dinosaurs.

Long before T. rex, the Earth was dominated by super-carnivores stranger and more terrifying than anything dreamed up by Hollywood.

The two animals circled each other, both assessing their rival's robust, hairless body. With sabre-teeth like steak knives, piercing claws and skin as thick as a rhino's, they snapped their jaws open nearly 90 degrees – and launched into battle. From the right-hand side of one animal, the other's teeth crunched down from above. In a split second, it was over. Sinking its five-inch (12.7cm) canines into its opponent's boxy snout, like hot needles through wax, the attacker claimed victory. This actually happened – or something like it.

Around a quarter of a billion years later, on a sunny day in March 2021, Julien Benoit was handed a rather unpromising container and invited to take a look. He was working in a pleasantly cool office at Iziko Museum of Natural History in Cape Town, South Africa, where he had been invited to visit the university's fossil collections. The vessel was a very old, simple cardboard box.

Zaria Gorvett

Source: <https://www.bbc.com/future/article/20250624-the-bloodcurdling-permian-monsters-that-ruled-the-earth-before-dinosaurs>

<https://www.bbc.com/future/article/20250624-the-bloodcurdling-permian-monsters-that-ruled-the-earth-before-dinosaurs>



EL FOTÓGRAFO

Por favor no se mueva, mire hacia el frente y mantenga la cabeza en alto y sin movimiento que ya voy a disparar.....y acto seguido se escuchó el chasquido del obturador de una cámara fotográfica. La fotografía, perfectamente encuadrada y con un hermoso jardín como fondo, le fue tomada a una elegante mujer de edad madura con una Nikon F2. Esta cámara era considerada una de las mejores cámaras de 35 mm de la prestigiosa compañía Japonesa.

Gracias a una beca del Conacyt, Hermenegildo Báez pudo estudiar fotografía en el Centro Internacional de Fotografía de Nueva York. Fue alumno de Cornell Capa, famoso fotógrafo y fundador de la institución. A su regreso a la Ciudad de México abrió un estudio fotográfico llamado "Tu interior, lo mejor de ti" ubicado en la calle Corregidora del Centro Histórico de la ciudad. En ese local, a lo largo de 20 años, logró juntar una clientela amplia, lo que le permitió tener un nivel de vida decente de clase media, se sentía muy satisfecho de sus logros personales.

Una mañana de invierno el fotógrafo le tomó fotografías a una hermosa chica para un concurso de belleza y seguidamente bajó al cuarto oscuro que estaba en el sótano para revelar los rollos e imprimir las fotografías. Cuando vió las imágenes se llevó un gran susto, ya que las impresiones mostraban no solo a la chica, sino también el interior de su cuerpo donde claramente se podía observar una estructura grande y de forma redonda completamente anómala. El fotógrafo se disculpó con su cliente por las fotos, diciendo que no sabía como explicar este fenómeno, pero también le sugirió a la chica que fuese al médico, que algo no estaba bien. Tiempo después se enteró de que la mujer tenía un tumor benigno que le fue extirpado sin complicaciones.

Hermenegildo estaba muy confuso pero continuó con su trabajo. Ese mismo día tomó las fotografías de medio cuerpo a un sacerdote y de nuevo bajó al cuarto oscuro a revelarlas. El raro fenómeno se repitió de nuevo, ya que el cura mostraba una masa alargada y negra dentro de su abdomen. El fotógrafo muy apenado entregó las fotos al cura y le recomendó que hiciera una cita al médico, porque podría tener problemas serios. Semanas después el cura regresó a darle las gracias al fotógrafo, lo habían operado de un cáncer de colon en un estado inicial, pero todo había salido bien.

La mañana siguiente no fue diferente, como de costumbre tomó fotografías de un niño, y la madre le solicitó una fotografía muy de cerca, porque era para el pasaporte Mexicano, así que fue una sesión corta. Cuando el fotógrafo tuvo las fotos impresas, estas mostraban un objeto oscuro atravesado en el esófago del niño. Inmediatamente le comunicó a la mamá del problema que mostraba su hijo y al preguntarle al niño, éste dijo que se había tragado una aguja de metal mientras intentaba quitarse un chicle pegado a una de sus muelas. La pobre mujer horrorizada llevó al niño al hospital, y en el laboratorio de rayos X le confirmaron la presencia del

peligroso metal en el esófago de su hijo. La cirugía tomó varias horas pero el chico se alivió. Tiempo después recibió una tarjeta de agradecimientos de la mujer, estaba muy feliz y agradecida por su ayuda.

El fotógrafo mismo no lo podía creer, como era posible que sus impresiones fotográficas pudieran detectar enfermedades en su etapa temprana y que siempre podían curarse. La fotografía se convirtió en una técnica infalible en la detección de enfermedades, tales como tumores de cáncer, etc. y todos ellos eran curados con éxito, nadie había muerto. Por este motivo, su estudio de retratos dejó de tener sentido para dar paso a un innovador método científico. Para atender a un mayor número de pacientes y ganar más dinero, el fotógrafo compró el edificio donde tenía el estudio e instaló equipos fotográficos en todos los cuartos del edificio y se desplazaba de uno a otro rápidamente. Conforme crecía su capital también crecía su ambición y fue uno de los pocos personajes que publicó la Revista Forbes como uno de los más ricos del mundo. En varias ocasiones le fueron solicitados sus servicios en caridad, pero Hermenegildo siempre se negó, argumentando que sus servicios solo los merecían aquellos que pudieran pagarlos. Se había convertido en un hombre avaro y ambicioso, sin alma ni sentimientos.

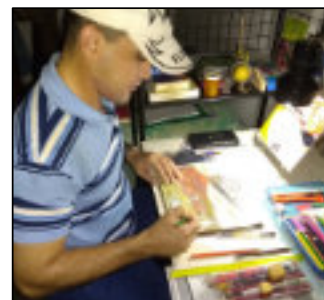
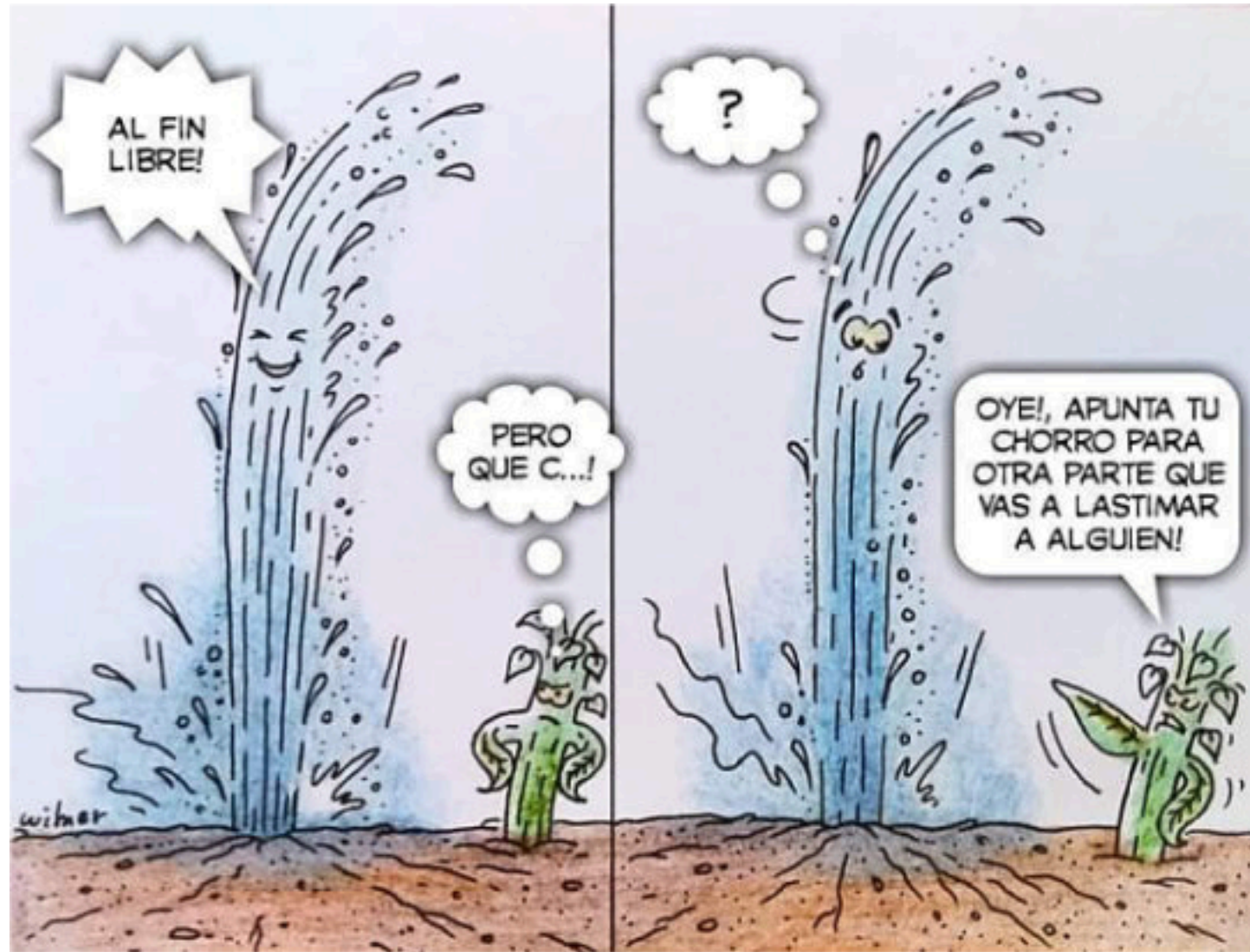
Por muchos años, Hermenegildo Báez se olvidó de su profesión de fotógrafo de estudio para dedicarse de lleno a la detección de enfermedades con su cámara. Trabajaba día y noche los siete días a la semana para hacer crecer su fortuna. Su fama se difundió por todo el país y el mundo, y en corto tiempo el fotógrafo se hizo inmensamente popular, lo venían a consultar personas de todas partes del mundo. La especialidad de Hermenegildo que le hizo famoso, era que podía descubrir enfermedades que nadie sabía que las tenía, y por ende, poder recibir atención médica a tiempo, esto hacía que todos sus pacientes se salvaran.

Para su mala suerte, Hermenegildo, obsesionado por acumular más dinero, nunca tuvo la precaución de hacerse una autofotografía para conocer sobre su propia salud. Un día mientras estaba en casa, el fotógrafo se sintió extremadamente cansado, y decidió dormir un par de horas, pero finalmente se quedó dormido dos días. Cuando despertó se sentía peor, así que pensó, "iré a tomarme una autofotografía para saber que me está pasando". Llegó rápido al estudio y acomodó el equipo fotográfico en automático, se tomó varias fotos y luego bajó al sótano a imprimirlas. Lo que vio lo aterrorizó, las imágenes mostraban todo el interior de su cuerpo, incluyendo su cabeza invadidos por una sombra oscura y gruesa. Asustado salió a toda prisa rumbo a la oficina del médico especialista quien le escaneó el cuerpo entero, además de varias biopsias, y una tomografía tridimensional para poder hacerle un diagnóstico completo. Después de analizar los resultados, el médico le dijo a Hermenegildo que tenía una metástasis general causada por un cáncer que inicialmente se desarrolló en su hígado y páncreas. En ese preciso instante el fotógrafo recapacitó sobre su miserable vida, la ambición sin límites, su falta de compasión por los pobres y su maldito orgullo. Profundamente desconsolado, el fotógrafo preguntó con voz temblorosa: cuánto tiempo me queda de vida? El doctor respondió: lo que resta del día....

Loco a veces

Monument Valley, Utah State, USA. Photo by Gilda Yolid Muñoz.





M.Sc. **Wilmer Pérez Gil** (Pinar del Río, Cuba, 1983) es Ingeniero Geólogo egresado de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Sáiz Montes de Oca" en 2010. A partir de 2012 ejerce como docente en el Dpto. de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Técnicas de la referida casa de altos estudios. Imparte asignaturas en pregrado como Geología General, Fotografía y Dibujo Geológico Básico, Rocas y Minerales Industriales, entre otras disciplinas. Desde 2011 se desempeña como responsable de Eventos y Asuntos Editoriales de la Sociedad Cubana de Geología, en la filial de la provincia de Pinar del Río. A inicios de 2021 crea el proyecto "Geocaricaturas", grupo público de Facebook para la promoción del conocimiento de las ciencias de la Tierra, con una perspectiva educativa a través del humor inteligente. Buena parte de las caricaturas de temática geológica que conforman esta iniciativa gráfica se han publicado en secciones de geohumor de revistas como Ciencias de la Tierra (Chile), y Tierra y Tecnología (España). Desde finales del propio 2021 es miembro del LAIGEO o Capítulo Latinoamericano de Educación de las Geociencias (IGEO, por sus siglas en inglés), donde se presenta como responsable del Proyecto "GeoArte en América Latina y el Caribe". Posee varios geopoemas y geocuentos dedicados a la geología, algunos publicados y otros aún inéditos, donde fusiona literatura, ciencia e imaginación. Si deseas comunicarte con el Artista. If you wish to contact the Artist: wilmerperezgil5@gmail.com

La casa de las tierras raras

https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_021.html

https://www.geofisica.unam.mx/directorio/modulos/files/tierras_raras.pps

<https://climate.nasa.gov/news/1099/rare-earths-in-rare-form-at-caltech-competition/>

<https://www.britannica.com/science/rare-earth-element>

https://www.nationalgeographic.com/es/edicion-impresa/articulos/tierras-raras_17818

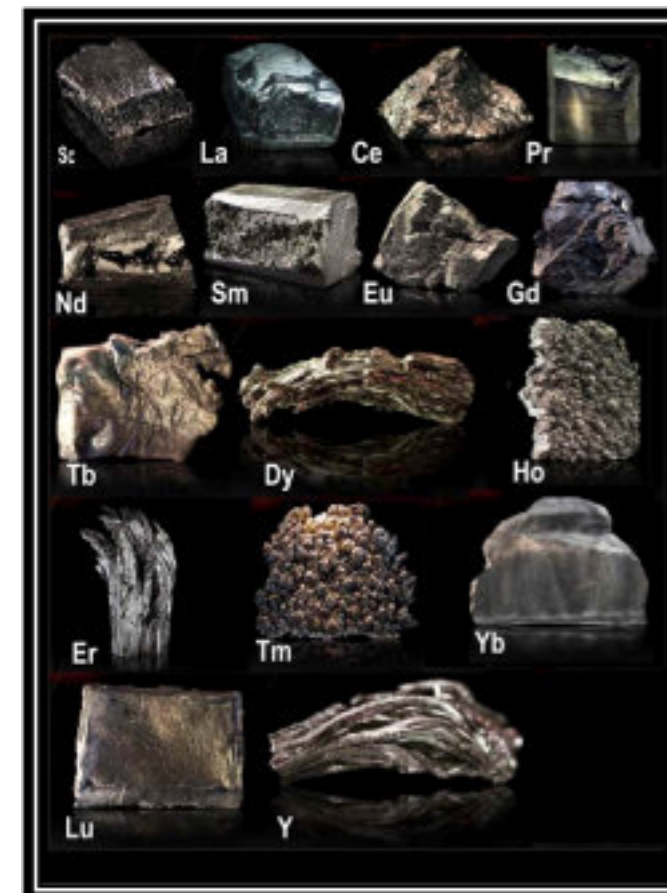
https://es.wikipedia.org/wiki/Tierras_raras

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/las-tierras-raras/>

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

<https://www.youtube.com/watch?v=QYOu8CZLSOI>

Compilado por **Uriel Franco Jaramillo**.



<https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/multimedia/WAV150110/021.jpg>

West Eifel Volcanic Field, Germany

Volcanic cones, mineral water springs, a unique density of natural phenomena and especially the maars are the attractions of this landscape in the heart of Europe. With the Daun Maars and the volcanic system Mosenberg-Meerfelder Maar, the Vulkaneifel offers two geo-locations, which were awarded as “Germany’s most important geotopes”. Scientifically, the region is called the West Eifel Volcanic Field (WEVF). For more than 200 years, the West Eifel Volcanic Field with the Maar volcanism has been scientifically researched by numerous international researchers.

<https://digitalgeology.de/en/the-daun-maars>

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

<https://www.eifel.info/en/nature/volcanicity-in-the-eifel>

<https://www.volcanocafe.org/sleeping-in-our-back-garden-the-past-present-and-future-of-the-eifel-volcanism-part-i/>

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-68046-8_8

https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_5375585AE777.P001/REF.pdf

<https://www.volcanodiscovery.com/west-eifel.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=4C1JorcYi8M>

Compilado por Nimio Tristán,
Geólogo,
Houston, Texas



COMO PARTE DE LAS ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN DE NUESTRA REVISTA DE GEOCIENCIAS, TENEMOS UNA RELACIÓN DE BUENA FE Y AMISTAD CON LAS ESCUELAS, SOCIEDADES Y ASOCIACIONES GEOLÓGICAS EN OTROS PAÍSES DEL MUNDO.

Instituto Nacional de Geoquímica (México). <https://www.inageq.com/>



Geología Médica

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



GeoLatinas

<https://geolatinas.org/>



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

Sociedad Venezolana de Historia de las Geociencias.

SVHGc@yahoo.com



Universidad Tecnológica de la Habana, - <https://cujae.edu.cu/>

Escuela de Geofísica: <https://t.me/ConoceGeofisicaCujae.edu.cu/>



Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo

<https://aggep.org/>



Sociedad Geológica de España

<https://sociedadgeologica.org/>



Sociedad Cubana de Geología

<http://www.scg.cu/>



Sociedad Dominicana de Geología

<http://sodogeo.org/>



Universidad Tecnológica del Cibao Oriental, República Dominicana

<https://uteco.edu.do/>





Pieza de Mayapán, Yucatán. INAH. MUSEO REGIONAL DE ANTROPOLOGÍA